

# OZEKONFERENCJA

ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII - KONFERENCJA RACIBÓRZ 2016

**TECHNOLOGICAL INNOVATIONS AND SUSTAINABILITY  
DEVELOPMENT IN ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

**INNOWACJE TECHNOLOGICZNE I ZRÓWNOWAŻONY  
ROZWÓJ W ARCHITEKTURZE I W BUDOWNICTWIE**

**TECHNOLOGICKÉ INOVACE A VYVÁŽENÝ VÝVOJ  
V ARCHITEKTUŘE A STAVEBNICTVÍ**

Scientific Editor  
Joanna Sokołowska Moskwiak  
PhD architect

# TECHNOLOGICAL INNOVATIONS AND SUSTAINABILITY DEVELOPMENT IN ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION

Monograph

Scientific Editor  
Joanna Sokołowska Moskwiak  
PhD architect

Racibórz 2017

Scientific Committee:

**Ewa Stachura** (chairman),

**Radim Čajka**

**Jacek Włodarczyk** (Scientific curator of conference)

Members:

**Marek Czyński, John Dee, Mei-yung LEUNG, Michael Mathias, Ana Rita Ochoa, Miguel Luis Moreira Pinto, Antonio Polainas, Jan Rabiej, Janusz Rębielak, Grażyna Schneider-Skalska, Bogusław Szuba, Melik Ziya Yakut, Martina Peřinková, František Kuda, Iveta Skotnicová.**

Scientific Reviewer:

**Joanna Sokołowska Moskwiak**, PhD architect

Reviewers:

Professor Ewa Stachura E.S. DSc. PhD. Eng. Arch.

Full-titular Professor Jacek Walenty Włodarczyk D. Sc. Ph.D M.Sc. Eng. Arch.

Ing. Jiří Teslík, Ph.D.

Ing. Naďa Zdražilová

doc. Ing. Petr Konečný, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Brořovský, Ph.D.

Ing. Staniskav Endel, Ph.D.

ISBN: 978-83-64423-58-1

**Projekt i opracowanie graficzne, skład, łamanie, druk i oprawa:**

**Graphic design and development, typesetting, text makeup, printing and binding:**

*Argrafpol* Agnieszka Blicharz-Krupińska

ul. Czarnieckiego 1

53-650 Wrocław

tel. 507 096 545

argrafpol@argrafpol.pl

# SPIS TREŚCI

|  |     |
|--|-----|
| INTRODUCTION .....   | 7   |
| <b>1. ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY</b><br><b>ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ I ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII W BUDOWNICTWIE</b><br><b>ENERGETICKÁ ÚSPORNOST A OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE VE STAVEBNICTVÍ</b>          |     |
| <b>PAWEŁ KRAUSE, TOMASZ STEIDL</b><br>Heat losses in external walls caused by balconies and loggias.....   | 11  |
| Balkony i loggie a straty ciepła przez ściany zewnętrzne .....   | 23  |
| <b>ROBERT KRZEMIEŃ</b><br>Prosument energetics- the chance of activation of renewable energetics in Poland/<br>Energetyka prosumencka – czy szansa aktywizacji energetyki odnawialnej w Polsce .....   | 37  |
| <b>MELIK ZIYA YAKUTBIM</b><br>Based Energy Management Model.....   | 55  |
| <b>MAGDALENA NAKIELSKA, KRZYSZTOF PAWŁOWSKI</b><br>Selected elements influencing the energy consumption of buildings.....  | 63  |
| Wybrane elementy kształtujące energochłonność budynków .....   | 73  |
| <b>MARTIN NEDVĚD, MARTINA MLČOCHOVÁ</b><br>Autonomus house In Kunčina/Autonomní dům v Kunčině.....   | 85  |
| <b>ROBERT ROSZAK, PIOTR ZUCHNIARZ</b><br>Numerical simulation of wind turbine using modern simulation tool.....  | 93  |
| Analiza numeryczna siłowni wiatrowej z wykorzystaniem współczesnych narzędzi<br>symulacji.....   | 105 |
| <b>WŁODZIMIERZ WÓJCIK, TADEUSZ ŻABA</b><br>Energy as a tool in decision making process.....  | 119 |
| Analiza energii jako narzędzie w podejmowaniu decyzji.....   | 131 |
| <b>PAVEL VALÍČEK, LENKA JURČÍKOVÁ</b><br>Quantification and assessment energy saving of lighting system automatically dimmed<br>to the constant level / Kvantifikace a posouzení úspor energie systému osvětlení<br>s automatickým stmíváním ..... | 143 |



## **2. NEW CONSTRUCTION AND INSTALLATION SYSTEMS AS AN INSPIRATION FOR CONTEMPORARY ARCHITECTURE**

### **NOWE SYSTEMY KONSTRUKCYJNE I INSTALACYJNE JAKO INSPIRACJA DLA WSPÓŁCZESNEJ ARCHITEKTURY**

### **NOVÉ KONSTRUKČNÍ A INSTALAČNÍ SYSTÉMY JAKO INSPIRACE PRO SOUČASNOU ARCHITEKTURU**

#### **ADAM BEDNARSKI**

Architect, technology and function- geophysical observatory in Raciborz by Konrad Wachsmann/Architekt, technologia i funkcja – obserwatorium geofizyczne w Raciborzu autorstwa Konrada Wachsmanna..... 151

#### **NATALIA BEJROWSKA**

Intelligent facade as a method of saving energy and a new architecture form..... 161  
Elewacje inteligentne jako sposób oszczędności energii oraz nowa forma architektury ..... 173

#### **JOANNA BIEDROŃSKA**

Application of the photovoltaic installations in the process of renovating housing estates in Germany..... 187  
Zastosowanie instalacji PV w procesie modernizacji osiedli w Niemczech ..... 197

#### **JAROSŁAW FIGASZEWSKI, WIESŁAW OLEJKO**

Influence of energy components on developing groups of downtown flat housing on the example of students' projects..... 209  
Wpływ komponentów energetycznych na kształtowanie zespołów zabudowy śródmiejskiej na przykładzie projektów studenckich..... 221

#### **ANNA GUMIŃSKA**

The use of innovative materials and construction technologies in the building industry today selected examples of the European/Zastosowanie innowacyjnych materiałów i technologii budowlanych w budownictwie współczesnym na wybranych przykładach europejskich ..... 233

#### **AGNIESZKA SZYMANOWSKA-GWIŹDŹ**

Contemporary development of historical brick nogged timber wall buildings insulation - cases study ..... 247  
Współczesne kształtowanie dociepleń budynków historycznych z muru pruskiego - studium przypadków..... 261

#### **GIACOMO TIBALDI**

The Eco Module. A technological and constructive experimentation of a temporary pavilion ..... 275

## **HENRYK ZUBEL**

|   |     |
|---|-----|
| DESIGN THINKING - Technology of creating innovative products and services ..... | 283 |
| Design Thinking – technologia tworzenia innowacyjnych produktów i usług .....   | 291 |

### **3. TECHNOLOGICAL AND MATERIAL INNOVATIONS IN CONTEMPORARY CONSTRUCTION**

#### **INNOWACJE TECHNICZNE I MATERIAŁOWE WE WSPÓŁCZESNYM BUDOWNICTWIE**

#### **TECHNICKÉ A MATERIÁLOVÉ INOVACE V SOUČASNÉM STAVEBNICTVÍ**

## **MOHAMED AHMAD**

|  |     |
|--|-----|
| Sustainable construction and recycling of waste of building materials .....  | 305 |
| Budownictwo zrównoważone a recykling odpadowych materiałów budowlanych ..... | 315 |

## **ZDENEK GALDA**

|   |     |
|---|-----|
| Controlled ventilation of dwelling and co2 concentration depending on air flow/Řízené větrání místnosti a koncentrace co2 pomocí proudění vzduchu ..... | 329 |
|---|-----|

## **PAVEL GERGELA**

|   |     |
|---|-----|
| Designing thermal insulation of water pipes from the point of view of energy and economic parameters/Návrh tepelné izolace potrubí z hlediska energetických a ekonomických ukazatelů..... | 335 |
|---|-----|

## **MONIKA KUBZOVÁ, VÍT KŘIVÝ, VIKTOR URBAN**

|   |     |
|---|-----|
| Weathering steel structures influenced by chloride deposition from winter treatment of roads/Konstrukce z patinující oceli ovlivněny depozicí chloridů ze zimní údržby vozovek... | 341 |
|---|-----|

## **PAVLINA MATECKOVA, MARTINA SMIRAKOVA, DAVID LITVAN**

|  |     |
|--|-----|
| Testing and design of asphalt belt sliding joints/Testování a návrh kluzných spar z asfaltových pásů ..... | 355 |
|--|-----|

## **BOŽENA ORLIK-KOŽDOŇ, TOMASZ STEIDL**

|   |     |
|---|-----|
| Thermal insulation of external walls brick from the inside - selected issues thermo moisture.....       | 369 |
| Docieplenie ścian zewnętrznych ceglanych od wewnątrz - wybrane zagadnienia ciepłno-wilgotnościowe ..... | 381 |

## **JAN RUBIN**

|   |     |
|---|-----|
| Molds in residential human .....                          | 395 |
| Grzyby pleśniowe w środowisku mieszkalnym człowieka ..... | 403 |

## **MARTINA SMIRAKOVA, PAVLINA MATECKOVA**

|  |     |
|--|-----|
| Selected problems of fiber concrete slabs/Vybrané problémy desek z vláknobetonu..... | 415 |
|--|-----|

---

#### **4. STIMULATORS AND BARRIERS TO THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF URBANIZED AREAS**

##### **STYMULATORY I BARIERY ROZWOJU ZRÓWNOWAŻONEGO TERENÓW ZURBANIZOWANYCH**

##### **STIMULÁTORY A PŘEKÁŽKY UDRŽITELNÉHO ROZVOJE URBANIZOVANÉHO PROSTORU**

#### **ANNA BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA, ANDRZEJ ŁĄCZAK, MARIA MRÓWCZYŃSKA, MARTA SKIBA**

Stimulating the energy efficiency of buildings using renewable energy sources and risk management in the policy of sustainable development. Case study of Zielona Gora.....431  
Stymulowanie efektywności energetycznej budynków oraz zarządzanie ryzykiem inwestowania w OZE w polityce zrównoważonego rozwoju miast, na przykładzie Zielonej Góry .....441

#### **ADAM BUJARKIEWICZ, JACEK SZTUBECKI, MAŁGORZATA SZTUBECKA**

Analysis of urban areas solar potential on the example of Bydgoszcz .....459  
Analiza potencjału solarnego obszarów zurbanizowanych na przykładzie miasta Bydgoszczy .....471

#### **AGATA DALACH**

Noise barriers as an element of modern environmental solutions/Drogowe ekrany akustyczne jako element nowoczesnych rozwiązań prośrodowiskowych .....485

#### **JAROSŁAW FIGASZEWSKI, BEATA KUC-SŁUSZNIK**

Atrium as an element of converted architectural structures/Atrium jako element przetworzonych struktur architektonicznych.....497

#### **LUIS PINTO, ARTUR MODLIŃSKI, ANTONIO POLAINAS,**

Improving an emotive experience in the street.....507

#### **JACEK WALENTY WŁODARCZYK**

Innovative utilitarianism as the mainfeature of the present architecture development .....519  
Innowacyjny utylitaryzm jako główna cecha rozwoju współczesnej architektury .....529

#### **BARBARA VOJVODÍKOVÁ**

Renewable energy sources and previously used land/Obnovitelné zdroje energie v brownfields .....541

**SUMMARY**.....553

# FOREWORD

Joanna Sokołowska Moskwiak  
Director of the Institute of Architecture  
State University of Applied Science in Racibórz

Dear Readers,

The initiative to organize an international conference on Renewable Energy Sources (RES) and Sustainable Development cannot be overstated. First I would like to express my appreciation and thanks to the initiators and organizers of this project, which has resulted in this publication. I believe the science and expertise in this conference will significantly contribute to further development of RES in Poland.

The quality of the environment in which we live has already been degraded by the conventional fossil fuel-based power industry, which relies on coal, oil and natural gas. The way to stop further degradation is not only through conversion of conventional energy sources to renewable energies but also the gradual elimination of all fuels that contribute to global warming. Renewable energy is generated from natural processes that are continuously replenished, such as sunlight, geothermal heat, wind, tides, water, and various forms of biomass.

The city of Racibórz is well positioned in respect of the environment with its waste management, environmental education, environmental protection and promotion of environment friendly undertakings. These achievements include international conferences already belonging to cyclical events, organized by the city, covering RES issues. Each conference has dealt with an aspect of RES-related issues and is of wide interest in the industry.

The IV RES 2016 International Conference on Renewable Energy and Sustainable Construction is an initiative of the City of Racibórz, the Institute of Architecture of the State Higher Vocational School in Raciborz and the Czech partner, VSB Technical University in Ostrava. Raciborz hosted the RES 2016 Conference and was the first city in Europe to receive the ISO 14001 Environmental Management Certificate, which implemented the Low Carbon Economy Plan and the creation of the "Energy Efficiency Innovation Platform". And there are companies in the city that produce 40% of the domestic volume of solar equipment production, making Racibórz a key RES city in Poland.

It is noteworthy that the Conference, organized jointly by the State University of Applied Science in Raciborz, was extended to cover scientific issues. The aim was to bring together a wide range of international academics, researchers, and practitioners involved in topics on renewable energy sources and research into various aspects of sustainability. This included further discussions on how to improve sustainable design and construction from the perspective of both, the investor and the user.

---

The participation of policy makers in the context of RES was also decision-making and considered a principal objective. Policy objectives must be carefully framed so as to deliver sustainable environmental outcomes. This is not always well understood.

This publication is a result of this conference. It presents 20 selected papers. Publishers of this proceeding aimed for wide presentation of up to date experiences and solutions in the area of Renewable Energy Sources. The selected papers presented in this book focus on issues concerned with:

Energy saving and renewable energy sources in construction, technological and material innovations in modern construction, energy-efficiency and passive housing, technological innovation and implementation of new materials in the modernisation of existing residential housing, new technologies and protective materials in exploitation and protection of historic buildings, new construction and installation systems as an inspiration for modern architecture. Another important issue concerns problems of sustainable design, theory and practice.

New forms of architecture inspired by innovative technologies and materials were presented on the basis of student projects performed at the State University of Applied Science in Racibórz.

Finally, the 2016 Conference presented an opportunity to provide feedback, discussions and exchange experiences in many Polish and European professional scientific circles. It has made an important contribution in terms of establishing the importance of RES in sustaining urban development. An outcome of the conference is the publication, which as we hope, will contribute to wider popularization of the RES idea.

**1. ENERGY EFFICIENCY AND  
RENEWABLE ENERGY SOURCES IN THE  
CONSTRUCTION INDUSTRY**  
**ENERGOOSZCZĘDNOŚĆ I ODNAWIALNE  
ŹRÓDŁA ENERGII W BUDOWNICTWIE**  
**ENERGETICKÁ ÚSPORNOST A  
OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE VE  
STAVEBNICTVÍ**



# HEAT LOSSES IN EXTERNAL WALLS CAUSED BY BALCONIES AND LOGGIES

Krause Paweł<sup>1</sup>, Tomasz Steidl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Silesian University of Technology, Faculty of Civil Engineering, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, Pawel.Krause@polsl.pl

<sup>2</sup> Silesian University of Technology, Faculty of Civil Engineering, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, Tomasz.Steidl@polsl.pl

## ABSTRACT

The article presents the impact of how warming balconies and loggias in multi-family residential buildings retrofitted for the loss calculation of heat through external walls. Identify the components of diagnosing insulated on real objects, the occurrence of linear thermal bridges using thermography. Showing the possibility of calculating the numerical values of linear thermal bridges using a computer program THERM, and their impact on the calculation of heat loss.

Keywords: Linear thermal bridges, thermal modernization, building insulation.

## Introduction

When assessing the state of thermal protection of residential buildings undergoing thermal insulation modernization in the 1990s, cyclical recurrences can be identified. They are related to the lack of adequate protection of places known as thermal bridges. The condition of the thermal insulation of the external partitions of residential buildings is not only one of the basic issues related to energy saving, but also involves the thermal comfort of rooms reserved for the stay of people. The same thesis can be applied to the buildings constructed in recent years in traditional technologies, in particular using the reinforced concrete frameworks, where the walls are made of fine-grained elements (porous ceramics, lightweight concrete, etc.). On the basis of the literature data and own research, it can be stated that the most common errors are related to the thermal protection of balcony and loggias supporting plates (Dylla A: Praktyczna fizyka ciepła budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009).

This article presents the experiments related to the research and analysis of additional heat losses through external walls depending on the thermal condition of balconies and loggias.



## CHARACTERISTICS OF BUILDINGS

The subject of the research involved multifamily residential buildings implemented in the industrialized technologies. Individual objects involve basements, multi-storey, multi-segment buildings. The buildings were erected in the mixed technology - a reinforced concrete framework with a traditional brick wall, in the years 2009-2011. The external walls were made as two-layer - a construction part as a 38-cm thick ceramic wall with thermal insulation. The external walls insulation of the buildings was made in the technology of the Thermal Insulation Composite Systems on a basis of polystyrene foam. On the basis of the macroscopic tests and the data obtained from the administrators of the objects, it was stated that BSO was applied with the following characteristics: acrylic/mineral plaster, reinforcing layer, adhesive layer, polystyrene boards. Thickness of thermal insulation on external walls did not exceed 12 cm.



Photo I1. View of the façade of a typical building for which this article was developed.

## THERMAL IMAGING TESTS

The macroscopic tests were carried out in January 2012 to determine the current state of thermal protection of the external walls.

The scope of the research included:

- 1) Measurements of temperatures of external air,
- 2) The tests carried out using a thermal imaging camera,
- 3) Development of a thermographic documentation,
- 4) Development of a photographic documentation.

In order to determine the state of thermal protection of the building, the thermal imaging tests were carried out to visualize the temperature differences on the tested surfaces of the external partitions. The thermal imaging tests were carried out in January 2012, with favourable weather conditions.

The temperature distribution tests were carried out with the thermographic method using ThermaCAM thermal imaging device consisting of a thermal imaging camera and a monitor. The thermal imaging device enables visualization of the temperature field on a tested surface in a form of a thermal image - a thermogram.

Rated data:

|   |  |
|---|--|
| Temperature measurement range                     | from $-20^{\circ}\text{C}$ to $1200^{\circ}\text{C}$ |
| Camera vision angle<br>(depending on a used lens) | $25^{\circ} \times 19^{\circ}$                       |
| Thermal resolution (at $30^{\circ}\text{C}$ )     | 0.05 K   |
| Spacial resolution                                | 1.36 mrad  |
| Spectral range of sensitivity                     | 7.5 – 13 $\mu\text{m}$ .                             |
| Number of points on the line                      | approx. 175 x200                                     |

### Temperature measurement

The internal air temperature tests were carried out using GANN HTR 300 test set with OT 100 probe for continuous air temperature measurements in a continuous system - sampling every 0.1 s. The range of a device temperature measurement from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $90^{\circ}\text{C}$ . The external air temperature measurement was carried out using GANN HTR 300 test set with continuous air temperature probe. As measured values, mean values were measured at approximately 1.50 m above the ground level.

During the test, external air temperatures were measured before and during the test and internal air temperature measurements.

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Measurement date                  | 30.01.2012   |
| Temperature of inside surrounding | $-18.0^{\circ}\text{C} \div -16.0^{\circ}\text{C}$ |
| Temperature inside a building     | $20.0^{\circ}\text{C} \pm 4.0^{\circ}\text{C}$     |

The thermal imaging measurements were carried out at a temperature difference of 38.0 K.

For the emissivity of the tests area, an average value of 0.92 was assumed. The temperature distributions on the tested surface were visualized and then significant thermal images were recorded directly from the monitor screen and a further quantitative analysis was recorded with a computer assisted processing. The test was carried out in accordance with the standards. Windless weather was during the test (wind speed less than 1 m/s).

As a result of the tests, the images were obtained to show the visualization of the temperature differences on the tested surfaces of the external partitions. The tests were carried out from the outside. The radiation energy emitted from the body surface is a

function of the surface temperature of the body. The heat flux flowing through the partition encounters a certain thermal resistance of the thermal insulation layer. The analysis of the tests results consists of isolating places of varying degrees of image brightness, which corresponds to the variable thermal insulation of the partition. The thermal imaging device enables visualization of the temperature field on a tested surface in a form of a thermal image - a thermogram. On the basis of the thermogram, one can make an initial assessment of the presence of linear thermal bridges on the partition.

### THERMOGRAPHIC DOCUMENTATION

The results of the tests are shown on the enclosed coloured thermograms (quantitative). The coloured thermograms represent the quantitative distribution of temperatures in a form of coloured isotopes, each representing a certain temperature range, given on the right side of the colour scale printout. The thermograms show the temperature values at several selected points, marked on the corresponding thermograms with a cross and a digit. On the thermograms, the areas corresponding to the characteristic temperature distributions on the partitions were separated. For such marked areas, extreme values were determined, i.e. the minimum and maximum temperature values. For easy identification, the thermal images are compiled with the photo of the carrying out place - as in fig. 1.

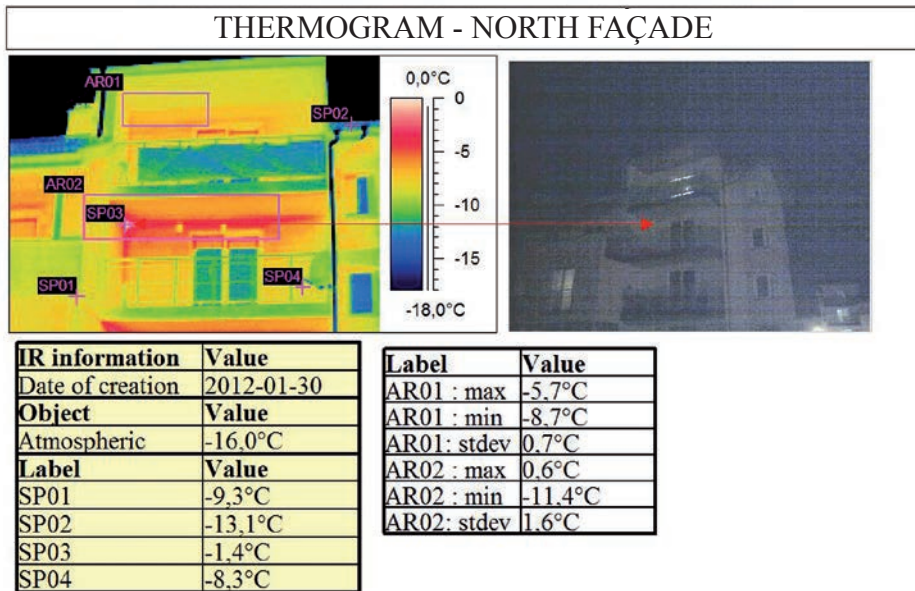


Fig. 1. Sample thermogram of the analysed building - photo and thermogram - authors January 2012.

The principle of diagnosis of the insulation of the building partitions is:

Determining the actual temperature distribution on the test surface of the partition,

Determining whether the temperature distribution is correct or identifying thermal anomalies in a form of flat and spatial corners or anomalies associated with the construction of partitions (e.g. mechanical couplings, connectors), dampening of internal or external partitions of partition walls associated with operation of premises,

Assessment of the nature and extent of thermal defects.

The correctness of the tests of the temperature distributions on the partition surfaces can be determined by: comparing the thermogram obtained from the thermogram test considered as standard, obtained from the tests for an identical partition under similar test conditions, comparing the thermogram with the predicted temperature distribution obtained by other methods such as the calculation methods.

Thermal anomalies that cannot be explained by the geometric analysis, structural analysis, or other factors that can impact on the measurement result should be treated as a deviation from the design requirements of the construction art - defects. Figure 2 below presents the selected identified defects in a form of the linear thermal bridges on the connection of the balcony supporting plate with the external wall.

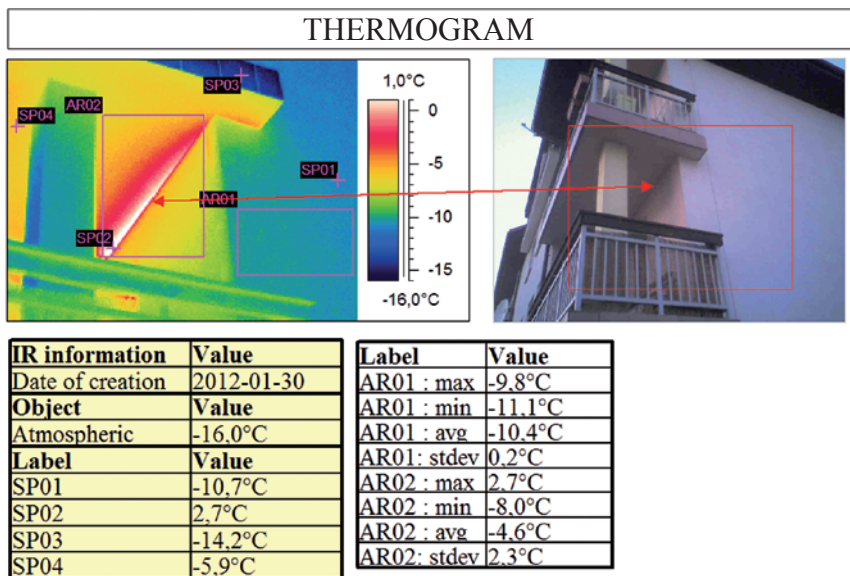


Fig. 2. The balcony plate thermogram from below on the north façade - photo and thermogram - authors, January 2012

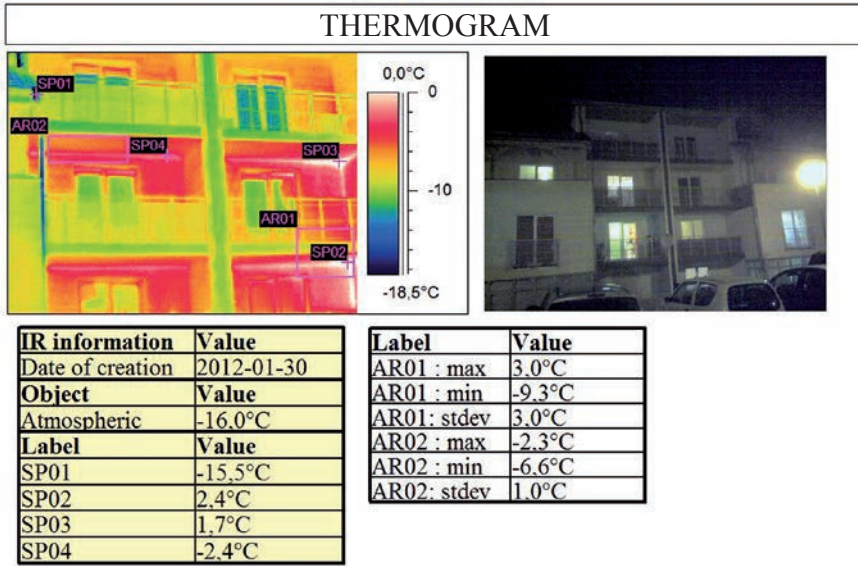


Fig. 3. The balcony plate thermogram from below on south façade - photo and thermogram - authors, January 2012

The initial analysis of the external partitions of the buildings using the thermal imaging cameras revealed:

- thermally homogeneous surfaces of external walls,
- linear thermal bridges of significant intensity along the connection of the balcony plate with the external wall.

The linear thermal bridge intensity expressed by the linear heat transfer coefficient  $\psi$ , should be determined using a two- or three-dimensional wall model in accordance with PN EN 10211: 2008.

## ANALYSIS

PN-EN ISO 10211:2008 standard (Thermal bridges in the buildings. Heat fluxes and surface temperatures. Detailed calculations.) provides the computational algorithms including the thermal bridges. One can distinguish three main geometrical models related to:

- one-dimensional heat flux 1D (A),
- two-dimensional heat flux 2D (B),
- three-dimensional heat flux 3D (C).

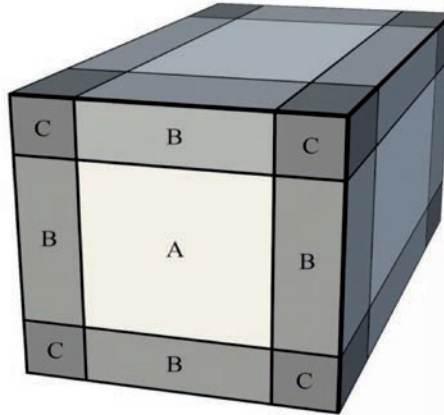


Fig. 4. Separation of the areas of heat fluxes for an exemplary structure - authors' figure.

One-dimensional thermal bridges, often referred to as 1D, are inter alia a consequence of a material differentiation of a part of the building partition (different coefficients of heat conduction). An example of such a thermal bridge can involve a reinforced concrete core in a one-layer outer wall. Two-dimensional 2D thermal bridge arise, for example, in places where the internal and external surfaces of building partitions are differentiated. In many cases, such thermal bridges are not possible to eliminate. One can only minimize negative effects of their occurrence.

Balconies are generally the linear thermal bridges because they are anchored in the external walls of cantilevered balconies, etc. Due to their location, the balconies are exposed to a greater effect of convection and wind than a full wall, which results in faster heat dissipation of their surfaces to the environment. Similarly, it is a case of loggia with the fact that due to the retraction of a plate element into the interior of a building, a surface cooling by wind is generally lower. The thermal bridge is formed at the contact point of a balcony plate with an external wall, both from above and below a plate. Therm 7.4 programme was selected for the calculation of the linear thermal bridge. THERM<sup>®</sup>.

The calculation results are:

1) graphic including:

- isotherms distribution in a cross section of a modelled element,
- a coloured temperature field in a cross-section,
- a coloured density field of heat flux.

2) textual including:

- heat transfer coefficient  $U \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,
- value of heat flux  $\text{W}/\text{m}$ ,
- value of stream density  $\text{W}/\text{m}^2$ .

Four geometrical models were selected for numerical calculations:

- 1) Basic model - in accordance with the design documentation of a building - a balcony plate without any insulation. For all models, the same construction of the external partition
- 2) The model with insulation of a reinforced concrete slab from the top
- 3) The model with insulation of a reinforced concrete slab from the bottom
- 4) The model with insulation of a reinforced concrete slab from the top and bottom.

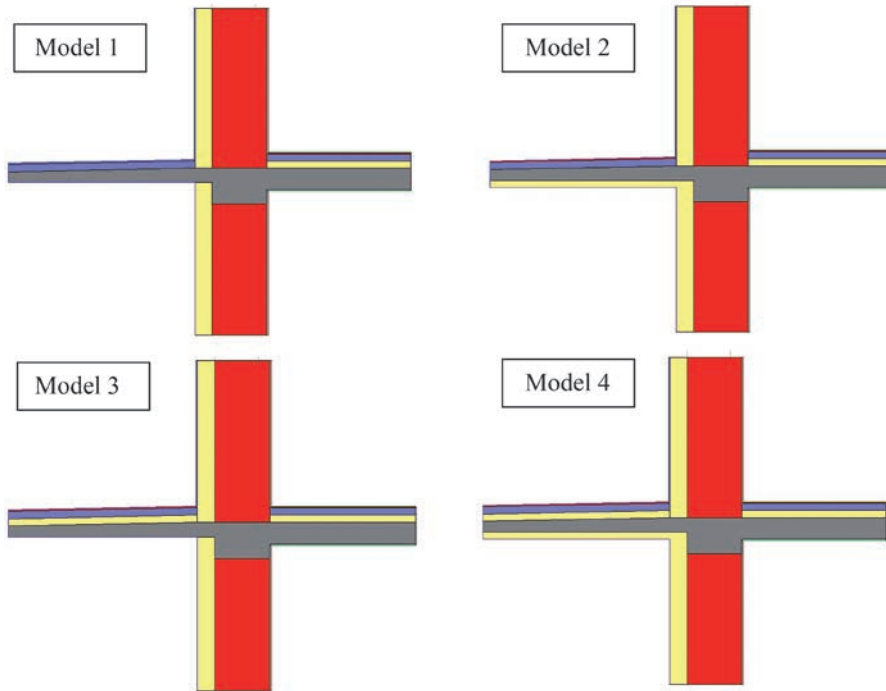


Fig. 5. The geometric models accepted for the calculations in THERM programme, authors' figure.

Initial and boundary conditions.

The following initial and boundary conditions were used to calculate:

$t_i = -20.0 \text{ } ^\circ\text{C}$  ;  $t_e = +20.0 \text{ } ^\circ\text{C}$  ;  $h_i = 25.0 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ;  $h_e = 7.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

The calculation results for individual variants are presented graphically in Figures 6, 7.

The heat transfer coefficient calculated in accordance with PN EN ISO 6946 is:

- for a porous ceramic wall insulated with styrofoam EPS 040 -  $U = 0.280 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- which met the requirements for the external partition of the design period, i.e.  $U < 0.300 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

The value of the linear thermal bridge was calculated in two variants:

- $\psi_i$  for the completely internal partition dimensioning,
- $\psi_e$  for the completely external partition dimensioning.



The value of the linear thermal bridge is calculated in accordance with standard PN EN 10211: 2008, in accordance with the formula:

$$\psi = L^{2D} - \sum U \cdot l \quad (1)$$

where:  $L^{2D}$  - thermal coupling coefficient for the model calculated using Therm 7.4 programme;

$U$  [W/(m<sup>2</sup>K)] - heat transfer coefficient for the flat partition - calculated in accordance with PN EN ISO 6946;

$l$ [m] - linear dimension of the partition for which the heat transfer coefficient  $U$  of the analysed model is calculated, not less than 1 linear meter.

Numerical results are presented in Tables 1 and 2.

Table 1. Summary of the results for individual variants - Therm 7.4 programme.

| Variant | The results obtained from the calculations in THERM 7.4 programme. |                          |   |   |
|---------|--|--------------------------|---|---|
|         | Heat flux $q_i$<br>[W]   | Heat flux $q_e$<br>[w/m] | Linear dimension external<br>$l_i$<br>[m] | Linear dimension internal<br>$l_e$<br>[m] |
| 1       | 22.6720  | 34.2550                  | 2.108                                     | 2.000                                     |
| 2       | 22.4670  | 32.0580                  | 2.059                                     | 2.000                                     |
| 3       | 22.0480  | 33.4960                  | 2.060                                     | 2.000                                     |
| 4       | 21.7980  | 27.9490                  | 2.010                                     | 2.000                                     |

Table 2. Summary of the results for individual variants - own calculations

| Variant | The results from your own calculations. |                      |   |  |
|---------|---|----------------------|---|--|
|         | $L^{2D}_i$<br>[W/mK]                    | $L^{2D}_e$<br>[W/mK] | Linear thermal bridge<br>$\psi_i$<br>[W/mK] | Linear thermal bridge $\psi_e$<br>[W/mK] |
| 1       | 0.5668                                  | 0.8564               | -0.0234                                     | 0.2964                                   |
| 2       | 0.5617                                  | 0.8015               | -0.0148                                     | 0.2415                                   |
| 3       | 0.5512                                  | 0.8374               | -0.0256                                     | 0.2774                                   |
| 4       | 0.5450                                  | 0.6987               | -0.0179                                     | 0.1387                                   |

Figure 6 graphically shows the cross-sectional temperature profiles for two extreme models, model 1 and model 4, in order to compare the impact of the insulation used in the model without insulation.



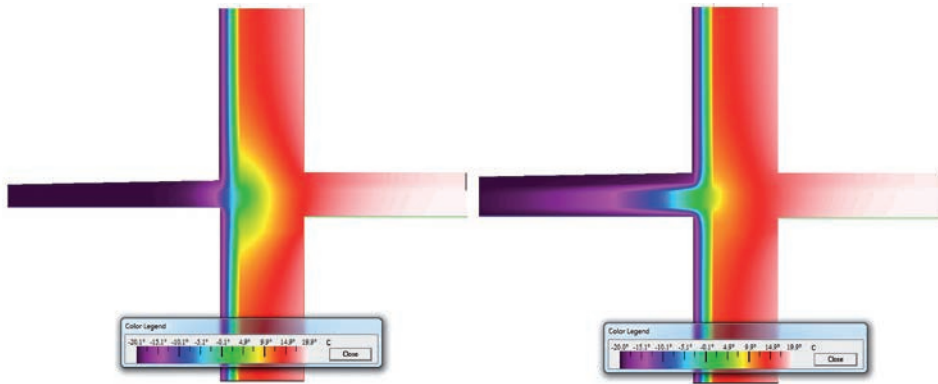


Fig. 6. Temperature field in a cross-section of the partition. On the left, the plate is not insulated, on the right - insulated from the top and bottom - generated from Therm 7.4 programme.

Heat losses generated by the linear thermal bridges can be expressed by giving the total heat transfer coefficient by penetration,  $H_{tr,adj}$ , expressed in watts per Kelvin, calculated in accordance with PN EN ISO 13789, using the following equation:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \quad (2)$$

where:

$H_D$  Heat transfer coefficient by direct heat transfer to the external environment, expressed in watts per Kelvin;

$H_g$  Coefficient of stationary heat transfer by penetration to the ground,

$H_U$  Heat transfer coefficient by penetration by the areas without air-conditioning, expressed in watts per Kelvin;

$H_A$  Heat transfer coefficient by penetration to adjacent buildings, expressed in watts per Kelvin;

If we consider only heat transfer through the partition in a full part, and we neglect the impact of point bridges, it will be possible to simplify the formula (2) to calculate only the values  $H_D$  (3)

$$H_D = b_{tr,x} [\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j] \quad (3)$$

where:

$A_i$  area of a building's element and envelope, in square meters;

$U_i$  heat transfer coefficient and building envelope,

$l_k$  length of the linear thermal bridge  $k$ , expressed in meters;

$\Psi_k$  linear heat transfer coefficient of a bridge;

$b_{tr,x}$  factor of temperature correction, with value  $b_{tr,x} \neq 1$  if a temperature on the other side of the partition element is not equal to the external environment temperature as in

the case of a separating wall from the adjacent space with or without air conditioning or a floor on the ground.

For the considered case of the balcony, the following data were taken:

A - area of a part of the building in which there are balcony sections, less with the area of windows and balcony doors  $A = 37.8 \text{ m}^2$

$L_c$  - total length of balcony plates on the considered part  $L_c = 45.0$  linear meter  $btr, x = 1.00$

The surface and length data of the plates are provided for the complete internal dimensioning.

The calculation results for individual variants taking into account only values as for internal dimensioning are given in Table 3.

Table 3. The values of the heat transfer coefficient for the selected part of the building, for insulation variants of the balcony plate.

| Variant | The results from your own calculations. |         |                  |             |
|---------|---|---------|------------------|-------------|
|         | Linear thermal bridge $\psi_e$ [W/mK]   | btr [-] | $A_i \times U_i$ | $H_D$ [W/K] |
| 1       | 0.2964                                  | 1.00    | 10.584           | 23.922      |
| 2       | 0.2415                                  | 1.00    | 10.584           | 21.452      |
| 3       | 0.2774                                  | 1.00    | 10.584           | 23.067      |
| 4       | 0.1387                                  | 1.00    | 10.584           | 16.826      |

The graphic results are shown in Fig.

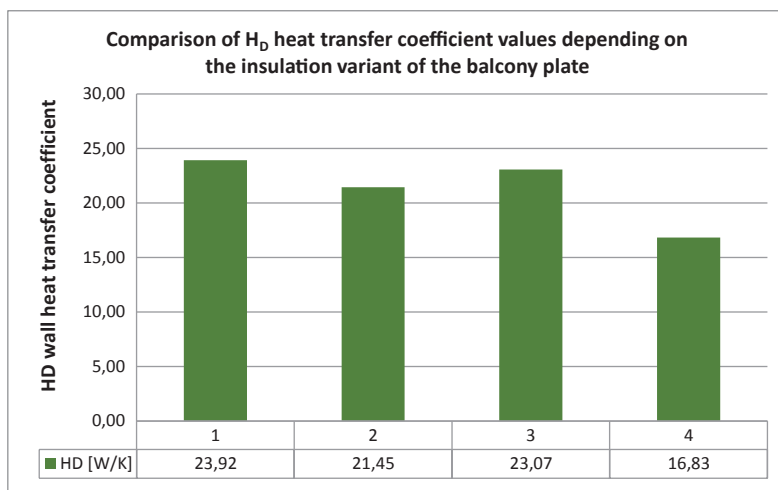


Fig. 7. The values of the heat transfer coefficient for the selected part of the building, for insulation variants of the balcony plate.

## SUMMARY AND CONCLUSIONS

The analysed simple linear thermal bridge found almost in each multi-family building shows that the calculation of heat loss from the building to the environment depends largely on the dimensioning of the element and not on the degree of its thermal insulation. By using the external dimensioning system for heat loss calculations or more specifically for the calculation of the Primary Energy Index, we can omit the computational impact of such bridges, with a well-insulated wall. However, the reality shown by the thermal imaging camera is slightly different. On the façade of buildings, even well-insulated, we can notice the presence of linear thermal bridges using the thermal imaging camera. The lack of proper protection of concrete supporting elements - balconies and loggias plates, e.g. by using two-sided thermal insulation, together with an insert ensuring continuity of thermal insulation, causes local cooling of the element and, in many cases, condensation of moisture in the presence of such defects - the most often in the rooms with increased air moisture.

## REFERENCES

1. Dylla A: Praktyczna fizyka ciepła budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009r.
2. Klemm P. i inni: Budownictwo ogólne: Fizyka budowli, Wydawnictwo ARKADY, 2005r.
3. Panek A, Steidl T. : O nieuwzględnianiu mostków cieplnych. Mat. Bud. 2010 nr 3, s. 46-48.
4. Pawłowski K., :Wpływ liniowych mostków cieplnych na parametry fizyczne ścian zewnętrznych budynku, Izolacje 2008, 10, 30-32
5. PN-EN ISO 10211:2008. Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
6. PN-EN ISO 6946:2008. „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
7. PN-EN ISO 13789 : 2008 Ciepłota właściwości użytkowe budynków - Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację - Metoda obliczania.

# BALKONY I LOGGIE A STRATY CIEPŁA PRZEZ ŚCIANY ZEWNĘTRZNE

Krause Paweł<sup>1</sup>, Tomasz Steidl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Pawel.Krausel@polsl.pl, , 44-100 Gliwice ul. Akademicka 5

<sup>2</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Tomasz.Steidl@polsl.pl, , 44-100 Gliwice ul. Akademicka 5

## ABSTRAKT

W artykule przedstawiono wpływ sposobu ocieplenia balkonów i loggii w wielorodzinnych budynkach mieszkalnych poddanych termomodernizacji na straty obliczeniowe ciepła przez ściany zewnętrzne. Przedstawiono elementy diagnozowania na ocieplonych obiektach rzeczywistych, występowanie liniowych mostków cieplnych przy użyciu termowizji. Pokazano możliwości obliczania wartości liczbowych liniowych mostków cieplnych przy użyciu programu komputerowego THERM, oraz ich wpływ na obliczeniowe straty ciepła.

Słowa kluczowe: liniowe mostki cieplne, izolacje cieplne budynków.

## Wprowadzenie

Przeprowadzając ocenę stanu ochrony cieplnej budynków mieszkalnych, poddanych w latach 90-tych XX w. termomodernizacji, można stwierdzić cyklicznie powtarzające się nieprawidłowości. Związane są one z brakiem odpowiedniego zabezpieczenia miejsc określanых jako mostki termiczne. Stan ochrony cieplnej przegród zewnętrznych budynków mieszkalnych jest nie tylko jednym z podstawowych zagadnień związanych z oszczędnością energii, ale wiąże się również z komfortem cieplnym pomieszczeń przeznaczonych na pobyt ludzi. Tą samą tezę, można postawić w odniesieniu do budynków wznoszonych w ostatnich latach w technologiach tradycyjnych, a w szczególności w technologiach szkieletu żelbetowego, gdzie ściany są wykonywane z elementów drobnomiarowych (ceramika poryzowana, betony lekkie itp.). Na podstawie danych literaturowych, oraz badań własnych można stwierdzić, że najczęściej popełniane błędy związane są z ochroną cieplną płyt wspornikowych balkonów oraz loggii (Dylla A., 2006; Klemm P. i inni: 2005 r.).

Szkoła projektowania złączy budowlanych, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009 r). Główną przyczyną takiego stanu rzeczy jest brak świadomości wagi problemu, grupy osób odpowiedzialnych za przebieg procesu projektowania i wznoszenia obiektu a w przypadku termomodernizacji tj. administratora lub zarządcy budynku, kierownika budowy, inspektora nadzoru oraz nierzadko „eksperta” opracowującego wytyczne prowadzenia prac termomodernizacyjnych w postaci ekspertyzy lub opinii technicznej. W niniejszym artykule przedstawiono doświadczenia związane badaniem i analizą dodatkowych strat ciepła przez ściany zewnętrzne w zależności od stanu ochrony cieplnej balkonów i loggii.

## CHARAKTERYSTYKA BUDYNKÓW

Przedmiotem badań były wielorodzinne budynki mieszkalne realizowane w technologiach uprzemysłowionych. Poszczególne obiekty są budynkami podpiwniczonymi, wielokondygnacyjnymi, wielosegmentowymi. Budynki wznoszone były w technologii mieszanej - szkielet żelbetowy z tradycyjnym murem z ceramiki poryzowanej w latach 2009-2011. Ściany zewnętrzne zrealizowano jako dwuwarstwowe - część konstrukcyjna jako ściana z ceramiki o grubości 38 cm z izolacją cieplną. Ocieplenie ścian zewnętrznych budynków zostało wykonane w technologii Bezspoinowego Systemu Ocieplania na bazie styropianu. Na podstawie badań makroskopowych oraz danych uzyskanych od administratorów obiektów stwierdzono zastosowanie BSO o następującej charakterystyce: tynk akrylowy/mineralny, warstwa zbrojąca, warstwa klejowa, płyty styropianowe. Grubość termoizolacji na ścianach zewnętrznych nie przekraczała 12 cm.



Il.1. Widok elewacji typowego budynku dla którego opracowano niniejszy artykuł.

## BADANIA TERMOWIZYJNE

Badania makroskopowe, pod kątem stwierdzenia aktualnego stanu ochrony cieplnej ścian zewnętrznych wykonano w miesiącu styczniu 2012 r.

Zakres badań obejmował:

- 1) Pomiary temperatury powietrza zewnętrznego.
- 2) Przeprowadzenie badań za pomocą kamery termowizyjnej.
- 3) Wykonanie dokumentacji termograficznej.
- 4) Wykonanie dokumentacji fotograficznej.

W celu określenia stanu ochrony cieplnej budynku przeprowadzono badania termowizyjne, przedstawiające wizualizację różnic temperatury na badanych powierzchniach przegród zewnętrznych. Badania termowizyjne przeprowadzono w miesiącu styczniu 2012 r.

Badania rozkładu temperatur przeprowadzono metodą termograficzną za pomocą urządzenia termowizyjnego typu ThermaCAM firmy FLIR, składającego się z kamery termowizyjnej oraz monitora. Urządzenie termowizyjne umożliwia wizualizację pola temperaturowego na badanej powierzchni w postaci obrazu cieplnego – termogramu.

Dane znamionowe :

|   |  |
|---|--|
| Zakres pomiaru temperatury  | od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Kąt widzenia kamery<br>(w zależności od zastosowanego obiektywu)    | $25^{\circ} \times 19^{\circ}$                                     |
| Termiczna zdolność rozdzielcza (przy $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) | 0,05 K   |
| Przestrzenna zdolność rozdzielcza                                   | 1,36 mrad  |
| Przedział widmowej czułości   | 7,5 – 13 $\mu\text{m}$ .   |
| Liczba punktów na linii   | ok. 175  |

### **Pomiar temperatury.**

Badania temperatury powietrza w budynkach przeprowadzono za pomocą zestawu badawczego GANN HTR 300 z sondą OT 100 do pomiarów temperatury powietrza w systemie ciągłym - próbkowanie co 0,1 s. Zakres pomiaru temperatury urządzenia od  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pomiar temperatury zewnętrznej powietrza realizowano przy użyciu zestawu badawczego GANN HTR 300 z sondą do pomiaru temperatury powietrza w systemie ciągłym. Jako wartości miarodajne podano wartości średnie mierzone na wysokości ok. 1,50 m nad poziomem terenu.

W trakcie prowadzenia badań wykonano pomiary temperatur powietrza zewnętrznego przed rozpoczęciem i w trakcie badań oraz pomiar temperatury powietrza wewnątrz budynku.

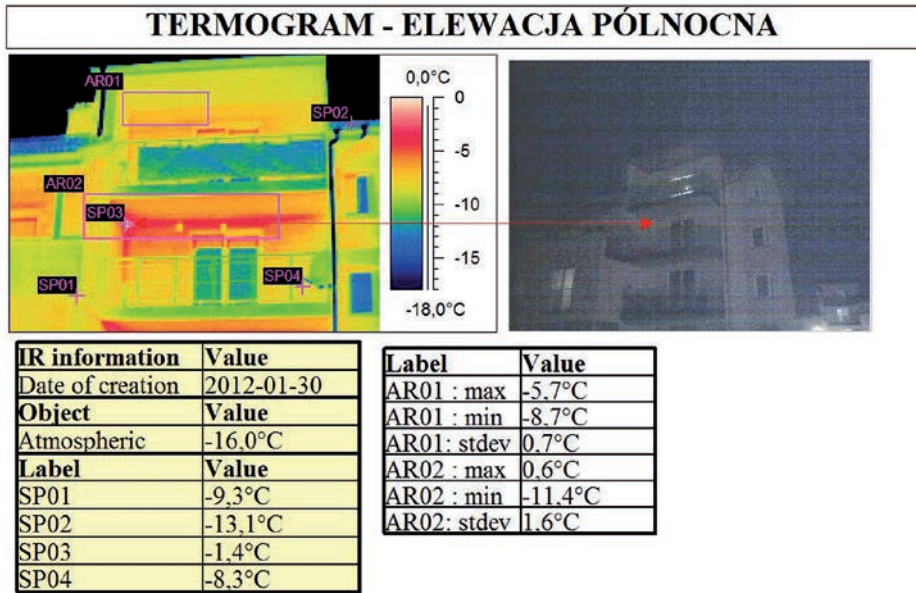
|   |  |
|---|--|
| Data pomiaru  | 30.01.2012   |
| Temperatura otoczenia zewnętrznego                    | $-18,0\text{ }^{\circ}\text{C} \div -16\text{ }^{\circ}\text{C}$ |
| Temperatura wewnątrz budynku                          | $20,0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4\text{ }^{\circ}\text{C}$     |
| Pomiary termowizyjne wykonano przy różnicy temperatur | 38,0 K.  |

Dla emisyjności badanej powierzchni przyjęto średnią wartość 0,92. Rozkłady temperatur na badanej powierzchni badano wizualnie a następnie istotne obrazy cieplne zostały zapisywane bezpośrednio z ekranu monitora oraz zarejestrowane dalszej analizie ilościowej ze wspomaganiami komputerowymi. Badania przeprowadzono zgodnie z normatywami. Podczas prowadzenia badań panowała bezwietrzna pogoda (prędkość wiatru poniżej 1 m/s).

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano obrazy przedstawiające wizualizację różnic temperatur na badanych powierzchniach przegród zewnętrznych. Badania zostały przeprowadzone od strony zewnętrznej. Energia promieniowania cieplnego emitowana z powierzchni ciała jest funkcją temperatury powierzchni tego ciała. Strumień ciepła przepływający przez przegrodę napotyka na określony opór cieplny warstwy termoizolacyjnej. Zmienne własności warstwy termoizolacyjnej w przegrodzie dają zróżnicowany rozkład temperatur na powierzchni przegrody, co w konsekwencji wpływa na zmienny charakter emisji promieniowania podczerwonego. Energia ta przekształcana jest w kamerze termowizyjnej na impulsy elektryczne, tworzące na ekranie monitora obraz termiczny badanej powierzchni, pozwalając wnioskować o jakości termoizolacyjnej przegrody. Analiza wyników badań polega na wyodrębnieniu miejsc o różnym stopniu jasności obrazu, co odpowiada zmiennej izolacyjności termicznej przegrody. Urządzenie termowizyjne umożliwia wizualizację pola temperaturowego na badanej powierzchni w postaci obrazu cieplnego – termogramu. Na podstawie termogramu można dokonać wstępnej oceny co do występowania na przegrodzie liniowych mostków cieplnych.

## **DOKUMENTACJA TERMOGRAFICZNA**

Wyniki badań przedstawiono na załączonych termogramach barwnych (ilościowych) Termogramy barwne przedstawiają rozkłady ilościowe temperatur w postaci barwnych izoterm, z których każda przedstawia pewien przedział temperatury, podany po prawej stronie wydruku w skali barw. Na termogramach podano wartości temperatury w kilku wybranych punktach, zaznaczonych na odpowiednich termogramach krzyżykiem i cyfrą. Na termogramach wyodrębniono obszary odpowiadające charakterystycznym rozkładom temperatur na przegrodach. Dla tak oznaczonych obszarów wyznaczono wartości ekstremalne, tj. minimalne i maksymalne wartości temperatur Dla ułatwienia identyfikacji obrazu termowizyjnego zestawione są z fotografią miejsca wykonania – jak na rys. nr 1.



Rys.1. Przykładowy termogram analizowanego budynku - fotografia i termogram -autorzy styczeń 2012.

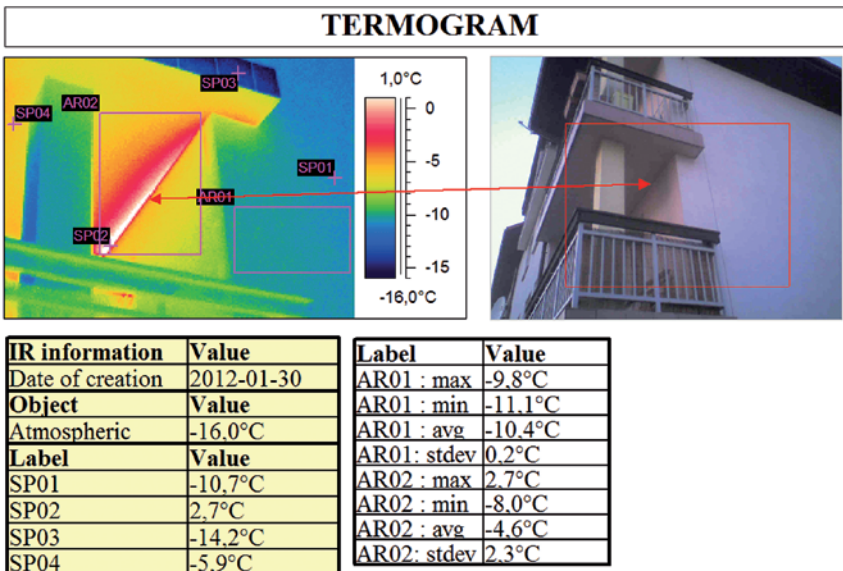
Zasada diagnozowania izolacyjności przegród budowlanych polega na:

- określeniu rzeczywistego rozkładu temperatury na badanej powierzchni przegrody,
- ustaleniu czy rozkład temperatury jest prawidłowy, czy też identyfikuje anomalie termiczne w postaci naroży płaskich i przestrzennych lub anomalie związane z konstrukcją przegród (np. w postaci łączników mechanicznych, złączy), zawilgoceniem wewnętrznych lub zewnętrznych fragmentów powierzchni przegród związanych z eksploatacją pomieszczeń,
- ocenie rodzaju i zakresu defektów termicznych,

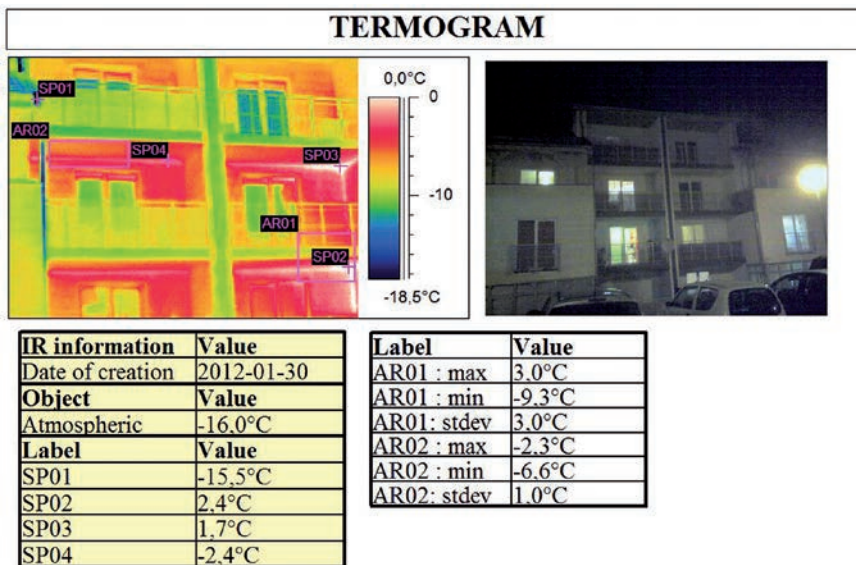
Prawidłowość badanych rozkładów temperatury na powierzchniach przegrody można określić na podstawie: porównaniu termogramu uzyskanego z badań z termogramem uznanym za wzorcowy, uzyskanym z badań dla identycznej przegrody w podobnych warunkach badawczych, porównaniu termogramu z przewidywanym rozkładem temperatury uzyskanym innymi metodami np. metodami obliczeniowymi.

Anomalie termiczne nie dające się wytłumaczyć na podstawie analizy geometrycznej, analizy konstrukcji lub innych czynników mogących wpłynąć na wynik pomiaru, należy traktować jako odchylenie od wymogów projektowych zgodnych ze sztuką budowlaną – defekty. Poniżej na rys.2, przedstawiono wybrane zidentyfikowane defekty w postaci liniowych mostków cieplnych na połączeniu płyty wspornikowej balkonu ze ścianą zewnętrzną.





Rys.2. Termogram płyty balkonu od dołu na elewacji NE - foto i termogram - autorzy styczeń 2012 r.



Rys.3. Termogram płyt balkonu od dołu na elewacji południowej - foto i termogram - autorzy styczeń 2012 r.

Wstępna analiza przegród zewnętrznych budynków przy użyciu kamery termowizyjnej wykazała:

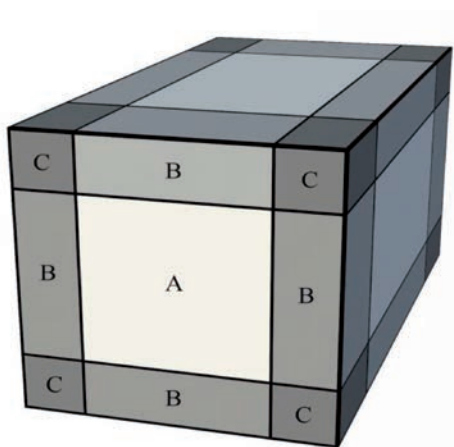
- jednorodne termicznie powierzchnie ścian zewnętrznych,
- liniowe mostki cieplne o znaczącym natężeniu wzdłuż połączenia płyty balkonowej ze ścianą zewnętrzną.

Natężenie liniowego mostka cieplnego wyrażone liniowym współczynnikiem przenikania ciepła  $\psi$ , należy wyznaczyć przy użyciu dwu lub trój wymiarowego modelu ściany zgodnie z PN EN **10211 : 2008**.

## ANALIZA

W normie PN-EN ISO 10211:2008 (Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe), przedstawiono algorytmy obliczeniowe uwzględniające mostki cieplne. Można wyróżnić trzy główne modele geometryczne związane z:

- jednowymiarowym strumieniem ciepła 1D (A),
- dwuwymiarowym strumieniem ciepła 2D (B),
- trójwymiarowym strumieniem ciepła 3D (C).



Rys. 4. Wydzielenie obszarów strumieni ciepła dla przykładowej bryły - rys autorzy.

Jednowymiarowe mostki termiczne, oznaczana często, jako 1D, są m.in. konsekwencją zróżnicowania materiałowego fragmentu przegrody budowlanej (różne współczynniki przewodzenia ciepła). Przykładem takiego mostka termicznego może być rdzeń żelbetowy w ścianie zewnętrznej jednowarstwowej. Dwuwymiarowy mostek termiczny 2D powstaje np. w miejscach, w których wewnętrzna i zewnętrzna powierzchnia przegród budowlanych jest zróżnicowana. Przykładem takiego mostka są naroża wklęsłe i wypukłe ścian zewnętrznych, płyty balkonów wspornikowych czy np. nadproża okienne. W wielu

przypadkach tego typu mostki termiczne nie są możliwe do wyeliminowania. Można jedynie minimalizować negatywne skutki ich występowania (Panek A, Steidl T.;2010).

Balkony są na ogół są liniowymi mostkami cieplnymi, gdyż w przypadku balkonów wspornikowych zakotwione są w ścianach zewnętrznych, związane z płytami stropowymi itp. Ze względu na swoje położenie balkony narażone są na większe oddziaływanie konwekcji i wiatru niż ściana pełna, co powoduje szybsze odprowadzanie ciepła ich powierzchni do otoczenia. Podobnie sprawa wygląda w przypadku loggii z tym że z uwagi na cofnięcie elementu płyty do wnętrza budynku wychładzanie powierzchni przez wiatr jest na ogół mniejsze. Mostek termiczny powstaje w miejscu styku płyty balkonowej ze ścianą zewnętrzną, zarówno od góry jak i od dołu płyty. Do obliczeń wartości liniowego mostka cieplnego wybrano program Therm 7.4. THERM<sup>®</sup> jest działającym w systemie operacyjnym Microsoft Windows programem komputerowym, opracowanym w Lavrence Berkeley National Laboratory, przeznaczonym dla: architektów, inżynierów budownictwa, nauczycieli akademickich, studentów wydziałów budownictwa i architektury, i innych osób zainteresowanych problemami wymiany ciepła. Przy użyciu programu THERM można modelować dwuwymiarowy przepływ ciepła w detalach budowlanych takich jak : okna, ściany, dachy fundamenty i inne. w których mostki termiczne stanowią istotny problem. Analizy dokonane przy użyciu THERM, umożliwiają prawidłowe obliczenie gęstości strumienia ciepła i pola temperatury w przekroju. Obliczenia dwuwymiarowego przepływu ciepła bazują na metodzie elementów skończonych (MES), co umożliwia modelowanie skomplikowanych geometrycznie przekrojów architektoniczno-budowlanych (Pawłowski K., 2007). Wykonanie obliczenia dla praktycznie dowolnego detalu z zachowaniem wymagań, co do jego geometrii jak w normie PN-EN ISO 10211:2008, pozwalają na obliczenie częściowych (krawędziowych) współczynników przenikania ciepła  $UX$  i  $UY$ , a w konsekwencji linowego współczynnika przenikania  $\psi$  [W/mK]. Ustalenie temperatury w dowolnym punkcie węzłów siatki elementu dwuwymiarowego w tym w dowolnym miejscu brzegu wewnętrznego. pozwala na obliczenie czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$ , co jest wymagane w projekcie budowlanym. Graficzny interfejs umożliwia wykreślenie przekrojów analizowanych elementów o znanych wymiarach lub import gotowych rysunków w postaci plików dxf., lub plików graficznych typu bmp.

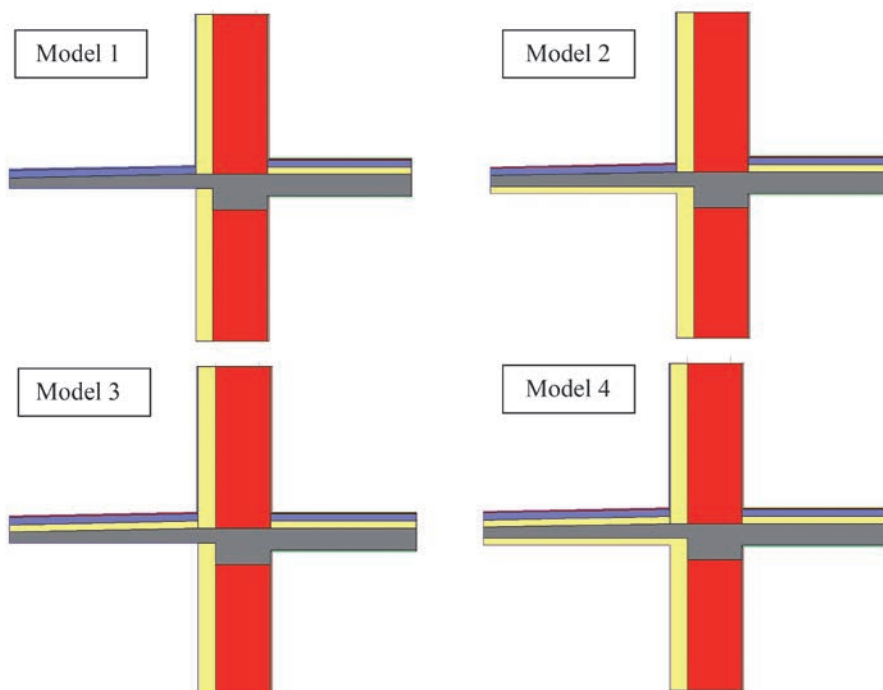
Wyniki obliczeń otrzymuje się w postaci:

- 1) graficznej w tym :
  - rozkładu izoterm w przekroju modelowanego elementu,
  - barwnego pola temperatury w przekroju,
  - barwnego pola gęstości strumienia ciepła.
- 2) tekstowej w tym :
  - współczynniki przenikania ciepła  $U$  W/(m<sup>2</sup>K),
  - wartość strumienia ciepła W/m,
  - wartość gęstości strumienia W/m<sup>2</sup>.

Uzyskane wyniki w postaci barwnych rysunków można łatwo przenieść do dowolnego programu graficznego lub edytora tekstów. Dodatkowo można wygenerować siatkę MES z numeracją węzłów.

Do obliczeń numerycznych wytypowano cztery modele geometryczne :

- 1) Model podstawowy - zgodnie z dokumentacją projektową budynku - płyta balkonu bez żadnego ocieplenia. Dla wszystkich modeli ta sama budowa przegrody zewnętrznej
- 2) Model z dociepleniem płyty żelbetowej od góry
- 3) Model z dociepleniem płyty żelbetowej od dołu
- 4) Model z dociepleniem płyty żelbetowej od góry i od dołu



Rys.5. Modele geometryczne przyjęte do obliczeń w programie THERM. rys autorzy.

Warunki brzegowe i początkowe.

Do przeprowadzenia obliczeń przyjęto następujące warunki początkowe i brzegowe:  
 $t_i = -20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $t_e = +20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;  $h_i = 25.0\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ;  $h_e = 7.7\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Wyniki obliczeń dla poszczególnych wariantów przedstawiono w formie graficznej na rysunkach nr 6,7.

Obliczony zgodnie z PN EN ISO 6946, współczynnik przenikania ciepła wynosi :

- dla ściany z ceramiki poryzowanej docieplonej styropianem EPS 040 -  $U = 0.280\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  - co spełniało wymagania dla przegrody zewnętrznej z okresu projektowania tj  $U < 0.300\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Wartość liniowego motka cieplnego obliczono w dwóch wariantach :

- $\psi_i$  dla wymiarowania przegrody całkowicie wewnętrznej,
- $\psi_e$  dla wymiarowania przegrody całkowicie zewnętrznej.

Wartość liniowego mostka cieplnego obliczamy zgodnie z normą PN EN 10211 : 2008, ze wzoru:

$$\psi = L^{2D} - \sum U \cdot l \quad (1)$$

gdzie :  $L^{2D}$  - współczynnik sprzężenia cieplnego dla modelu obliczony z użyciem programu Therm 7.4.;

$U$  [ $W/(m^2K)$ ]- współczynnik przenikania ciepła dla przegrody płaskiej obliczany zgodnie z PN EN ISO 6946 ;

$l$  [m]- wymiar liniowy przegrody dla której oblicza się współczynnik przenikania ciepła  $U$  w analizowanym modelu, nie mniej niż 1 mb.

Wyniki liczbowe przedstawiono w tabelach 1 i 2.

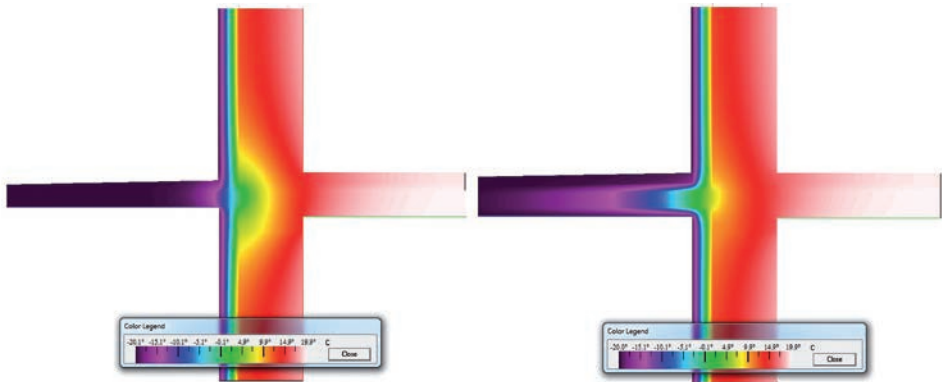
Tabela 1. Zestawienie wyników dla poszczególnych wariantów - program Therm

| Wariant | Wyniki otrzymane z obliczeń w programie THERM 7.4. |                             |                                     |                                     |
|---------|--|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|         | Strumień ciepła $q_i$ [W]                          | Strumień ciepła $q_e$ [w/m] | Wymiar liniowy zewnętrzny $l_i$ [m] | Wymiar liniowy wewnętrzny $l_e$ [m] |
| 1       | 22.6720  | 34.2550                     | 2.108                               | 2.000                               |
| 2       | 22.4670  | 32.0580                     | 2.059                               | 2.000                               |
| 3       | 22.0480  | 33.4960                     | 2.060                               | 2.000                               |
| 4       | 21.7980  | 27.9490                     | 2.010                               | 2.000                               |

Tabela 2. Zestawienie wyników dla poszczególnych wariantów - obliczenia własne

| Wariant | Wyniki otrzymane z obliczeń własnych. |                   |  |  |
|---------|---------------------------------------|-------------------|--|--|
|         | $L^{2D}_i$ [W/mK]                     | $L^{2D}_e$ [W/mK] | Liniowy mostek cieplny $\psi_i$ [W/mK] | Liniowy mostek cieplny $\psi_e$ [W/mK] |
| 1       | 0,5668                                | 0,8564            | -0,0234                                | 0,2964                                 |
| 2       | 0,5617                                | 0,8015            | -0,0148                                | 0,2415                                 |
| 3       | 0,5512                                | 0,8374            | -0,0256                                | 0,2774                                 |
| 4       | 0,5450                                | 0,6987            | -0,0179                                | 0,1387                                 |

Na rys. 6, pokazano w formie graficznej pola temperatur w przekroju przegrody dla dwóch skrajnych modeli tj modelu 1 i 4, aby można było porównać wpływ zastosowanego ocieplenia w odniesieni do modelu bez ocieplenia.



Rys.6. Pole temperatur w przekroju przegrody. Z lewej płyta nieocieplona, z prawej ocieplona od góry i od dołu - wygenerowano z programu Therm 7.4.

Straty ciepła generowane przez liniowe mostki cieplne można wyrazić poprzez podanie wartości całkowitego współczynnika przenoszenia ciepła przez przenikanie,  $H_{tr,adj}$ , wyrażoną w watach na Kelvin, obliczoną zgodnie z normą PN EN ISO 13789, stosując następujące równanie:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A \quad (2)$$

gdzie:

$H_D$  współczynnik przenoszenia ciepła przez bezpośrednie przenikanie ciepła do środowiska zewnętrznego, wyrażony w watach na Kelvin;

$H_g$  współczynnik stacjonarnego przenoszenia ciepła przez przenikanie do gruntu,

$H_U$  współczynnik przenoszenia ciepła przez przenikanie przez przestrzenie nieklimatyzowane, wyrażony w watach na Kelvin;

$H_A$  współczynnik przenoszenia ciepła przez przenikanie do przyległych budynków, wyrażony w watach na Kelvin.

Jeśli uwzględnimy tylko przenoszenie ciepła przez przegrodę w części pełnej i pomierny wpływ mostków punktowych, to można uprościć wzór (2) do obliczenia tylko wartości  $H_D$  (3)

$$H_D = b_{tr,x} [\sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \Psi_k + \sum_j \chi_j] \quad (3)$$

gdzie:

$A_i$  pole powierzchni elementu i obudowy budynku, w metrach kwadratowych;

$U_i$  współczynnik przenikania ciepła i obudowy budynku,

$lk$  długość liniowego mostka cieplnego  $k$ , wyrażona w metrach;

$\Psi_k$  liniowy współczynnik przenikania ciepła liniowego mostka;

$b_{tr,x}$  czynnikiem korekty temperatury, z wartością  $b_{tr,x} \neq 1$ , jeżeli temperatura z drugiej strony elementu przegrody nie jest równa temperaturze środowiska zewnętrznego, jak w przypadku ściany oddzielającej od przyległej przestrzeni klimatyzowanych lub nieklimatyzowanych, lub podłogi na gruncie.

Dla rozpatrywanego przypadku balkonu przyjęto następujące dane:

$A$  - pole powierzchni części budynku w której występują piony balkonowe, pomniejszone o pole powierzchni okien i drzwi balkonowych  $A = 37,8 \text{ m}^2$

$l_c$  - całkowita długość płyt balkonowych na rozpatrywanym fragmencie  $l_c = 45,0 \text{ m}$

$b_{tr,x} = 1.00$

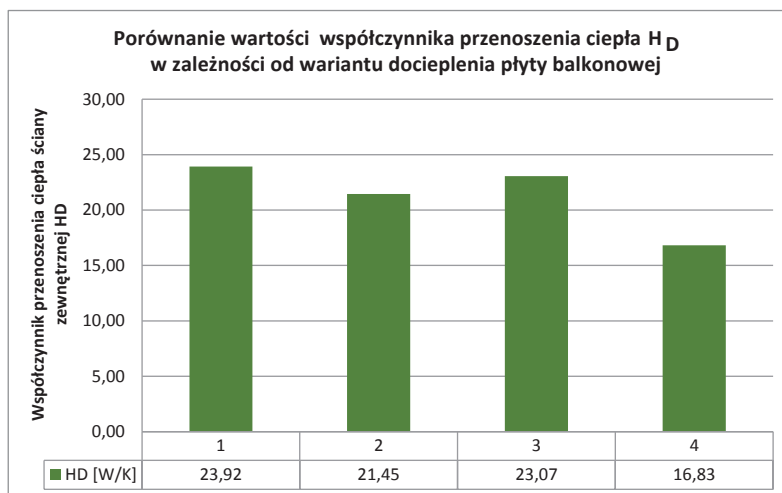
Dane powierzchni i długości płyt podano jak dla wymiarowania całkowicie wewnętrznego.

Wyniki obliczeń dla poszczególnych wariantów uwzględniających tylko wartości jak dla wymiarowania wewnętrznego podano w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości współczynnika przenoszenia ciepła dla wybranego fragmentu budynku, dla wariantów docieplenia płyty balkonowej.

| Wariant | Wyniki otrzymane z obliczeń własnych.  |              |           |             |
|---------|--|--------------|-----------|-------------|
|         | Liniowy mostek cieplny $\psi_e$ [W/mK] | $b_{tr}$ [ ] | $A_i U_i$ | $H_D$ [W/K] |
| 1       | 0,2964                                 | 1.00         | 10,584    | 23,922      |
| 2       | 0,2415                                 | 1.00         | 10,584    | 21,452      |
| 3       | 0,2774                                 | 1.00         | 10,584    | 23,067      |
| 4       | 0,1387                                 | 1.00         | 10,584    | 16,826      |

Graficznie wyniki przedstawiono na rys. 7



Rys.7. Wartości współczynnika przenoszenia ciepła dla wybranego fragmentu budynku, dla wariantów docieplenia płyty balkonowej.

## POSUMOWANIE I WNIOSKI

Analizowany prosty przypadek liniowego mostka cieplnego występującego praktycznie w każdym budynku wielorodzinnym pokazuje, iż obliczeniowe straty ciepła z budynku do środowiska, zależą w bardzo dużej mierze od sposobu wymiarowania elementu, a nie od stopnia jego zabezpieczenia izolacją termiczną. Stosując zewnętrzny system wymiarowania na potrzeby obliczeń strat ciepła, czy też szerzej na potrzeby obliczeń wskaźnika Energii Pierwotnej (EP), praktycznie przy dobrze izolowanej ścianie możemy pominąć obliczeniowy wpływ takich mostków. Rzeczywistość pokazywana okiem kamery termowizyjnej jest jednak nieco inna. Na elewacja budynków nawet dobrze ocieplonych, można przy użyciu kamery termowizyjnej, zauważyć występowanie liniowych mostków cieplnych. Brak prawidłowego zabezpieczenia elementów wspornikowych betonowych - płyt balkonów i logii poprzez zastosowanie dwustronnej izolacji cieplnej, wraz z wkładką zapewniającą ciągłość izolacji termicznej powoduje lokalne wychłodzenie elementu a czasami możliwość kondensacji wilgoci w miejscu występowania takich defektów.

## LITERATURA

1. Dylla A: Praktyczna fizyka ciepła budowli. Szkoła projektowania złączy budowlanych, Wydawnictwo Uczelniane UTP, Bydgoszcz 2009r.
2. Klemm P.i inni: Budownictwo ogólne: Fizyka budowli, Wydawnictwo ARKADY, 2005r.
3. Panek A, Steidl T. : O nieuwzględnianiu mostków cieplnych. Mat. Bud. 2010 nr 3, s. 46-48.
4. Pawłowski K.,: Wpływ liniowych mostków cieplnych na parametry fizyczne ścian zewnętrznych budynku, Izolacje 2008, 10, 30-32



- 
5. PN-EN ISO 10211:2008. Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
  6. PN-EN ISO 6946:2008. „Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania”.
  7. PN-EN ISO 13789 : 2008 Ciepłne właściwości użytkowe budynków - Współczynniki przenoszenia ciepła przez przenikanie i wentylację - Metoda obliczania.

# PROSUMENT ENERGETICS - THE CHANCE OF ACTIVATION OF RENEWABLE ENERGETICS IN POLAND

## ENERGETYKA PROSUMENCKA – CZY SZANSĄ AKTYWIZACJI ENERGETYKI ODNAWIALNEJ W POLSCE?

Robert Krzemień<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Świdnicy, Wydział Ekonomii i Zarządzania Marketingowego, ul. Saperów 27a, 58-105 Świdnica, e-mail: robert.andrzej.krzemien@wp.pl

### ABSTRAKT

Wobec prognozowanego wzrostu zapotrzebowania na energię i konieczności wyłączenia w najbliższych latach przestarzałych konwencjonalnych źródeł energii, należy poszukiwać możliwości uzupełnienia oczekiwanego deficytu. Jedną z opcji wydaje się być rozwijanie odnawialnych źródeł energii, w tym rozproszonych mikroźródeł, o charakterze niekomercyjnym. Wśród nich na szczególną uwagę zasługują źródła prosumenckie, mające zaopatrywać w energię elektryczną jej producentów, będących jednocześnie konsumentami. Aby jednak system energetyki prosumenckiej mógł się rozwijać, konieczne jest wsparcie regulacyjne i finansowe. W Polsce takiego wsparcia dotychczas nie ma, przez co kraj nasz jest „skazany” na utrzymywanie konwencjonalnej energetyki wielkoskalowej. Słowa kluczowe: energetyka konwencjonalna, energetyka odnawialna, mikroinstalacje, prosumpcja, sieci energetyczne.

### ABSTRACT

On the closest the growth of demand flies he be prognose on energy. Necessary the disconnection in the closest obsolete summers of conventional sources of energy is. It was one should so seek the possibility of supplement waited deficit. The unreeling the renewable sources of energy is one of possibility, in this not commercial distracted small generators. Particularly important generators are prosuments, they provide in electric energy her manufacturers, being simultaneously consumers. It to the system of prosuments energetics was can was unreel, necessary regulating support is and financial. There is no such support in Poland so far. Country our has to provide for conventional energetics.

Keywords: conventional energetics, renewable energetics, microinstallations, prosumption, energetic nets

## WPROWADZENIE

### WSTĘP

Energia – w różnej postaci – od początków istnienia ludzkości jest nam niezbędna do życia, a o tym, jak jest niezbędna, przekonujemy się zwykle dopiero wówczas, gdy jej dostawy są przerywane. Jakże często obwiniamy wówczas państwo lub biznes energetyczny o beczynność i brak działań dla zapewnienia pożądanego poziomu bezpieczeństwa energetycznego (Niedziółka, 2014). Wciąż większość obywateli przekonana jest, że właściwy poziom bezpieczeństwa energetycznego może zagwarantować nam tylko państwo. Chroniona przez polityków i wielki biznes, wielka energetyka nie inwestuje jednak w wystarczającym stopniu w nowe, niskoemisyjne technologie, nie wdraża nowoczesnych metod zarządzania popytem na energię i podażą energii, nie dokonuje niezbędnej modernizacji systemów wytwarzania i dystrybucji. Jest to w istocie zjawisko o charakterze globalnym.

Także w Polsce duża część instalacji wytwórczych i przesyłowych oraz dystrybucyjnych nie jest nowoczesna – to stare, mało efektywne bloki węglowe, obsługiwane przez napowietrzną, w dużej części zamortyzowaną już i nieefektywną sieć energetyczną (Popczyk, *Energetyka rozproszona...*, 2011). Współczesna polska energetyka to główne źródło degradacji środowiska przyrodniczego, gdyż wytwarza ogromne ilości ścieków, odpadów stałych, zanieczyszczeń gazowych i pyłowych. Jest ona także głównym krajowym źródłem antropogennej emisji gazów cieplarnianych (Popczyk, *Energetyka rozproszona...*, 2011), czego skutki ponosimy wszyscy, nie tylko w postaci nieodwracalnej utraty bogactwa przyrodniczego, ale także zdrowia i poczucia bezpieczeństwa, co spowodowane jest zwiększającą się ilością i nasileniem ekstremalnych zjawisk pogodowych, a nawet klimatycznych. Bez zmiany podejścia do sposobu produkcji energii nie będzie więc możliwa trwała i odczuwalna poprawa jakości życia (Skubała i in., 2014).

Termin „prosumpcja” jest połączeniem dwóch pojęć: produkcja i konsumpcja, a więc oznacza wzajemne przenikanie się produkcji i konsumpcji. Prosumpcja to zjawisko trwałego splatania się procesów konsumpcji i produkcji, aż do zatarcia granic pomiędzy nimi (Jung, 1997), w związku z czym producenci stają się jednocześnie konsumentami. Prosumpcja, jak twierdzi A. Toffler, jest charakterystyczna dla kolejnej, po rolniczej i przemysłowej, tzw. trzeciej fali rozwoju społeczeństw (Toffler, 1997). Tradycyjni producenci i konsumenci owej trzeciej fali stają się prosumentami. Konsumenci nawiązują współpracę z producentami, która umożliwia im aktywny udział w tworzeniu nowej, odmiennej niż dotychczasowa, oferty rynkowej (Tapscott, 2008). Do rozwoju prosumpcji przyczynia się przede wszystkim wzrost ilości czasu wolnego, rozwój edukacji, zmiana organizacji pracy i jej roli w życiu człowieka, ale czynnikiem rozwoju prosumpcji może być także spadek realnych dochodów gospodarstw domowych (Sikorska, 1998).

Energetyka prosumencka to temat pojawiający się w dyskusjach publicznych coraz częściej, bowiem ma ona stanowić swoiste antidotum na nadchodzące problemy, związane z prognozowanym deficytem energii elektrycznej, a wynikające z konieczności

wyłłączenia, już w nieodległej przyszłości, części przestarzałych bloków energetycznych (Dolecki). Czy rzeczywiście jednak mikrokogeneracja, czyli przydomowe elektrownie wiatrowe i fotowoltaiczne, ma realną szansę wypełnić energetyczną lukę? Czy jest to dobry kierunek rozwoju polskiego rynku elektroenergetycznego? Czy polityka państwa wobec mikrokogeneracji odnawialnych źródeł energii (OZE) i energetyki prosumenckiej przyniesie zamierzone skutki?

W energetyce prosumenckiej tkwi z pewnością ogromny potencjał gospodarczy naszego kraju, gdyż inwestowanie w małe źródła energii może wyzwolić kolejne, dodatkowe inwestycje, a także – co wydaje się najważniejsze – wzmocnić bezpieczeństwo energetyczne (Grzegorzczak, 2011), choć raczej nie w skali państwa, lecz lokalnej i indywidualnych odbiorców energii (*Energetyka prosumencka – co to oznacza...*).

W Polsce nie ma co prawda realnego ryzyka braku paliw czy energii, problemem jest natomiast fundamentalna przebudowa energetyki i całej struktury bilansu paliwowo-energetycznego oraz rynków końcowych paliw i energii. Cel ten można osiągnąć m.in., tworząc przepisy krajowe, respektujące istniejący unijny porządek prawny i antycypujące nowe unijne regulacje (Popczyk, *Energetyka rozproszona...*, 2011). Pożądanym kierunkiem tych przemian to konwergencja dwóch segmentów energetyki: wielkoskalowej energetyki konwencjonalnej oraz OZE, a zarazem konwergencja dwóch rynków: tradycyjnej, wielkoskalowej elektroenergetyki zawodowej i energetyki rozproszonej.

W Europie Zachodniej przecież to społeczności lokalne, samorządy, małe i średnie przedsiębiorstwa, kościoły oraz inne instytucje są właścicielami farm wiatrowych, średniej wielkości biogazowni, a także lokalnych sieci elektroenergetycznych. Dziś w Europie obywatel to już nie tylko świadomy użytkownik energii, ale często także jej wytwórca, który zaczyna odgrywać coraz istotniejszą rolę w polityce Unii Europejskiej (Derski). Zmiana spojrzenia – z perspektywy odrębnego wytwórcy i odrębnego użytkownika na perspektywę wytwórcy-użytkownika jest wyraźnie widoczna w projekcie Unii Energetycznej (*ClientEarth o energetyce prosumenckiej w Europie*). Nikt więc już w naszym kraju nie neguje pewnych oczywistych walorów tej formy energetyki; osiłą sporu pozostaje natomiast kwestia ewentualnego systemu wsparcia i przyjęcia taryf gwarantowanych dla najmniejszych rozproszonych źródeł energii.

## POJĘCIE ENERGETYKI PROSUMENCKIEJ

Rzeczą zasadniczą dla dalszych rozważań jest oczywiście definicja, tj. określenie, kim jest prosument i czym są prosumpcja oraz energetyka prosumencka.

Nie wszyscy zapewne znają określenie „energetyka prosumencka”, ale bez wątpienia każdy kojarzy instalacje solarne i elektrownie wiatrowe, z których niegdyś słyndęła jedynie Holandia, a których dziś coraz więcej pojawia się także w Polsce (*Energetyka prosumencka – co to jest?*). Niewielkie wiatraki oraz panele słoneczne to elementy tzw. prosumenckiego systemu energetycznego, w którym odbiorca energii (czyli gospodarstwo domowe) jest zarazem jej aktywnym wytwórcą (*Czy energetyka prosumencka w Polsce może dogonić Europę?*), a jeśli wygenerowane zostaną nadwyżki energii – to także jej sprzedawcą do

sieci (*Energetyka prosumencka – dobry uczynek...*). Dlatego też prosument powinien być zdefiniowany jako „osoba fizyczna, która może prowadzić działalność gospodarczą, a jej celem nie jest osiągnięcie przychodów z wytwarzania energii elektrycznej” (*Energetyka prosumencka: wiceminister proponuje...*).

System prosumpcji polega na tym, że w domu jest zainstalowany generator prądu o niewielkiej mocy – wystarczającej jednak do zaopatrzenia budynku w energię i ciepło; gospodarstwo domowe jest zarówno konsumentem, jak też i producentem – stąd nazwa „prosument” (*Energetyka prosumencka – co to jest?*). Gospodarstwa domowe, posiadające takie niewielkie źródła, mogą sprzedawać nadwyżki energii w legalny sposób, bez konieczności zakładania w tym celu wyodrębnionej działalności gospodarczej. Jest to rozwiązanie bardzo łatwo dostępne dla niemal wszystkich – bo wystarczy działka lub dach o powierzchni zaledwie kilkudziesięciu m kw. i można niemal bez ograniczeń korzystać z energii słonecznej (*Energetyka prosumencka – co to jest?*).

W przypadku gdy – z jakiegoś powodu – nie działają odbiorniki, energia wyprodukowana w domu jest przesyłana do sieci i zasila również okoliczne budynki. Działa to również w drugą stronę – tzn. jeśli gospodarstwo domowe potrzebuje większej ilości prądu, wówczas otrzymuje ją z sieci. Tego typu rozwiązanie, wbrew pozorom, nie wyklucza dalszego istnienia dużych elektrowni – są one nadal potrzebne do zasilania większych obiektów, zwłaszcza zakładów przemysłowych (*Energetyka prosumencka – co to jest?*).

Celem energetyki rozproszonej nie jest przynoszenie dochodu, lecz dywersyfikacja źródeł pozyskiwania energii elektrycznej i obniżenie kosztu jej wytwarzania. W krajach rozwiniętych zainteresowanie mikroinstalacjami OZE jest spowodowane przede wszystkim (*Energetyka prosumencka – co to jest?*):

- dużym uzależnieniem od energii elektrycznej, spowodowanym rosnącą liczbą urządzeń elektrycznych w gospodarstwach domowych,
- niepewnością odnośnie przyszłych cen prądu,
- wysokimi kosztami dystrybucji energii i nałożonymi podatkami, wpływającymi na cenę energii,
- zainteresowaniem nowymi technologiami,
- rosnącą świadomością społeczeństwa odnośnie ochrony środowiska.

Energetyka prosumencka to podejście zakładające szeroki udział obywateli i społeczności w produkcji energii w instalacjach odnawialnych źródeł. Zaangażowanie podmiotów nieprofesjonalnych w kwestie energetyczne niesie pewne korzyści społeczno-gospodarcze, pozytywnie wpływając na system energetyczny oraz zwiększając bezpieczeństwo energetyczne, zwłaszcza na poziomie lokalnym. W systemie prosumenckim prąd wytwarzany jest przez jego odbiorców, w miejscu lub w pobliżu miejsca jej odbioru, co pozwala uniknąć wielkich strat energii, które powstają w trakcie przesyłania jej na duże odległości, co ma olbrzymie korzyści zarówno dla gospodarki, jak i środowiska (*ClientEarth o energetyce prosumenckiej w Europie*).

## PERSPEKTYWY ROZWOJU ENERGETYKI PROSUMENCKIEJ

Podstawą polskiego systemu energetycznego są dziś wciąż duże, skoncentrowane moce produkcyjne, oparte przede wszystkim na węglu kamiennym i brunatnym. Każda nowa inwestycja energetyczna w tej skali wiąże się ze znacznym wysiłkiem organizacyjnym i ogromnymi nakładami finansowymi, długim czasem przygotowania i realizacji inwestycji, a także rozciągniętym na dziesiątki lat czasem zwrotu i spłaty projektów inwestycyjnych.

Jeszcze niedawno, na całym świecie, wydawało się, że taki sposób funkcjonowania sektora energetycznego jest pozbawiony jakiegokolwiek alternatywy, jednak nieustanny postęp technologiczny w obszarze odnawialnych źródeł energii spowodował, że przejmowanie przez niewielkie podmioty części wysiłku inwestycyjnego w sektorze energetycznym stało się w pełni możliwe (Bukowski i in., 2014).

Podstawową przesłanką, uzasadniającą wdrażanie energetyki prosumenckiej, jest polityka klimatyczno-energetyczna, przyjęta we wszystkich krajach Unii Europejskiej, w tym także w Polsce, która stanowi podstawę rozwoju sektora energetycznego i nakłada na państwa członkowskie szereg celów i konkretnych zadań dla jej realizacji (*Energetyka prosumencka a gospodarka w świetle...*). Energetyka prosumencka stanowi bowiem kluczowy filar gospodarki niskoemisyjnej, przede wszystkim dzięki wspieraniu efektywności energetycznej (Kłos, 2012).

O energetyce prosumenckiej w Polsce mówi się przede wszystkim przy okazji rozwoju energetyki odnawialnej, zwłaszcza iż odnawialne źródła energii, zgodnie z przyjętą przez rząd Polityką Energetyczną Polski do 2030 roku, mają docelowo stanowić 20% całości wytwarzanej w Polsce energii (*Energetyka prosumencka – co to oznacza...*). W skali globalnej szacuje się natomiast, że prosumenci będą generować nawet ok. 10% dostaw, natomiast w poszczególnych regionach udział ten może być jeszcze większy (*Co to jest energetyka prosumencka?*). Uczestnicy rynku sami zdecydują bowiem o tym, czy zechcą energię kupować z sieci, czy produkować ją na własny użytek (*Energetyka prosumencka – co to oznacza...*).

Dziś szacuje się, że rozwój mini- i mikroźródeł, o mocach z ciągu 100MW – 5MW – 50kW oraz pikoźródeł, o mocach poniżej 50 kW, co jest istotną częścią tzw. energetyki prosumenckiej, może nam dać co najmniej – a są to tylko wstępne oszacowania potencjału (*Energetyka prosumencka i smart grid...*):

- 1500 MW – pikowiatraków o mocy ~ 1-4 kW
- 1500 MW – pikoogniw fotowoltaicznych o mocy ~ 1-5 kW
- 1500 MW – pikoogniw paliwowych i silników stirlinga (gazowych i biogazowych) o mocy ~ 1-2 kW.

Razem dałyby więc co najmniej 4500 MW mocy, z czego 1/3 mocy stabilnej, czyli więcej niż jeden blok jądrowy. Stabilizując system energetyczny, można do tego dodać także gazowe pompy ciepła i pompy ciepła zasilane prądem ze źródeł odnawialnych, bo obecna technologia pozwala już na takie rozwiązania, które wkrótce będą nie tylko osiągalne technicznie, ale także efektywne ekonomicznie (*Energetyka prosumencka i smart grid...*).

Jednym z głównych kierunków rozwoju rynku energii elektrycznej na świecie, w Europie i w Polsce, może okazać się więc odejście od tzw. energetyki systemowej na rzecz lokalnej energetyki rozproszonej, w której głównym wyznacznikiem zmian byłyby zachowania aktywnych odbiorców energii – prosumentów, ze szczególnym uwzględnieniem inwestycji w małe mikroźródła OZE (*Co to jest energetyka prosumencka?*), zwłaszcza fotowoltaiczne.

W Polsce obserwowany jest już obecnie rozwój mikroinstalacji, z których najczęściej instalowane są elektrownie fotowoltaiczne na dachach oraz – nieco rzadziej – mikrowiatrakami. Mimo znaczącego zainteresowania tą formą energetyki przez jej rzeczywistych i potencjalnych wytwórców-użytkowników, uwarunkowania rynkowe i systemowe dla tych instalacji nie wydają się być korzystne. Istniejące bariery ekonomiczne, administracyjne oraz brak określonego, choćby kierunkowo, wsparcia sprawiają, że koszty instalacji odnawialnych źródeł są wysokie (Grzegorzczak, 2014). Do barier rozwoju energetyki prosumenckiej należy zaliczyć także brak dostatecznej informacji dla przedsiębiorstw i gospodarstw domowych (Bukowiecki i in., 2014).

Energetyka rozproszona obejmuje bardzo duży zakres technologii energetycznych małej skali, przeznaczonych do wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i paliw płynnych w sposób zdecentralizowany i do ich lokalnego wykorzystania (Dziamski i in., 2011). Odnawialne Źródła Energii, w tym prosumenckie, to z pewnością nie tylko fotowoltaika, choć wykorzystanie energii słońca ma w tym wypadku największy potencjał, ponieważ energia promieniowania słonecznego, która dociera do powierzchni Ziemi, przekracza energetyczne potrzeby świata aż 5 tysięcy razy. W samej Europie do 2015 r. zainstalowano systemy fotowoltaiczne o mocy nominalnej przewyższającej 13 GW, przy czym szacuje się, że udział fotowoltaiki w produkcji energii elektrycznej osiągnie w Unii Europejskiej poziom 12%. (*Czy energetyka prosumencka w Polsce może dogonić Europę?*).

Na świecie energetyka prosumencka zmieniła już obraz energetyki, ale szczególnie dobre przykłady rozwoju energetyki prosumenckiej mamy w Europie, w takich krajach jak Czechy, Niemcy, a zwłaszcza Wielka Brytania, gdzie energetyka prosumencka rozwija się w takim tempie, że do 2020 r. będzie wytwarzać w przydomowych źródłach energię o mocy 40 tys. MW, czyli więcej niż wynosi dziś cała polska moc wytwórcza (Dolecki). Niewątpliwym powodem, dla którego tak dobrze na Zachodzie rozwija się idea prosumenta, jest przede wszystkim świadomość oszczędności, jakie własna mikroinstalacja przynosi, i niemal całkowita niezależność (*Energetyka prosumencka – dobry uczynek...*).

Inwestycja we własną mikroinstalację OZE to sposób na zmniejszenie rachunków za prąd i na niezależność energetyczną; oczywiście ważne jest przy tym, by odpowiednio dopasować produkcję do wielkości i struktury własnego zużycia. W systemie konwencjonalnym, opartym na wielkoskalowych źródłach energii, w przybliżeniu 1 na 10 źródeł pracuje wyłącznie na likwidację strat sieciowych (*Co to jest energetyka prosumencka?*). Prosumenctwo z zasady eliminuje problem strat energii w sieci przesyłowej, bowiem energia jest produkowana w tym samym miejscu, w którym jest użytkowana.



Energetyka prosumencka, w której energię elektryczną wytwarzają sami jej odbiorcy, ma więc wiele plusów, zarówno w skali makro, jak i mikro (*Czy energetyka prosumencka w Polsce może dogonić Europę?*).

Energetyka prosumencka to nie tylko instalacje  $\mu$ OZE i  $\mu$ CHP, czyli domowe elektrociepłownie (*Co to jest energetyka prosumencka?*), ale także nowy kształt całego systemu energetycznego państwa. W energetyce prosumenckiej upatruje się bowiem szansę na nowy kształt systemu energetycznego, w którym odbiorca będzie nie tylko użytkownikiem, ale także aktywnym uczestnikiem-wytwórcą. Energetyka prosumencka stanowi więc filar gospodarki niskoemisyjnej, przede wszystkim dzięki wspieraniu efektywności energetycznej (*Energetyka prosumencka – co to oznacza...*).

Energetyka prosumencka jest być może przyszlōścią energetyki, odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie na energię, jej wyższe ceny i konieczność ochrony środowiska, zaś mikroinstalacje OZE to zapewne ekologiczny sposób na produkcję energii, którego rosnąca popularność pozwala zmniejszyć niską emisję (*Energetyka prosumencka – dobry uczynek...*).

Jednym z głównych kierunków rozwoju rynku energii elektrycznej na świecie, w Europie i w Polsce może okazać się więc odejście od tzw. energetyki systemowej na rzecz lokalnej energetyki rozproszonej, nazywanej nieraz obywatelską, w której głównym wyznacznikiem zmian stają się zachowania świadomych i aktywnych odbiorców energii – prosumentów, ze szczególnym uwzględnieniem inwestycji w mikroźródła OZE.

Energetyka prosumencka to także zupełnie nowe, demokratyczne podejście do produkcji energii. Jeszcze niedawno monopol na wytwarzanie prądu i jego dystrybucję miały wielkie koncerny, ale teraz niemal każdy z nas może zaspokajać swoje zapotrzebowanie na prąd, niezależniąc się od systemu, bo możliwości po temu wciąż istnieją. Około 40% Polaków mieszka na wsi lub w niewielkich miejscowościach, gdzie przerwy w dostawie prądu są niemal na porządku dziennym, a na wschodzie naszego kraju średnia długość przerw w dostawach energii elektrycznej przekracza aż 500 minut rocznie, gdy – dla porównania – w Niemczech ten wskaźnik wynosi nieco ponad 20 minut (*Energetyka prosumencka – dobry uczynek...*). Nasi zachodni sąsiedzi jednakże od lat z powodzeniem inwestują w odnawialne źródła energii, a prosumenckie mikroinstalacje OZE są u nich niezwykle popularne.

Dla rozwoju prosumpcji na rynku energetycznym konieczne jest realne, a nie tylko deklaratywne, uruchomienie ogólnopolskiego programu budowy energetyki prosumenckiej, który powinien obejmować 5 obszarów działań, tj.: legislację – odblokowanie możliwości, technologię – rozwój krajowego potencjału, logistykę – rozwój zaplecza instalacyjno-serwisowego, informację – rozwój zaplecza informacyjno-konsultacyjnego oraz finanse – uruchomienie mechanizmów wsparcia (*Energetyka prosumencka – co to oznacza...*).

Po części wydaje się, że wsparcie energetyki prosumenckiej jest realizowane, bo już dziś liczne spółki obrotu – sprzedawcy energii elektrycznej – wychodzą naprzeciw trendom prosumenckim, proponując odbiorcom końcowym wspólne inwestycje w małe, domowe źródła OZE, pomimo tego, że dzisiejszy system nie różnicuje wyraźnie wielkości



i charakteru źródeł (Co to jest energetyka prosumencka?). Proponowane niedawno zmiany do Ustawy o Odnawialnych Źródłach Energii zakładały nowe rozwiązania i mechanizmy oraz dodatkowe elementy wsparcia dla mikroinstalacji, ale zostały one poniechane (*Energetyka prosumencka – co to oznacza...*). Tymczasem eksperci szacowali, że dzięki zmianom w przepisach prawa energetycznego w Polsce mogło powstać około 250 tys. mikroinstalacji do 2020 r., a przecież najlepszą do tego zachętą wydaje się być fakt, iż w Niemczech, które są jednym z najbardziej rozwiniętych rynków, dzięki systemowi taryf FiT (*feed-in-tariffs*) funkcjonuje ponad 2 mln prosumentów (*Czy energetyka prosumencka w Polsce może dogonić Europę?*).

Jeszcze do niedawna największą nadzieją na to, by energetyka prosumencka rozwijała się w Polsce szybciej niż dotychczas, był program „Prosument” Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej, mający na celu promowanie nowych technologii OZE i postaw prosumenckich, a także rozwój rynku dostawców urządzeń i instalatorów oraz zwiększenie liczby miejsc pracy w tym sektorze. Dofinansowanie przedsięwzięć obejmowało bowiem zakup i montaż nowych instalacji i mikroinstalacji odnawialnych źródeł energii do produkcji energii elektrycznej lub ciepła i energii elektrycznej, a z programu mogły skorzystać osoby prywatne, spółdzielnie mieszkaniowe, wspólnoty mieszkaniowe oraz jednostki samorządu terytorialnego i ich związki. Całkowity budżet programu „Prosument” określono na 800 mln zł do 2022 r. (*Energetyka prosumencka – dobry uczynek...*). Dziś jednak trudno ocenić możliwości dalszej realizacji programów wsparcia, bo – choć powołane zostało ministerstwo energii – brak śladów strategicznej wizji rozwoju energetyki w naszym kraju (Chojnacki), ale trudno tego oczekiwać w wypadku braku jakiegokolwiek spójnej strategii rozwoju gospodarczego.

Doraźnie polski rząd zdaje się stawiać dziś na energetykę węglową i – być może – jądrową, a otwarcie zdaje się zwalczać energetykę prosumencką i odnosić mało przychylnie do całości unijnego pakietu klimatycznego do 2030 r. (Popczyk, 2014). Obecnie krajowe podmioty angażują się w budowę bloków węglowych, które kupujemy u zagranicznych dostawców, takich jak Alstom, Hitachi, Westinghouse, GE, do których następnie będziemy przez ponad 50 lat importować węgiel, który – po rewolucji łupkowej w USA – jest tańszy niż kiedykolwiek, ale przez spalanie tego węgla zaczniemy płacić za uprawnienia do emisji CO<sub>2</sub> (Popczyk, 2014), co choćby częściowo podważa opłacalność i racjonalność takich inwestycji.

## **TECHNICZNE WARUNKI WDRAŻANIA I ROZWOJU ENERGETYKI PROSUMENCKIEJ**

Najważniejsze czynniki, stymulujące rozwój rozproszonej generacji prosumenckiej w ostatnich latach, to (Dziamski i in., 2011):

- rozwój nowoczesnych technologii wytwarzania energii i pojawienie się wysoko-sprawnych źródeł energii, o niskich kosztach inwestycyjnych i eksploatacyjnych oraz krótkich cyklach budowy, zwłaszcza odnawialnych źródeł energii, stanowiących podstawę współcześnie rozwijanej generacji rozproszonej;

- demonopolizacja i prywatyzacja sektora energetycznego, umożliwiającą budowę źródeł w pobliżu odbiorców końcowych, a wykorzystujących lokalne zasoby energii;
- konieczność poprawy bezpieczeństwa energetycznego poprzez zwiększenie pewności zasilania, zmniejszenie poziomu strat sieciowych i obciążenia szczytowego, przy jednoczesnym ograniczeniu nakładów na rozbudowę i modernizację sieci przesyłowych;
- dążenie do zmniejszenia uzależnienia od zewnętrznych nośników energii, zwłaszcza ropy i gazu;
- sprzyjająca rozwojowi generacji rozproszonej polityka energetyczna i ochrony środowiska oraz różne formy wsparcia generacji rozproszonej, zwłaszcza z OZE.

Osobną całkowicie sprawą dla kwestii energetyki prosumenckiej jest zapewnienie stabilności i niezawodności dostaw energii elektrycznej w nowej rzeczywistości systemowej (Zaleski i in. 2012). W wielu obszarach kraju sieci dystrybucyjne wymagają bowiem pilnych inwestycji już teraz, a dostosowanie ich do wymagań i standardów przyłączeniowych źródeł rozproszonych pociągnęłoby za sobą konieczność dalszych, jakże kosztownych inwestycji (Ciepiela).

Tak zwana poprawka prosumencka miała mieć przełożenie także właśnie na funkcjonowanie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. W przypadku stosunkowo równomiernego rozkładu generacji instalacji prosumenckich w skali kraju i ograniczenia łącznej mocy tych instalacji (800 MW w segmencie do 10 kW), nie powinno dochodzić do negatywnych skutków dla Operatorów Sieci Dystrybucyjnych. Problemem mogło być natomiast prognozowanie generacji z tych źródeł, a bez tego trudno prowadzić skuteczne bilansowanie techniczne i handlowe w systemie elektroenergetycznym. W skali całego kraju instalacja kilkuset megawatów mocy w instalacjach prosumenckich miałyby już istotne znaczenie dla bilansowania systemu (*Poprawka prosumencka ustawy o OZE – perspektywa operatorska*).

Obecnie dostępnych jest wiele technologii, które pozwalają na generowanie prądu w gospodarstwie domowym. Zwyczajowo przyjęło się, że pojęcie mikrogeneracja prosumencka używane jest w stosunku do technologii niskoemisyjnych, a najbardziej praktycznym wydaje się być podział w zależności od rodzaju technologii – w ramach którego wyróżnia się technologie (Bukowski i in., 2014):

- niskowęglowe – bojlerzy na biomasę, pompy ciepła,
- oparte na odnawialnych źródłach energii – panele PV (fotowoltaiczne), kolektory słoneczne, a także mikroturebiny wiatrowe oraz
- kogeneracyjne wytwarzające energię elektryczną skojarzoną z ciepłem.

Jednostki prosumenckiej generacji rozproszonej różnią się głównie mocą oraz zastosowaną technologią, a biorąc pod uwagę skalę źródła, możemy wyróżnić (Paska, 2010):

- mikrogenerację rozproszoną, poniżej 5 kW;
- małą generację rozproszoną, 5 kW-5 MW;
- średnią generację rozproszoną, 5 MW-50 MW;
- dużą generację rozproszoną, 50 MW-150 MW.

Rozwój instalacji prosumenckich będzie wymuszał zmiany w systemie zarządzania sieciami elektroenergetycznymi (Ciepiela). Tego typu technologie dynamicznie się rozwijają (Grzegorzczak, 2014), a przedsiębiorstwa sieciowe w coraz większym stopniu korzystają z urządzeń pozwalających sterować pracą sieci; z pewnością coraz szybszy będzie rozwój elementów inteligentnych sieci (Grzybowska).

Model prosumenta w energetyce powiązany jest integralnie z rozwojem idei inteligentnych sieci i inteligentnego opomiarowania, a rozwiązania tego typu mają umożliwić prosumentom dokonywanie prawidłowych rozliczeń wytwarzanej, zużywanej, kupowanej i sprzedawanej energii elektrycznej (*Energetyka prosumencka – co to oznacza...*). Z punktu widzenia spółek obrotu jedną z ważnych przesłanek wdrożenia inteligentnego opomiarowania jest zaś odejście od rozliczeń zużycia w oparciu o prognozy, na rzecz rozliczeń na podstawie zdalnych, rzeczywistych odczytów, a w ślad za tym – w dalszej kolejności – stworzenie możliwości przedstawiania odbiorcom nowych ofert, wykorzystujących te odczyty, co może powodować istotne różnicowanie cen w czasie doby, tygodnia i roku (*Co to jest energetyka prosumencka?*).

## **ZMIANY ZASAD WSPARCIA ENERGETYKI PROSUMENCKIEJ**

Wprowadzenie systemu energetyki prosumenckiej w Polsce wymaga oczywiście stosownych zmian w prawie energetycznym. Niestety bariery prawne rozwoju tej formy energetyki są wciąż olbrzymie, bo wykorzystanie mikrokogeneracji przez długi czas podlegało prawnie w zasadzie tym samym uregulowaniom, którym podlega cała krajowa energetyka (*Energetyka prosumencka – co to oznacza...*); rynek energii wytwarzanej ze źródeł odnawialnych regulowany był w całości ustawą Prawo energetyczne. W takich warunkach energetyka prosumencka nie miała szansy prawidłowo, w pełni się rozwinąć.

Z punktu widzenia producentów i odbiorców energii ważne jest określenie zasad i metod bilansowania energii pobieranej i przekazywanej do sieci przez prosumenta w pewnym okresie. Stosunkowo najprostszym rozwiązaniem, pozwalającym na osiągnięcie względnej opłacalności wytwarzania energii przez prosumentów wprowadzających energię elektryczną do sieci, byłaby oczywiście możliwość uzyskania prawa do opustu-rabatu na energię, którą w zamian z sieci odbiorą. Kluczowe są jednakże szczegółowe zasady owego wsparcia, które powinny zostać zapisane w przepisach ustawowych.

Pierwsze koncepcje ustawy o OZE zostały zaprezentowane przez utworzony w styczniu 2011 r. w Ministerstwie Gospodarki – Departament Energii Odnawialnej. Koncepcja wdrożenia dyrektyw 2009/28/WE o promocji energii z odnawialnych źródeł energii, w formie dedykowanego aktu prawnego, czyli ustawy o OZE, została zatwierdzona w „Krajowym planie działań na rzecz odnawialnych źródeł energii”, potwierdzonym jeszcze uchwałą rady Ministrów z 5 grudnia 2010 r. W procesie legislacyjnym zrezygnowano z formalnego etapu przygotowania i publicznej konsultacji założeń do ustawy o OZE. Jeszcze więc w pierwszym półroczu 2011 r. Departament Energii Odnawialnej Ministerstwa Gospodarki opracowywał koncepcję ustawy o OZE.

22 grudnia 2011 r. Ministerstwo Gospodarki zaprezentowało pakiet trzech ustaw z sektora energetyki; w tym tzw. trójpaku znalazło się zmienione Prawo energetyczne oraz dwie nowe ustawy: Prawo gazowe i Ustawa o odnawialnych źródłach energii. Projekt nowych regulacji, dotyczących OZE, co do zasady, utrzymywał dotychczasowy system wsparcia OZE, polegający na obowiązku uzyskania i przedstawienia do umorzenia tzw. zielonych certyfikatów, jednak w istotnym stopniu ten system modyfikował, zakładając m.in. zróżnicowanie wartości certyfikatów, zależnie od rodzaju i wielkości źródła energii oraz czasu jego oddania do użytku. Dla mikroinstalacji i małych instalacji OZE zaproponowano specjalny sposób rozliczeń energii sprzedawanej i zużywanej na własne potrzeby, jednakże nie zapewniający opłacalności inwestowania w mikroinstalacje w grupach taryfowych G11 (<40 kW), C11 oraz, w mniejszym zakresie, C21 (o mocach do 250 kW).

Po korektach i poprawkach, w październiku 2012 r. trafił do Sejmu tzw. „mały trójpak energetyczny”, czyli projekt nowelizacji Prawa energetycznego; jego przepisy miały w przyspieszonym tempie wprowadzić do polskiego prawa najważniejsze regulacje pakietu trzech ustaw energetycznych, przygotowywanych uprzednio przez rząd – było to efektem presji, jaką na rząd wywarło wszczęcie postępowania Komisji Europejskiej przeciwko Polsce za niewdrożenie dyrektywy 2009/28/WE. Nowy projekt regulacji wprowadzał uproszczenia administracyjne i korzystniejsze rozwiązania dla mikroinstalacji, w postaci możliwości odsprzedaży nadwyżek energii po cenie wynoszącej 80% średniej ceny energii z poprzedniego roku. Przepisy te wciąż jednak nie zapewniały odpowiedniego wsparcia dla małych instalacji OZE.

W międzyczasie zaprezentowana została tzw. Mapa drogowa, czyli „Krajowy plan rozwoju mikroinstalacji odnawialnych źródeł energii do roku 2020”, opracowana przez Instytut Energetyki Odnawialnej. Według tego raportu rynek mikroinstalacji w obecnym czasie wart był już 4,5 mld zł, a w 2020 r. – przy odpowiedniej polityce – jego wartość mogłaby wzrosnąć nawet sześciokrotnie, tj. aż do 26,5 mld zł. IEO wskazuje jednak bardzo wyraźnie, iż korzyści wynikające z „Mapy drogowej”, zwłaszcza po stronie produkcji urządzeń, rozwoju zielonej gospodarki i tworzenia zrębów energetyki obywatelskiej, mogą być zrealizowane tylko wtedy, gdy elementem wsparcia OZE będzie system taryf gwarantowanych (a taką możliwość dawał właśnie „Krajowy plan działań w zakresie energii z odnawialnych źródeł energii”).

W 2014 r. poprawiona ustawa o OZE trafiła do sejmu, a następnie do Komisji Europejskiej; w efekcie w 2015 r. Sejm RP uchwalił ustawę o Odnawialnych Źródłach Energii, która wprowadziła w miarę spójne regulacje dotyczące przydomowych mikroinstalacji. Ustawa o OZE stanowiła więc przynajmniej częściową odpowiedź na bieżące problemy polskiego sektora energetycznego, stanowiąc również istotny krok w kierunku realizacji przyjętych przez nasz kraj zobowiązań unijnych (*Energetyka prosumencka a gospodarka...*).

Wraz z uchwaleniem nowej ustawy o OZE osią sporu stała się tzw. poprawka prosumencka, czyli przepis przewidujący specjalne taryfy gwarantowane, po których właściciele najmniejszych instalacji OZE, o mocach do 10 kW (*Czy energetyka prosumencka w Polsce może dogonić Europę?*), mogliby sprzedawać nadwyżki wyprodukowanej energii, których

nie zużyją w swoim domu czy gospodarstwie rolnym (Derski). Wprowadzone dzięki poprawce zmiany zapisów ustawowych miały od początku 2016 r. umożliwić obywatelom i małym przedsiębiorstwom bezpieczne inwestowanie w mikroinstalacje odnawialnych źródeł energii o mocy do 10 kW (*Droga cierniowa do energetyki obywatelskiej*).

Zgodnie z nowymi zapisami właściciele mikroinstalacji mieli rozliczać się z przedsiębiorstwami energetycznymi na zasadzie „*net-metering*”, czyli rozliczenia netto, zgodnie z którą prosumenci mogłby oddawać do sieci energetycznej nadwyżki energii, a następnie pobierać ją, gdy jest mu potrzebna. Z lokalnym sprzedawcą energii rozliczałby się jedynie za saldo tej wymiany – dopłacając lub otrzymując wynagrodzenie (*Energetyka prosumencka – dobry uczynek...*).

Zaproponowana w poprawce cena gwarantowana dla zakupu energii z mikroinstalacji na poziomie 210% uznawana była za racjonalny kompromis pomiędzy oczekiwaniami prosumentów a możliwościami odbiorców energii i interesem społeczno-gospodarczym Polski (*Poprawka prosumencka ustawy o OZE – perspektywa operatorska*). Poprawka prosumencka zdecydowanie skróciłaby jednak czas amortyzacji inwestycji w mikroinstalacje, z około 10-14 lat do 8 lat, choć kosztem odbiorców energii (*Poprawka prosumencka zachęci do oszustw?...*). Mechanizm taryf gwarantowanych miał więc zapewniać „sprawiedliwą” zapłatę za energię oddaną do sieci, tak by inwestycje w mikroinstalacje OZE nie przynosiły strat finansowych dla gospodarstw domowych, a przy tym wspierały poprawę bezpieczeństwa energetycznego regionów i stabilizację dostaw energii na obszarach wiejskich (*Energetyka prosumencka: propozycja ME dla bogatych hobbystów*).

Oczywiście rozwiązanie to nie byłoby neutralne ekonomicznie, bo zapisy proponowanych zmian ustawy o odnawialnych źródłach energii, dotyczące energetyki prosumenckiej, miały wpłynąć znacząco na wysokość opłat za energię dla wszystkich odbiorców (*Poprawka prosumencka ustawy o OZE – perspektywa operatorska*) oraz wymusić wzrost inwestycji infrastrukturalnych w systemie elektroenergetycznym Polski (*Poprawka prosumencka ustawy o OZE – perspektywa operatorska*). Propozycja ta pozwalałaby jednakże na bardziej zrównoważony rozwój mikroinstalacji (Siemieniako), co z kolei umożliwiłoby Operatorom Sieci Dystrybucyjnych perspektywiczne planowanie rozwoju sieci, pozwalające na bardziej systematyczne i etapowe przyłączanie nowych mikroźródeł.

Z drugiej strony poprawka niosła także poważne zagrożenia, bo z powodu stosunkowo wysokich taryf gwarantowanych instalacje mogłyby służyć celom zarobkowym – czyli produkcji energii na sprzedaż, a nie na własne potrzeby, co oczywiście całkowicie wypaczyłoby ideę prosumpcji (*Energetyka prosumencka: wiceminister proponuje zasady*).

Preferencyjne taryfy miałyby otrzymać jednakże wg planu do roku 2020 tylko ok. 200-300 tys. pierwszych prosumentów, których instalacje produkowałyby ok. 1,3 TWh energii elektrycznej, czyli zaledwie ok. 1% energii zużywanej w kraju (*Poprawka prosumencka. Dotykamy bardzo czułego punktu*), co pozwoliłoby „rozruszać” segment najmniejszych instalacji OZE, a w efekcie docelowo obniżyć ich ceny i koszty instalacji w Polsce (Derski). Dzięki temu jednak kolejnym prosumentom miałyby się opłacać inwestowanie w takie urządzenia, nawet bez tej specjalnej taryfy (Derski).

Poprawka ta miała więc, dzięki taryfom gwarantowanym, umożliwić obywatelom bezpieczne inwestowanie w mikroinstalacje odnawialnych źródeł energii o mocy do 10 kW (Szekalska). Przyszłe zmiany polityczne, do których doszło w 2015 r., spowodowały, że tak się nie stało, choć jeszcze w 2015 r. politycy dzisiejszej „dobrej zmiany” zdawali się jednoznacznie popierać (*Nowy rząd PiS...*), jeśli nie całość energetyki odnawialnej, to na pewno tę najmniej ingerującą w środowisko i dostępną dla znacznej części Polaków (*Obecne przepisy to kpina...*). Miałyby tworzyć ją nie tylko niewielkie instalacje wiatrowe i solarne, ale też energetyka oparta o odpady rolnicze, czyli biogazownie, traktowane nie tylko jako źródło produkcji prądu, lecz również sposób na utylizację pozostałości z produkcji rolniczej. Uzupełniałyby je energetyka wodna, wcześniej traktowana wręcz po macoszemu.

Prace nad tak bardzo wyczekiwaną nowelizacją ustawy o odnawialnych źródłach energii wciąż nie są sfinalizowane (*Przygotowany przez PiS projekt...*), bo radykalnie odmienną od wcześniejszej koncepcję przedstawiło nowo powstałe pod koniec 2015 r. Ministerstwo Energii, które – w dokonanej w grudniu 2015 r. nowelizacji ustawy o odnawialnych źródłach energii – zamierza wyraźnie rozgranaczyć wsparcie dla tych podmiotów, które zamierzają produkować energię w mikroinstalacjach OZE dla siebie, i tych, którzy chcą na niej zarabiać. Osoby fizyczne, decydujące się zostać prosumentami, mogą więc liczyć na tylko częściową rekompensatę poniesionych nakładów inwestycyjnych na instalację OZE (*Energetyka prosumencka: wiceminister proponuje zasady*).

Według proponowanych zmian polskiego systemu regulacji energetyki odnawialnej prosument, który zechciałby sprzedać energię elektryczną do sieci, musiałby najpierw podpisać umowę na dostawę energii ze sprzedawcą skłonny ją kupić – bądź z dotychczasowym sprzedawcą energii elektrycznej, bądź z innym podmiotem, który miałby na danym obszarze największą liczbę odbiorców (*Energetyka prosumencka: wiceminister proponuje zasady*).

Nowy model zakłada też zasadę, iż nie można odebrać z sieci więcej, niż się odprowadziło, a okres do ewentualnego zbilansowania powinien sięgać roku. Prosument mógłby za każdą kilowatogodzinę energii, wyprodukowanej w mikroinstalacji i oddanej do sieci, odebrać z tejże jedynie 0,7 kWh, a rozliczenie odbywałoby się w cyklu rocznym. Rabat w wysokości 0,7 kWh za każdą wprowadzoną kWh miałby dotyczyć dwóch części zmienionych na rachunku za energię: kosztu energii elektrycznej i kosztu jej dystrybucji (*Energetyka prosumencka: propozycja ME dla bogatych hobbystów*).

Nowelizacja zakłada także tzw. aukcyjny system świadectw pochodzenia energii, dzięki czemu wybór najlepszej oferty energetycznej miałby być tańszy dla budżetu państwa o ponad 7 mld zł, a do 2020 r. w budżecie pozostałoby w sumie 20 mld zł. (*Przygotowany przez PiS projekt...*). System aukcyjny polega na tym, iż rząd zamawia określoną ilość energii odnawialnej, a jej wytwórcy przystępują do aukcji, którą wygrywa ten, kto zaoferuje najkorzystniejsze warunki sprzedaży. Projekt nowelizacji przewiduje też, że na największe wsparcie w systemie aukcji energii z OZE mogą liczyć przede wszystkim te technologie, które wytwarzają energię w sposób stabilny i przewidywalny; oznacza to, że mniejszym wsparciem objęto by produkcję energii z wiatru i słońca.



W czerwcu 2016 r., na wniosek Ministra Energetyki, Sejm RP zastąpił system wsparcia dla biedniejszych prosumentów systemem opustów dostępnym jedynie dla bogatszych „hobbystów”; prawdziwi prosumenci stracili w efekcie zmiany prawa i tracić będą na prosumenckich inwestycjach w nowej rzeczywistości prawnej (Wiśniewski).

Podniesiono jednocześnie ceny energii, a zastąpienie taniego i dopiero zatwierdzonego (notyfikowanego) przez KE systemu zielonych certyfikatów droгим systemem aukcyjnym i drastyczne podniesienie tzw. opłaty przejściowej na rzecz elektrowni węglowych oraz zapowiedzenie wprowadzenia kolejnej tzw. opłaty mocowej już w 2017 roku stawia prosumentów na z góry przegranej pozycji.

Zaproponowane zmiany ustawy o OZE mają charakter wyraźnie antyprosumencki, bowiem wprost stawiają sobie za cel organicznie rozwoju energetyki prosumenckiej (*Ograniczenie wsparcia dla prosumentów*). Znowelizowane zapisy ustawy o OZE nie przewidują także wprowadzenia mikroinstalacji CHP, inteligentnych systemów i inteligentnych sieci, a bez nich energetyki prosumenckiej po prostu nie będzie (*Energetyka prosumencka i smart grid...*).

Nowela ustawy o OZE, zaproponowana przez PiS, to jednocześnie bardzo zły sygnał dla energetyki obywatelskiej. Wydaje się być o tyle przełomowa, iż idzie w kierunku przeciwnym trendom europejskim. Obecna władza wyraźnie stawia na konwencjonalną energetykę węglową, czyli najlepiej rozwiniętą gałąź energetyki w naszym kraju; niewątpliwie, zgodnie z przewidywaniami np. Międzynarodowej Agencji Energii, jeszcze przez kilka dekad węgiel pozostanie ważnym źródłem energii na całym świecie, ale kwestią sporną jest, co się stanie potem? (*Przygotowany przez PiS projekt...*). Różnice w poziomie rozwoju nie tylko OZE, jako całości, ale zwłaszcza w poziomie rozwoju energetyki obywatelskiej, czyli prosumenckiej, między Polską a krajami Zachodniej Europy wciąż rosną, a kiedyś będziemy zmuszeni do nadrobienia tych zaległości. W wielu krajach Europy, nie tylko w Niemczech, ale też w Austrii, Francji, Wielkiej Brytanii, Portugalii, Danii, nawet Rumunii, istnieje system taryf gwarantowanych, a niektóre państwa dzięki taryfom rozwinęły swoje lokalne rynki energii, odchodząc od instrumentów wsparcia „zielonej” energii i przechodząc na kolejne, bardziej rynkowe, etapy rewolucji energetycznej (Gurgul).

Dziś wydaje się więc, że energetyka prosumencka w Polsce nie należy do priorytetów podmiotów odpowiedzialnych za kształtowanie polityki energetycznej, choć w Europie ten sektor uzyskuje przecież poważne wsparcie organizacyjno-prawne i finansowe (*Co to jest energetyka prosumencka?*).

O jakie wobec tego zmiany w polityce energetycznej, a w szczególności w ustawie o OZE, należałoby się pokusić? Zwłaszcza o te oczywiste, najprostsze, niwelujące ewidentne niespójności w polityce rządu, korygujące ewidentne błędy (Wiśniewski), czyli:

1. umożliwienie funkcjonowania obecnym inwestorom w systemie zielonych certyfikatów,
2. przywrócenie systemu taryf gwarantowanych dla najmniejszych, prosumenckich, domowych i przydomowych mikroinstalacji.

Być może, wraz z nieuniknionym wzrostem cen energii elektrycznej, wynikającym z konieczności ratowania sektora górniczego przez korporacje energetyczne, na popularności będzie znów zyskiwać prosumencka energetyka rozproszona (Ancygier, Szulecki).

## PODSUMOWANIE

Rynek energii elektrycznej, zarówno w świecie, jak i w Polsce, coraz bardziej rozwija się w kierunku lokalnej energetyki rozproszonej; świadczą o tym zachowania aktywnych odbiorców energii – prosumentów, inwestujących w mikroźródła OZE. W XXI wieku coraz wyraźniej widzimy konieczność, ale także i opłacalność, korzystania z odnawialnych źródeł energii, zaś nowe rozwiązania, choćby takie jak prosumencki system energetyczny, pozwalają na znaczne zmniejszenie kosztów pozyskiwania prądu i ciepła, które zwykle w przeciętnym gospodarstwie stanowią największy wydatek, a często – gdy są nadmierne w odniesieniu do dochodów – wiodą do sytuacji ubóstwa energetycznego.

Każdy model i system energetyki należy rozpatrywać jednak w nieco szerszym kontekście, rozważając jego ekonomiczną opłacalność – zarówno wprost, jak i w rachunku ciągnionym. Koniecznym jest więc przede wszystkim wdrożenie trwałego rozwiązania, odnoszącego się do wsparcia energetyki prosumenckiej. Wsparcie dla energetyki prosumenckiej to rozwiązanie, które może nie tylko wspierać samych producentów-konsumentów energii, ale także napędzić rozwój polskiego rynku energetyki obywatelskiej, to przecież także budowanie kapitału społecznego, potencjalny rozkwit całego sektora badań i rozwoju, to nowe technologie, nowe miejsca pracy, a w perspektywie setki milionów złotych, wygenerowane przez polską gospodarkę.

Model prosumenckiej energetyki na świecie i w Europie będzie się, bez wątpienia, coraz dynamiczniej rozwijał. W Polsce energetyka prosumencka dopiero rozpoczyna swój rozwój, co ma związek z niedawno wprowadzonymi regulacjami prawnymi, ale dziś, mimo licznych obwarowań i restrykcji, powstały także liczące się ułatwienia, bo osoba prywatna produkująca prąd nie musi już prowadzić działalności gospodarczej i starać się o koncesję. Model prosumencki, w krótkim i średnim terminie, na pewno nie zastąpi obecnego modelu energetyki, aczkolwiek stanie się jej istotnym dopełnieniem, a z czasem realną alternatywą. W wielu grupach energetycznych coraz częściej zadawane jest więc pytanie, czy elektrownie konwencjonalne staną się w przyszłości podstawą systemu elektroenergetycznego, czy też będą raczej pełniły funkcję ubezpieczającą źródła rozproszone. Ten drugi scenariusz na pewno nie zostanie zrealizowany w krótkiej i średniej perspektywie czasowej, ale w dłuższej będzie zapewne możliwy.

## LITERATURA

1. Ancygier A., Szulecki K., *Polska polityka energetyczna i klimatyczna pod rządami PiS*, <https://www.pol-int.org/pl/salon/polska-polityka-energetyczna-i-klimatyczna-pod-rzadami-pis-plde>



2. Bukowski M., Pankowiec A., Szczurba P., Śniegocki A., *Przełomowa energetyka prosumencka. Dlaczego źródła rozproszone mogą doprowadzić do przewrotu na rynku energii*, Warszawa 2014.
3. Chojnacki I., *Czego spodziewać się po PiS w energetyce?*, <http://www.parlamentarny.pl/gospodarka/czego-spodziewac-sie-po-pis-w-energetyce,370.html>
4. Ciepela D., *Energetyka prosumencka w Polsce będzie się mocno rozwijała*, [http://energetyka.wnp.pl/energetyka-prosumencka-w-polsce-bedzie-sie-mocno-rozwijala,251689\\_1\\_0\\_0.html](http://energetyka.wnp.pl/energetyka-prosumencka-w-polsce-bedzie-sie-mocno-rozwijala,251689_1_0_0.html)
5. *ClientEarth o energetyce prosumenckiej w Europie*, <http://www.reo.pl/wiadomosci/clientearth-o-energetyce-prosumenckiej-w-europie-v2U2dS>
6. *Co to jest energetyka prosumencka?*, <http://www.sior.pl/index.php/zasoby/wiadomosci-archiwalne/1575-co-to-jest-energetyka-prosumencka>
7. *Czy energetyka prosumencka w Polsce może dogonić Europę?*, <http://www.elektroonline.pl/news/7937,Czy-energetyka-prosumencka-w-Polsce-moze-dogonic-Europe>
8. Derski B., *Poprawka prosumencka, czyli zielony thriller non fiction*, <http://gramwzielone.pl/trendy/14720/poprawka-prosumencka-czyli-zielony-thriller-non-fiction>
9. Dolecki S., *Energetyka prosumencka: Bez paragrafu ani rusz*, <http://www.rynekinfrastruktury.pl/wiadomosci/energetyka-prosumencka-bez-paragrafu-ani-rusz--20484.html>
10. *Droga cierniowa do energetyki obywatelskiej*, <http://www.kierunekenergetyka.pl/www.kierunekenergetyka.pl/artukul,24697,droga-cierniowa-do-energetyki-obywatelskiej.html>
11. Dziamski P., Kamińska M., Michałowska-Knap K., Wiśniewski G., *Energetyka rozproszona*, Warszawa 2011.
12. *Energetyka prosumencka a gospodarka w świetle ustawy o oze*, <http://energetyka.inzynieria.com/cat/8/art/45563/energetyka-prosumencka-a-gospodarka-w-swietle-ustawy-o-oze>
13. *Energetyka prosumencka – co to jest?*, <http://www.infosat.net/energetyka-prosumencka-co-to-jest/>
14. *Energetyka prosumencka – co to jest?*, <http://www.odnawialne-firmy.pl/wiadomosci/pokaz/46,energetyka-prosumencka-co-to-jest>
15. *Energetyka prosumencka – co to oznacza dla odbiorcy energii i spółek dystrybucyjnych*, <http://energetyka.inzynieria.com/cat/26/art/35291/energetyka-prosumencka---co-to-oznacza-dla-odbiorcy-energii-i-spolek-dystrybucyjnych>
16. *Energetyka prosumencka – dobry uczynek dla środowiska i naszych kieszeni*, <http://waznamisjazdrowaemisja.pl/energetyka-prosumencka-dobry-uczynek-srodowiska-kieszeni/>
17. *Energetyka prosumencka i smart grid jako filary gospodarki niskoemisyjnej*, <http://www.rynekinstalacyjny.pl/aktualnosc/id6361,energetyka-prosumencka-i-smart-grid-jako-filary-gospodarki-niskoemisyjnej>

18. *Energetyka prosumencka: propozycja ME dla bogatych hobbystów*, <http://www.reo.pl/wiadomosci/energetyka-prosumencka-me-chce-wspierac-bogatych-hobbystow-Ngi5x8>
19. *Energetyka prosumencka: wiceminister proponuje zasady*, [http://energetyka.wnp.pl/energetyka-prosumencka-wiceminister-proponuje-zasady,269310\\_1\\_0\\_0.html](http://energetyka.wnp.pl/energetyka-prosumencka-wiceminister-proponuje-zasady,269310_1_0_0.html)
20. Grzegorzczak L., *Mikroinstalacje – regulacje i uwarunkowania w perspektywie krajowej energetyki prosumenckiej*, *Polityka Energetyczna – „Energy Policy Journal”* 2014, t. 17, z. 3.
21. Grzybowska P., *Wiceminister gospodarki: energetyka prosumencka jest najważniejsza*, <http://www.oze.pl/artukul/360,wiceminister-gospodarki-energetyka-prosumencka-jest-najwazniejsza>
22. Gurgul A., *Rząd w sprawie OZE postępuje wbrew światowym trendom. Mikroelektrownie nie dla Polaków*, [http://wyborcza.pl/akcje\\_specjalne/7,155201,21025695,rzad-w-sprawie-oze-postepuje-wbrew-swiatowym-trendom-mikroelektrownie.html](http://wyborcza.pl/akcje_specjalne/7,155201,21025695,rzad-w-sprawie-oze-postepuje-wbrew-swiatowym-trendom-mikroelektrownie.html)
23. Jung B., *Kapitalizm postmodernistyczny*, „*Ekonomista*” 1997, nr 5-6.
24. Kłós M., *Generacja rozproszona w krajowym systemie elektroenergetycznym – korzyści i problemy*, w: J. Rączka, M. Swora, W. Stawiany (red.), *Generacja rozproszona w nowoczesnej polityce energetycznej – wybrane problemy i wyzwania*, Warszawa 2012.
25. Niedziółka D., *Rozwój energetyki prosumenckiej a bezpieczeństwo energetyczne*, w: J. Popczyk, R. Kucęba, K. Dębowski, W. Jędrzejczyk (red.), *Energetyka prosumencka. Pierwsza próba konsolidacji*, Częstochowa 2014.
26. *Nowy rząd PiS. Czarna energia i czarne chmury nad branżą wiatrową*, <http://www.cire.pl/item,119299,13,0,0,0,0,0,nowy-rzad-pis-czarna-energia-i-czarne-chmury-nad-branza-wiatrowa.html>
27. *Obecne przepisy to kpina z energetyki prosumenckiej*, <http://gramwzielone.pl/trendy/17692/obecne-przepisy-to-kpina-z-energetyki-prosumenckiej>
28. *Ograniczenie wsparcia dla prosumentów w nowelizacji ustawy o OZE*, <http://www.rynekinstalacyjny.pl/aktualnosci/id8010,ograniczenie-wsparcia-dla-prosumentow-w-nowelizacji-ustawy-o-oze>
29. Paska J., *Wytwarzanie rozproszonej energii elektrycznej i ciepła*, Warszawa 2010.
30. Popczyk J., *Energetyka prosumencka i jej miejsce w energetyce*, „*Czysta Energia*” 2014, nr 5.
31. Popczyk J., *Energetyka rozproszona – od dominacji energetyki w gospodarce do zrównoważonego rozwoju, od paliw kopalnych do energii odnawialnej i efektywności energetycznej*, Warszawa 2011.
32. *Poprawka prosumencka. Dotykamy bardzo czułego punktu w systemie*, <http://gramwzielone.pl/trendy/14716/poprawka-prosumencka-dotykamy-bardzo-czulego-punktu-w-systemie>
33. *Poprawka prosumencka ustawy o OZE – perspektywa operatorska*, <http://nowa-energia.com.pl/2015/02/20/poprawka-prosumencka-ustawy-o-oze-perspektywa-operatorska/>

34. *Poprawka prosumencka zachęci do oszustw? Nowe argumenty przeciwników taryf gwarantowanych*, <http://www.cire.pl/item,106801,13,0,0,0,0,0,poprawka-prosumencka-zacheci-do-oszustw-nowe-argumenty-przeciwnikow-taryf-gwarantowanych.html>
35. *Przygotowany przez PiS projekt noweli ustawy o OZE to zły sygnał dla energetyki obywatelskiej, a dobry dla koncernów*, <http://www.rp.pl/Energianews/305099963-Przygotowany-przez-PiS-projekt-noweli-ustawy-o-OZE-to-zly-sygnal-dla-energetyki-obywatelskiej-a-dobry-dla-koncernow.html>
36. Siemieniako B., *Oto sześć argumentów za poprawką prosumencką*, <http://www.krytyka-polityczna.pl/artykuly/opinie/20150219/poslanki-poslowie-oto-szesc-argumentow-za-poprawka-prosumencka>
37. Sikorska J., *Konsumpcja. Warunki, zróżnicowania, strategie*, Warszawa 1998.
38. Skubała P., Sierka E., *Energetyka prosumencka, czyli powrót do społeczeństwa funkcjonującego według praw natury*, w: J. Popczyk, R. Kucęba, K. Dębowski, W. Jędrzejczyk (red.), *Energetyka prosumencka. Pierwsza próba konsolidacji*, Częstochowa 2014.
39. Szekalska E., *20 lutego – pierwsza rocznica uchwalenia przepisów prosumenckich*, <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/20-lutego-pierwsza-rocznica-uchwalenia-przepisow-prosumenckich-1902.html>
40. Tapscott D., Williams A.D., *Wikinomia. O globalnej współpracy, która wszystko zmienia*, Warszawa 2008.
41. Toffler A., *Trzecia fala*, Warszawa 1997.
42. Wiśniewski G., *2016 rok to czas paradoksów i rewolucji w energetyce*, <http://biznesalert.pl/wisniewski-2016-czas-paradoksow-rewolucji-energetyce/>
43. Zaleski P., Ziobrowski J., *Energetyka obywatelska – aspekty techniczne, sieciowe i prawne*, „Nowa Energia” 2012, nr 6.

# MODULO ECO

Giacomo Tibaldi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cultural Association Manifattura Urbana, Borgo Riccio da Parma 29, Parma (PR), Italy [manifatturaurbana@gmail.com](mailto:manifatturaurbana@gmail.com)

## ABSTRACT

Being aware that only through a combination of education, applied research and building restoration techniques, we can improve not only our external environment, but also interior comfort. We are creating a small 60 square meter pavilion to be temporarily placed in Piazzale della Pace in Parma (PR), Italy.

The idea behind this project is to create a livable prototype to raise awareness and education on sustainability issues in the construction industry (mainly residential) and on healthy, natural and low cost living, also on restoring the local building traditions. The pavilion (Modulo Eco) will host the public energy office of the Parma municipality and act as a research tool to study, test and develop technologies, with a “high science - low cost” approach.

The construction process has already started inside the laboratories of the Workout Pabsubio Temporary, the former industrial complex in the San Leonardo district (Via Palermo, Parma). Here designers, students from local universities and from the Istituto Geometri in Parma, supported by specialists of the participating sponsor companies, are building together the elements to be later assembled in Piazzale della Pace in Parma.



| External rendering

## THE IDEA

Modulo Eco will host the energy office of the town of Parma with the purpose of showing citizens the opportunities and incentives about the energy improvement of existing buildings and the technology to be used on new ones. The same space will be available for cultural associations, universities, students, professional orders and companies to spread the knowledge about sustainability issues and to talk about energy transaction, representing an example of civic responsibility and active citizenship. In this context, Manifattura Urbana, together with several other associations and entities, will organize seminars and conferences about these themes and other related ones: local businesses, building recovery, passive architecture, reuse, natural materials etc. with the further purpose to bring to a wide spectrum of schools the theme of healthy and natural living.

After a meticulous environmental, architectural and sociologic analysis of the context, a strategic location in Piazzale della Pace has been chosen, a landmark and meeting point of Parma, right in the middle of the town center. Shape design, accessibility, orientation, materials and colors have been carefully studied and chosen. Considering the position of the pavilion, close to important buildings as the Pilotta Palace, the façade will be built in exposed cork, a sustainable material well integrated in color and texture within the context (bricks, grass and monuments).



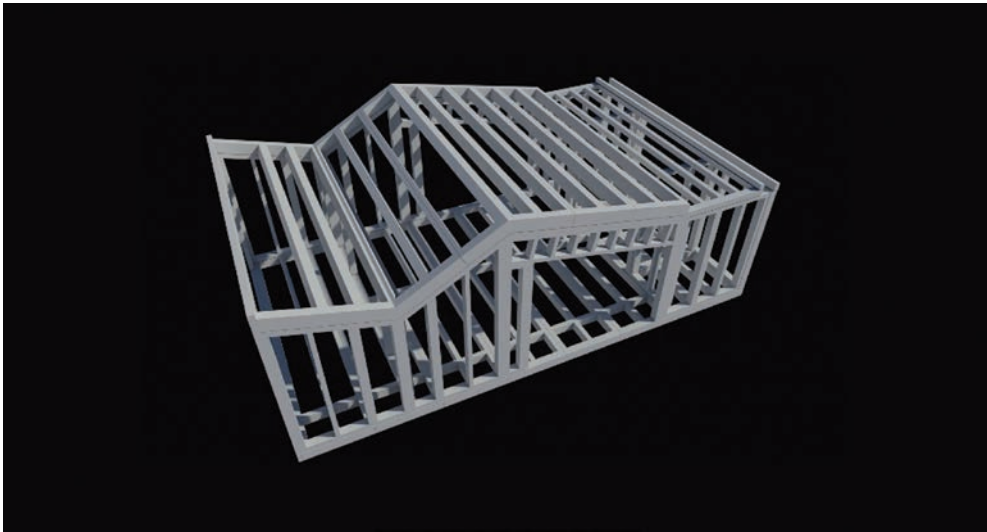
II Internal rendering

## THE BUILDING

Since the main purpose of the pavilion is to increase people's sensitivity about sustainability in construction (mainly in the residential sector), the architectural concept is the concrete representation of this model, starting from the classic idea of the house as a compact shape with pitched roof.

The pavilion has been designed to be easily built with a wooden frame system (i.e. balloon frame), so to exploit features of biocompatibility of the material, of flexibility of the system in the design phase and of ease of assembly and disassembly during construction. The frames forming the skeleton will be externally braced through the use of wooden fiber panels and, once constructed, they will be assembled in Piazzale della Pace where it will be possible to work in a closed volume by inserting the insulation in the frames and closing the sandwich with OSB panels from the inside.





III.1 Structure frame

A cork coat will then be placed on the outside and, on the inside, a counter-wall finished with an earthen plaster. On the south-facing roof pitch 4 modules of 250 W photovoltaic panels will meet the electricity needs, while the north facing pitch will host an extensive green roof.

A south facing greenhouse is providing the main access to the pavilion, with the double purpose of reducing the heat losses through ventilation, being a filter-space, and producing heated air during winter. In the northern part of the pavilion a bathroom and a technical room (hosting the HVAC systems, the electrical system and a furniture storage space) are to be found.

The main room has a multipurpose use, and is fitted therefore with flexible furniture, functioning in the same day as a public office and as a study room, or as a classroom.

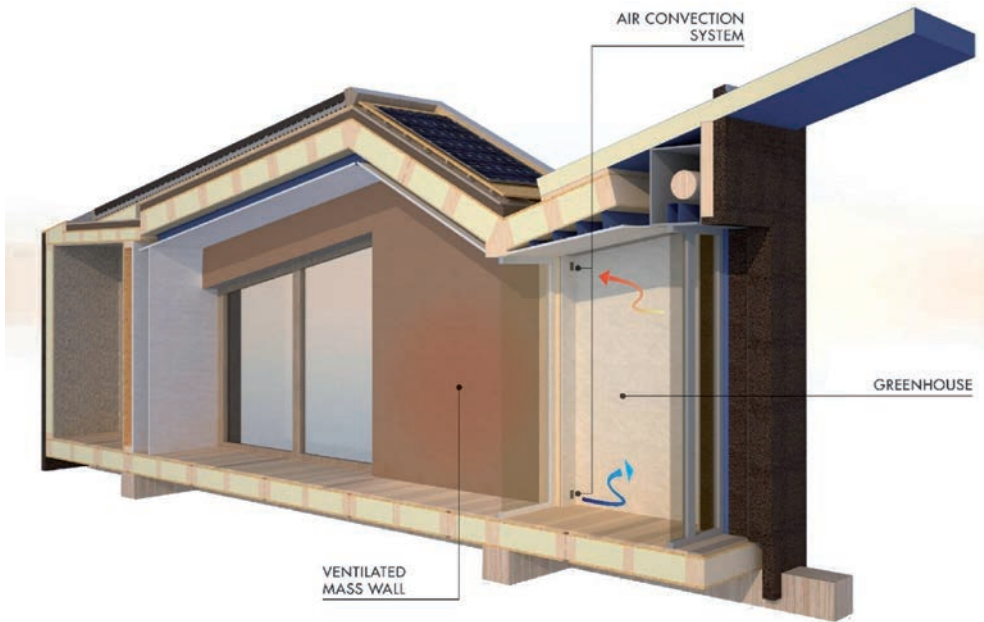
The position, the number and the shape of window fixtures have been studied to make the pavilion transparent, to make it possible either to watch the activities held inside or to look outside, to create a spatial continuity.

Shading and blinds are designed not only to avoid excessive solar gains but also to significantly reduce the heat losses during winter nights. In particular, on the south façade, there will be a horizontal brise-soleil system and a roller blind which will allow the greenhouse to be used as a loggia. On the east and west façades, vertical shading systems are planned to adjust the quantity of incident light and thereby protecting from solar radiation. On the north façade a roller blind with an insulated box will prevent heat losses during the night. This particular system will be monitored and tested to be reused in future energetic improvements of existing buildings, in which the use of roller blinds is frequent.

The use of materials with low (close to zero as much as possible) environmental impact is considered fundamental.







#### IV Heating system

The pavilion will be monitored with different types of sensors, to check consumes and comfort values, comparing the empiric results with predictions and analyses previously obtained by energetic certifications and dynamic simulation softwares.

### **ENERGY EFFICIENT HOUSING – REPLICATION POTENTIAL AND SOCIAL ACCEPTANCE**

Until very recently, the population awareness about climate change and sustainability-related themes has usually remained at a very general level. During the last Conference of the Parties (COP 21, Paris, 30 November to 11 December 2015) it has been finally recognized “that climate change represents an urgent and potentially irreversible threat to human societies and the planet”.

Modulo Eco is not only a tool to spread these themes, but also to provide practical answers, with particular focus on the constructions field, currently one of the important sources of CO<sub>2</sub> emissions in the atmosphere.

Having in mind that climate change will increase the probability of having more extreme temperatures both in winter and in summer, all the technical elements and environmental conditions of Modulo Eco have been appropriately designed and taken into account: latitude, degree days, climatic zone, main winds, radiation and sunshine index, solar uptake, orientation, direct/indirect solar gains, air convections, thermal mass materials and dimensions, internal ventilation, greenhouse effect, renewable energies, thermal

capacity, captured solar energy, dispersions, window fixtures, solar protections (both internal and external), vegetation, shading, blinds.

This in order to respect and achieve the 2030 targets of the EU energy strategy:

- a 40% cut in greenhouse gas emissions compared to 1990 levels;
- at least a 27% share of renewable energy consumption;
- at least 27% energy savings compared with the business-as-usual scenario.

Modulo Eco's approach to respect sustainability is exportable in many other contexts. After a careful study of the local climate and microclimate, of the local building traditions, of the geographical and social context, it is possible to design a pavilion with social and educational aims and with high energetic performances in any location. It is essential to inform and involve, right from the start, all the entities dealing with sustainability, from the city council to environmental associations, other public entities, active citizens, designers, companies which will identify themselves in the project and widen the general audience. Furthermore, the pavilion will be used for educational and informational purposes, increasing people's involvement in the life of those spaces. Once, the social actors have been involved, it becomes essential to start the search of companies that can sponsor building materials and technical elements in exchange for visibility and use of the pavilion for commercial purposes, involving those commercial companies, more sensitive to local sustainability.

It is important to bear in mind that a large number of different subjects are cooperating to achieve the final result. In our case, the overall design has been the result of an interdisciplinary action coordinated by Manifattura Urbana. As of today, approximately 50 people are working on this project: professionals, teachers, students, municipal employees and technicians of the sponsoring companies, which provide construction materials. These professionals will illustrate, during specific educational events, the installation details of all individual elements. Once built, the pavilion will be continuously monitored to verify its real performances. Two months after the construction it will be disassembled and reassembled in a different area of the town of Parma, where it will continue to carry out its mission.



# SELECTED ELEMENTS INFLUENCING THE ENERGY CONSUMPTION OF BUILDINGS

Magdalena Nakielska<sup>1</sup>, Krzysztof Pawłowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UTP University of Science and Technology Bydgoszcz, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, magdalena.nakielska@utp.edu.pl

<sup>2</sup> UTP University of Science and Technology Bydgoszcz, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, krzysztof.pawlowski@utp.edu.pl

## ABSTRACT

At present, the global trend in environmental policy is to reduce emissions of carbon dioxide emitted into the atmosphere. In many sectors of the economy are being sought new solutions, which will result in the protection of natural resources and protection of air quality. One of the sectors which highlighted the construction and the associated energy. The current Polish legislation significantly contribute to reducing the energy consumption of buildings. Formation of energy-efficient building is a complex process, which must take into account the various elements that affect the amount of energy consumed. At the same time, construction works should be designed so that it was possible to comfortable use of these buildings. The article focuses on two issues in the field of development of energy-efficient building, namely the external walls and on the development of internal microclimate of the building equipped with the gravitational ventilation.

Keywords: exterior walls, solar chimney, design heat loss, energy efficient house.

## INTRODUCTION

A large attention has been paid on the energy consumption of buildings for a number of years. The states' energy policy is to reduce the amount of energy required for the operation of the construction with the implementation of modern solutions for shaping the buildings, their envelopes and modern solutions. Directive 2002/91/EC obliges all Member States to improve the quality of the buildings through the enforcement of the obligation to hold the buildings energy certificates and energy control obligation imposed by the installation of heating and air conditioning systems. In addition, it requires the designers to use the systems based on the unconventional energy sources. The lack of such a certificate prevents from putting a new building into operation, and the existing

buildings cannot be sold or rented. The changes implemented in Directive 2010/31/EU of the European Parliament and Council on the energy performance of the buildings involves the application of further higher requirements in terms of thermal protection of the buildings. The concept of a zero-energy building appears, while using the renewable sources and produced on a site or in the environment. The important fact is that from 31 December 2020, all newly designed buildings and the buildings subjected to thermal insulation will be designed using the “nearly zero energy use” standard. With regard to the public buildings, these provisions will come into effect from 31 December 2018.

In accordance with Regulation of the Minister of infrastructure of 5 July 2013 on the technical specifications, which should correspond to the buildings and their location, the buildings and their heating, ventilation, air conditioning, hot water should be designed and constructed in such a way as to meet the following minimum requirements:

- 1) the value of EP indicator [kWh/(m<sup>2</sup> · year)] setting out the annual demand for non-renewable primary energy for heating, ventilation, cooling and domestic hot water preparation, and embedded lighting for specific buildings.

$$EP(\text{calculated}) \leq EP(\text{maximum}) \quad (1)$$

- 2) partitions and technical equipment of the building correspond to at least the requirements of the thermal insulation specified in annex 2 to Regulation and window area corresponds to the requirements of the point 2.1 of Annex 2 to Regulation.

$$U_c \leq U_c(\text{maximum}) \quad (2)$$

- 3) in place of a thermal bridge - a temperature factor  $f_{Rsi}$  in order to test the risk of mould and fungi occurrence in accordance with PN-EN ISO 13788:2003.

On the basis of the analysis of legislation and additional requirements, it can be concluded that the classification of the building to a group of energy-efficient buildings depends on a number of factors:

- **Building architecture**

- location of the building in relation to the world sides,
- compact building (a minimum shape ratio  $A/V$ ),
- size and location of transparent partitions,
- layout of rooms,
- geometry of a roof.

- **Structural and material solutions of the construction partitions and their connectors**
  - the use of high quality materials,
  - the use of modern insulation materials, e.g. panels with polyurethane foams, aerogels, vacuum panels, transparent insulation,
  - design school of construction connectors in the thermal and humidity aspect with the use of numerical tools.
- **Thermal insulation of the building partitions**
  - thickness of the thermal insulation (with commonly used materials) above  $25 \div 30$  cm,
  - getting the value of the heat-transfer coefficient  $U \leq 0.10$  w/(m<sup>2</sup> · K) for the non-transparent partitions and  $U \leq 0.80$  w/(m<sup>2</sup> · K) for the transparent partitions.
- **Type and efficiency of the ventilation system**
  - hybrid or mechanical ventilation with heat recovery,
  - mechanical ventilation with heat recovery and heat exchanger in the ground,
  - high system efficiency (over 70%).
- **Type and efficiency of the central heating system and the hot water system of the alternative use of the (renewable) energy sources**
  - solar power,
  - wind power,
  - geothermal energy.
- **Building management system, which also allows to control the production**

In order to achieve a high standard of energy-efficient building, the cooperation in a number of fields such as architecture, construction, energy and environmental engineering must be involved.

## SHAPING OF INTERNAL PARTITIONS

The material system of the partitions and their connectors play a very important role in the residential and public buildings. It impacts significant on the type of the physical processes that occur at the connection between two different centres separating these partitions from each other. The main task of the partitions is to ensure appropriate interactions if the external impacts on the interior of the building, so as to create a microclimate the most suitable for a man.

The external partitions must be provided the calculations to meet the primary criterion of heat protection  $U_c \leq U_c(\max)$ , selecting the appropriate layout of the material layers. The applicable legal provisions relating to the protection of the thermal buildings

are based on Regulation of the Minister of Infrastructure of 5 July 2013 on the technical specifications which should correspond to the buildings and their location. The values for the maximum heat transfer coefficients  $U_c$  (max) refer to the thermal insulation of the external walls, roofs, floors and windows and doors without distinction on the type of the partition (multi-or single-layer) and the use of the building (residential, public, storage, marketing, etc.). At the same time, one must meet the requirements in terms of the indicator of the annual energy demand EP [kWh/(m<sup>2</sup>· year)]. In addition, the detailed requirements were developed in respect of the protection to eliminate condensation on the internal surface of the partition and inter-layer condensation.

The current thermal and humidity calculations should therefore benefit from an extensive database, which should be developed or supplemented in Poland, with the separation of the regional and individual climate zones. The determination of the temperature factor  $f_{Rsi}$  [-] in the analysed connector of the external partitions requires to specify a minimum temperature on the internal surface of the partition and the thermal bridge site, assuming the appropriate internal ( $t_i$ ) and external ( $t_e$ ) air temperature, and for the thermal bridges - the use of a spatial model of the partition in accordance with PN-EN ISO 10211:2008. However, the required value of the limit temperature factor  $f_{Rsi (kryt)}$  is determined as a function of the temperature  $t_i$  and humidity content,  $\phi_i$  for a room to which it refers. These parameters (the internal temperature and humidity content in a room) pre-judge the values of the temperature factor  $f_{Rsi (kryt)}$  impacting on the limit in assessing the correctness of the design solutions. In accordance with PN-EN ISO 13788:2003, the temperature factor  $f_{Rsi (kryt)}$  is calculated or depending on the ventilation type of the building (gravity ventilation prevailing in the residential construction or mechanical ventilation, which is often a component of the air conditioning systems, allowing to shape in any way the properties of a microclimate inside). Table 1 summarizes the results of the calculations of the limit value of the temperature factor  $f_{Rsi (kryt)}$  referred to different methods.

Table 1. Calculation of the critical temperature factor values for the three cases of the rooms ventilation - source (Dylla 2015)

| method   | m-c | $t_e$ [°C] | $\varphi_e$ [%] | $p_e$ [Pa] | $\Delta p$ [Pa] | $\varphi_i$ [%] | $t_i$ [°C] | $t_{kr}$ [°C] | $f_{Rsi}$ [-]               |
|--|-----|------------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|------------|---------------|-----------------------------|
| A  | J   | -3.0       |                 |            |                 | 55              | 20         | 14.1          | 0.743                       |
| A  | II  | -1.6       |                 |            |                 | 55              | 20         | 14.1          | 0.726                       |
| B  | XII | -0.5       | 89              | 522        | 810             |                 | 16         | 14.6          | 0.886                       |
| B  | J   | -3.0       | 87              | 414        | 810             |                 | 16         | 13.3          | 0.858                       |
| B  | II  | -1.6       | 85              | 454        | 810             |                 | 16         | 13.8          | 0.875                       |
| C  | J   | -4.8       |                 |            |                 | 50              | 24         | 16.4          | 0.736<br>0.72 <sup>*)</sup> |
| <p>- method: A (constant inside humidity - air conditioning), B (inside humidity changing as a function of the humidity room class - gravitational ventilation), C (inside temperature <math>t_i \geq 20^\circ\text{C}</math> and humidity <math>\varphi_i = 50\%</math> defined by [1] - gravitational ventilation)</p> <p>- location of the building (method A and B - Kraków, method C - Białystok)</p> <p>- room humidity class 4 (method B)</p> <p><sup>*)</sup> the limit value specified by Regulation, the Journal of Laws 2013, item 926.</p> |     |            |                 |            |                 |                 |            |               |                             |



In Regulation, the Journal of Laws 2013, item 926, despite the recognition of PN-EN ISO 13788 as in force in the design process, there is a derogation from the requirements of the average monthly relative humidity of inside air at a constant value of  $\varphi_i=0.50$  (50%) (point 2.2.2 of Annex 2 to Regulation, the Journal of Laws 2013, item. 926) for the rooms with internal temperature equal to at least 20°C. At the same time, for these rooms, one allowed (without calculations) to assume the value of factor  $(f)_{R_{si}(kryt)} = 0.72$ , which means the resignation from determining the humidity classes of the rooms with gravitational ventilation. This derogation does not allow to include in the humidity calculation the real location conditions (climate) and microclimatic of the tested building, at least in respect of the rooms with the internal temperature  $t_i \geq 20^\circ\text{C}$ , quite drastically reducing the level of the requirements for protection against moulds of the buildings in Poland in harsher climates (IV and V zones).

## SHAPING OF THE INTERNAL MICROCLIMATE

The concept of the inside microclimate means a complex of all physical and chemical parameters of a room, impacting on a human body and on the building. The main parameters of microclimate include: air temperature, average temperature of the partitions surfaces, air speed, air relative humidity. The factors complex, apart from the thermal ones, are: air pollution, air ionization, noise level, lighting, etc.

Since the innovative systems were implemented to the construction industry, shaping the internal microclimate of the rooms has become a task easier. However, there are problems on which special attention must be paid. First and foremost, the publication involves problem of air humidity and the impact of this parameter on the building.

Large fluctuations in relative humidity (within 30-70%) are not burdensome. The situation is different with the construction partitions. High relative humidity, especially in the winter, can cause water condensation on the surface of panes in the windows and on the external walls. This can result in moulds and fungi on the building partitions, especially on the thermal bridges. The problem of excessive relative humidity has occurred when the sealed windows without the possibility to provide the required amount of external air into a room were placed on the market. The production technology of windows changes all the time, and the currently installed window must have window diffusers. The problem of the appropriate use of the buildings appears here. The users incorrectly use the installed diffusers due to savings, which causes deterioration of the conditions of the inside microclimate. The solution to the problem is to design a proper ventilation system, which will not increase the energy intensity of the building, and at the same time, will provide comfortable conditions in the building. One solution involves the use of the assisted ventilation gravity.

In accordance with Regulation of the Minister of Infrastructure of 5 July 2013 on the technical specifications, which should correspond to the buildings and their location, ventilation should provide adequate inside environmental quality, including the size of the air exchange, its cleanliness, temperature, relative humidity, speed of air movement in the

room. The ventilation system can be designed as mechanical or gravitational in the rooms intended for people in public areas without opening windows, as well as in other areas, in which for health, technological or safety reasons, it is necessary to ensure the exchange of air. Considering the amount of energy consumed in the mechanical ventilation systems, it is worth noting the alternative solutions, however, one must keep the existing legislation and ensure comfortable conditions in the areas. The first issue related to the ventilation system is the amount of ventilation air, which must be supplied to the rooms. Detailed information on this topic can be found in the Polish Standard PN-83/B-03430 and PN-83/B-03430/Az3:2000.

Due to the fact the pursuit of the sustainability in architecture and construction, in order to provide the appropriate amount of air, it is advisable to use the solutions that will allow for energy savings in the operation of the buildings. Therefore, the article will present the solutions to assist the convective system.

Air permeability coefficient for windows and balcony doors should be no more than  $0.3\text{m}^3 \cdot (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})^{-1}$ , at the same time, it is recommended that the tightness of the building with gravitational ventilation is  $n_{50} \leq 3.0 \text{h}^{-1}$ . It is considered that the diffusers installed on door frames and windows leaves are the basic devices to supply air to the rooms.

The development of the construction industry caused the need to seal the buildings, which has weakened the flow of air into the rooms, and have changed the needs of the users. This resulted in an increase in the requirements and the search for the gravitational ventilation solutions. A number of the methods to assist gravity ventilation include:

- Chimney cowls

The fundamental task of the cowl is to increase vacuum in the exhaust air duct, using the wind speed.

- Double glass walls

Two layers of glazing, from several to tens of centimetres, form two glass walls. The internal layer can be traditional, and the external layer - a glass cover.

- Glazed atria and arcades

Glazed atria are located in the internal zone of the building. Air heated at the top of the atrium is exhausted outside by circulation holes that are located in the roof.

- Trombe's wall

Trombe's wall was patented in 1972. It is a dark colour wall, a few centimetres in front of which there is glazing. The principle of operation of Trombe's wall was described inter alia by Z. Pluta (2007)

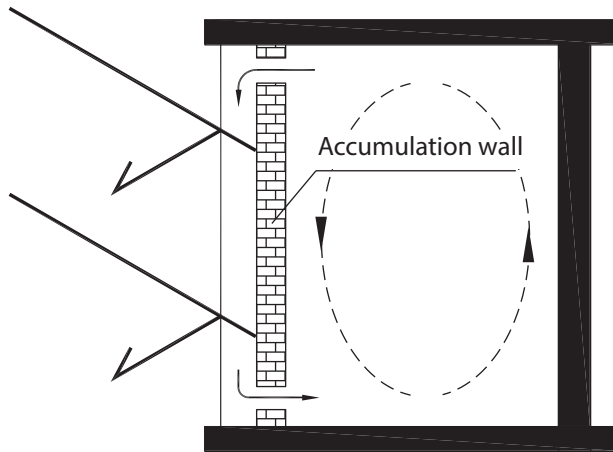


Fig. 1 Trombe's wall

Sunlight hit the pane, pass by it, and are stocked by the accumulating wall, increasing its temperature. Accumulated energy in a form of heat in the accumulating wall is provided to air flowing between the pane and the wall.

The question of the impact of the width between parallel boards on the natural convection is presented by E.M. Sparrow and L.F.A. Azevedo (1985). These tests are cited by G. Gan (1998) in his publication presenting the method of operation of Trombe's wall, using the computer methods based on the CFD technique (Computational Fluid Dynamics). The tests can be used to predict air flow depending on the geometry of the wall. The tests included considerations on the various parameters of Trombe's wall, and the dependencies between them. One of the issues was the impact of a duct and an air inlet width on air flow at a given temperature. It has been shown that if a duct width (the distance from the wall glass) and a height of the lower hole are equal and equally increased, the speed of air flow will increase, but if an inlet height is always equal (assumed as 0.1 m) and only a duct width is increased, this will not impact on air flow.

- Solar chimneys

The solar chimney can be a device supporting gravitational ventilation in the building, due to the use the solar heated air convection effect (fig. 2).

The principle of operation of the solar chimneys is similar to the operation of the traditional chimneys. A distinctive feature is the strengthening of natural ventilation using passive solar heating. Energy is gained form solar radiation naturally, due to the phenomena of heat and mass exchange. The performance of the solar chimney depends on the air temperature in the chimney. The temperature value is directly impacted by the amount of penetrating heat from sunlight, and this is related to the angle of sunlight exposure to the surface. Therefore, the angle of inclination of the solar chimney is a very important

parameter to determine the intensity of natural ventilation. Since the 1990s, the tests have been carried out on this issue. The scientists use different methods to determine optimum angles. However, this is a very complex issue, because the process of air flow is impacted not only by sunlight, but also other factors such as wind speed, air humidity.

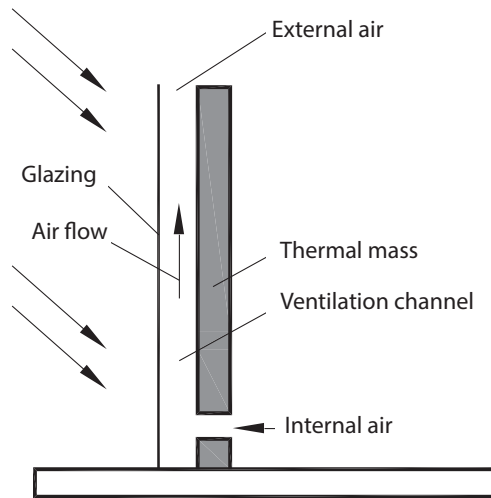


Fig. 2 Schematic of a solar chimney [own development]

## CONCLUSION

Energy consumption of the building is shaped by a number of internal and external factors. Proper selection of the material systems of the external partitions and their connectors allows to limit heat losses at the penetration (heat transfer coefficient  $U_c$   $W/(m^2 \cdot K)$  for the full external partitions, the linear heat transfer coefficient  $\Psi$   $W/(m \cdot K)$  for the building connectors - thermal bridges) and avoid the risk of surface condensation (the risk of mould and fungi occurrence). Another element is the appropriate selection of the ventilation system together with the determination of the necessary air parameters. Important information on determining the amount of air required and the method of supplying into and discharging from the room impacts on the energy consumption of the building.

The selection of the renewable energy sources should be made after a detailed analysis of the physical parameters of the external partitions and their connectors and the technical parameters of the planned systems in the buildings.

## REFERENCES

1. Dylla A., *Fizyka ciepła budowli w praktyce. Obliczenia ciepło-wilgotnościowe*. Wydawnictwa PWN SA, Warszawa 2015.
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz Urz L 1 z 4.01.2003, s. 65-71).
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz Urz L 153 z 18.06.2010, s. 13-35).
4. Gan G., A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings. *Energy and Buildings* 27, 1998, 37-43.
5. Pluta Z., 2007. *Słoneczne instalacje energetyczne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
6. PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
7. PN-EN ISO 13788: 2003, Ciepło-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku, Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji, Metody obliczania.
8. PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.
9. PN-83/B-03430/Az3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.
10. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. 2013. poz. 926.
11. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (Dz.U. z 2013 r., poz. 926).
12. Sparrow E.M., Azevedo L.F.A., Vertical channel natural convection spinning between the fully developed and the single-plate boundary-layer limit. *International Journal of Heat Mass Transfer* 28, 1985, 1847--1857.
13. Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.
14. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. z 2013 r. poz. 1409, z późn. zm.).

# WYBRANE ELEMENTY KSZTAŁTUJĄCE ENERGOCHŁONNOŚĆ BUDYNKÓW

Magdalena Nakielska<sup>1</sup>, Krzysztof Pawłowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszcz, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, bud. 3.1, pokój 148, magdalena.nakielska@utp.edu.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszcz, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, bud. 2.2, pokój 216, Kkrzysztof.Pawlowski@utp.edu.pl

## ABSTRACT

Obecnie ogólnosiwiatowym trendem w polityce ekologicznej, jest ograniczenie emisji dwutlenku węgla wydzielanego do atmosfery. W wielu sektorach gospodarki poszukiwane są nowe rozwiązania, które skutkować będą ochroną zasobów naturalnych i ochroną jakości powietrza. Jednym z sektorów na który zwrócono szczególną uwagę jest budownictwo i związana z nim energetyka. Obowiązujące w Polsce przepisy prawne w znacznym stopniu przyczyniają się do ograniczenia czynników kształtujących energochłonności budynków. Kształtowanie energooszczędnego budynku to złożony proces, w którym należy wziąć pod uwagę różne elementy wpływające na ilość zużytej energii. Jednocześnie obiekty budowlane należy projektować, tak aby, możliwe było komfortowe użytkowanie tych budynków. W artykule skupiono się na dwóch zagadnieniach z zakresu kształtowania obiektu energooszczędnego, a mianowicie przegrodach zewnętrznych i kształtowaniu mikroklimatu wewnętrznego budynku wyposażonego w wentylację grawitacyjną.

Słowa kluczowe: przegrody zewnętrzne, komin słoneczny, projektowa strata ciepła, budynek energooszczędny.

## Wprowadzenie

Od wielu lat na całym świecie dużą uwagę zwraca się na energochłonność budynków. Polityka energetyczna państw ukierunkowana jest na zmniejszenie ilości energii potrzebnej do funkcjonowania obiektów budowlanych wraz z wdrożeniem nowoczesnych rozwiązań z zakresu kształtowania budynków ich obudowy oraz nowoczesnych rozwiązań instalacyjnych. Dyrektywa 2002/91/WE zobowiązuje wszystkie kraje członkowskie do po-

prawy jakości energetycznej budynków poprzez egzekwowanie obowiązku posiadania przez budynki świadectw energetycznych oraz narzuca obowiązek kontroli energetycznej instalacji grzewczo-klimatyzacyjnych. Zobowiązuje także projektantów do wykorzystywania systemów opartych na niekonwencjonalnych źródłach energii. Brak takiego certyfikatu uniemożliwia oddanie nowego budynku do użytkowania, zaś budynki już istniejące nie mogą być sprzedane lub wynajmowane. Wprowadzenie zmian w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/EU w sprawie charakterystyki energetycznej budynków wiąże się kolejnymi wyższymi wymaganiami w zakresie ochrony cieplnej budynków. Pojawia się pojęcie tzw. budynku o zerowym zużyciu energii przy jednoczesnym zastosowaniu źródeł odnawialnych i wytwarzanych na miejscu lub w otoczeniu. Ważny jest fakt, że od 31 grudnia 2020 r. wszystkie nowo projektowane budynki oraz budynki poddawane termomodernizacji mają być projektowane w standardzie budynków „o niemal zerowym zużyciu energii”. W odniesieniu do budynków użyteczności publicznej te postanowienia wchodzi w życie już od 31 grudnia 2018 r.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, budynki i jego instalacje grzewcze, wentylacyjne, klimatyzacyjne, ciepłej wody użytkowej powinno być zaprojektowane i wykonane w sposób zapewniający spełnienia następujących wymagań minimalnych:

- 1) wartość wskaźnika EP [kWh/(m<sup>2</sup> · rok)] określającego roczne obliczeniowe zapotrzebowanie na nieodnawialną energię pierwotną do ogrzewania, wentylacji, chłodzenia oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej, a dla określonych budynków także oświetlenia wbudowanego

$$EP(\text{obliczeniowe}) \leq EP(\text{maksymalne}) \quad (1)$$

- 2) przegrody oraz wyposażenie techniczne budynku odpowiadają przynajmniej wymaganiom izolacyjności cieplnej określonym w załączniku 2 do rozporządzenia oraz powierzchnia okien odpowiada wymaganiom określonym w pkt. 2.1 załącznika nr 2 do rozporządzenia.

$$U_c \leq U_c(\text{maksymalne}) \quad (2)$$

- 3) w miejscu mostka cieplnego – czynnik temperaturowy  $f_{Rsi}$  w celu sprawdzenia ryzyka występowania pleśni i grzybów pleśniowych wg normy PN-EN ISO 13788:2003.

Na podstawie analizy przepisów prawnych i wymagań dodatkowych można stwierdzić, że o klasyfikacji budynku do grupy budynków energooszczędnych decyduje wiele czynników:

- **Architektura budynku**
  - usytuowanie budynku względem stron świata,
  - zwarta bryła budynku (minimalny współczynnik kształtu A/V),
  - wielkość i usytuowanie przegród przezroczystych,
  - rozmieszczenie pomieszczeń,
  - geometria dachu,
- **Rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe przegród budowlanych i ich złączy**
  - stosowanie materiałów wysokiej jakości,
  - stosowanie nowoczesnych materiałów izolacyjnych, np. płyty z pianek poliuretanowych, aerozele, panele próżniowe, izolacje transparentne,
  - szkoła projektowania złączy budowlanych w aspekcie cieplno-wilgotnościowym przy zastosowaniu narzędzi numerycznych,
- **Izolacyjność termiczna przegród budowlanych**
  - grubość izolacji cieplnej (z powszechnie stosowanych materiałów) powyżej 25÷30 cm,
  - uzyskanie wartości współczynnika przenikania ciepła  $U \leq 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  dla przegród nieprzeźroczystych oraz  $U \leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  dla przegród przezroczystych,
- **Rodzaj i sprawność systemu wentylacji**
  - wentylacja hybrydowa lub mechaniczna z odzyskiem ciepła,
  - wentylacja mechaniczna z odzyskiem ciepła i gruntowym wymiennikiem ciepła,
  - wysoka sprawność systemu (powyżej 70%),
- **Rodzaj i sprawność systemu c.o. i c.w.u. zastosowanie alternatywnego (odnawialnego) źródła energii**
  - energia słoneczna,
  - energia wiatru,
  - energia geotermalna,
- **System zarządzania budynkiem, który pozwala również sterować produkcją**

Osiągnięcie wysokiego standardu energooszczędnego budynku wymaga współpracy wielu dziedzin takich jak architektura, budownictwo, energetyka i inżynieria środowiska.

W dalszej części pracy przedstawiono szczegółową analizę w zakresie kształtowania przegród zewnętrznych i mikroklimatu wewnętrznego jako integralne elementy determinujące energochłonność budynków. Odpowiedni dobór układów materiałowych obudowy budynku oraz zapewnienie odpowiednich parametrów powietrza wewnętrznego gwarantuje osiągnięcie standardu niskoenergetycznego.



## KSZTAŁTOWANIE PRZEGRÓD ZEWNĘTRZNYCH

Bardzo istotną rolę w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej odgrywa układ materiałowy przegród zewnętrznych i ich złącza. Wpływa on w znaczący sposób na rodzaj procesów fizycznych, jakie zachodzą na styku dwóch różnych ośrodków, które te przegrody oddzielają od siebie. Głównym zadaniem przegrody jest zapewnienie właściwych oddziaływań wpływów zewnętrznych na wnętrze budynku, tak aby powstał mikroklimat najbardziej odpowiedni dla człowieka. Konstrukcja przegród zewnętrznych w budynkach oprócz tego, że musi spełniać wymagania wytrzymałościowe, powinna zapewnić również:

- ochronę przed ucieczką ciepła na zewnątrz budynku,
- ochronę przed hałasem,
- ochronę przed zawilgoceniem wnętrza,
- odpowiednie walory architektoniczne i estetyczne.

Dla przegród zewnętrznych należy prowadzić obliczenia w zakresie spełnienia podstawowego kryterium ochrony cieplnej  $U_c \leq U_c(\max)$ , dobierając odpowiedni układ warstw materiałowych. Należy także zwrócić uwagę na złącza budowlane w celu minimalizacji strat ciepła ( $\Psi$  - liniowy współczynnik przenikania ciepła) oraz wyeliminować ryzyko kondensacji powierzchniowej. Obowiązujące przepisy prawne dotyczące ochrony cieplnej budynków oparte są na Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Podane wartości maksymalne współczynników przenikania ciepła  $U_c(\max)$  odnoszą się do izolacyjności cieplnej ścian zewnętrznych, dachów, podłóg oraz okien i drzwi bez różnicy na typ przegrody (wielo – czy jednowarstwowa) oraz przeznaczenie obiektu (mieszkalny, użyteczności publicznej, magazynowy, gospodarczy itp.). Jednocześnie należy spełnić wymagania w zakresie wskaźnika rocznego zapotrzebowania na energię EP [kWh/(m<sup>2</sup>·rok)]. Dodatkowo sformułowano szczegółowe wymagania w zakresie ochrony w kwestii wyeliminowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz kondensacji międzywarstwowej.

Współczesne obliczenia cieplno-wilgotnościowe powinny więc korzystać z obszernej bazy danych, którą w Polsce należy dopiero utworzyć bądź uzupełnić, z wydzieleniem klimatu stref regionalnych i poszczególnych miejscowości. Określenie czynnika temperaturowego  $f_{Rsi}$  [-] w analizowanym złączu przegród zewnętrznych wymaga określenia temperatury minimalnej na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz w miejscu mostka cieplnego, przy założeniu odpowiednich temperatur powietrza wewnętrznego ( $t_i$ ) i zewnętrznego ( $t_e$ ) i dla mostków cieplnych zastosowania przestrzennego modelu przegrody wg PN-EN ISO 10211:2008. Natomiast wymaganą wartość granicznego czynnika temperaturowego  $f_{Rsi(kryt)}$  ustala się w funkcji temperatury  $t_i$  oraz zawartości wilgoci,  $\varphi_i$ , pomieszczenia, którego dotyczy. Wymienione parametry (temperatura wewnętrzna oraz zawartość wilgoci w pomieszczeniu) przesądzają o wartości czynnika temperaturowego  $f_{Rsi(kryt)}$  decydującej granicy w ocenie poprawności rozwiązań konstrukcyjnych złącza. Wg normy PN-EN

ISO 13788:2003 czynnik temperaturowy  $f_{Rsi(kryt)}$  oblicza się lub przyjmuje w zależności od zastosowanego w budynku rodzaju wentylacji (wentylacja grawitacyjna – dominująca w budownictwie mieszkaniowym lub wentylacja mechaniczna, będąca często składnikiem systemów klimatyzacyjnych, pozwalających w prawie dowolny sposób kształtować właściwości mikroklimatu wnętrza). W tabeli 1 zestawiono wyniki obliczeń wartości granicznej czynnika temperaturowego  $f_{Rsi(kryt)}$  określonego różnymi metodami.

Tab. 1. Obliczenie krytycznej wartości czynnika temperaturowego dla trzech przypadków wentylacji pomieszczeń – źródło (Dylla 2015)

| metoda | m-c | $t_e$<br>[°C] | $\varphi_e$<br>[%] | $p_e$<br>[Pa] | $\Delta p$<br>[Pa] | $\varphi_i$<br>[%] | $t_i$<br>[°C] | $t_{kr}$<br>[°C] | $f_{Rsi}$<br>[-]            |
|--------|-----|---------------|--------------------|---------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------|-----------------------------|
| A      | I   | -3,0          |                    |               |                    | 55                 | 20            | 14,1             | 0,743                       |
| A      | II  | -1,6          |                    |               |                    | 55                 | 20            | 14,1             | 0,726                       |
| B      | XII | -0,5          | 89                 | 522           | 810                |                    | 16            | 14,6             | 0,886                       |
| B      | I   | -3,0          | 87                 | 414           | 810                |                    | 16            | 13,3             | 0,858                       |
| B      | II  | -1,6          | 85                 | 454           | 810                |                    | 16            | 13,8             | 0,875                       |
| C      | I   | -4,8          |                    |               |                    | 50                 | 24            | 16,4             | 0,736<br>0,72 <sup>*)</sup> |

- metoda: A (stała wilgotność wnętrza – klimatyzacja), B (wilgotność wnętrza zmieniająca się w funkcji klasy wilgotności pomieszczenia – wentylacja grawitacyjna), C (wnętrze o temperaturze  $t_i \geq 20^\circ\text{C}$  oraz wilgotności  $\varphi_i = 50\%$  zdefiniowanej wg [1] – wentylacja grawitacyjna)  
- lokalizacja budynku (metoda A i B – Kraków, metoda C – Białystok,  
- klasa wilgotności pomieszczeń 4 (metoda B)  
<sup>\*)</sup> wartość graniczna określona wg rozporządzenia Dz. U. 2013. poz. 926.

W rozporządzeniu Dz. U. 2013. poz. 926., mimo uznania normy PN-EN ISO 13788 za obowiązującą w projektowaniu, istnieje odstępstwo od jej wymagań, polegające na przyjęciu średniej miesięcznej wilgotności względnej powietrza wewnętrznego w stałej wartości  $\varphi_i = 0,50$  (50 %) (punkt 2.2.2 Załącznika nr 2 rozporządzenia Dz. U. 2013. poz. 926.) dla pomieszczeń z temperaturą wewnętrzną równą co najmniej  $20^\circ\text{C}$ . Równocześnie dopuszczono (bez obliczeń) dla tych pomieszczeń przyjmowanie wartości czynnika  $f_{Rsi(kryt)} = 0,72$ , co praktycznie oznacza rezygnację z ustalania klas wilgotności pomieszczeń zaopatrzonych w wentylację grawitacyjną. To odstępstwo, nie pozwala na uwzględnienie w obliczeniach wilgotnościowych realnych warunków lokalizacyjnych (klimatycznych) oraz mikroklimatycznych badanego budynku, przynajmniej w odniesieniu do pomieszczeń o temperaturze wewnętrznej  $t_i \geq 20^\circ\text{C}$ , dość drastycznie obniżając poziom wymagań w zakresie ochrony przed zagrzybieniem budynków położonych w Polsce w ostrzejszych strefach klimatycznych (strefa IV i V).

## **KSZTAŁTOWANIE MIKROLIMATU WEWNĘTRZNEGO**

Przez pojęcie mikroklimatu wewnątrz rozumie się zespół wszystkich parametrów fizycznych i chemicznych danego pomieszczenia, wywierający wpływ na organizm człowieka oraz na budynek. Do głównych parametrów mikroklimatu zaliczyć można: temperaturę powietrza, średnią temperaturę powierzchni przegród, prędkość ruchu powietrza, wilgotność względną powietrza. Zespół czynników pozatermicznych to: zanieczyszczenie powietrza, jonizacja powietrza, poziom hałasów, oświetlenie itp.

Od czasów wprowadzenia systemów instalacyjnych do budownictwa kształtowanie mikroklimatu wewnątrz pomieszczeń stało się zadaniem łatwiejszym. Istnieją jednak problemy, na które należy zwrócić szczególną uwagę. W publikacji przede wszystkim został poruszony problem wilgotności powietrza i wpływu tego parametru na budynek.

Duże wahania wilgotności względnej ( w granicach o 30-70%) nie są uciążliwe dla człowieka. Inaczej ma się z przegrodami budowlanymi. Wysoka wilgotność względna, zwłaszcza w zimie, może powodować wykraplanie się wody na powierzchni szyb w oknach i na ścianach zewnętrznych. Zjawisko to może powodować pojawienie się pleśni i grzybów na przegrodach budowlanych, szczególnie w miejscu występowania mostków cieplnych. Problem nadmiernej wilgotności względnej występuje od momentu wprowadzenia na rynek i montażu szczelnych okien, bez możliwości dostarczenia wymaganej ilości powietrza zewnętrznego do pomieszczenia. Technologia produkcji okien cały czas ulega zmianie i aktualnie montowane okna muszą posiadać nawiewniki okienne. I tu pojawia się problem odpowiedniego użytkowania obiektów budowlanych. Często użytkownicy w celach oszczędności nieprawidłowo korzystają z zamontowanych nawiewników, co powoduje pogorszenie warunków mikroklimatu wewnątrz pomieszczeń. Rozwiązaniem problemu jest zaprojektowanie prawidłowo działającego systemu wentylacyjnego, który nie będzie zwiększał energochłonności obiektu, a jednocześnie zapewni komfortowe warunki w budynku. Jednym z rozwiązań jest stosowanie wspomaganego wentylacji grawitacyjnej.

Projektowanie oraz eksploatacja instalacji wentylacyjnej w budynku podlega ustawie Prawo Budowlane, aktom wykonawczym (rozporządzeniom) oraz normom. Obowiązek wykonania projektu instalacji wentylacyjnej zarówno mechanicznej, jak i grawitacyjnej wynika z rozporządzenia w sprawie szczegółowego zakresu i formy projektu budowlanego. Zgodnie z wytycznymi wymienionego rozporządzenia w skład projektu architektoniczno-budowlanego wchodzi rozwiązania dotyczące instalacji wentylacji. Projekt powinien więc zawierać:

- rozwiązania wyposażenia budynku w instalację wentylacji grawitacyjnej,
- założenia, jakie przyjęto do obliczeń instalacji,
- podstawowe wyniki obliczeń instalacji z uzasadnieniem doboru, rodzaju i wielkości urządzeń.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wentylacja powinna zapewniać odpowiednią jakość środowiska wewnętrznego, w tym wielkość

wymiany powietrza, jego czystość, temperaturę, wilgotność względną, prędkość ruchu powietrza w pomieszczeniu. Zalecenia te należy spełnić przy zachowaniu wszystkich obowiązujących przepisów dotyczących wymienionej instalacji. Instalacja wentylacyjna może być projektowana jako mechaniczna lub grawitacyjna w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi, w pomieszczeniach bez otwieranych okien, a także w innych pomieszczeniach, w których ze względów zdrowotnych, technologicznych lub bezpieczeństwa, konieczne jest zapewnienie wymiany powietrza. Biorąc pod uwagę ilość zużytej energii w systemach wentylacji mechanicznej warto zwrócić uwagę na rozwiązania alternatywne pozwalające jednak na zachowanie obowiązujących przepisów i zapewnienie komfortowych warunków w pomieszczeniach. Pierwsze zagadnienie związane z systemem wentylacji to ilość powietrza wentylacyjnego, którą należy dostarczyć do pomieszczeń. Szczegółowe informacje na ten temat znajdziemy w Polskiej Normie PN-83/B-03430 oraz PN-83/B-03430/Az3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Minimalna wielkość strumienia powietrza niezbędna do wentylacji powinna wynosić:

- dla kuchni z oknem zewnętrznym, wyposażoną w kuchnię gazową lub węglową -  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- dla kuchni z oknem zewnętrznym, wyposażonej w kuchnię elektryczną w mieszkaniu dla 3 osób -  $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- w mieszkaniu dla więcej niż 3 osób -  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- dla kuchni bez okna zewnętrznego lub dla wnęki kuchennej wyposażonej w kuchnię elektryczną -  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- dla łazienki -  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- dla oddzielnego ustępu -  $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- dla pomieszczenia pomocniczego (bez okna) -  $15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ,
- dla pokoju mieszkalnego -  $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

W rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, zawarta jest dodatkowa informacja na temat wielkości strumienia powietrza zewnętrznego doprowadzanego do pomieszczeń. Strumień powietrza w mieszkaniach powinien wynikać z wielkości strumienia powietrza wywiewanego i nie może być mniejszy niż  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  na osobę.

Z uwagi na fakt dążenia do zrównoważonego rozwoju w architekturze i budownictwie, w celu dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza wskazane jest stosowanie rozwiązań, które pozwolą na oszczędność energii w czasie eksploatacji budynków. W związku z tym, w artykule zaprezentowane zostaną rozwiązania dotyczące wspomagania systemu wentylacji grawitacyjnej.

W rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 5 lipca 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, został uregulowany sposób dostarczenia odpowiedniej ilości powietrza zewnętrznego do budynku. §155 ust.3: „W przypadku zastosowania w pomieszczeniach innego rodzaju wentylacji niż wentylacja mechaniczna nawiewna lub nawiewno-wywiewna, dopływ powietrza zewnętrznego

nego, w ilości niezbędnej dla potrzeb wentylacyjnych, należy zapewnić przez urządzenia nawiewne umieszczone w oknach, drzwiach balkonowych lub w innych częściach przegród zewnętrznych." Uszczegółowienie tego przepisu znajduje się w załączniku 2 wyżej wymienionego rozporządzenia. Współczynnik infiltracji powietrza dla okien otwieranych i drzwi balkonowych powinien wynosić nie więcej niż  $0,3 \text{ m}^3 \cdot (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{daPa}^{2/3})^{-1}$ , jednocześnie zaleca się, aby szczelność budynku z wentylacją grawitacyjną wynosiła  $n50 \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$ . Przyjęło się uważać, że podstawowymi „urządzeniami nawiewnymi” doprowadzającymi powietrze do pomieszczeń są nawiewniki montowane na ramach ościeżnic i skrzydeł okna.

Rozwój budownictwa spowodował uszczelnienie budynków, co pogorszyło przepływ powietrza w pomieszczeniach, jednocześnie zmieniły się potrzeby użytkowników. Spowodowało to wzrost wymagań i poszukiwanie prawidłowych rozwiązań systemu wentylacji grawitacyjnej. Wśród licznych sposobów wspomaganie wentylacji grawitacyjnej wymienić można:

- Nasady kominowe

Podstawowym zadaniem nasadki kominowej jest zwiększenie podciśnienia w kanale wywiewnym, wykorzystując prędkości wiatru. Należy jednak pamiętać, o tym, że przy bardzo małej prędkości wiatru osłony i wywietrzaki powodują dodatkowy opór przepływającemu powietrzu. Wzrost prędkości wiatru przyczynia się do wzrostu wartości ciśnienia całkowitego. Wpływ na nie ma różnica gęstości powietrza oraz wywołane w obudowie wywietrzaka podciśnienie. Skutkuje to większą intensywnością wentylacji w obiekcie. Wykorzystujące energię promieniowania słonecznego.

- Podwójne szklane ściany

Dwie warstwy oszklenia oddalone od siebie od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów tworzą szklane ściany dwupowłokowe. Warstwą wewnętrzną mogą być tradycyjne okna, a zewnętrzną szklana powłoka. Szklana powłoka pod wpływem promieniowania słonecznego powoduje podwyższenie temperatury powietrza w przestrzeni międzywarstwowej. Warstwa zewnętrzna dodatkowo pełni funkcję osłony przeciwwiatrowej i ekranu akustycznego. Pustka powietrzna występująca pomiędzy warstwami szkła pełni funkcję kanału cyrkulacyjnego. Ogrzane w przestrzeni międzywarstwowej powietrze cyркуluje ku górze i zostaje wyprowadzone na zewnątrz budynku. Występujący ku górze ciąg powietrza wyprowadza zużyte, ciepłe powietrze, zasysając w dolnej części chłodne powietrze z zewnątrz.

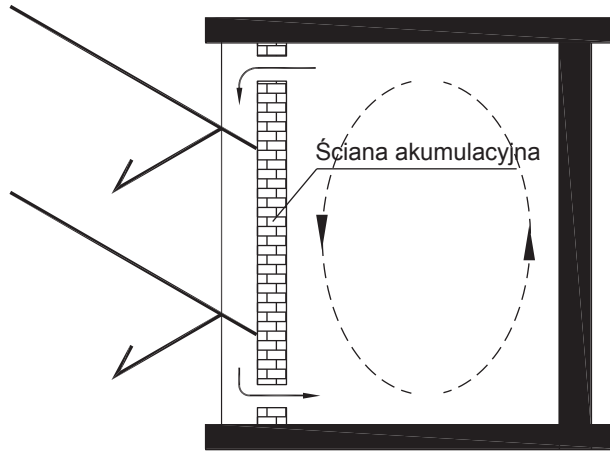
- Przeszkłone atria i pasaż

Przeszkłone atria zlokalizowane są w wewnętrznej strefie budynku. Powietrze ogrzane w górnej części atrium wyprowadzone jest na zewnątrz przez otwory cyrkulacyjne, które znajdują się w części dachowej. Powstające podciśnienie powoduje wystąpienie tzw. efektu kominowego, którego skutkiem jest zasysanie powietrza z dolnych partii budynku. Przepływ powietrza do góry powoduje, że powietrze świeże, z dolnej części zostaje wprowadzone do środka budynku. Jest ono wprowadzane przez znajdujące się w elewacjach otwierane okna. Przeszkłone atrium to system wentylacji poprzeczno-wyporowej. Wprowadzane przez okna powietrze przepływa poprzecznie przez pomieszczenia. Następnie,

po ogrzaniu wędruje do góry w przestrzeni atrialnej, aby zostać wyprowadzonym na zewnątrz budynku.

- Ściana Trombe'a

Ściana Trombe'a opatentowana została w 1972 r. Jest to ciemnego koloru ściana, przed którą odległości kilku centymetrów znajduje się przeszklenie. Zasadę działania ściany Trombe'a opisał m.in. Z. Pluta (2007).



Rys. 1 Ściana Trombe'a

Padające na szybę promienie słoneczne, przechodząc przez nią, są magazynowane przez ścianę akumulacyjną, podwyższając jej temperaturę. Zgromadzona energia w postaci ciepła w ścianie akumulacyjnej stopniowo oddawana jest do powietrza przepływającego pomiędzy szybą a ścianą. Zimą otwory na górze i na dole ściany umożliwiają przepływ nagrzanego powietrza ze szczeliny do pomieszczenia. Przepływ następuje wtedy, gdy siła wyporu (zależna od różnicy gęstości powietrza w szczelinie i w pomieszczeniu) będzie dostatecznie duża, aby pokonać opory przepływu. W okresie letnim można wykorzystać ścianę Trombe'a do chłodzenia pomieszczenia.

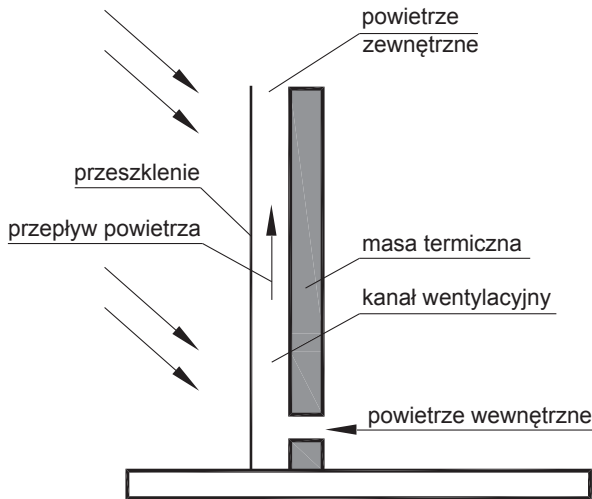
Zagadnienie wpływu szerokości pomiędzy równoległymi płytami, na naturalną konwekcję przedstawił E.M.Sparrow i L.F.A. Azevedo. Do tych badań odwołuje się G. Gan (1998) w swojej publikacji, w której przedstawił sposób działania ściany Trombe'a, wykorzystując do tego metody komputerowe oparte na technice CFD (Computational Fluid Dynamics). Przeprowadzone badania mogą służyć do przewidywania przepływu powietrza w zależności od geometrii ściany. Prace badawcze obejmowały rozważania na temat różnych parametrów ściany Trombe'a i zależności między nimi. Jednym z zagadnień był wpływ szerokość kanału oraz szerokości wlotu powietrza na przepływ powietrza w danej temperaturze. Wykazano, że jeśli szerokość kanału (odległość przeszklenia od ściany) i wysokość dolnego otworu były sobie równe i jednakowo zwiększane, to następuje wzrost prędkości przepływu powietrza, natomiast jeśli wysokość wlotu zawsze była równa

(przyjęto 0,1 m) a zwiększano tylko szerokość kanału nie miało to wpływu na przepływ powietrza. Kolejne zagadnienie związane było z natężeniem promieniowania cieplnego. Badano temperaturę ściany oraz przepływ powietrza w kanale w zależności od energii zakumulowanej w ścianie budynku. Im większa była akumulacja ciepła, tym wyższa temperatura i większe wartości przepływu powietrza. Rozważaniom poddano również wpływ wysokości oraz grubość ściany na prędkość przepływu powietrza oraz zasadność izolacji ściany akumulacyjnej.

- Kominy słoneczne

Urządzeniem wspomagającym wentylację grawitacyjną w budynku może być komin słoneczny, w którym wykorzystano efekt konwekcji powietrza podgrzanego energią słoneczną (Rys. 2).

Zasada funkcjonowania kominów słonecznych jest podobna do działania kominów tradycyjnych. Charakterystyczną cechą jest wzmocnienie naturalnej wentylacji wyporowej przy wykorzystaniu pasywnego ogrzewania energią słoneczną. Pozyskiwanie energii promieniowania słonecznego odbywa się w sposób naturalny, dzięki zjawiskom wymiany ciepła i masy. Wydajność kominu słonecznego zależy od temperatury powietrza w przewodzie kominowym. Bezpośredni wpływ na wartość temperatury ma ilość przenikającego ciepła z promieniowania słonecznego, a to wiąże się z kątem podania promieni słonecznych na powierzchnię. Dlatego kąt nachylenia kominu słonecznego jest bardzo ważnym parametrem, pozwalającym określić intensywność wentylacji naturalnej. Od lat 90 prowadzi się na ten temat badania. Naukowcy próbują różnymi metodami określić optymalne wartości kątów. Jest to jednak zagadnienie bardzo złożone, gdyż na proces przepływu powietrza ma wpływ nie tylko nasłonecznienie, ale także inne czynniki np. prędkość wiatru, wilgotność powietrza.



Rys. 2 Schemat kominu słonecznego [opracowanie własne]

## PODSUMOWANIE

Energochłonność budynku kształtuje wiele czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Odpowiedni dobór układów materiałowych przegród zewnętrznych i ich złączy pozwala na ograniczenie strat ciepła przy przenikaniu (współczynnik przenikania ciepła  $U_c$  W/(m<sup>2</sup>·K) dla pełnych przegród zewnętrznych, liniowy współczynnik przenikania ciepła  $\Psi$  W/(m·K) dla złączy budowlanych - mostków cieplnych) oraz uniknięcia ryzyka występowania kondensacji powierzchniowej (ryzyko rozwoju pleśni i grzybów pleśniowych). Innym elementem jest odpowiedni dobór systemu wentylacji wraz z określeniem niezbędnych parametrów powietrza. Istotne informacje na temat określenia niezbędnej ilości powietrza oraz sposobu dostarczenia i odprowadzenia z pomieszczenia wpływa na energochłonność obiektu budowlanego.

Dobór odnawialnych źródeł energii powinno się przeprowadzać po wykonaniu szczegółowej analizy parametrów fizykalnych przegród zewnętrznych i ich złączy oraz parametrów technicznych projektowanych instalacji w budynkach.

## LITERATURA

1. Dylla A., Fizyka cieplna budowli w praktyce. Obliczenia cieplno-wilgotnościowe. Wydawnictwa PWN SA, Warszawa 2015.
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2002/91/WE z dnia 16 grudnia 2002 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz Urz L 1 z 4.01.2003, s. 65-71).
3. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków (Dz Urz L 153 z 18.06.2010, s. 13-35).
4. Gan G., A parametric study of Trombe walls for passive cooling of buildings. *Energy and Buildings* 27, 1998, 37-43.
5. Pluta Z., 2007. Słoneczne instalacje energetyczne. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2007.
6. PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.
7. PN-EN ISO 13788: 2003, Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku, Temperatura powierzchni wewnętrznej umożliwiająca uniknięcie krytycznej wilgotności powierzchni wewnętrznej kondensacji, Metody obliczania.
8. PN-83/B-03430 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.
9. PN-83/B-03430/Az3:2000 Wentylacja w budynkach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.



10. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 5 lipca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie. Dz. U. 2013. poz. 926.
11. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowania (Dz.U. z 2013 r., poz. 926).
12. Sparrow E.M., Azevedo L.F.A., Vertical channel natural convection spinning between the fully developed and the single-plate boundary-layer limit. *International Journal of Heat Mass Transfer* 28, 1985, 1847--1857.
13. Uchwała Rady Ministrów z dnia 22 czerwca 2015 r. w sprawie przyjęcia „Krajowego planu mającego na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii”.
14. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. z 2013 r. poz. 1409, z późn. zm.).

# AUTONOMOUS HOUSE IN KUNČINA

## AUTONOMNÍ DŮM V KUNČINĚ

Martin Nedvěd<sup>1</sup>, Martina Mlčochová<sup>2</sup>

<sup>1</sup> VSB - Technical University of Ostrava, Department of Architecture, Faculty of Civil Engineering, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, martin.nedved@vsb.cz

<sup>2</sup> VSB - Technical University of Ostrava, Department of Architecture, Faculty of Civil Engineering, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, martina.mlcochova@vsb.cz

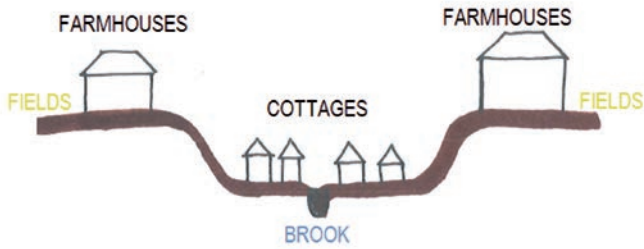
### ABSTRACT

The article deals with the family house designed by architect Martin Nedvěd, which is being realized in the village Kunčina in East Bohemia. The object for a five member family is situated on the edge of the village near the biogas plant owned by an investor. It has its own well - a source of drinking water that will be infiltrated back into the soil after cleaning. Warmth for heating and hot water will be obtained from the biogas plant. The source of electricity will also be from the biogas plant and a set of photovoltaic panels. Green roofs will protect the house from overheating. They will be continued by the terraced vegetable beds irrigated by rainwater. Rainwater will also fill the swimming pond (habitat), which will be filtered through the ornamental flower beds on one of the roof cascades. Floor plan of the atrial house reflects the original buildings in the village (farmyards), but green roofs and terraced gardens passes into the surrounding landscape. Thanks to its own water source (well), food source (the garden), source of heat and electricity (renewables), the house is fully autonomous.

Keywords: autonomous house, renewable energy.

### CONTEXT

The village Kunčina (originally Kunzendorf) in eastern Bohemia was founded in 1270 by German colonists, who were exiled in 1945 and replaced by Czech citizens. Kunčina as a road valley village has a characteristic arrangement of buildings by the terrain morphology, stemming from the logic of its founding in the Gothic period. On the upper terraces above the valley, in direct contact with fields, there are freely distributed closed or half-closed "Frankish" farmhouses, while on the lower terrace of the valley, along the road and the creek were formed smaller cottages of auxiliary labourers, craftsmen and retired old people. (Il. 1)



Il. 1 The cross section of the village Kunčina. Drawing: M. Nedvěd

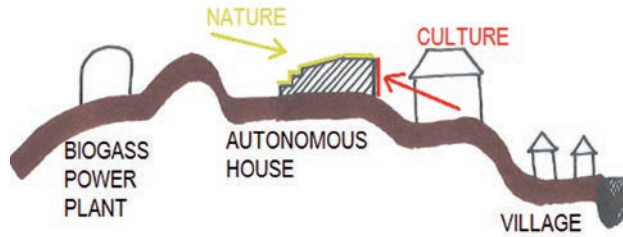


Figure.1 Kunčina – a village in Eastern Bohemia (a building site in the ring). Drawing: M. Nedvěd

The building site was chosen by the investor, because he wanted to live further away from the people and because his biogas plant (which he wanted to use as a source of heat and electricity) is staying there. The task was to propose a single-storey luxury house for a family of five with two cars. The offer should include a swimming pool and guest house.



Il. 2 A comparison of the proposed building and the existing farms in the village (A – autonomous house, B - house registration number 372, C - house registration number 151, D - house registration number 361). Drawing: M. Nedvěd



Il. 3 The concept for the building's location between the town and countryside. Drawing: M. Nedvěď

## CONCEPT

Architect Martin Nedvěď (one of the authors of this article) had to solve the problem, how to design a building on the upper terrace of the village between existing farms and free landscape (fields, meadows, forests, ...). The solution (presented on Il. 3) was to design a house that viewed from a village, creates an urban wall and viewed from the outside is a part of nature. This is possible thanks to oblique side wings of the atrium house with green roofs, and thanks to cascades of flower and vegetable beds along the rear walls.

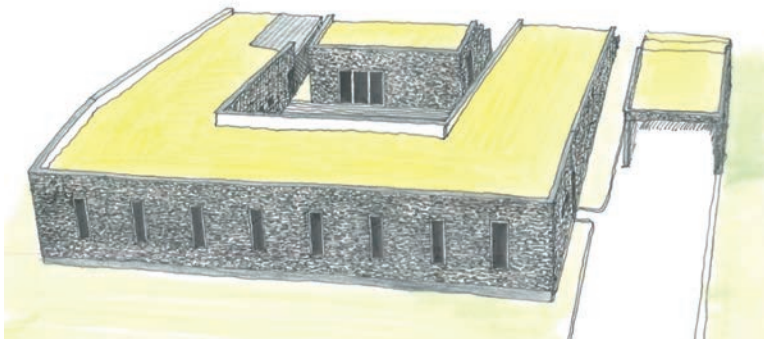


Figure. 2 Design of the proposed building. Design and drawing: M. Nedvěď



Figure. 3 The longitudinal section through the atrium. Design and drawing: M. Nedvěď

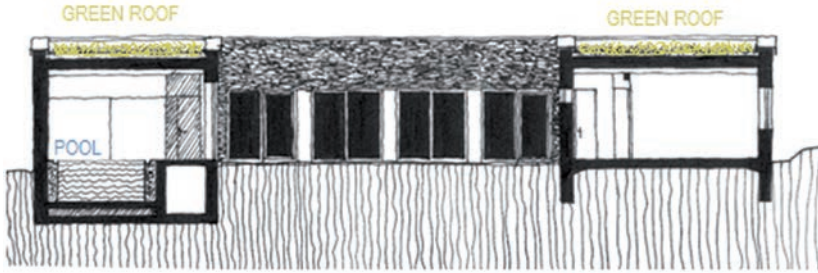


Figure. 4 The cross section through the atrium. Design and drawing: M. Nedvěd

The building in compliance with the surrounding buildings is designed as a narrow, longitudinal mass, bent around a closed courtyard. The built up area fits into the average between the farmhouses in a similar position on the edge of fields. A comparison of the size of the proposed building with the largest farms in the village (Il. 2), or the situation of wider relations (Figure. 1) shows that the chosen scale is appropriate.

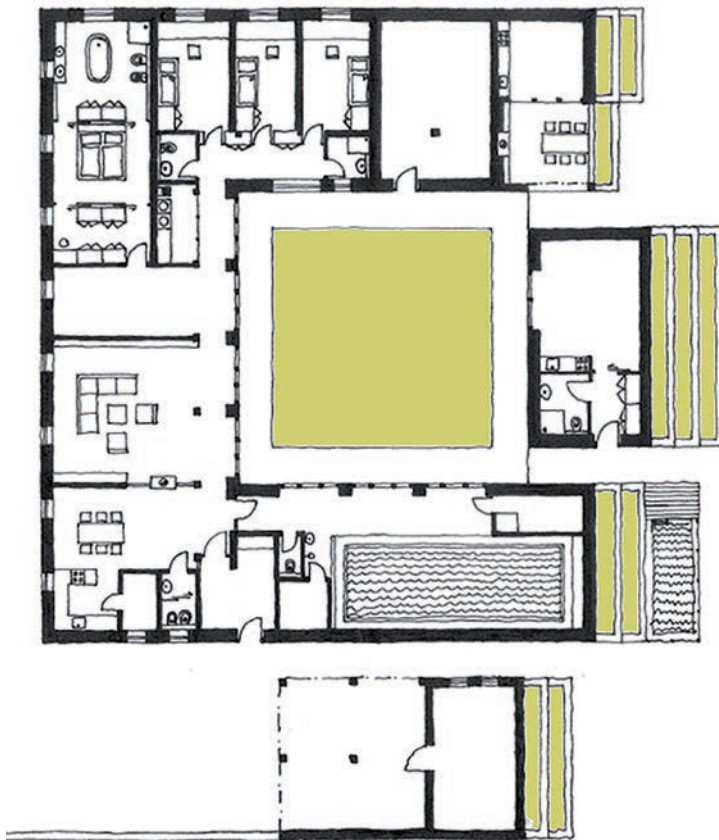


Figure. 5 Floor plan. Design and drawing: M. Nedvěd

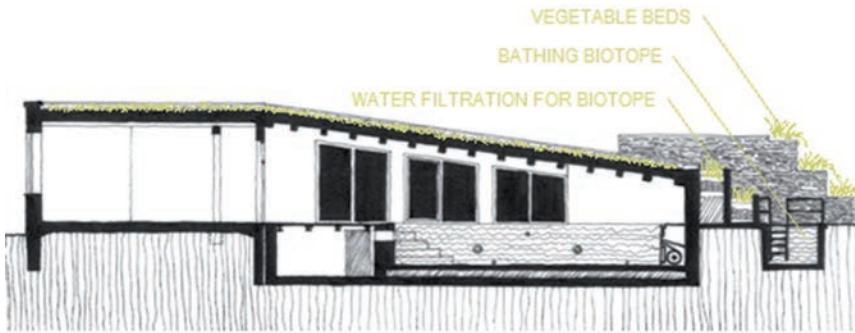


Figure. 6 The cross section through the pool wing. Design and drawing: M. Nedvěď

## CONSTRUCTION AND MATERIALS

The building is based on concrete footings and slabs. The walls are constructed from ceramic bricks. The ceilings are made of local timber. The roofs are green - decking over wooden beams, vapor barrier, thermal insulation, hydro isolation, hydro-accumulation layer, geotextile, soil and grass. The windows are wooden - aluminum with thermal isolating triple glass. The facades are clad with local sandstone.

## WATER MANAGEMENT

Water is extracted from the house's own well. After use, it is cleaned by the wastewater power plant and infiltrated back into the soil. Rainwater, does not remain in the layers of green roofs, it flows through a cascade of flower beds, irrigate them and the rest is infiltrated into the soil. The cascade beside the bathing biotope is filled with plants, which act as a filter for this biotope (cleaned water is driven by a solar-powered pump).

## ENERGY MANAGEMENT

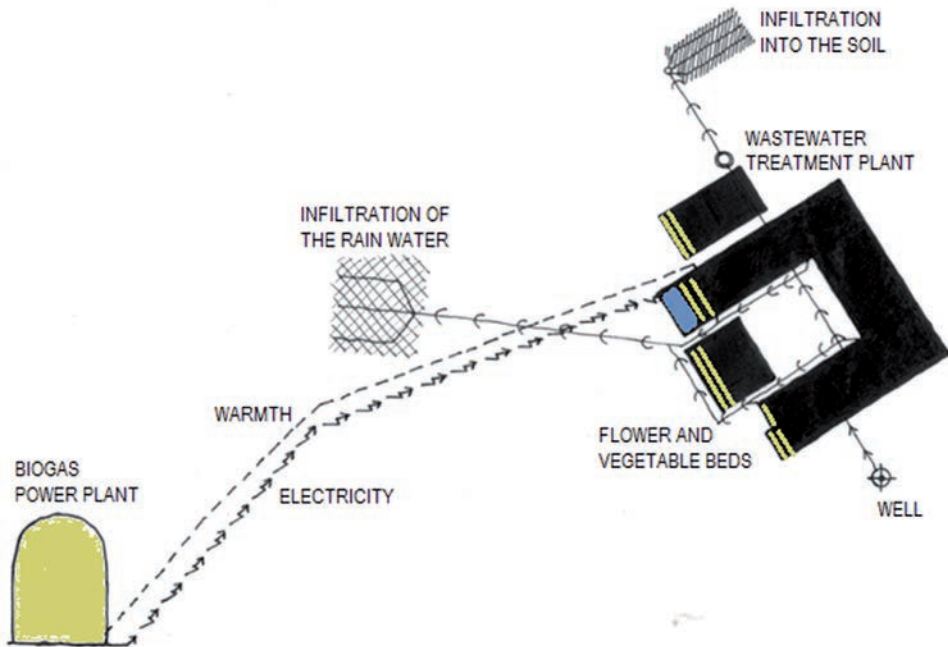
Electricity is obtained from a nearby biogas plant, which is a renewable source of energy. In the future the connection of solar panels is being considered. The biogas plant is also a source of heat for heating and hot water.

Parameters:

Heated area: 445 m<sup>2</sup>

Heated space: 1482 m<sup>3</sup>

Energy consumption: 73 MWh / Year



II. 4 Site plan. Design and drawing: M. Nedvěd

## CONCLUSION

*“An autonomous building is a building designed to be operated independently from infra-structural support services such as the electric power grid, gas grid, municipal water systems, sewage treatment systems, storm drains, communication services, and in some cases, public roads.” (Wikipedia)*

The house in Kunčina meets the idea of a closed system in terms of water, sewage, storm water, electricity, heating, and partially of food (vegetable beds in the cascades and fruit trees in the garden do not cover the entire consumption of the family, but can be extended and include animal farming if necessary).





Figure. 7 Construction in August 2016. Photo: M. Nedvěď



Figure. 8 Construction in September 2016. Photo: M. Nedvěď

## ACKNOWLEDGMENT

This contribution is the result of the research supported by the Student Grant Competition by VSB Technical University of Ostrava. Project registration number: SP2016/127.

## REFERENCES

1. Forman R. T. T., *Urban Ecology*. Cambridge University Press, Cambridge 2014.
2. Plamínková J., *Slabikář ekologického bydlení. Liga energetických alternativ*, Praha 1998.
3. Urbášková H., *Udržitelný rozvoj venkova. Akademické nakladatelství CERM*, Brno 2012.





# NUMERICAL SIMULATION OF WIND TURBINE USING MODERN SIMULATION TOOL

Robert Roszak<sup>1</sup>, Piotr Zuchniarz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State University of Applied Sciences in Konin, Faculty of Engineering, ul. S. Wyszyńskiego 35, 62-510 Konin, robert.roszak@konin.edu.pl

<sup>2</sup> Poznan University of Technology, Faculty of Machines and Transport, Pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań, piotr.zuch@gmail.com

## ABSTRACT

This paper presents CFD (Computational Fluid Mechanics) simulation tools and chimera technique applied to configuration with rotating elements. For the calculation of the case with rotating elements, CFD analysis requires a definition of individual fluid domains. The calculation of CFD simulation is associated with rotating flow grid. Computational Fluid Simulation calculations for the rotating elements are not possible on single mesh. It is therefore necessary is to use the chimera method in these cases. This paper presents a solution to this problem on the example of wind turbine based on real configuration's geometry. The most challenging part of the calculation in this case is the process of deformation of the flow mesh at each time step. This approach was necessary due to the rotating elements and interpolation of the results between rotating element and fixed flow domain. Finally the authors present a response of CFD analysis for d rotating elements based on real geometry of the wind turbine.

Keywords: wind turbine, numerical simulation, chimera technique.

## Introduction

Computer simulations are used, and even necessary when designing building or mechanical structures. The physical construction phase begins only after a computer simulation that verifies that the required strength and safety standards are met. In the aerodynamics field, they are used inter alia to determine the values of parameters describing the geometry of an aircraft or its components (e.g. wings, ballasts). The values obtained after such a simulation include, but are not limited to, the values of the bearing force and air resistance (fluid), pressure values and flow velocities in the analysed geometry area.

The use of a computer is also very helpful in designing the geometry of an aircraft and its components (wings, ballasts, etc.). For virtual models, the value of aerodynamic resistance is checked so that the current geometry can be modified to minimize this resistance, and maximize the bearing force. Another use of the flow simulations is to analyse the whirls of the fluid generated behind an obstacle. It turns out that even slight changes in a geometric shape can significantly reduce the nature and size of the occurring whirls, and thus reduce the resistance. Practical examples of such geometries are e.g. passenger cars and trucks, where one strives to minimize traffic resistance.

Another example of the use of the computer simulation can be the simulation of airflow around a moving wind turbine, where the efficiency of the use of wind by windmill blades can be checked. The geometry of the blade should be shaped to get the highest possible force perpendicular to wind direction. It is also important that the angle of attack, i.e. the angle at which the blade's plane is aligned with respect to the line of action of the force coming from the wind.

The following thesis presents a modern way in which the computer simulation of the flow of fluid (air) around a moving wind turbine (fig. 1) can be obtained.



Fig. 1 Modern Vestas wind turbine [<http://www.vestas.com>]

## STATE OF KNOWLEDGE

At the present time, the Finite Element Method (FEM) is the basic engineering tool for addressing computational tasks in various areas. The main idea of the FEM is to convert any continuous size (e.g. speed, pressure, temperature, etc.) into its discrete model. This model is based on a limited number of nodes that define a finite number of elements (hence the name of the method) (A. Milenin, 2008). The exact values are calculated only in nodes that fill the calculated area. Value outside of the nodes are enumerated, in turn, by means of

interpolation using the appropriate functions. The application of FEM in a form of various software is often associated with the formation of the numerical errors. This method is an approximate method and its use requires a certain amount of theoretical knowledge.

The first step to carry out the virtual simulation of processes is replacing a calculated area (called the computational domain) on the model. This activity consists in generating a so-called calculation mesh (flow mesh), which has a key impact on the quality and reliability of the obtained solution. It also significantly impacts in the cost of numerical calculations, in terms of the required computing calculation power and the time it takes to complete the calculations.

The mesh generation process is already largely automated - the most commonly used algorithms are those that enable the generation of highly optimized flow meshes. The most commonly used algorithms are: Delaunay Triangulation and the Advancing Front Method. These algorithms allow the generation of a numerical mesh based on the information on the surfaces of the model and the calculation domain.

Despite significant automation of the calculation mesh generation process, a certain strategy and experience are required from the engineer to define finite element sizes on all surfaces. Too large will result in excessive simplification of the geometry. Consequently, the result of the calculation, although accurate, cannot take into account certain phenomena that occur with a complicated-shapes model. The definition of too small items will, in turn, cause rapid increase in the number of all the elements in the domain which directly translate into a longer calculation time.

It is also important to skilfully assign local densities in the calculation area. Especially, it is advisable to introduce these condensations in the areas where the shape of the model is complex, and in areas where the occurrence of different physical phenomena (e.g. air turbulence in aerodynamic shadow) is expected. It is necessary to ensure a smooth expansion of the size of the elements, starting with the largest densities.

The use of the above guidelines allows to generate the optimal numerical mesh. The "quality" of the mesh depends mainly on the shape of the individual finite elements. A perfect case would occur if all elements were polygons and regular polyhedra. This in most cases is impossible to obtain, due to the complexity of the tested geometry. A slight deviation of shape from the regularity does not, however, significantly impact on the deterioration of the mesh. The "quality" elements can be checked using the so-called mesh quality metrics. For tetrahedrons, they are the tetrahedron shape metric and the tetrahedron relative shape metric. The hexadecimal elements, in addition to two quadrilateral relative metrics, still have the quadrilateral skew metric (P. Knupp 2009).

## **AERODYNAMICS OF WIND TURBINES**

Force  $P$  (fig. 2) act on a flat plate placed at an angle of  $\alpha$  to the direction of air movement  $v$ . This force is decomposed into two components: force  $P_x$  acting in the direction of wind speed  $v$ , and force  $P_z$  acting perpendicularly to  $P_x$  (A. Flaga, 2010).

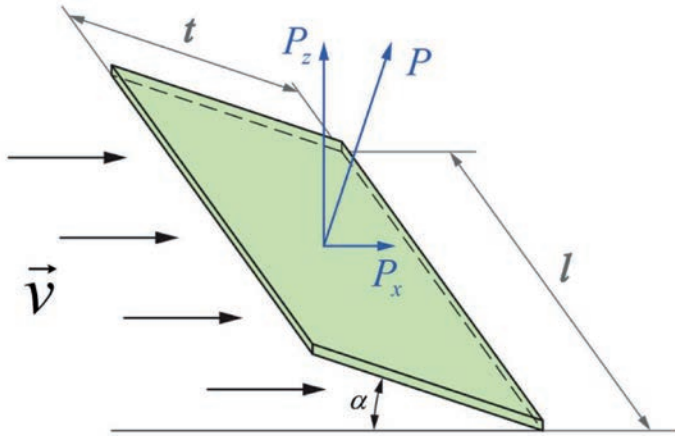


Fig. 2 Reaction forces for a flat plate (A. Flaga, 2010).

$$\begin{aligned}
 P_x &= \frac{1}{2} C_x \cdot F \cdot \rho \cdot v^2 [N] \\
 P_z &= \frac{1}{2} C_z \cdot F \cdot \rho \cdot v^2 [N] \\
 F &= l \cdot t
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

where:

- $C_x$  – aerodynamic resistance coefficient,
- $C_z$  – bearing force aerodynamic coefficient,
- $F$  – plate surface (panel) [m<sup>2</sup>];
- $v$  – speed of air relative to plate (panel) [m/s];
- $\rho$  – air density [kg/m<sup>3</sup>]

Different air profiles differ in shape in the XZ plane (a cross-section plane). The shape of these profiles is created in such a way as to minimize  $C_x$  while maintaining a relatively high  $C_z$  value. The so-called excellence (K) is an important parameter determining the aerodynamic properties of the profile:

$$K = \frac{C_z}{C_x}
 \tag{2}$$

The angle of attack for which excellence is the highest is called the optimal angle of attack ( $\alpha_{opt}$ ).

If air stream flows to the wind turbine rotor at a speed of  $v$ , this will reduce the speed to  $v_1$  and then beyond to  $v_2$  (Fig. 3).

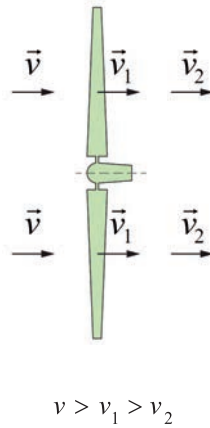


Fig. 3 Reduced air speed in the wind turbine rotor (A. Flaga, 2010).

The decreased speed of incoming air can be observed in the carried out flow simulations.

Based on theoretical considerations, one can conclude (<http://www.uwm.edu.pl/kolektory/silownie/aerodynamika.html>):

- the largest possible utilization of wind energy in a single rotor is 0.59. This means that at most 59% of the kinetic energy of the wind velocity  $v$  and of the cross-section  $F$  equal to the area of the circle spanned by the wings can be converted into mechanical work;
- the highest efficiency is obtained when the speed of the air stream through the rotor  $v_1 = 2/3v$  and the air speed behind the rotor  $v_2 = 1/3v$ ;
- in the rotor there are various types of aerodynamic losses that reduce the amount of energy that can be obtained. As a result, the actual wind power factor is less than the theoretical and for modern windmills it is, depending on the design and size of the engine, between 0.3 and 0.45.

## CONSTRUCTION OF CALCULATION MODELS

The first step in creating a flow simulation was to prepare a virtual geometric wind turbine model (Fig. 4). Already at the CAD design stage, the use of Chimera simulation for a flow analysis should be considered.



Fig. 4 Virtual wind turbine model.

The developed wind turbine model consists of three blades, a nacelle and a tower. Each blade has a length of 4 [m] and is intended for small wind turbines, up to 5 kW. The aerial profiles S823 (base) and S822 (top) were used to build a blade. The cross-sections of these profiles are shown in Figure 5.

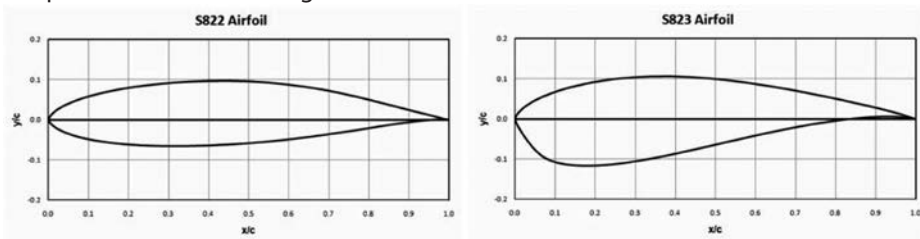


Fig. 5 Air cross-sections used in a blade of the wind turbine

Figure 6. shows the view of the wind turbine model taking into account the most important dimensions and the enlargement of the windmill nacelle with a visible gap (necessary in the Chimera technique). All dimensions are provided in [mm].

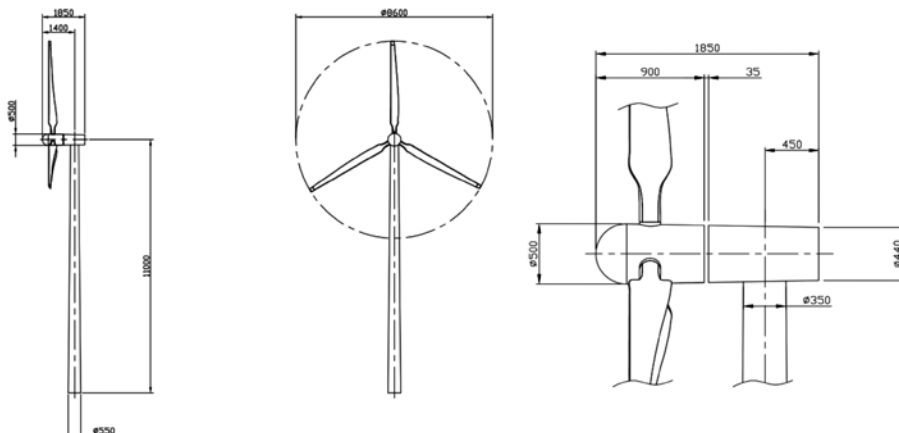


Fig. 6 Overall dimensions of the wind turbine (CAD model).

The wind turbine only rotates around one axis, defined by the windmill nacelle. For the modelling of the flow, two numerical meshes were used, based on two CAD models. In the model of the whole wind turbine, therefore, two smaller models were separated - rotary and stationary:

- the mobile element is a geometry containing the shape of the blades and the front part of the wind turbine nacelles (fig. 7);
- the stationary element is the geometry of the windmill tower, and the back part of the nacelle (fig. 7 from the right).

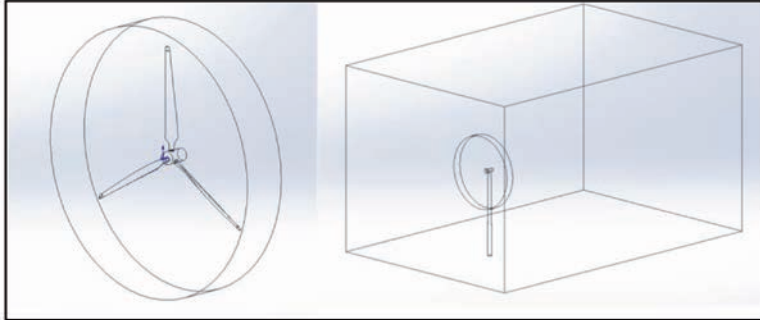


Fig. 7 CAD models used to build numerical meshes for Chimera's technique, the mobile element on the left, and the stationary element on the right.

The windmill nacelle was divided into two parts. The division is necessary in order to obtain a single, consistent data exchange area in Chimera technique. The gap width is also an important part.

Chimera technology requires the use of a single, closed area of the exchange of information between the areas. This means that the mobile part on each side must be in the fixed part. In order to obtain the correct simulation results, it was necessary to model a small gap between the turbine housing and the drive shaft (Fig. 8, details: A, B). This resulted in a single, closed loop of the exchange of information between the mesh. In fact, this gap does not exist, and therefore its size should be as small as possible so that it does not significantly impact on the results of the simulation. On the other hand, this size cannot be infinitesimally small, as the exchange of information is also required in the gap - several layers of finite elements are needed.



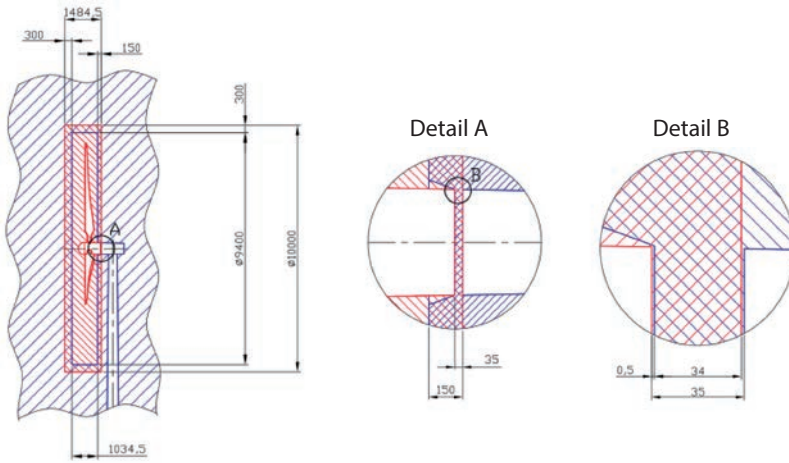


Fig. 8 Position the rotor (mobile element - red) in relation to the whole windmill (stationary element - blue).

### CONSTRUCTION OF DISCRETE MODELS

For the developed CAD models, flow meshes were generated using Centaur soft software. In order to achieve optimum block integration, the same finite element sizes were used in the definition of the discretization parameters in the areas of mutual penetration of the mobile element areas with the stationary element. For such models, flow mesh for the rotor and fixed part were generated (9).

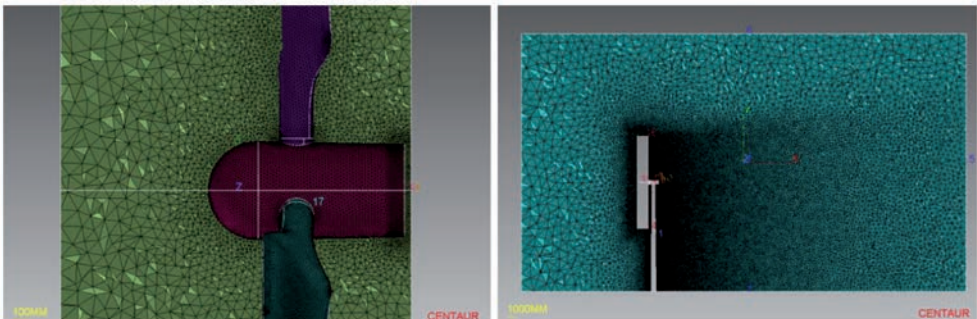


Fig. 9 Discrete models for the wind turbine: from the left - the rotor model, from the right - the stationary part with the simulation area.

The number of finite elements for each of the meshes is equal to: 6.20 m for the mobile element and 8.74 million for the stationary element.

Figure 10 shows the final spatial configuration of two meshes blocks to carry out the flow simulation for the wind turbine.

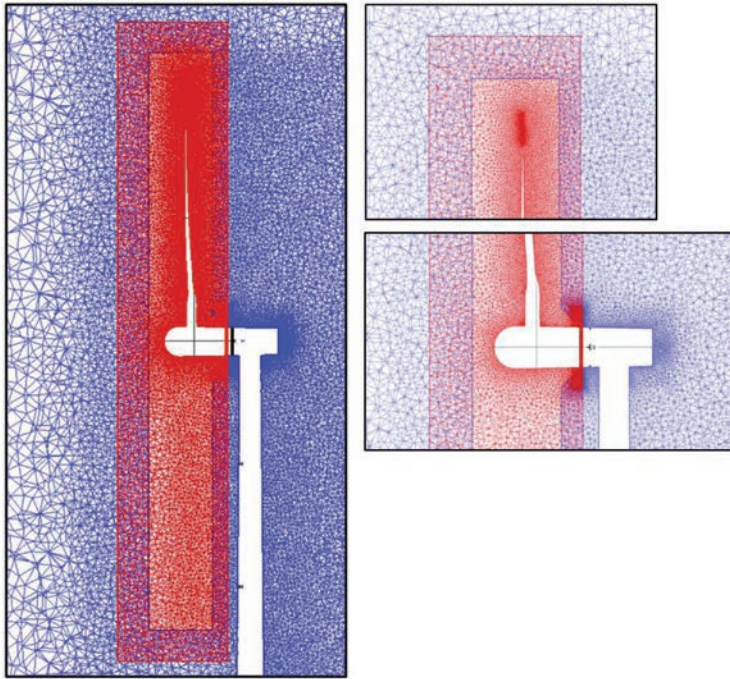


Fig. 10 Final spatial configuration of two meshes blocks for the calculations with the use of Chimera technique.

## NUMERICAL CALCULATIONS RESULTS

The following parameters are assumed for the numerical flow calculations:

- Fluid flow rate -  $13 \text{ [m/s]} = 46.8 \text{ [km/h]}$
- Angle of attack -  $0 \text{ [}^\circ\text{]}$
- Fluid density (air) -  $1.293 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- Ambient pressure -  $101325 \text{ [Pa]}$
- Ambient temperature -  $273.15 \text{ [K]} = 0 \text{ [}^\circ\text{C]}$

The non-stationary parallel calculations were carried out using specialized software developed by the German Space Agency DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*), the research centre for aeronautics, transport and energy. DLR TAU-Code is an advanced, modern system used to simulate viscous flows (based on Navier-Stokes equations) and non-viscous flows (based on Euler equation) around geometry of varying degrees of complexity. TAU-Code calculations (R. Roszak, 2009) can be run on structured, unstructured and hybrid meshes (T. Schwarz, F. Spiering, N. Kroll. 2010).

In the first stage of the calculations, the calculations results were obtained made for the stationary flow, in which the windmill did not carry out any rotational movement. Figure 11 (on the left) shows the convergence of the stationary solution indicating the correctness of discrete models. The second stage was to carry out the non-stationary calculations. In the first time step, the stationary solution was adopted as the starting value. Thus,

the initial residuum is already much smaller than 1 (fig. 11 of the right) - and for the first non-stationary step it was already  $3.39e-01$ . Thus, the convergence of results is achieved faster (with fewer iterations) - for the first step it was 265 iterations instead of 300, and the residuum was  $9.96e-06$ . True was a condition of achieving the residuum below  $1e-05$ .

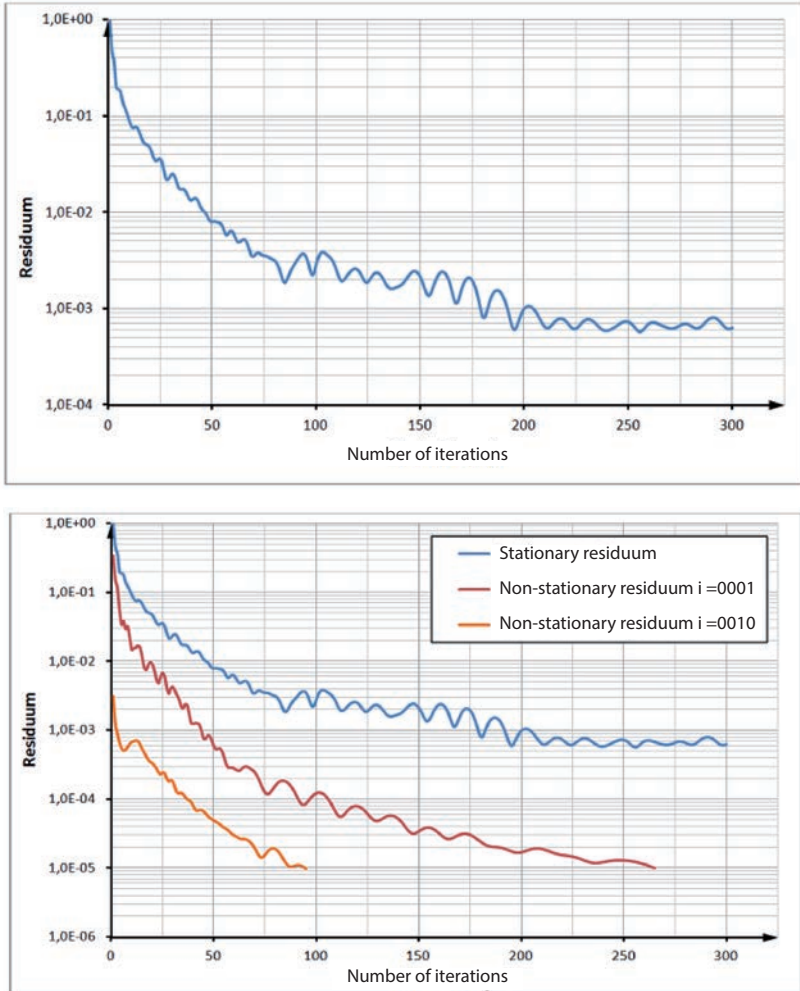


Fig. 11 Convergence of the stationary solutions (on the left) and the non-stationary solutions (on the right)

In order to illustrate the movement of the rotor, figure 12 (on the left) shows a visualization of 5 selected steps. In order to show the movement of the rotor with the flow speed distribution, every second step was used (the 2nd, 4th, 6th, 8th, and 10th step). The change of the position between adjacent blades is  $2 [^\circ]$ . Figure 12 (on the right) shows the speed distribution in the simulation area.

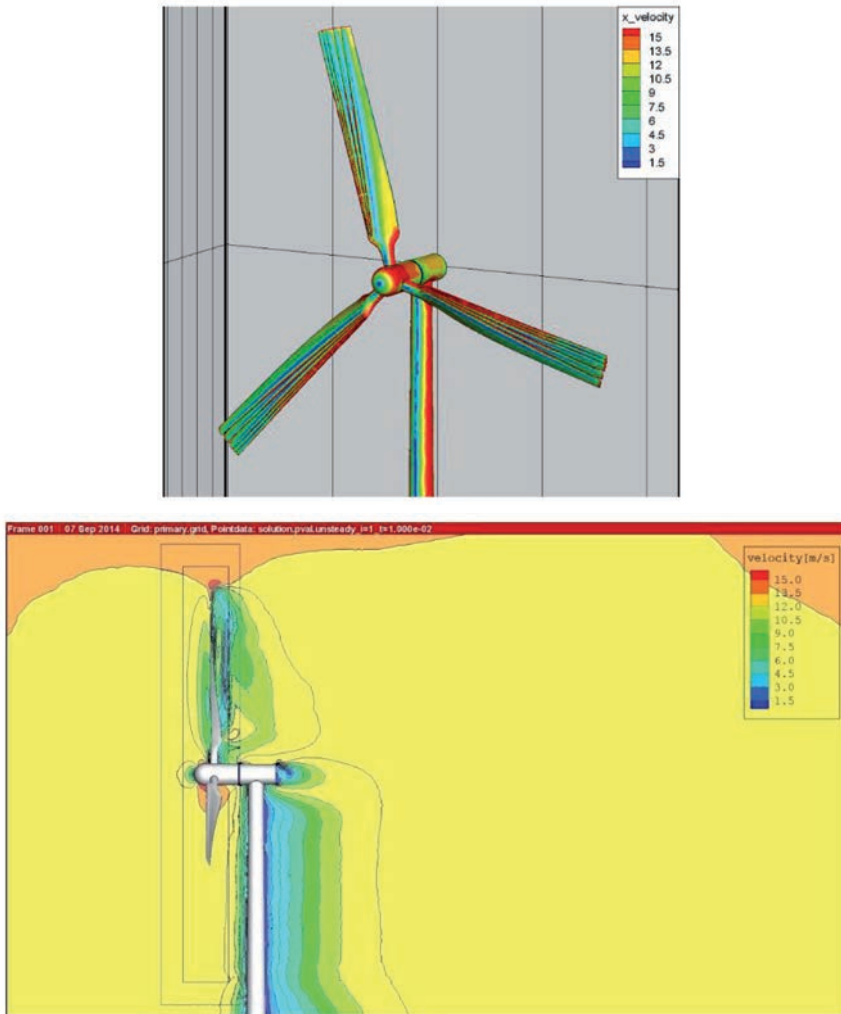


Fig. 12 The fan rotation (on the left) and the simulation area (on the right) with the speed distribution.

## CONCLUSION

Chimera technique allows you simulate the movement of objects during the fluid flow. Its great advantage is the ability to change the definition of movement without re-generating the numeric meshes (the definition of movement at the flow calculations stage). The obtained results are numerically consistent. The speed distribution in the simulation area changes periodically, depending on the position of the rotor blades. A noticeable decrease in speed causes the rotor rotation. Chimera technique is a new tool in the field of virtual flow modelling. It is particularly used in the aerodynamics of mobile objects. For this reason, current flow parameters (e.g. resistance coefficients) can be monitored during the structure design.

## REFERENCES

1. Flaga A. Siłownie Wiatrowe, ISBN: 978-83-7242-632-1, Kraków 2012
2. Knupp M., *Algebraic mesh quality metrics for unstructured initial meshes*, London 2009
3. Milenin A., *Podstawy elementów skończonych. Zagadnienia termomechaniczne*. Karków 2004
4. Roszak R., Posadzy P., Stankiewicz W., Morzyński M., *Fluid structure interaction for large scale complex geometry and non-linear properties of structure*, Archives of Mechanics 2009, vol. 61, pp. 1-24,
5. Schwarz T, Spiering F. Kroll N., *Grid coupling by means of Chimera interpolation techniques*, DLR, 2010
6. <http://www.uwm.edu.pl/kolektory/silownie/aerodynamika.html>
7. <http://www.vestas.com>

# ANALIZA NUMERYCZNA SIŁOWNI WIATROWEJ Z WYKORZYSTANIEM WSPÓŁCZESNYCH NARZĘDZI SYMULACJI

Robert Roszak<sup>1</sup>, Piotr Zuchniarz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Koninie, Wydział Techniczny, ul. S. Wyszyńskiego 35, 62-510 Konin robert.roszak@konin.edu.pl

<sup>2</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, Pl. Marii Skłodowskiej-Curie 5, 60-965 Poznań, piotr.zuch@gmail.com

## ABSTRAKT

Artykuł prezentuje obliczenia przepływowe z wykorzystaniem techniki chimera dla konfiguracji obrotowych elementów. Dla obliczeń przepływowych z wykorzystaniem techniki chimera konieczne jest modelowanie niezależnych obszarów przepływu. Program obliczeniowy musi w trakcie obliczeń uwzględniać ruch części siatki względem obszaru nieruchomego. Aby można było prowadzić tak złożone, konieczna jest wymiana wartości zmiennych wyliczonych pomiędzy zdefiniowanymi obszarami. Praca przedstawia niestacjonarne obliczenia przepływowe z wykorzystaniem techniki chimera dla przykładu siłowni wiatrowej. W ramach pracy przeprowadzono proces modelowania, dyskretyzacji poszczególnych obszarów oraz kompletnych obliczeń wraz z wizualizacją uzyskanych wyników.

Słowa kluczowe: siłownia wiatrowa, symulacja, CFD, chimera.

## Wprowadzenie

Komputerowe symulacje są wykorzystywane, a wręcz niezbędne, podczas projektowania konstrukcji budowli czy konstrukcji mechanicznych. Etap fizycznej budowy konstrukcji rozpoczyna się bowiem dopiero po przeprowadzeniu komputerowej symulacji, która weryfikuje spełnienie wymaganych warunków wytrzymałościowych oraz norm bezpieczeństwa. W dziedzinie aerodynamiki są one stosowane między innymi do określania wartości parametrów opisujących geometrię badanego samolotu lub jego części składowych (np. skrzydła, stateczniki). Wielkości otrzymywane po przeprowadzeniu takiej symulacji to między innymi: wartości siły nośnej oraz oporu powietrza (pływu), wartości ciśnienia i prędkości przepływu w analizowanym obszarze geometrii. Wykorzystanie kom-

putera jest również bardzo pomocne przy projektowaniu geometrii samolotu i jego części składowych (skrzydła, stateczniki, itp.). Dla wirtualnych modeli sprawdzana jest wartość oporu aerodynamicznego, dzięki czemu możliwa jest bieżąca modyfikacja komputerowej geometrii, w kierunku minimalizacji tego oporu,

a maksymalizacji siły nośnej. Innym wykorzystaniem symulacji przepływów jest analiza wirów płynu powstających za przeszkodą. Okazuje się, że nawet niewielkie zmiany kształtu geometrycznego mogą znacznie zmniejszyć charakter i rozmiar występujących wirów,

a tym samym zmniejszyć opór. Praktyczne przykłady takich geometrii to np. samochody osobowe i ciężarowe, gdzie dąży się właśnie do minimalizacji oporów ruchu.

Kolejnym przykładem wykorzystania komputerowej symulacji może być symulacja przepływu powietrza wokół ruchomej turbiny wiatrowej, gdzie badana może być efektywność wykorzystania wiatru przez łopatki wiatraka. Geometria łopatki powinna być tak ukształtowana, aby uzyskać jak największą siłę działającą prostopadle

do kierunku wiatru. Bardzo istotny jest też kąt natarcia, czyli kąt pod jakim ustawiona jest płaszczyzna łopatki względem linii działania siły pochodzącej od wiatru.

Poniższa praca dyplomowa przedstawia nowoczesny sposób, w jaki można uzyskać komputerową symulację przepływu płynu (powietrza) wokół poruszającej się turbiny wiatrowej (rys. 1).



Rys. 1 Nowoczesna turbina wiatrowa firmy Vestas [<http://www.vestas.com>]

## STAN WIEDZY

W chwili obecnej, metoda elementów skończonych (MES, FEM - Finite Element Method) jest podstawowym narzędziem inżyniera służącym do rozwiązywania obliczeniowych zadań w różnych obszarach. Główną ideą MES jest zamiana dowolnej wielkości ciągłej (np.



rozkład prędkości, ciśnienia, temperatury itp.) na jej model dyskretny. Model ten opiera się na ograniczonej liczbie węzłów, które definiują skończoną liczbę elementów (stąd nazwa metody) (A. Milenin, 2008). Wartości dokładne wyliczane są tylko w węzłach, które wypełniają obszar obliczeniowy. Wartości poza węzłami są wyliczane z kolei, na drodze interpolacji za pomocą odpowiednich funkcji kształtu. Stosowanie MES w postaci różnych oprogramowań często związane jest z powstawaniem błędów numerycznych. Metoda ta jest bowiem metodą przybliżoną i jej stosowanie wymaga pewnej wiedzy teoretycznej.

Pierwszym etapem przeprowadzenia wirtualnej symulacji procesów jest zamiana obszaru obliczeniowego (tzw. domeny obliczeniowej) na model dyskretny. Czynność ta polega na wygenerowaniu tzw. siatki obliczeniowej (siatki przepływowej), która ma kluczowy wpływ na jakość i rzetelność otrzymanego rozwiązania. Znacząco wpływa także na koszt obliczeń numerycznych, pod względem wymaganej mocy obliczeniowej komputera oraz samego czasu, potrzebnego do wykonania kalkulacji.

Proces generacji siatki, w chwili obecnej jest już w dużym stopniu zautomatyzowany – najczęściej wykorzystuje się gotowe algorytmy umożliwiające generację bardzo optymalnych siatek przepływowych. Do najczęściej wykorzystywanych algorytmów należą: Triangulacja Delaunay'a (Delaunay Triangulation) oraz Metoda postępującego frontu (Advancing Front Method). Wspomniane algorytmy pozwalają na generację siatki numerycznej na podstawie informacji zawartych na powierzchniach badanego modelu i domeny obliczeniowej.

Pomimo znaczącej automatyzacji procesu generacji siatki obliczeniowej, wymagana jest od inżyniera pewna strategia i doświadczenie przy definiowaniu wielkości elementów skończonych na wszystkich powierzchniach. Zbyt duże elementy spowodują nadmierne uproszczenie geometrii. W konsekwencji wynik obliczeń, pomimo iż dokładny, może nie uwzględniać niektórych zjawisk występujących przy skomplikowanych kształtach modelu. Definicja zbyt małych elementów spowoduje z kolei gwałtowne zwiększenie ilości wszystkich elementów w domenie, co bezpośrednio przełoży się na wydłużenie czasu obliczeń.

Bardzo ważne jest też umiejętne nadanie zagęszczeń lokalnych w obszarze obliczeniowym. Szczególnie wskazane jest wprowadzenie tych zagęszczeń w obszarach, gdzie kształt modelu jest skomplikowany, oraz w obszarach gdzie spodziewane jest wystąpienie różnych zjawisk fizycznych (np. zawirowania powietrza w cieniu aerodynamicznym). Konieczne jest zapewnienie płynnego rozrostu wielkości elementów, poczynając od największych zagęszczeń.

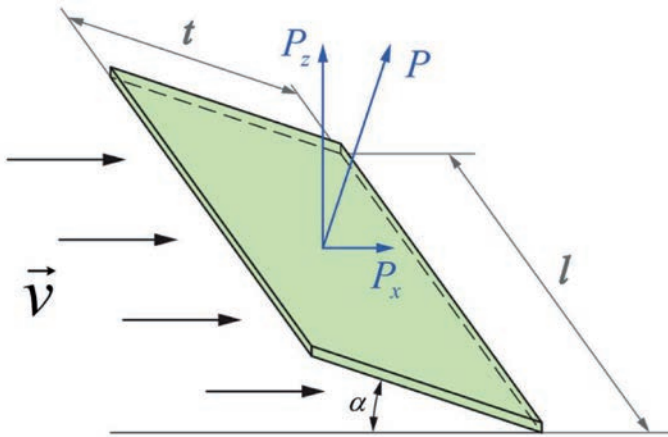
Zastosowanie powyższych wytycznych pozwala wygenerować optymalną siatkę numeryczną. "Jakość" siatki zależy w głównej mierze od kształtu poszczególnych elementów skończonych. Przypadek idealny wystąpiłby, gdyby wszystkie elementy były wielokątami i wielościanami foremnymi. Sytuacja taka w większości przypadków jest niemożliwa do uzyskania, z uwagi na stopień skomplikowania badanej geometrii. Niewielka odchyłka kształtu od foremności nie wpływa jednak znacząco na pogorszenie siatki. "Jakość" elementów można sprawdzić wykorzystując tzw. metryki kształtu (mesh quality metrics).



W przypadku czworokątów są to metryki kształtu (tetrahedron shape metric) i przyrostu wielkości (tetrahedron relative shape metric). Elementy sześciokątne oprócz dwóch wspomnianych metryk (quadrilateral shape metric, quadrilateral relative shape metric) posiadają jeszcze metrykę równoległości ścian (quadrilateral skew metric) (P. Knupp 2009).

### AERODYNAMIKA SIŁOWNI WIATROWYCH

Na płaską płytę, umieszczoną pod kątem alfa do kierunku ruchu powietrza  $v$  działa siła wypadkowa  $P$  (rys. 2). Siła ta jest rozkładana na dwie składowe: siła  $P_x$  działająca zgodnie z kierunkiem prędkości wiatru  $v$ , oraz siła  $P_z$  działająca w kierunku prostopadłym do  $P_x$  (A. Flaga, 2010).



Rys. 2 Siły reakcji dla płaskiej płyty (A. Flaga, 2010).

$$\begin{aligned}
 P_x &= \frac{1}{2} C_x \cdot F \cdot \rho \cdot v^2 [N] \\
 P_z &= \frac{1}{2} C_z \cdot F \cdot \rho \cdot v^2 [N] \\
 F &= l \cdot t
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

gdzie:

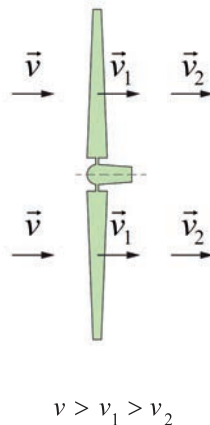
- $C_x$  – współczynnik aerodynamiczny oporu;
- $C_z$  – współczynnik aerodynamiczny siły nośnej;
- $F$  – powierzchnia płyty (płata) [ $m^2$ ];
- $v$  – prędkość powietrza względem płyty (płata) [ $m/s$ ];
- $\rho$  – gęstość powietrza [ $kg/m^3$ ]

Poszczególne profile lotnicze różnią się od siebie kształtem w płaszczyźnie XZ (płaszczyzna przekroju poprzecznego). Kształt tych profili tworzony jest w taki sposób, aby zminimalizować współczynnik  $C_x$ , przy jednoczesnym zachowaniu względnie dużej wartości współczynnika  $C_z$ . Istotnym parametrem określającym własności aerodynamiczne profilu jest tzw. doskonałość (K):

$$K = \frac{C_z}{C_x} \quad (2)$$

Kąt natarcia, dla którego doskonałość jest największa, nazywany jest optymalnym kątem natarcia ( $\alpha_{opt}$ ).

Jeśli do wirnika turbiny wiatrowej dopływa strumień powietrza o prędkości  $v$ , to występuje w nim zmniejszenie prędkości do  $v_1$ , a następnie poza nim do prędkości  $v_2$  (rys. 3).



Rys. 3 Zmniejszenie prędkości powietrza w obrębie wirnika turbiny wiatrowej (A. Flaga, 2010).

Spadki prędkości napływającego powietrza można zaobserwować w przeprowadzonych symulacjach przepływowych.

Na podstawie rozważań teoretycznych można stwierdzić (<http://www.uwm.edu.pl/kolektory/silownie/aerodynamika.html>):

- największy możliwy współczynnik wykorzystania energii wiatru w pojedynczym wirniku wynosi 0,59. Oznacza to, że można w nim zamienić na pracę mechaniczną najwyżej 59 % energii kinetycznej strumienia wiatru o prędkości  $v$  i przekroju  $F$  równym powierzchni koła zakreślonego skrzydłami;
- największą sprawność uzyskuje się, gdy prędkość przepływu strumienia powietrza przez wirnik  $v_1 = 2/3v$  oraz prędkość powietrza za wirnikiem  $v_2 = 1/3v$ ;

- w wirniku występują różnego rodzaju straty aerodynamiczne, które zmniejszają jeszcze ilość energii możliwą do uzyskania. W rezultacie rzeczywisty współczynnik wykorzystania energii wiatru jest mniejszy od teoretycznego i dla nowoczesnych wiatraków zawiera się, w zależności od konstrukcji i wielkości silnika w granicach 0,3 – 0,45.

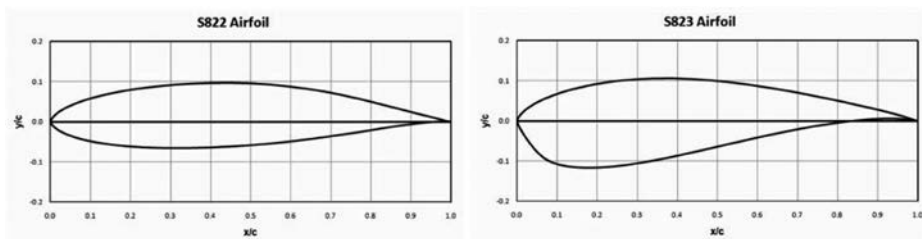
## BUDOWA MODELI OBLICZENIOWYCH

Pierwszym krokiem stworzenia symulacji przepływu było przygotowanie wirtualnego modelu geometrycznego turbiny wiatrowej (rys. 4). Już na etapie budowy modelu CAD należy uwzględnić zastosowanie w symulacji techniki Chimera do analizy przepływowej.



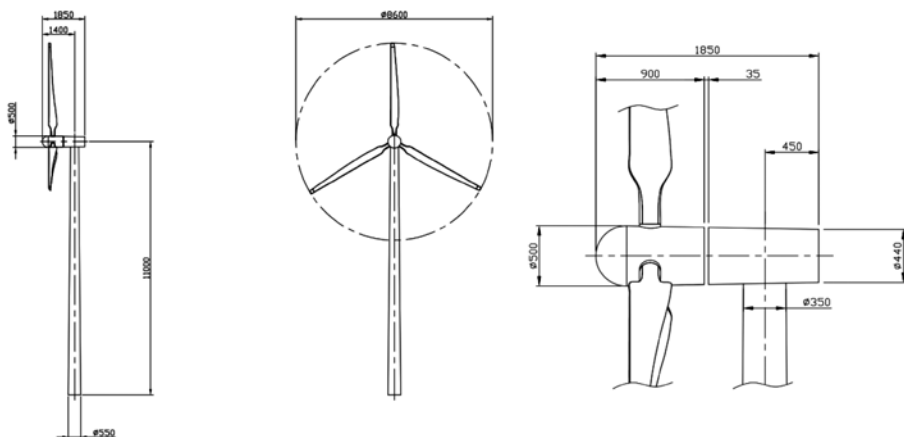
Rys. 4 Wirtualny model turbiny wiatrowej.

Stworzony model turbiny wiatrowej składa się z trzech łopatek, gondoli oraz wieży. Każda łopatka ma długość 4 [m] i jest przeznaczona do małych turbin wiatrowych, o mocy do 5 [kW]. Do budowy łopatki wykorzystano profile lotnicze S823 (podstawa) oraz S822 (wierzchołek). Przekroje tych profili przedstawia rysunek 5.



Rys. 5 Przekroje lotnicze wykorzystane w łopacie turbiny wiatrowej

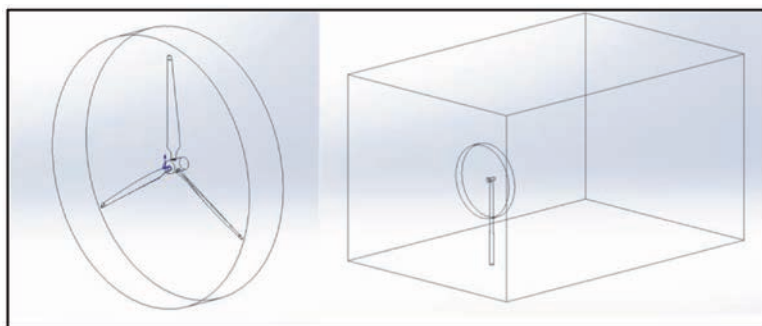
Rysunek 6. przedstawia widok modelu turbiny wiatrowej z uwzględnieniem najważniejszych wymiarów oraz powiększenie gondoli wiatraka z widoczną szczeliną (niezbędną w technice Chimera). Wszystkie wymiary podano w [mm].



Rys. 6 Wymiary gabarytowe turbiny wiatrowej (model CAD).

Turbina wiatrowa wykonuje tylko ruch obrotowy wokół jednej osi, wyznaczonej przez gondolę wiatraka. Dla zamodelowania przepływu wykorzystano więc dwie siatki numeryczne, bazujące na dwóch modelach CAD. W modelu całej turbiny wiatrowej wyodrębniono zatem dwa mniejsze modele – element obrotowy i nieruchomy:

- element ruchomy – geometria zawierająca kształt łopatek oraz przednią część gondoli turbiny wiatrowej (rys. 7 od lewej);
- element nieruchomy – geometria wieży wiatraka, oraz tylnej części gondoli (rys. 7 od prawej).

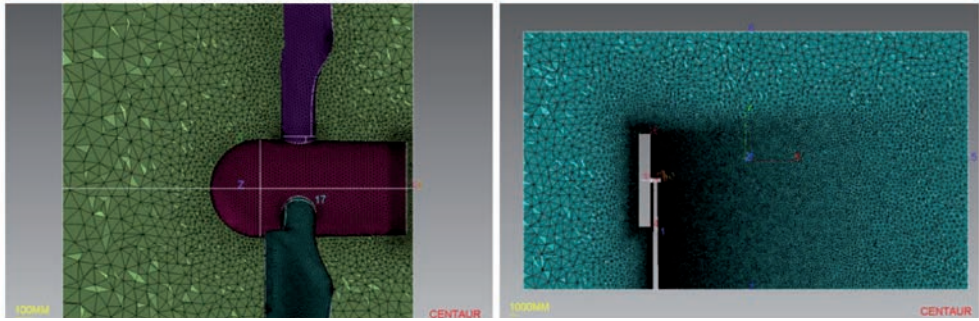


Rys. 7 Modele CAD wykorzystane do budowy siatek numerycznych dla techniki chimera, od lewej element ruchomy i element nieruchomy od prawej.

Gondola wiatraka została rozdzielona na dwie części. Podział jest konieczny w celu uzyskania jednego, spójnego obszaru wymiany danych w technice Chimera. Istotnym elementem jest również szerokość szczeliny.

Technologia Chimera wymaga zastosowania jednego, domkniętego obszaru wymiany informacji pomiędzy obszarami. Oznacza to, że część ruchoma z każdej strony musi wy-

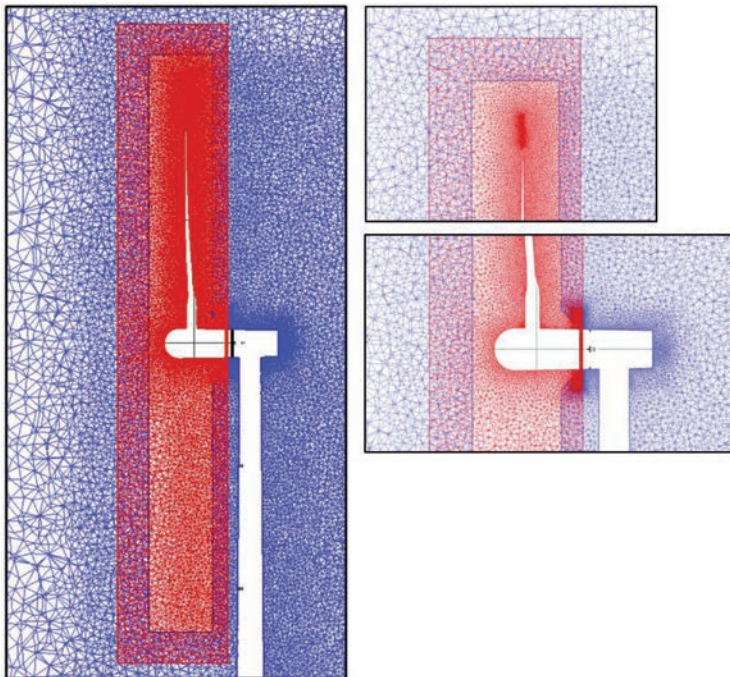




Rys. 9 Modele dyskretne dla siłowni wiatrowej: od lewej model wirnika, od prawej część nieruchoma wraz z obszarem symulacji.

Liczba elementów skończonych dla poszczególnych siatek wynosi: 6,20 mln dla elementu ruchomego i 8,74 mln dla nieruchomego.

Na rysunku 10 pokazano ostateczną konfigurację przestrzenną dwóch bloków siatek w celu przeprowadzenia symulacji przepływowej dla siłowni wiatrowej.



Rys. 10 Ostateczna konfiguracja przestrzenna dwóch bloków siatek dla obliczeń z wykorzystaniem techniki chimera

## WYNIKI OBLICZEŃ NUMERYCZNYCH

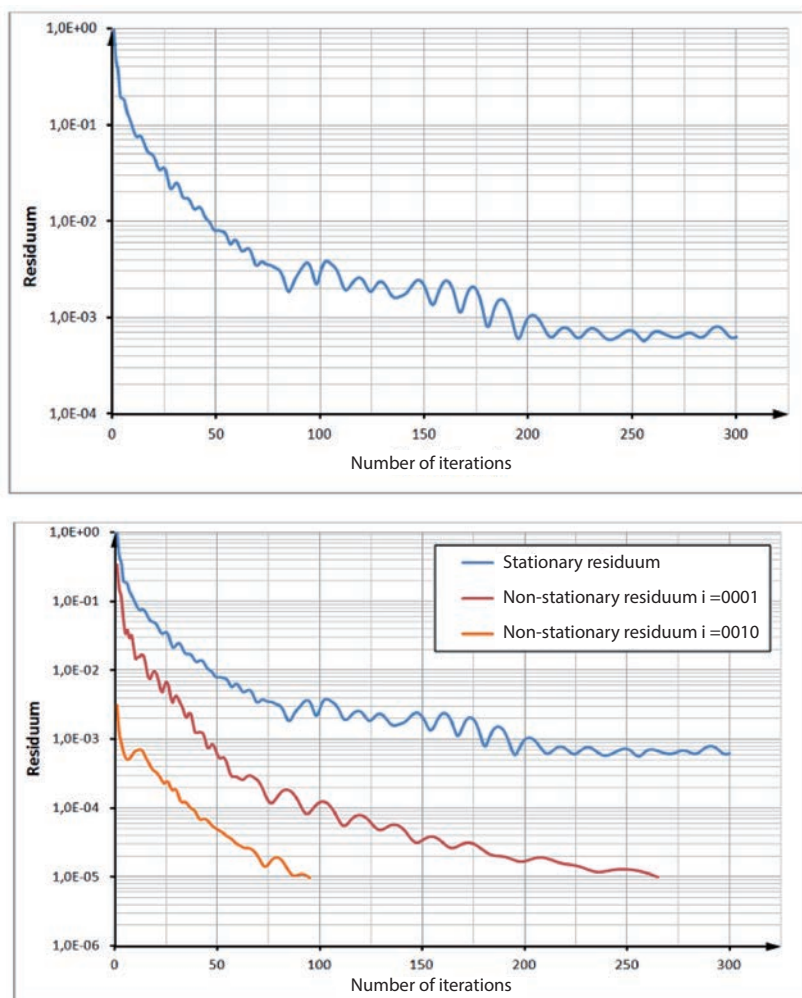
Dla przeprowadzenia numerycznych obliczeń przepływowych przyjęto następujące parametry przepływu:

- Prędkość przepływu płynu – 13 [m/s] = 46,8 [km/h]
- Kąt natarcia – 0 [°]
- Gęstość płynu (powietrza) – 1,293 [kg/m<sup>3</sup>]
- Ciśnienie otoczenia – 101325 [Pa]
- Temperatura otoczenia – 273,15 [K] = 0 [°C]

Niestacjonarne obliczenia równoległe przeprowadzono wykorzystując specjalistyczne oprogramowanie opracowane przez Niemiecką Agencję Kosmiczną DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), będącą ośrodkiem badań nad aeronautyką, transportem i energią. Program DLR TAU-Code jest zaawansowanym, nowoczesnym systemem stosowanym do symulacji przepływów lepkich (bazujących na równaniach Naviera–Stokesa) i nielepkich (bazujących na równaniu Eulera), wokół geometrii o różnym stopniu złożoności. Obliczenia w TAU-Code (R. Roszak, 2009) mogą być prowadzone na siatkach strukturalnych, niestrukturalnych i hybrydowych (T. Schwarz, F. Spiering, N. Kroll. 2010).

W pierwszym etapie obliczeń uzyskano wyniki obliczeń dla przepływu stacjonarnego, w którym wiatrak nie wykonywał ruchu obrotowego. Na rysunku 11 (od lewej) przedstawiono zbieżność rozwiązania stacjonarnego wskazującego na poprawność modeli dyskretnych. Drugim etapem było przeprowadzenie obliczeń niestacjonarnych. W pierwszym kroku czasowym, jako wartość startową przyjęto rozwiązanie stacjonarne. Dzięki temu początkowe residuum jest już o wiele mniejsze od 1 (rys. 11 od prawej) – i dla pierwszego kroku niestacjonarnego wyniosło już 3,39e-01. Tym samym zbieżność wyników uzyskiwana jest szybciej (po mniejszej liczbie iteracji) – dla pierwszego kroku było to 265 iteracji zamiast 300, a residuum wyniosło 9,96e-06. Spełniony został warunek osiągnięcia residuum poniżej 1e-05.

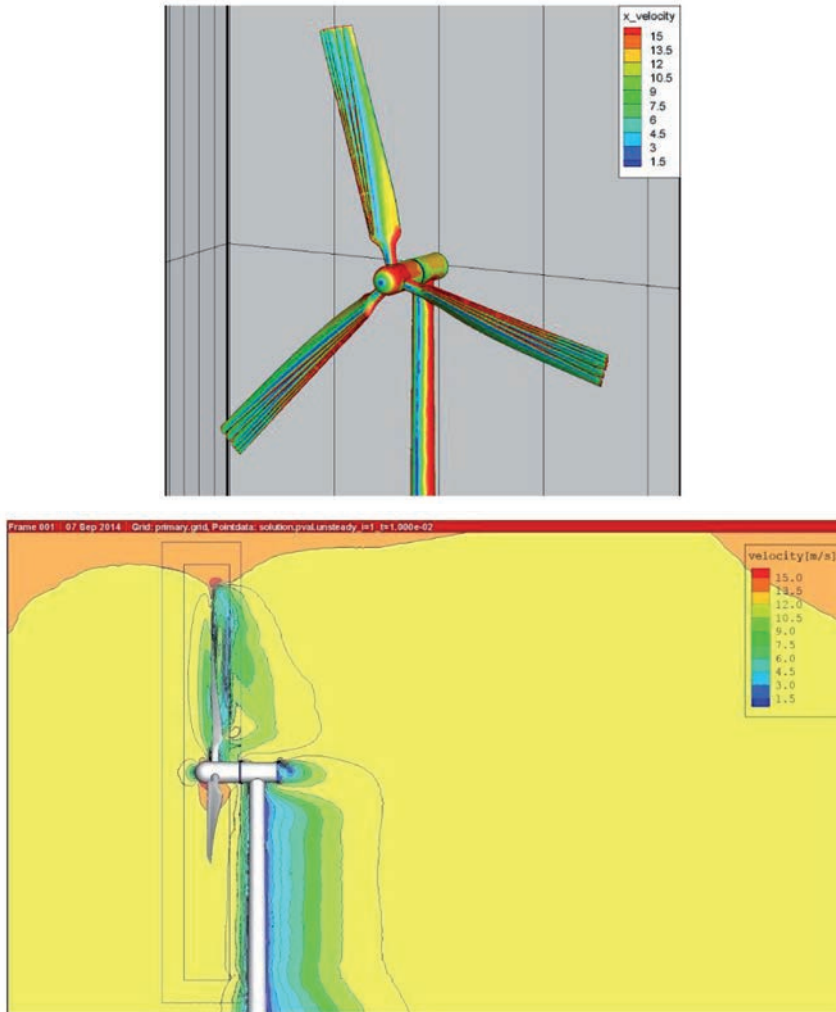




Rys. 11 Zbieżność rozwiązania stacjonarnego (od lewej) oraz rozwiązań niestacjonarnych (od prawej)

W celu zobrazowania ruchu wirnika, na rysunku 12 (od lewej) przedstawiono wizualizację 5 wybranych kroków czasowych. W celu pokazania ruchu wirnika wraz z rozkładem prędkości napływu wykorzystano co drugi krok czasowy (nałożono 2., 4., 6., 8. i 10. krok czasowy). Zmiana położenia między sąsiednimi łopatkami wynosi  $2 [^\circ]$ . Rysunek 12 (od prawej) przedstawia rozkład prędkości w obszarze symulacji.





Rys. 12 Ruch obrotowy wiatraka (od lewej) oraz obszar symulacji (od prawej) z rozkładem prędkości napływu.

## PODSUMOWANIE

Zastosowanie techniki Chimera umożliwia symulację ruchu obiektów podczas przepływu płynu. Jej dużą zaletą jest możliwość zmiany definicji ruchu bez konieczności ponownego generowania siatek numerycznych (definicja ruchu na etapie obliczeń przepływowych). Uzyskane wyniki są zbieżne numerycznie. Rozkład prędkości w obszarze symulacji zmienia się okresowo, w zależności od położenia łopatek wirnika. Zauważalny spadek prędkości powoduje ruch obrotowy wirnika. Technika Chimera jest nowym narzędziem w dziedzinie wirtualnego modelowania przepływu. Znajduje ona szczególne zastosowanie w aerodynamice poruszających się obiektów. Dzięki niej możliwa jest bieżąca kontrola parametrów przepływowych (np. współczynników oporu) podczas projektowania konstrukcji.

## CYTOWANA LITERATURA

1. Flaga A. Siłownie Wiatrowe, ISBN: 978-83-7242-632-1, Kraków 2012
2. Knupp M., Algebraic mesh quality metrics for unstructured initial meshes, London 2009
3. Milenin A., Podstawy elementów skończonych. Zagadnienia termomechaniczne. Kraków 2004
4. Roszak R., Posadzy P., Stankiewicz W., Morzyński M., Fluid structure interaction for large scale complex geometry and non-linear properties of structure), Archives of Mechanics 2009, vol. 61, pp. 1-24,
5. Schwarz T, Spiering F, Kroll N., Grid coupling by means of Chimera interpolation techniques, DLR, 2010
6. <http://www.uwm.edu.pl/kolektory/silownie/aerodynamika.html>
7. <http://www.vestas.com>



# ENERGY AS A TOOL IN DECISION MAKING PROCESS

Włodzimierz Wójcik<sup>1</sup>, Tadeusz Żaba<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State University of Applied Sciences in Krosno, Polytechnic Institute, ul. Dmochowskiego 12, 38-400 Krosno wwojckig@gmail.com

<sup>2</sup> MPWiK Cracow and Cracow University of Technology, Faculty of Environmental Engineering, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków, tadeusz.zaba@mpwik.krakow.pl

## ABSTRACT

The paper presents principles of a method of embodied energy, proposed by H.T.Odum, which allows to compare different systems, kinds of energies, services or products considering all factors, including ecological ones, which could have impact on their actual value. The method can and should supplement conventional money-based on economical analysis, used in decision making process. The paper discusses some examples of application of the method also.

Keywords: energy analysis, sustainable development, decision making process.

## Introduction

The most important issue in assessing whether a product, project or service is sustainable and whether the used energy complies with the rules, is to find the right instrument and measure for comparing different options (Brown, 2000, Odum, 1991, Wójcik, 2006). For example, how to compare in terms of quantity the harmfulness of 1 tonne of carbon dioxide emitted into the environment with the harmful discharge of 1 kilogram of lead or zinc into water or soil. The necessity of such comparisons is due to the often-necessity of selecting between different technologies for the same product or service: one can lead to lesser amount of carbon dioxide, but the second will emit more carbon dioxide but less lead. This also applies to the selection of a source of energy. In particular, the difficulty of comparisons is quantitative rather than descriptive. For the authors, the most promising and the least defective is the emergy analysis (sometimes written with capital M) developed from the development of the energy analysis (Huang and Odum, 1997, Odum, 1996, Odum, 2000, Scienceman, 1987, Wójcik, 2014).

## DESCRIPTION OF THE METHOD

It should be borne in mind that money used to compare, as a measure of the value of goods, services and information, circulates only in the sphere of economics (Fig.1), and the price that operates in economics is in the free market economy due to the abundance of resources and the availability of natural resources. That is, when resources are substantial, trade value and price are low, and vice versa, prices are increasing when there are no goods (e.g. raw material) - but from an environmental point of view, it is usually too late to take effective corrective activities. In addition, the work of nature (often of undetermined market value), which is used in the production of goods, must also be included in the value of an item or service. Money cannot therefore be used to assess the value of nature, including energy resources. It is necessary to develop another method for the combined assessment of the eco-system (nature) and in the assessment of the value of the acquired goods or services (eco-economy). According to the authors, the proposal to use the energy analysis proposed by HT Odum provides such possibilities (Odum, 1996, Odum, 2000, Odum, 1983; Brown, 2000). It is called energy analysis method to inter alia emphasize the so-called "energy memory" (Scienceman, 1987). Substituting words are sometimes used, as well: energy, energy memory, embodied energy. In accordance with the proposal of H.T. Odum, energy can be defined as follows:

**Emergy of a product or service is the sum of all the types of energy (energy of varying quality), used directly or indirectly, expressed as one type of energy (tab. 1).**

It is very important to distinguish the different **quality of energy**, as for example electricity is qualitatively the same as energy of the solar radiation. Hence, the need for bringing different types of quality energy to any one type. It relates the most often to solar energy, that is, energy is transformed into the solar radiation energy and is expressed in solar equivalent joules (SEJ). Different qualities of energy and the need to transform it results from the fact that during the energy production processes a large amount of low-quality energy is used to produce smaller amounts of energy with higher quality - by what it has more embodied solar energy (fig. 2). In other words, a raw material or product "remembered" how much energy was spent for their production. In the example given in Figure 2, wood, coal or electricity "remembered" that at the earlier stages of the production, a certain amount of energy was directly or indirectly used. Approximately 40 000 J of solar energy (used directly and indirectly) was needed to produce biomass, the combustion heat of which would be 2 J (fig. 2a), which, through the geological processes, could be converted to coal with the combustion heat of 1 J.

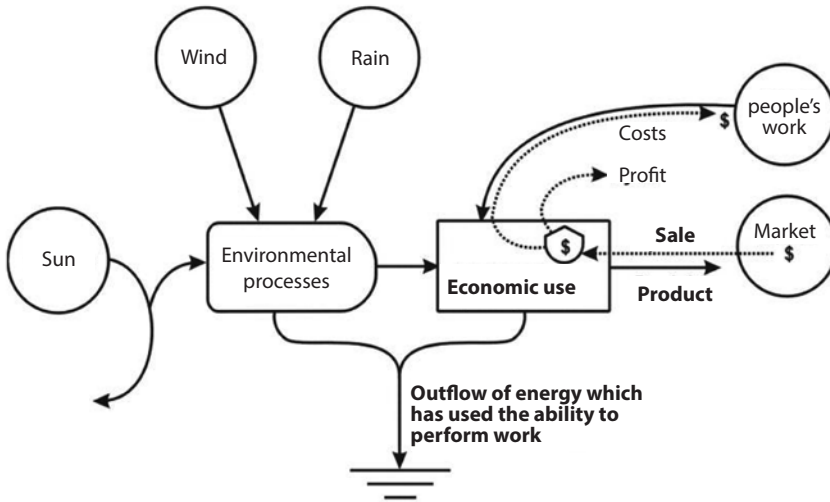


Fig. 1 The interaction of the environment and the economy (the development based on H.T. Odum, Wojcik et al., 2000)

Table 1. The most commonly used definitions in the analysis of emergy (Wojcik, 1998)

| Unit                             | Definition   | Unit                         |
|----------------------------------|--|------------------------------|
| Emergy                           | Energy needed, directly or indirectly, by generating an item, converted to a single type of energy | emjoul [emJ]                 |
| Solar emergy                     | Emergy transformed into solar radiation energy   | sunny equivalent joule [SEJ] |
| Transformation coefficient       | Emergy per unit of an item or service  | [emJ/J]                      |
| Solar transformation coefficient | Emergy of sunlight related to energy units of an item or service                                   | [SEJ/J]                      |
| Emergy/mass coefficient          | One type of emergy needed for the accumulation of matter mass unit                                 | [emJ/g]                      |
| Emergy/dollar coefficient        | Factor taking into account the flow of emergy in relation to the movement of dollar in the system  | [emJ/\$]                     |

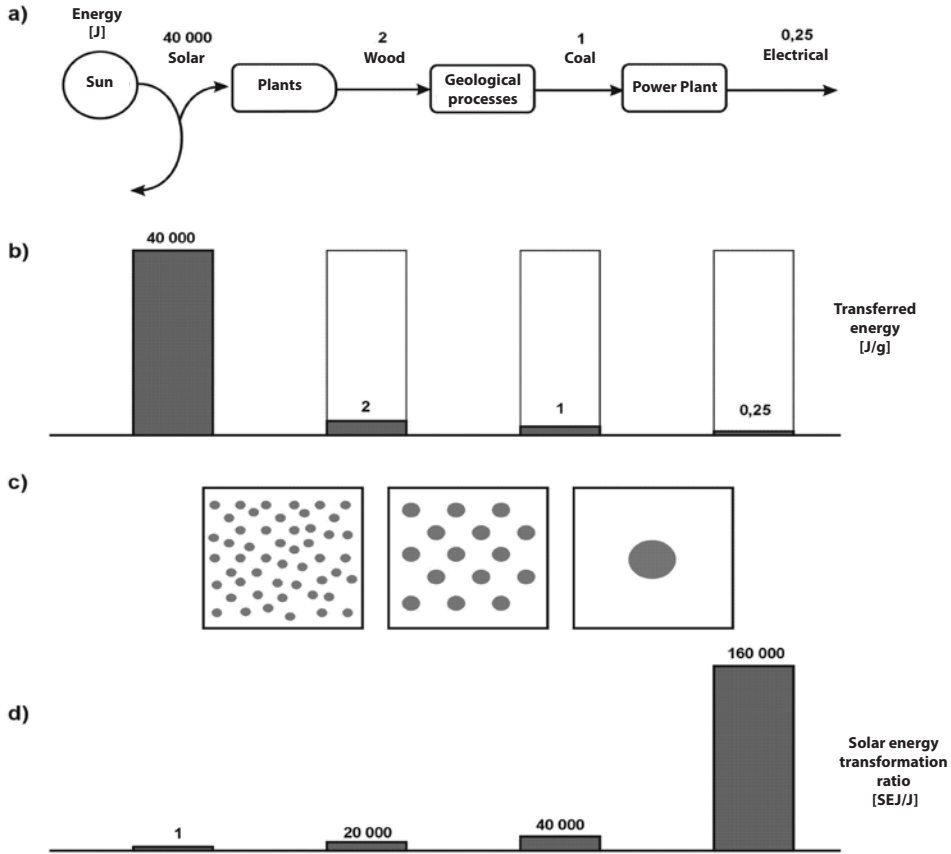


Fig. 2 Energy transformation hierarchy (the development based on Odum, 1996; Odum, 1983):

- a) transformation scheme
- b) transferred energy amount
- c) energy concentration
- d) transformation coefficient

In turn, 1 J of energy derived from coal must be used for the production of 0.25 J of electricity. These proportions can be used for the conversion of energy of coal and electricity to the equivalent of solar energy – the equivalent of 1J coal energy is 40.000 solar emjoules (SEJ), and the equivalent of 1J electricity is 160.000 solar emjoules (Figure 2b). At each stage, energy is concentrated and thus the quality is increased (Fig. 2c). Thus, the plant biomass transformation coefficient obtained by dividing solar energy (40.000 J) by wood energy (2J) is 20.000 SEJ/J, while the CO conversion factor is 40.000 SEJ/J, and electricity is 160.000 SEJ/J (Fig. 2d). The examples of the transformation coefficient values are shown in Table 2.

Table 2 Examples of values of solar transformation coefficients (Wójcik, 1998)

| Unit                       | Transformation coefficient [SEJ/J] |
|----------------------------|------------------------------------|
| Solar energy               | 1                                  |
| Geopotential rain energy   | 8.888                              |
| Geopotential rivers energy | 23.564                             |
| Fuel                       | 18.000 – 100.000                   |
| Services                   | 80 000 – 5 billion                 |
| Fruit, vegetables, cereals | 24.000 – 200.000                   |
| Nitrogen (in fertilizers)  | $1.75 \cdot 10^6$                  |
| Pesticides                 | $1.50 \cdot 10^6$                  |
| Iron ores                  | $6.00 \cdot 10^7$                  |

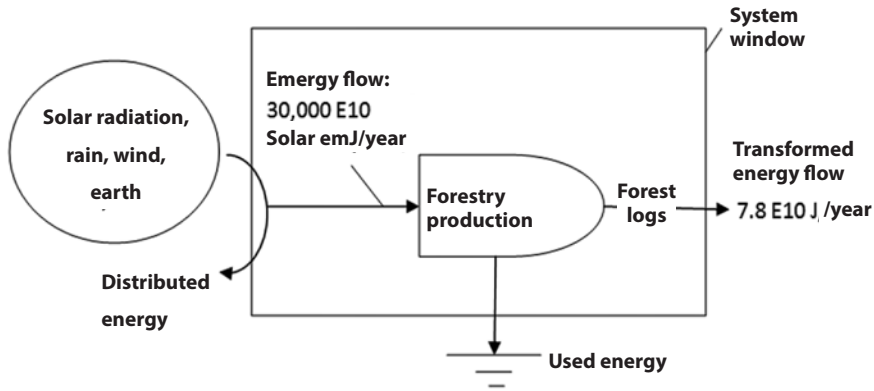
It should also be noted that in the energy chain with each transformation, some of energy is dissipated and cannot be used in a given system - resulting in energy being transmitted in smaller quantities to the next stage (Figure 2b). As already mentioned, its quality increases, which is related, inter alia, with the following properties:

- concentration
- flexibility in use
- easy transport
- easy processing to another form.

This is another reason why the conventionally assessed energy value of a product does not fully reflect the total energy required to produce it, and it should be replaced by emergy. Another image example is the amount of heat energy that we can get by burning a pencil - it is much lower than the sum of energy specified as type of energy (e.g. solar) and consumed throughout its production cycle.

Figure 3 shows the diagram of energy flow during the production of spruce wood in Swedish forests (based on Odum, 1996). As you can see, the rectangle defined the boundaries of the scheme, within which there is only one component, that is, forest production. A circle on the left reflects energy flow to the system - because the energy used at an earlier stage was reduced to one type (solar energy), the diagram describes this flow as emergy flow. Approx. 30 000 E10 solar emjoules per hectare is annually consumed from solar radiation, rain, wind and soil. However, as a result of the "production" by the forest, 7.8 E10 joule per year is derived annually from 1 hectare of wood logs. The bottom of the diagram shows the outflow of used and diffused energy.





$$\text{Wood logs solar transformation ratio} = \frac{\text{Solar energy flow}}{\text{Energy flow}} = \frac{30,000 \text{ E10 SEJ/rok}}{7.8 \text{ E10 J/rok}} = 3846 \text{ Solar emJ/year}$$

Fig. 3 An example of the emergy specification in the production of spruce from 1 hectare in Sweden and the calculation of the transformation coefficient (based on Odum, 1996)

According to the definition, the calculation of the transformation coefficient of spruce wood produced in Sweden was carried out according to the formula:

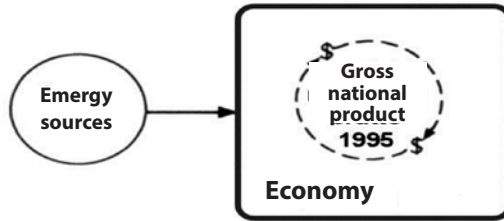
$$\text{Transformation coefficient} = \frac{\text{Energy flow}}{\text{Energy flow}} = \frac{30\,000 \text{ E10} \frac{\text{SEJ}}{\text{year}}}{7.8 \text{ E10} \frac{\text{J}}{\text{year}}} = 3\,846 \frac{\text{emjouli}}{\text{J}} \quad (1)$$

It should be noted in Figure 3 that, in the production process, some amount of energy is incorporated into a product and loses its ability to work in the system (it is most commonly dissipated in a form of heat). This energy is referred to as totally used and marked on the diagram in a form of flow down and outside, with the symbol of distributed energy (Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3).

Based on the principles outlined above, the method was developed to analyse very complex systems and help in the decision-making process, including e.g. urban planning, regional planning, energy generation, etc.

A series of indicators to facilitate such analysis was also developed. For example, if we look at the whole economy of a selected country, we can calculate the emergy/money coefficient (Fig. 4) based on the total emergence needed to produce a gross domestic product of a specific market value. It can be seen that when the total used emery is  $33 \text{ E}^{24} \text{ SEJ/year}$  and the gross domestic product is  $28 \text{ E}^{12} \text{ \$/year}$ , then the emergy to dollar ratio is:  $33 \text{ E}^{24} \text{ SEJ/year} / 28 \text{ E}^{12} \text{ \$/year} = 1.2 \text{ E}^{12} \text{ SEJ/\$}$ . Thus, by dividing emergy by the obtained emergy to dollar ratio, we obtain a factor the unit of which can be emdollar. Depending

on an analysed country, the local currency is taken into account in the calculations, and embezzle, emeuro or emrubel can be obtained. Having the cost of labour expressed in e.g. dollars, for the analysed case, then multiplying that cost by the above emergy/dollar ratio, we can obtain the information how much equivalent emergy was then consumed.



$$\text{Emergy/money coefficient} = \frac{\text{Used emergy}}{\text{Gross national product}}$$

$$\frac{33.6 \times 10^{24} \text{ SEJ/year}}{28 \times 10^{12} \text{ \$/year}} = 1.2 \times 10^{12} \text{ SEJ/\$}$$

Fig. 4 The circulation of money in the economy, and resulting source of emergy (used in the production process) (Brown, 1997)

This coefficient allows to rate emergy of an acquired service or work, when there is no more detailed data on energy use. Emergy and emdolar appear to be more useful for assessing and planning the social use of rare minerals, used so far of the economic analysis that uses money. Emergy can then be used to determine which assets are more valuable and less likely to occur, and therefore should be sparingly used. Emergy of a product determines its true value, which can better rate the cost of processing and indicate the best way to reuse. In addition, the costs incurred by the society from the environmental pollution can be calculated using emergy and then used to determine economic incentives (e.g. tax credits) used to support the environmental technologies. For example, large benefits of reuse of heavy metals and keeping them outside the environment can better justify the transfer of public subsidies. The emergy/dollar coefficient also points the extent to which the used stimuli are adequate for the obtained benefits.

As already mentioned, money is not the best measure of the value of an item; this also applies to trade. In order to consider such a situation, one can develop a diagram, as shown in Figure 5. On the left side, money is flowing from a purchaser for a barrel of rock oil supplied by a supplier. When the price per barrel is \$ 20 (as was the case in 1991), a purchaser, paying a seller \$ 20, provides it an emergy equivalent of 2.8 E13 SEJ, and receives a product emergy of which is 3.657 E14 SEJ, i.e. 13.1 times more. This trade would be equivalent and fair from the point of view of energy if the coefficient was 1, that is, if the price per barrel was \$262 (Fig. 5). To sum up, if the coefficient is higher than 1, then a purchaser gains, and if the coefficient is less than 1, then a seller gains.

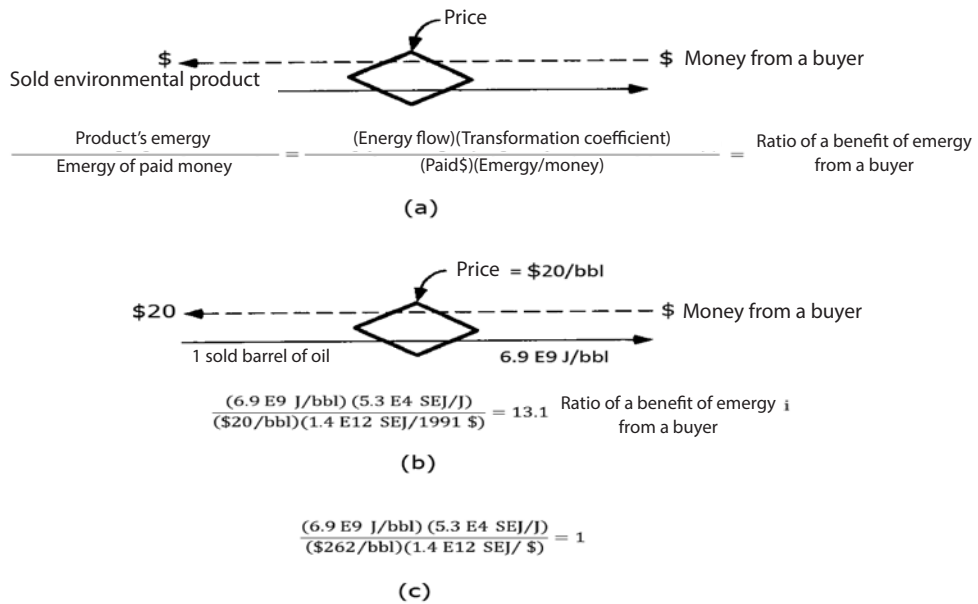


Fig. 5 Comparison of the specified values and energy by trade (developed based on Odum, 1986)

It should be noted that it is not about replacing money with emjoules, e.g. in a vegetable shop in a residential district, but using the energy analysis as a complement to the economic analysis.

In the biogeosphere, energy passes through a number of system components such as: atmosphere, oceans, continents, living organisms, industrial processes. Each unit transforms the available energy into less energy with better quality (more focused and easier to access) and passes it to the next level. Each element can also send small, controlled energy flows back, to a lower level. A series of such transformations creates **the hierarchy of energy** in which incoming energy is gathered and concentrated more and more by elements belonging to the next levels, giving at last a chain of low quality energy. This hierarchy of energy emerged in the course of millions of years of evolution on the Earth. Urban complexes of human civilization are placed at the top of the hierarchy of energy. This is due to the high concentration of matter and energy in the antroposphere, caused by industrial processes and the work of people (Brown and Uglliati, 2000).

The flow and transformation of energy cause the circulation of matter. In the universe, there is a natural tendency, due to the fundamental principles of physics, for dispersing concentrated substances. It is necessary to do the work to concentrate the matter and keep it concentrated, as opposed to the described tendency. As already mentioned, one value can be used for measuring different types of work, which is energy, defined as the total energy required to produce a product directly or indirectly, transformed into one type of energy. Figure 6 shows the circulation of elements in the ecological system taking

into account two levels. The diluted components on the left are concentrated and passed to the right. Then the materials are recycled back to the left and dissipated. The incoming energy is used to concentrate the matter in the centres of the hierarchy, where its concentration increases. The circulation closes when the concentrated materials are re-scattered in a larger area in the return flow. Figure 6b shows the circulation of nutrients through the centre of the tree hierarchy (McNeil, 1989). Concentration of the matter occurs in the biomass production process, and the dispersion occurs due to its decomposition. Solar energy plays a very important role in these phenomena the circulation of the matter and energy on the Earth. Solar energy interacts with ocean water to generate steam, clouds, waves, and ocean currents. Water falling in a form of rain or snow, connects with a land and forms ecosystems, soils and glaciers. The outflow of water transports the erosion material to the oceans, accumulating some of the substances in the selected locations. On the other hand, human activity involves the exploitation and subsequent processing of these raw materials into products, which results in re-scattering of the elements even if recycling is carried out partially.

One can see from a larger perspective that the universe is organized in such a way that it creates a number of levels of the hierarchy. The distributed matter is gathered and concentrated in small centres, which in turn connect into larger centres (Fig. 7). The increasing concentration of the matter while passing to the next higher levels of the hierarchy requires the use of ever-increasing amounts of energy. The spatial distribution of people with small centres in settlements and towns as well as cities and metropolises is an example of the hierarchization of the environment.

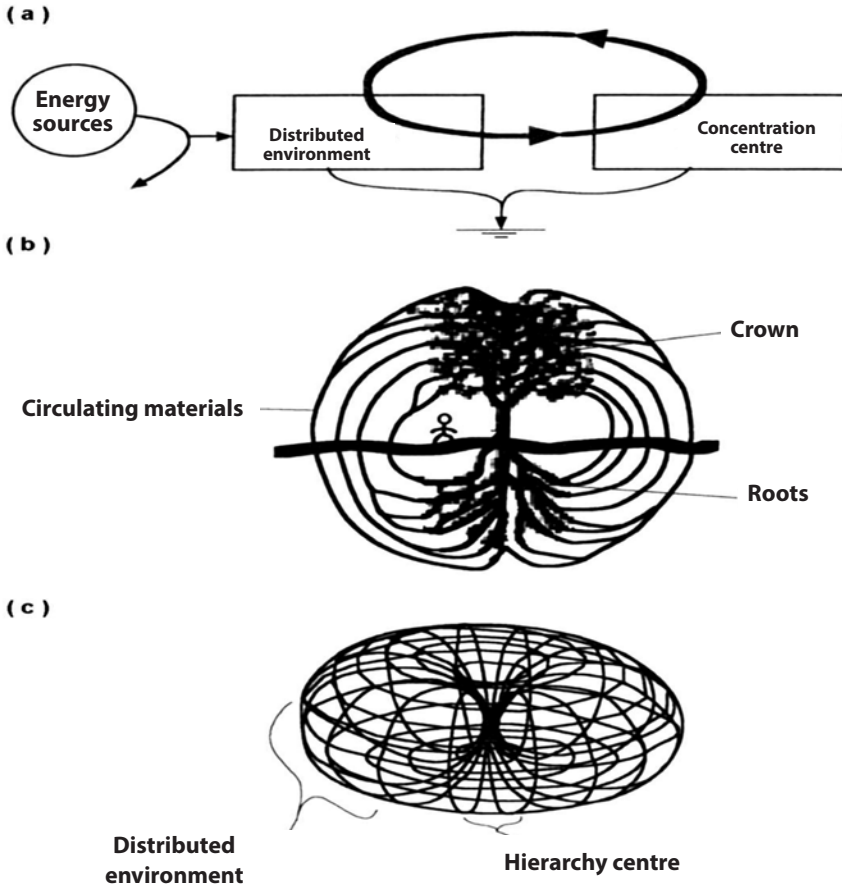


Figure 6 Two-element system of the circulation of the matter in nature (developed based on Odum 2000, McNeil 1989, Wójcik, 2014):

- (a) the system diagram
- (b) the concentration and dispersion of the nutrients circulating between a tree and its environment
- (c) three-dimensional representation of the materials circulation

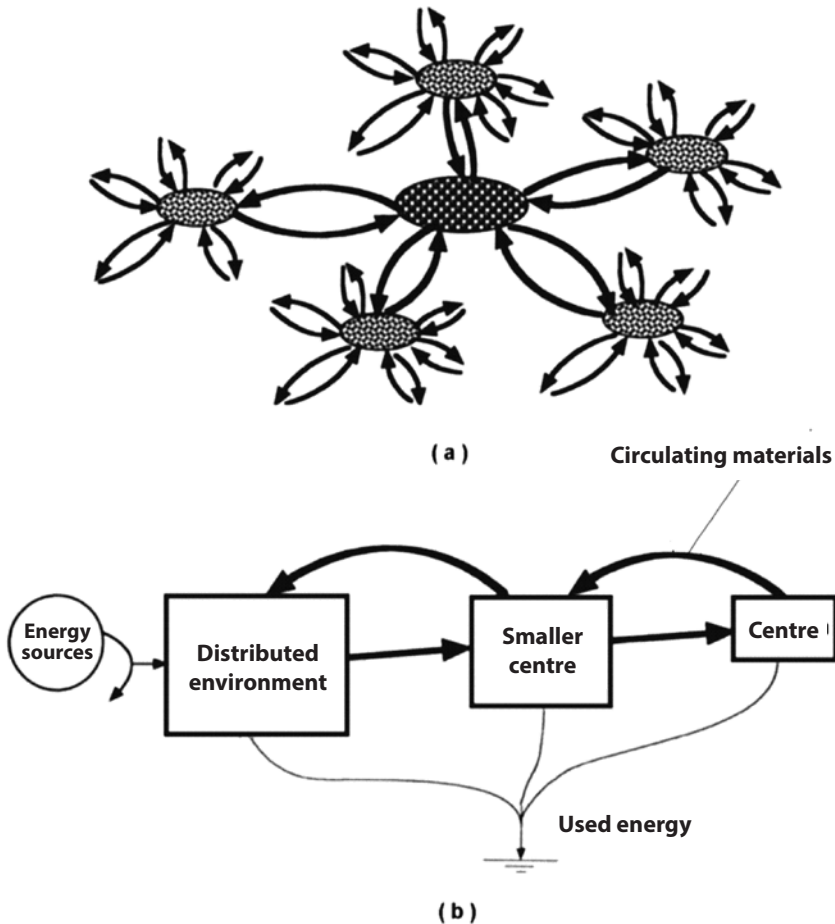


Fig. 7 Circulation of the matter between three levels of the hierarchy (development based on W. Wójcik, 2014): (a) spatial distribution, (b) system diagram

## CONCLUSIONS

The presented energy analysis method, often referred to as energy, is the most promising method for assessing how well a given product, service, energy source or type of energy complies with the principles of sustainability. It allows to analyse the complex systems taking into account sociological, economic and ecological aspects, especially when money does not fully reflect the real value of a product or human activity. It can also be used in the decision-making process for locating investments, including environmentally harmful investments, choosing the most favourable energy source, subsidizing or taxing products or business activities, etc.

## REFERENCES

1. Brown M.T. (ed), *Emergy synthesis*. Proceedings of the First Biennial Emergy Analysis Research Conference, Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, Dec. 2000.
2. Hall, C. A. S., Cleveland, C. J., Kaufmann, R., *Emergy and Resource Quality*. New York, Wiley-Interscience 1986.
3. Huang, S. L., Odum, H. T., Ecology and Economy: emergy synthesis and public policy in Taiwan. *Journal of Environmental Management*. 32, 1991 p. 313-333.
4. Lantzy, R. J., Mackenzie, F. T., Atmospheric trace metals: global cycles and assessment of man's impact. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 43, 1979 p. 511 -525.
5. McNeil D., A systemological approach to hierarchy and duality. [In:] *Yearbook of the international Society for the System Sciences*. Vol.32, 1989 p. 307-314.
6. O Odum, H. T. , *Environmental Accounting: EMERGY and Decision Making*. New York, John Wiley 1996.
7. Odum H.T, *Modeling in all scales.*, John Wiley, New York 2000.
8. Odum, H. T. , *System Ecology: An Introduction*. John Wiley & Sons, New York 1983.
9. Scienceman, D. M., *Emergy and Emergy*. [in:] Pillet, G., Murota, T. *Environmental Economics*. Geneva, Roland Leimguber, 1987.
10. Wójcik, W., Analiza systemowa opcjonalnych technologii oczyszczania ścieków przemysłowych. *Geodezja i Inżynieria Środowiska.*; WN AGH, No 3 1998. s. 145-161.
11. Wójcik W., Emergy- a new tool for evaluation of sustainability. Toward the integrated municipal sanitation systems". TRITA-AMI, KTH, Sweden. ISSN 1400-1306, 2005 p. 33-41.
12. Wójcik W., *Interakcja metali ciężkich ze środowiskiem mokradłowym – teoria i praktyka inżynierii ekologicznej*. Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne PWSZ im. S. Pigoń w Krośnie. 2014. ISBN 978-83-64457-05-0.

# ENERGIA JAKO NARZĘDZIE W PODEJMOWANIU DECYZJI

Włodzimierz Wójcik<sup>1</sup>, Tadeusz Żaba<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PWSZ w Krośnie, Instytut Politechniczny, Zakład Inżynierii Środowiska, adres do korespondencji: ul. Królowej Jadwigi 298, 30-218 Kraków, adres e-mail: wwojcik@gmail.com

<sup>2</sup> Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji SA w Krakowie oraz Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, tadeusz.zaba@mpwik.krakow.pl

## ABSTRAKT

Artykuł przedstawia zasady metody analizy energii wbudowanej, zaproponowanej przez H.T.Odum, która pozwala na porównywanie różnych systemów, rodzajów energii, usług lub produktów, z uwzględnieniem wszystkich czynników, w tym ekologicznych, które mogą mieć wpływ na rzeczywista ich wartość. Metoda może i powinna być uzupełnieniem analizy ekonomicznej opartej na pieniądzu, stosowanej w procesie podejmowania decyzji. W artykule przedstawione też kilka przykładów zastosowania tej metody.

Słowa kluczowe: analiza energii, zrównoważony rozwój, proces podejmowanie decyzji.

## Wprowadzenie

Najważniejszym problemem w ocenie czy dany produkt, projekt lub usługa jest zgodna z zasadą zrównoważonego rozwoju i czy wykorzystana źródło energii odpowiada tym zasadom jest znalezienie właściwego instrumentu i miary dla porównania różnych opcji (Brown, 2000; Odum, 1991; Wójcik, 2006). Na przykład, jak ilościowo porównać szkodliwość dla środowiska wyemitowanie do atmosfery 1 tony dwutlenku węgla, ze szkodliwością odprowadzenia do wód lub gleby 1 kilograma ołowiu lub cynku. Konieczność takich porównań wynika z bardzo częstej konieczności wyboru między różnymi technologiami dla uzyskania tego samego produktu lub usługi: jedna z nich może doprowadzać do mniejszej emisji dwutlenku węgla ale większej ołowiu, a druga będzie emitować więcej dwutlenku węgla ale mniej ołowiu. Dotyczy to też wyboru źródła energii. Zwłaszcza problem trudności porównań dotyczy ujęcia ilościowego a nie tylko opisowego. Dla autorów najbardziej obiecującą i posiadającą najmniej wad jest analiza emergii (czasami zapisywane z dużym M) która powstała z rozwinięcia analizy energii (Huang i Odum, 1997; Odum, 1996; Odum, 2000; Scienceman, 1987, Wójcik, 2014).

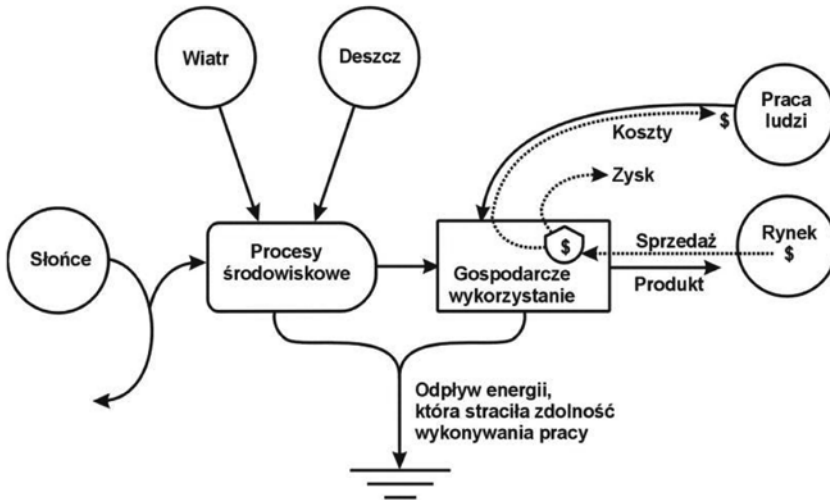


## OPIS METODY

Należy pamiętać, że stosowany do porównań pieniądź jako miara wartości towarów, usług i informacji, krąży tylko w sferze ekonomii ( Rys.1), a cena, którą operuje się w ekonomii jest w gospodarce wolnorynkowej związana z obfitością zasobów i dostępnością bogactw naturalnych. Czyli, kiedy zasoby są pokaźne, to wartość handlowa i cena są niskie i odwrotnie, ceny rosną gdy jest już brak danego towaru (np surowca) - ale z punktu widzenia ochrony środowiska jest to zwykle już za późno żeby podejmować skuteczne działania naprawcze. Ponadto dla wartości rzeczy lub usługi konieczne jest uwzględnienie również pracy natury (często o nieokreślonej wartości rynkowej), która wykorzystywana była przy wytwarzaniu dóbr. Dlatego pieniądź nie może być stosowany do oceny wartości natury, w tym zasobów energetycznych. Konieczne jest opracowanie innej metody pozwalającej na połączoną ocenę układu ekologicznego (przyrody) i ekonomii w ocenie wartości uzyskanego towaru lub usługi (ocena ekologiczno-ekonomiczna). Według autorów propozycja zastosowania analizy energii zaproponowana przez HT Odum'a daje takie możliwości (Odum, 1996; Odum, 2000, Odum,1983; Brown, 2000). Przyjęto ją nazywać metodą analizy energii (ang.*emergy*) dla m.in. podkreślenia tzw. "pamięci energii" (ang. *energy memory*) (Scienceman, 1987). Czasami stosowane są zamiennie słowa: energia (*emergy*), pamięć energii (*energy memory*), energia wbudowana (*embodied energy*). Zgodnie z propozycją H.T.Oduma emergię można zdefiniować następująco:

**Energia produktu lub usługi jest sumą wszystkich typów energii (energii o różnej jakości), zużytych pośrednio lub bezpośrednio, wyrażoną jako jeden typ energii (tab.1).**

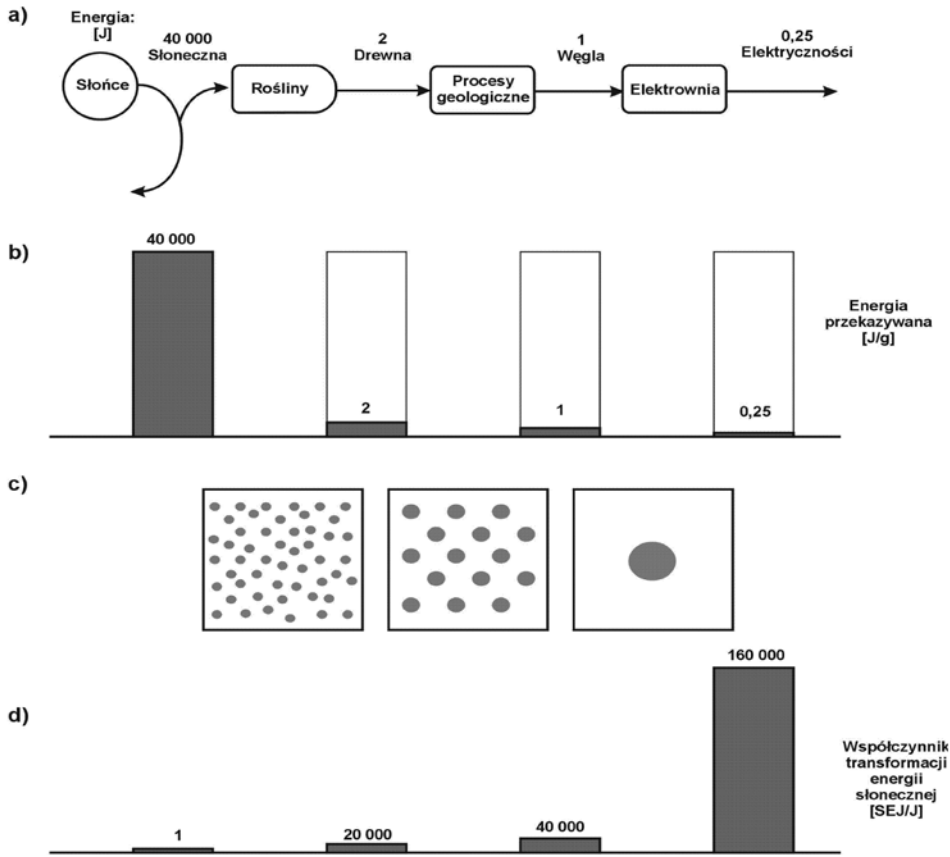
Bardzo ważne jest to rozróżnienie różnych **jakości energii**, gdyż np. energia elektryczna nie jest jakościowo taka sama jak energia promieniowania słonecznego. Stąd konieczność sprowadzenia różnych typów jakości energii do jakiegoś jednego typu. Najczęściej sprowadza się do energii słonecznej, czyli transformuje się daną energię na energię promieniowania słonecznego i wyraża w słonecznych dżulach ekwiwalentnych (SEJ). Różne jakości energii i konieczność transformacji wynika z tego, że podczas procesów produkcji energii, duża ilość energia o niskiej jakości jest używana do wytworzenia mniejszej ilości energii o wyższej jakości - przez co posiada ona więcej „wbudowanej” energii słonecznej (Rys.2). Innymi słowy - surowiec lub produkt „zapamiętał” ile energii było zużyte na ich wyprodukowanie. W przykładzie podanym na Rys. 2, drewno, węgiel lub elektryczność, „zapamiętały”, że we wcześniejszych etapach wytwarzania zużyta była pośrednio lub bezpośrednio pewna ilość energii. Około 40 000 J energii słonecznej (zużytej bezpośrednio i pośrednio) było potrzebne na wyprodukowanie biomasy, której ciepło spalania wyniesie 2 J (Rys. 2a), które następnie poprzez procesy geologiczne mogą przetworzyć na węgiel o ciepło spalania 1 J.



Rys.1 Wzajemne zależności środowiska naturalnego i ekonomii (opracowano na podstawie H.T.Odum, W.Wójcik i inni, 2000)

Tabela 1. Definicje najczęściej używane w analizie emergii (Wójcik, 1998)

| Jednostka                             | Definicja  | Jednostka                         |
|---------------------------------------|--|-----------------------------------|
| Energia                               | Energia potrzebna bezpośrednio lub pośrednio przy generowaniu danego towaru, przekształcona na jeden typ energii | emdzul [emJ]                      |
| Energia słoneczna                     | Energia transformowana na energię promieniowania słonecznego   | słoneczny dzul ekwiwalentny [SEJ] |
| Współczynnik transformacji            | Energia przypadająca na jednostkę danego produktu lub usługi   | [emJ/J]                           |
| Współczynnik transformacji słonecznej | Energia promieni słonecznych odniesiona do jednostki energii towaru lub usługi                                   | [SEJ/J]                           |
| Współczynnik energia/masa             | Energia jednego typu potrzebna do zgromadzenia jednostki masy materii  | [emJ/g]                           |
| Współczynnik energia/dolar            | Współczynnik uwzględniający przepływ emergii w odniesieniu do przepływu dolara w danym systemie                  | [emJ/\$]                          |



Rys. 2 Hierarchia transformacji energii (opracowano na podstawie Odum,1996; Odum,1983):

- a) schemat transformacji,
- b) ilość energii przekazywanej
- c) koncentracja energii
- d) współczynnik transformacji

Z kolei 1 J energii otrzymanej z węgla musi być użyte dla produkcji 0.25 J elektryczności. Te proporcje mogą być stosowane dla przeliczenia energii węgla i elektryczności do równoważnej energii słonecznej – równoważnikiem 1J energii węgla jest 40 000 słonecznych emjouli (SEJ), a równoważnikiem 1J energii elektrycznej jest 160 000 słonecznych emjouli (Rys. 2 b). Na poszczególnych etapach następuje koncentracja energii i tym samym podniesienie jej jakości (Rys. 2 c). Tak więc współczynnik transformacji biomasy roślinnej, otrzymany poprzez podzielenie energii słonecznej (40 000 J) przez energię drewna (2J), wynosi 20 000 SEJ/J, Natomiast współczynnik transformacji węgla wynosi 40 000 SEJ/J, a energii elektrycznej 160 000 SEJ/J (Rys. 2 d). Przykładowe wartości współczynników transformacji przedstawione są w Tabeli 2.

Tab. 2 Przykładowe wartości współczynników transformacji słonecznej (Wójcik, 1998)

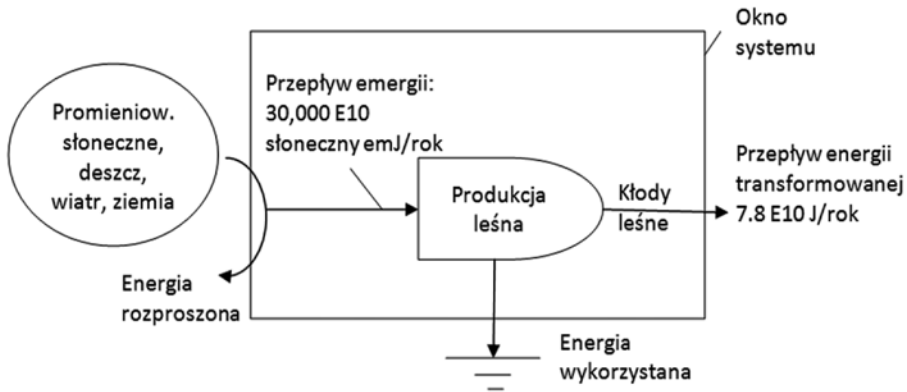
| Jednostka                      | Współczynnik transformacji [SEJ/J] |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Energia słoneczna              | 1                                  |
| Geopotencjalna energia deszczu | 8 888                              |
| Geopotencjalna energia rzek    | 23 564                             |
| Paliwa                         | 18 000 – 100 000                   |
| Usługi                         | 80 000 – 5 mld                     |
| Warzywa, owoce, zboża          | 24 000 – 200 000                   |
| Azot (w nawozach sztucznych)   | $1.75 \cdot 10^6$                  |
| Pestycydy                      | $1.50 \cdot 10^6$                  |
| Rudy żelaza                    | $6.00 \cdot 10^7$                  |

Należy również zauważyć, że w łańcuchu energetycznym z każdą transformacją część energii jest rozpraszana i nie może być użyta w danym systemie - co powoduje, że energia przekazywana jest w coraz mniejszych ilościach do następnego etapu (Rys. 2b). Jak już jednak wspomniano, zwiększa się natomiast jej jakość, która jest związana między innymi z następującymi własnościami:

- koncentracją
- elastycznością w użycia
- łatwością transportu
- łatwością przetwarzania do innej formy.

Jest to kolejny powód, dlaczego konwencjonalnie oceniana wartość energetyczna produktu nie oddaje w pełni całkowitej energii, jaka była potrzebna na jego wytworzenie, i należy zastąpić ją analizą emergii. Obrazowym, kolejnym przykładem jest ilość energii ciepła, jaką możemy otrzymać spalając ołówek - jest znacznie mniejsza niż suma energii sprowadzonych do jednego typu energii (np. słonecznej) i zużytych podczas całego cyklu jego produkcji.

Na rysunku 3 przedstawiono diagram przepływu energii podczas produkcji drewna świerkowego w lasach Szwecji (za Odum, 1996). Jak widać, prostokątem określono granice analizowanego systemu, wewnątrz którego jest tylko jeden komponent, czyli produkcja leśna Kołem po lewej stronie odzwierciedlono dopływ energii do systemu – ponieważ sprowadzono energię użytą we wcześniejszym etapie do jednego rodzaju (energii słonecznej), dlatego na diagramie opisano ten przepływ jako przepływ emergii. Około 30 000 E10 słonecznych emdżuli na hektar jest rocznie zużywane z dopływającego promieniowania słonecznego, deszczu, wiatru oraz gleby. Natomiast w wyniku „produkcji” przez las, z 1 ha, wypływa z systemu w postaci kłód drewna 7.8 E10 dżuli rocznie. W dolnej części diagramu zaznaczono odpływ energii zużytej i rozproszonej.



$$\text{Współczynnik transformacji słonecznej kłód drewna} = \frac{\text{Przeptyw energii słonecznej}}{\text{Przeptyw energii}} = \frac{30,000 \text{ E10 SEJ/rok}}{7.8 \text{ E10 J/rok}} = 3846 \text{ słonecznych emJ/rok}$$

Rys. 3 Przykład wyznaczenia energii produkcji drewna świerkowego z 1 hektara w Szwecji oraz wyliczenie współczynnika transformacji (opracowano na podstawie Odum, 1996)

Zgodnie z definicją wyliczenie współczynnika transformacji drewna świerkowego wyprodukowanego w Szwecji przeprowadzono według wzoru:

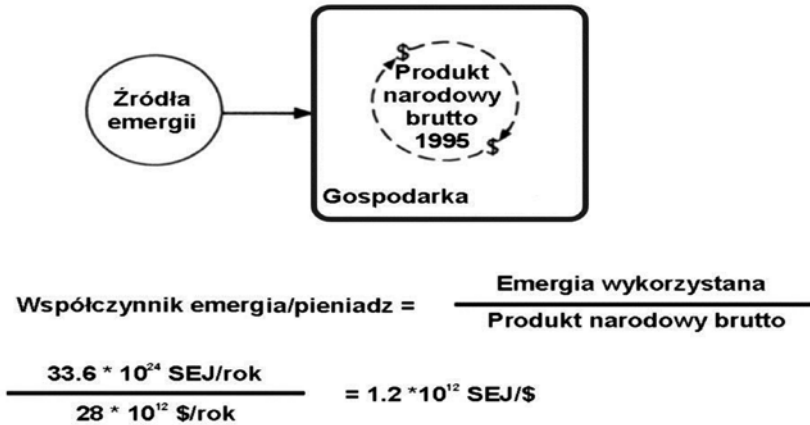
$$\text{współczynnik transformacji} = \frac{\text{przeptyw energii}}{\text{przeptyw energii}} = \frac{30\,000 \text{ E10} \frac{\text{SEJ}}{\text{rok}}}{7.8 \text{ E10} \frac{\text{J}}{\text{rok}}} = 3\,846 \frac{\text{emjouli}}{\text{J}} \quad (1)$$

Należy zwrócić uwagę na rysunku 3, że w procesie produkcji pewna ilość energii jest wbudowywana w produkt, a część energii traci swą zdolność do wykonywania pracy w systemie (jest ona najczęściej rozpraszana w postaci ciepła). Energia ta jest określana jako zużyta i zaznaczona na diagramie w postaci przepływu w dół i na zewnątrz, poprzez symbol energii rozproszonej (Rys. 1, Rys.2, Rys.3).

W oparciu o przedstawione w skrócie zasady została rozbudowana metoda umożliwiającą analizowanie bardzo skomplikowanych systemów i pomocna w procesie podejmowania decyzji, w tym np. w odniesieniu do systemów urbanistycznych, planowania regionalnego, wytwarzania energii, itd.

Wypracowano też szereg wskaźników ułatwiających takie analizy. Na przykład, jeżeli spojrzymy na całą gospodarkę wybranego kraju, to na podstawie całkowitej energii koniecznej do wytworzenia produktu krajowego brutto o określonej wartości rynkowej, możemy wyliczyć współczynnik energia/pieniądz (Rys. 4). Widać, że gdy sumaryczna wykorzystywana energia wynosi  $33 \text{ E}^{24} \text{ SEJ/rok}$ , a produkt krajowy brutto  $28 \text{ E}^{12} \text{ \$/rok}$ , wtedy współczynnik energii do dolara wynosi:  $33 \text{ E}^{24} \text{ SEJ/rok} / 28 \text{ E}^{12} \text{ \$/rok} = 1.2 \text{ E}^{12} \text{ SEJ/\$}$ .

Zatem dzieląc energię przez uzyskany współczynnik energii do dolara, otrzymujemy wskaźnik, którego jednostką może być emdolar. Oczywiście, w zależności od analizowanego kraju, w obliczeniach uwzględnia się lokalną walutę i otrzymanymi współczynnikami mogą być emzłoty, emeuro lub emrubel. Wtedy mając dla jakiegoś analizowanego przypadku koszt pracy wyrażony w np w dolarach, wtedy mnożąc ten koszt przez powyższy współczynnik energia/dolar możemy uzyskać informacje ile równoważnej energii zostało wtedy zużyte.

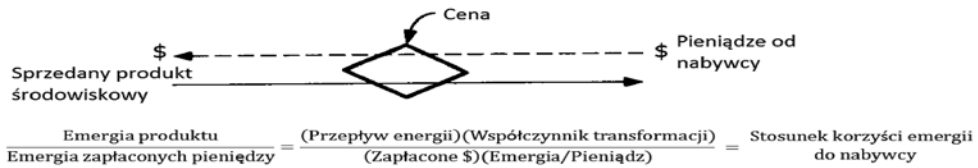


Rys. 4 Obieg pieniędzy w ekonomii oraz wywołujące go źródła energii (wykorzystywane w procesie produkcji) (Brown, 1997)

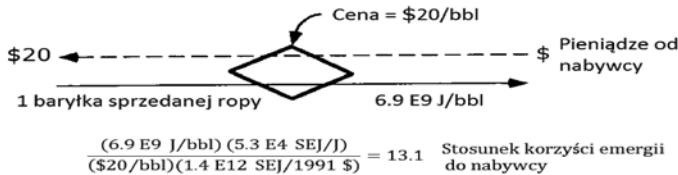
Współczynnik ten umożliwi oszacowanie energii usługi nabywanej lub pracy, gdy brakuje bardziej szczegółowych danych dotyczących wykorzystywanej energii. Energia i emdolar wydają się bardziej przydatne do oceny i planowania społecznego wykorzystania rzadkich minerałów, od stosowanej dotychczas analizy ekonomicznej wykorzystującej pieniądz. Energia może być wtedy wykorzystywana do określenia, które zasoby są bardziej wartościowe i rzadziej występują, w związku z czym powinny być oszczędnie użytkowane. Energia produktu określa jego prawdziwą wartość, która może lepiej szacować koszt przetworzenia i wskazywać najlepszy sposób ponownego użycia. Również koszty ponoszone przez społeczeństwo, wynikające z zanieczyszczenia środowiska, mogą być obliczone z zastosowaniem analizy energii, a następnie wykorzystane do ustalenia bodźców ekonomicznych (np. ulg podatkowych), stosowanych dla wspierania technologii proekologicznych. Na przykład duże korzyści płynące z ponownego wykorzystania metali ciężkich i utrzymania ich poza środowiskiem mogą lepiej uzasadniać przekazanie publicznych subsydiów. Współczynnik energia/dolar wskazuje też, w jakim zakresie stosowane bodźce są adekwatne do osiągniętych korzyści.

Jak już wspomniano, pieniądz nie jest najlepszą miarą wartości rzeczy; dotyczy to też wymiany handlowej. Żeby rozważyć taką sytuację można sporządzić diagram, jak na

rysunku 5. Z lewej strony na prawą przepływają pieniądze od nabywcy za baryłkę oleju skalnego dostarczaną przez dostawcę. Gdy cena za baryłkę wynosi 20 \$ (jak miało to miejsce w roku 1991) to kupujący, płacąc sprzedającemu 20 \$, przekazuje mu równoważność energii wynoszącą 2.8 E13 SEJ, a otrzymuje produkt, którego energia wynosi 3.657 E14 SEJ, czyli 13.1 razy więcej. Ta wymiana handlowa byłaby równoważna i sprawiedliwa z punktu widzenia energii, gdyby współczynnik wynosił 1, czyli gdyby cena za baryłkę wynosiła 262 \$ (rys. 5). Reasumując, gdy wskaźnik jest większy niż 1, wtedy zyskuje kupujący, a gdy współczynnik jest mniejszy niż 1, wtedy sprzedający.



(a)



(b)

$$\frac{(6.9 \text{ E9 J/bbl})}{(\$262/\text{bbl})} \cdot \frac{(5.3 \text{ E4 SEJ/J})}{(1.4 \text{ E12 SEJ/ \$})} = 1$$

(c)

Rys. 5 Porównanie wartości określonej oraz energii przy wymianie handlowej (opracowano wg. Odum, 1986)

Należy podkreślić, że nie chodzi o zastąpienie pieniądza emjoułami, np. w osiedlowym zieleniaku, a zastosowanie analizy energii jako uzupełnienie analizy ekonomicznej.

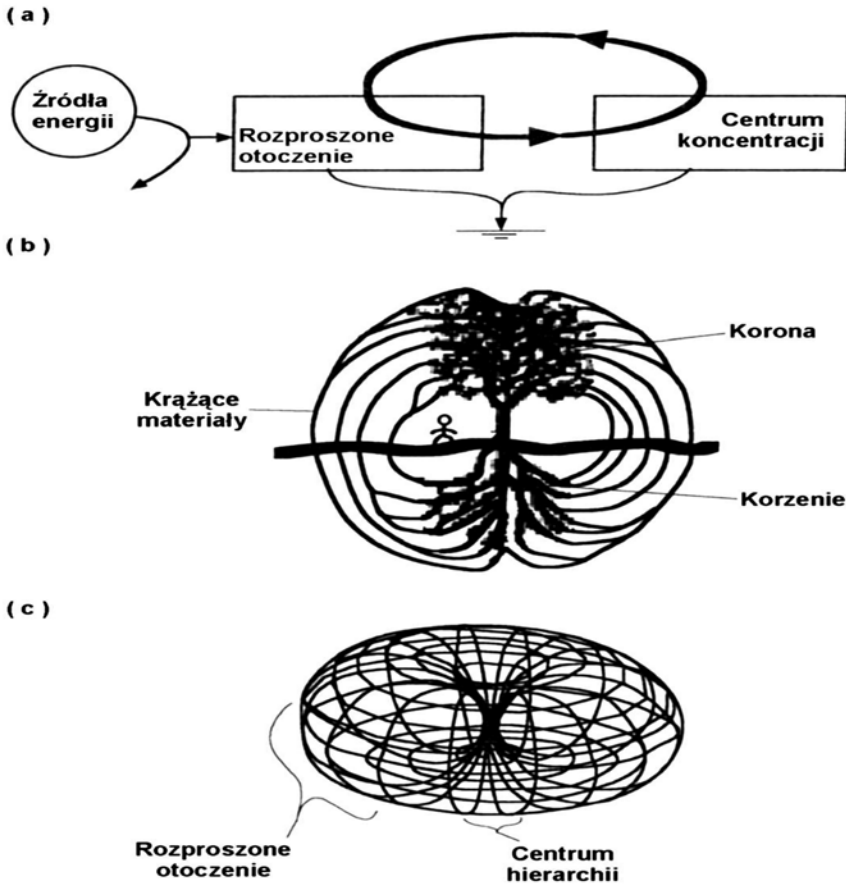
W biogeosferze energia przechodzi przez szereg elementów systemu, takich jak: atmosfera, oceany, kontynenty, organizmy żywe, procesy przemysłowe. Każda jednostka transformuje dostępną energię w mniejszą ilość energii o lepszej jakości (bardziej skupioną i łatwiej dostępną) i przekazuje ją do następnego poziomu. Każdy element może również wysłać małe, kontrolowane przepływy energii z powrotem – do niższego poziomu. Seria takich transformacji tworzy **hierarchię energii**, w której dopływająca energia jest skupiana i koncentrowana coraz bardziej przez elementy należące do kolejnych poziomów, dając w ostateczności na szczycie łańcucha małą ilość energii wysokiej jakości. Taka hierarchia przepływu energii wytworzyła się w trakcie milionów lat ewolucji na Ziemi. Zespoły miejskie cywilizacji ludzkiej umieszczone są na szczycie hierarchii energii. Wynika

to z dużej koncentracji materii i energii w antroposferze, wywołanej procesami przemysłowymi i pracą ludzi (Brown i Ugliaiti, 2000).

Przepływ i transformacja energii wywołują obieg materii. We wszechświecie istnieje naturalna tendencja, wynikająca z podstawowych zasad fizyki, do rozpraszania skoncentrowanych substancji. Do koncentracji materii i utrzymania jej w stanie skupionym, wbrew opisaną tendencji, konieczne jest wykonanie pracy. Jak już wspomniano, do pomiaru różnych rodzajów pracy może być wykorzystana jedna wielkość, którą jest emergencja, określana jako całkowita energia konieczna pośrednio lub bezpośrednio do wytworzenia danego produktu, przekształcona w jeden typ energii. Rysunek 6 przedstawia cyrkulację pierwiastków w systemie ekologicznym z uwzględnieniem dwóch poziomów. Rozcieńczone składniki po lewej stronie są koncentrowane i przekazywane na prawo. Następnie materiały są zwracane z powrotem na lewo i rozpraszane. Dopływająca energia jest wykorzystywana do skupienia materii w centrach hierarchii, gdzie jej koncentracja wzrasta. Obieg zamyka się, gdy skoncentrowane materiały rozpraszane są ponownie na większym obszarze w przepływie zwrotnym. Rysunek 6b przedstawia obieg składników pokarmowych przez centrum hierarchii, którym jest drzewo (McNeil, 1989). Skupienie materii następuje w procesie produkcji biomasy, a rozproszenie w wyniku jej rozkładu. Bardzo istotną rolę w tych zjawiskach krążenia materii i energii na ziemi ma energia słoneczna. Energia słoneczna w interakcji z wodą oceanów generuje parę, chmury, fale i prądy oceaniczne. Opadająca woda, w postaci deszczu lub śniegu, łączy się z lądem i kształtuje ekosystemy, gleby i lodowce. Odpływ wody transportuje w kierunku oceanów powstający w górach materiał erozyjny, kumulując niektóre substancje w wybranych miejscach. Natomiast działalność ludzka polegająca na eksploatacji a potem przerabianiu tych surowców na produkty, skutkuje ponownym rozpraszaniem pierwiastków - nawet jeżeli częściowo zostanie wdrożony recykling.

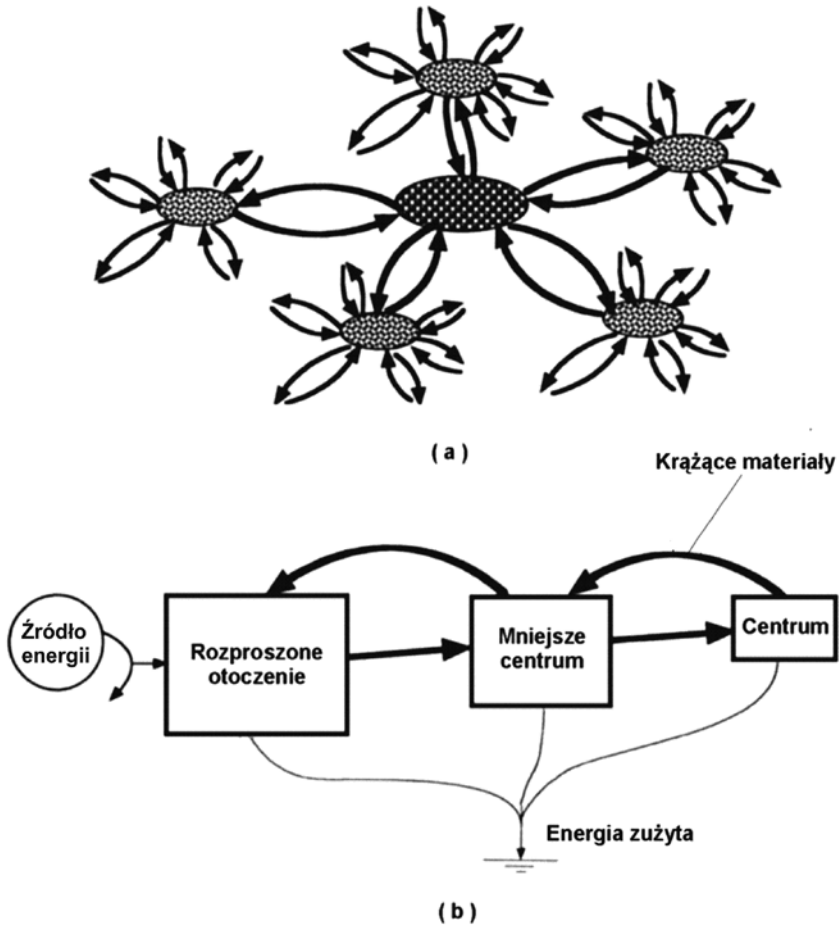
Można zauważyć, patrząc z większej perspektywy, że wszechświat zorganizowany jest w taki sposób, że tworzy wiele poziomów hierarchii. Rozproszona materia jest skupiana i koncentrowana w małych centrach, które z kolei łączą się w centra coraz większe (Rys. 7). Zwiększanie koncentracji materii przy przechodzeniu na kolejne, wyższe poziomy hierarchii wymaga wykorzystania coraz większych ilości energii. Przykładem hierarchizacji środowiska jest przestrzenne rozmieszczenie ludzi z małymi centrami w osiedlach i miasteczkach oraz większymi w miastach i metropoliach.





Rys. 6 Dwuelementowy system przedstawiający krążenie materii w przyrodzie (opracowano na podstawie Odum 2000, McNeil 1989, Wójcik, 2014):

- (a) diagram systemu
- (b) koncentracja i rozproszenie składników pokarmowych krążących pomiędzy drzewem i jego środowiskiem
- (c) trójwymiarowa reprezentacja cyrkulacji materiałów



Rys. 7 Krążenie materii pomiędzy trzema poziomami hierarchii (opracowano na podstawie W.Wójcik, 2014): a) rozmieszczenie przestrzenne, (b) diagram systemu

## POSUMOWANIE

Przestawiona metoda analizy energii, nazywana często analizą emergii, jest najbardziej obiecującą metodą do zastosowania w ocenie na ile dany produkt, usługa, źródło energii lub rodzaj energii jest zgodna zasadami zrównoważonego rozwoju. Pozwala analizować złożone systemy z uwzględnieniem aspektów socjologicznych, ekonomicznych jak też ekologicznych, a zwłaszcza wtedy gdy pieniądz nie oddaje w pełni rzeczywistej wartości produktu lub działalności ludzkiej. Może być też stosowana w procesie podejmowania decyzji w zakresie lokalizacji inwestycji, w tym inwestycji uciążliwych dla środowiska, wyborze najkorzystniejszego źródła energii, subsydiowania lub podatkowania produktów lub działalności gospodarczej itp.

## LITERATURA

1. Brown M.T. (ed), *Emergy synthesis*. Proceedings of the First Biennial Emergy Analysis Research Conference, Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, Dec. 2000.
2. Hall, C. A. S., Cleveland, C. J., Kaufmann, R., *Emergy and Resource Quality*. New York, Wiley-Interscience 1986.
3. Huang, S. L., Odum, H.T., Ecology and Economy: emergy synthesis and public policy in Taiwan. *Journal of Environmental Management*. 32, 1991 p. 313-333.
4. Lantzy, R. J., Mackenzie, F. T., Atmospheric trace metals: global cycles and assessment of man's impact. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 43, 1979 p. 511 -525.
5. McNeil D., A systemological approach to hierarchy and duality. [In:] *Yearbook of the international Society for the System Sciences*. Vol.32, 1989 p. 307-314.
6. O Odum, H. T. , *Environmental Accounting: EMERGY and Decision Making*. New York, John Wiley 1996.
7. Odum H.T, *Modeling in all scales.*, John Wiley, New York 2000.
8. Odum, H. T. , *System Ecology: An Introduction*. John Wiley & Sons, New York 1983.
9. Scienceman, D. M., *Emergy and Emergy*. [in:] Pillet, G., Murota, T. *Environmental Economics*. Geneva, Roland Leimguber, 1987.
10. Wójcik, W., Analiza systemowa opcjonalnych technologii oczyszczania ścieków przemysłowych. *Geodezja i Inżynieria Środowiska.*; WN AGH, No 3 1998. s. 145-161.
11. Wójcik W., Emergy- a new tool for evaluation of sustainability. Toward the integrated municipal sanitation systems". TRITA-AMI, KTH, Sweden. ISSN 1400-1306, 2005 p. 33-41.
12. Wójcik W., *Interakcja metali ciężkich ze środowiskiem mokradłowym – teoria i praktyka inżynierii ekologicznej*. Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne PWSZ im.S.Pigonia w Krośnie. 2014. ISBN 978-83-64457-05-0.

# QUANTIFICATION AND ASSESSMENT ENERGY SAVING OF LIGHTING SYSTEM AUTOMATICALLY DIMMED TO THE CONSTANT LEVEL

## KVANTIFIKACE A POSOUZENÍ ÚSPOR ENERGIE SYSTÉMU OSVĚTLENÍ S AUTOMATICKÝM STMÍVÁNÍM

Pavel Valíček<sup>1</sup>, Lenka Jurčíková<sup>2</sup>

<sup>1</sup> VŠB-TU Ostrava, Faculty of Civil Engineering, pavel.valicek@vsb.cz

<sup>2</sup> VŠB-TU Ostrava, Faculty of Civil Engineering, lenka.jurcikova@vsb.cz

### ABSTRACT

Článek se zabývá kvantifikací energetických úspor osvětlovací soustavy řízené na konstantní osvětlenost. Naměřená data pocházejí z řídicího systému KNX objektu odborného školicího střediska pro vzdělávání MSDK v areálu VŠB-TU Ostrava. Objekt je vybaven stmívatelnou osvětlovací soustavou s komunikací DALI, která je ovládaná řídicím systémem KNX vybaveném čidly jasu umístěných na stropě v regulovaných místnostech. Cílem regulace osvětlovacích soustav umělého osvětlení je omezení spotřeby elektrické energie daných osvětlovacích soustav a tím snížení provozních nákladů SH. V článku je provedeno vyhodnocení úspor ve vybraném období se srovnáním vůči klasické osvětlovací soustavě.

Keywords: stmívatelná osvětlovací soustava, regulace, KNX, DALI.

### INTRODUCTION

Cílem článku je kvantifikovat energetické úspory osvětlovací soustavy řízené na konstantní osvětlenost. Pro vyhodnocení úspor dosažených regulací osvětlovací soustavy bude vybrán vzorek dat ze zimního období, kdy osvětlovací soustava aby byly splněny normové hodnoty osvětlenosti v místě zrakového úkonu je v provozu i v průběhu dne. Zároveň se bere v úvahu, že při použití klasické osvětlovací soustavy uživatelé tuto v průběhu dne nevypínají.

### POPIS MĚŘENÉHO OBJEKTU

Měření probíhalo v odborném školicím středisku pro vzdělávání a rozvoj lidských zdrojů členů - výzkumném inovačním centru Moravskoslezského dřevařského klastru (dále jen MSDK) v areálu VŠB-TU Ostrava, FAST. Výzkumné inovační centrum MSDK bylo zrealizováno za podpory projektu OPPI 5.2 SS02/206. Jedná se o dřevostavbu v pasivním standardu.

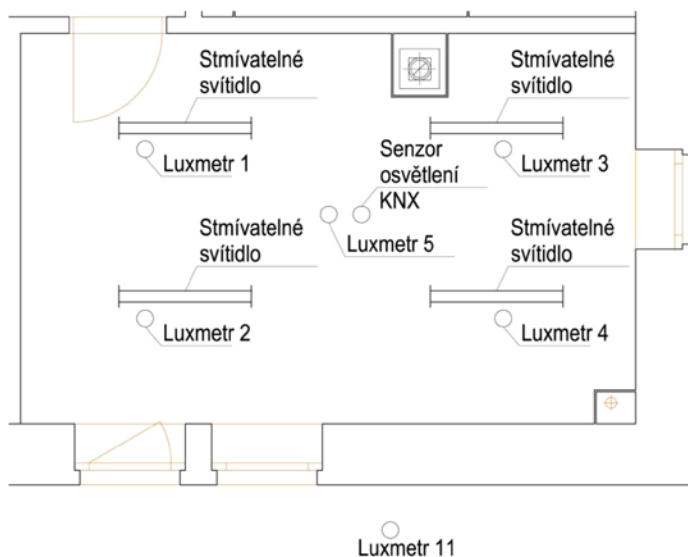
Orientační situace umístění výzkumného centra je znázorněna na obrázku 1.



Obrázek 1 Výzkumné inovační centrum MSDK v areálu VŠB-TU Ostrava, FAST

Jedním z hlavních účelů pasivní dřevostavby je dlouhodobé monitorování a vyhodnocování fyzikálně-technických vlastností stavebních konstrukcí a vnitřního prostředí celé budovy za reálných vnějších podmínek. Součástí měřených a logovaných dat jsou i parametry nastavení regulátoru osvětlovacích soustav, naměřených hodnot jasů pro regulaci na konstantní osvětlenost a hodnoty osvětlenosti na venkovní nezastíněné rovině.

Článek bude vyhodnocovat data naměřená v místnosti 204( obrázek 2), umístěné v 2NP budovy.

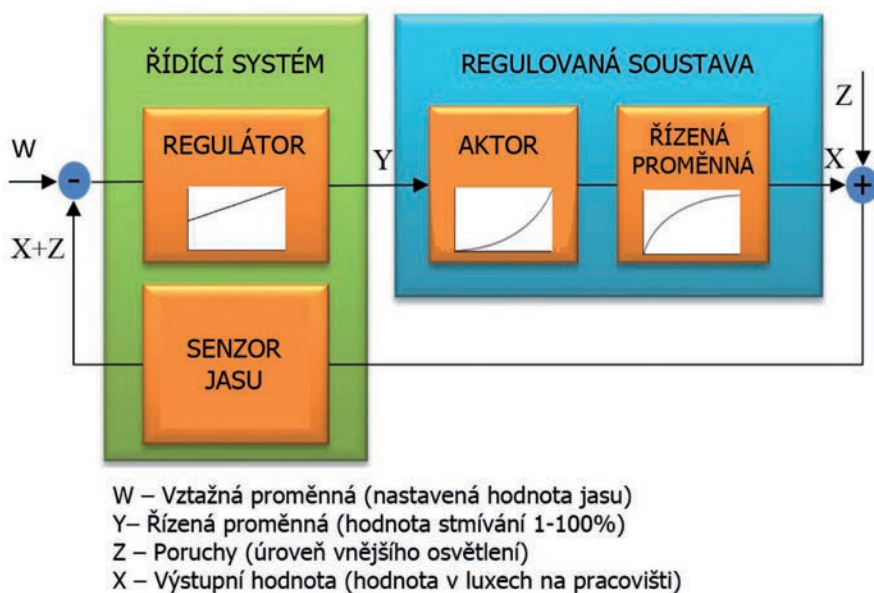


Obrázek 2 Místnost 204 s regulovanou osvětlovací soustavou na konstantní osvětlenost

Měřená místnost je vybavená osvětlovací soustavou s možností regulace pomocí standardizovaných prvků sběrnice systému KNX a standardu DALI pro řízení jednotlivých svítidel. Čidlo jasu UP 255/11 systému KNX je umístěno na stropě ve středu místnosti. V místnosti jsou rozmístěna 4 svítidla Thorn Jupiter 2 (2x28W) s komunikačním modulem sběrnice DALI. V místnosti je zároveň umístěno 5 luxmetrů pro měření horizontální osvětlenosti, luxmetr s označením 11 je umístěn vně objektu a slouží pro kontrolní měření osvětlenosti na venkovní nezastíněné horizontální rovině.

## POPIS MĚŘENÉHO OBJEKTU

Řízení osvětlení pomocí technologie KNX uzavřenou nebo otevřenou regulační smyčkou je založeno na modulaci úrovně osvětlení uvnitř místnosti měřením venkovní (nezávislé proměnné) osvětlení pomocí venkovního senzoru KNX, tak i zpětné vazby na vnitřní úroveň osvětlení (závislá proměnná) pomocí vnitřního senzoru KNX v místnosti, která obsahuje změny úměrně k vnějšímu osvětlení. Pro vlastní řízení osvětlení na konstantní osvětlenost byl použit řídicí obvod s uzavřenou regulační smyčkou (Obrázek 3) (KNX, Valíček 2016).

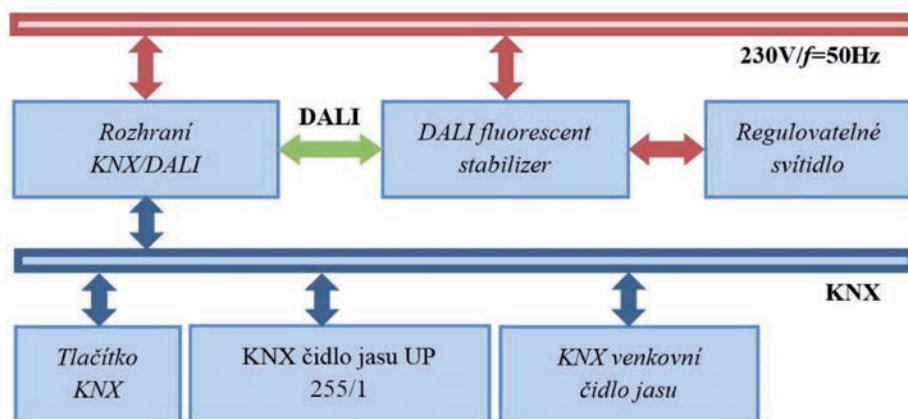


Obrázek 3 Princip uzavřené smyčky regulující osvětlenost na konstantní hodnotu (KNX, Valíček 2016).

Požadovaná úroveň osvětlenosti v místě zrakového úkolu je měřena jako regulovaná veličina. K regulované veličině je přičtena interferenční hodnota osvětlení způsobeného denní složkou světla a potom je v rámci regulační smyčky přivedena zpět do aktorů KNX. Do systému řízení na konstantní osvětlenost pro jednu místnost jsou zahrnuty (obr. 4):

- Sběrníkové tlačítko (Push Button 4-f UP 245 DELTA) pro zapínání, vypínání osvětlení a pro přepínání automatického režim osvětlení a manuálního režim osvětlení v místnosti,
- Brightness Controller UP 255/11,
- KNX/DALI Gateway N 141/02

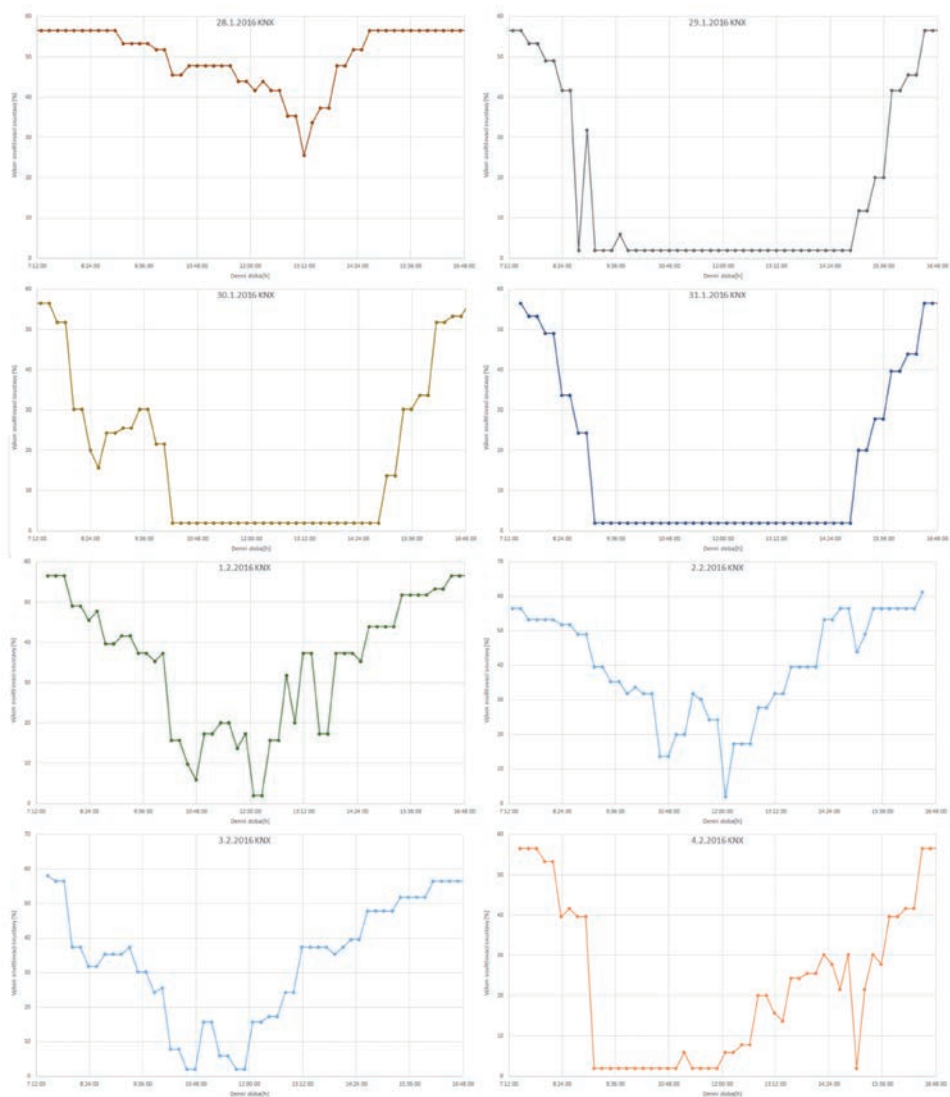
Pro měření venkovní osvětlenosti pro provozní účely slouží meteorologická stanice, která je umístěna na střeše domu (Weather station GPS AP 257/22).



Obrázek 4 Blokový diagram řízení osvětlovacích soustav pomocí komponent standardu KNX/DALI

## UKÁZKA NAMĚŘENÝCH DAT

V článku jsou použita data využití osvětlovací soustavy naměřená v období 28. 1. 2016 – 4. 2. 2016. Stanovení úspor vychází z předpokladu, že v zimním období, kdy osvětlovací soustava aby byly splněny normové hodnoty osvětlenosti v místě zrakového úkolu je v provozu i v průběhu dne. Zároveň se bere v úvahu, že při použití klasické osvětlovací soustavy uživatelé tuto v průběhu dne nevypínají. Na obrázku 5 jsou grafy výkonu osvětlovací soustavy v průběhu jednotlivých dní zkoumaného období. Pro plnění normových požadavků na osvětlenot místa zrakového úkolu, v tomto případě 500lx, dostačuje nastavení výkonu osvětlovací soustavy na cca 56% jmenovitého výkonu osvětlovací soustavy. V průběhu dne díky příspěvku denního osvětlení dochází k poklesu výkonu osvětlovací soustavy dne okamžitých podmínek až na 2% jmenovitého výkonu, což je minimální hodnota, kterou regulátor v automatickém režimu nastavuje.



Obrázek 5 Výkon osvětlovací soustavy v jednotlivých dnech zkoumaného období[%]

## ZÁVĚR

Z výše uvedených dat a předpokladů je možno vyvodit potencionální úspory energií u osvětlovacích soustav řízených na konstantní úroveň osvětlení. Ve sledovaném období se úspora pohybovala v průběhu dne( čas od 7:15 do 16:45) od 11% do 67% s průměrem 45% oproti stavu kdy osvětlovací soustava bude zapnuta na standardní výkon v průběhu celého dne, viz tabulka 1.



Tabulka 1 Vyhodnocení úspor v jednotlivých dnech zkoumaného období v časech od 7:15 do 16:45

| Datum       | Spotřeba s regulací[Wh] | Spotřeba bez regulace[Wh] | Úspora[Wh] | Úspora[%] |
|-------------|-------------------------|---------------------------|------------|-----------|
| 28. 1. 2016 | 286,0                   | 321,2                     | 35,2       | 11,0      |
| 29. 1. 2016 | 106,1                   | 321,2                     | 215,2      | 67,0      |
| 30. 1. 2016 | 114,5                   | 321,2                     | 206,7      | 64,4      |
| 31. 1. 2016 | 108,1                   | 321,2                     | 213,1      | 66,3      |
| 1. 2. 2016  | 206,2                   | 321,2                     | 115,0      | 35,8      |
| 2. 2. 2016  | 236,8                   | 321,2                     | 84,4       | 26,3      |
| 3. 2. 2016  | 195,8                   | 321,2                     | 125,4      | 39,1      |
| 4. 2. 2016  | 140,7                   | 321,2                     | 180,5      | 56,2      |
| suma        | 1394,3                  | 2569,7                    | 1175,5     | 45,7      |

Současně byla vyhodnocena situace s nepřetržitým provozem osvětlovací soustavy v totožném období tj. od 28. 1. 2016 do 4. 2. 2016, kdy tato úspora dosahovala cirká 20% energie.

Tabulka 2 Vyhodnocení úspor při nepřetržité činnosti osvětlovací soustavy ve zkoumaného období

| Datum         | Spotřeba s regulací[Wh] | Spotřeba bez regulace[Wh] | Úspora[Wh] | Úspora[%] |
|---------------|-------------------------|---------------------------|------------|-----------|
| 28. 1.- 4. 2. | 4731,4                  | 5910,4                    | 1179,0     | 19,9      |

## LITERATURA

1. KNX association, Lighting-Control, <http://www.knx.org/>
2. Valíček P., Novák T., Vaňuš J., Sokanský K., Martinek R., Measurement of illuminance of interior lighting system automatically dimmed to the constant level depending on daylight, 16 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2016

**2. NEW CONSTRUCTION  
AND INSTALLATION SYSTEMS  
AS AN INSPIRATION  
FOR CONTEMPORARY ARCHITECTURE  
NOWE SYSTEMY KONSTRUKCYJNE  
I INSTALACYJNE JAKO INSPIRACJA DLA  
WSPÓŁCZESNEJ ARCHITEKTURY  
NOVÉ KONSTRUKČNÍ A INSTALAČNÍ  
SYSTÉMY JAKO INSPIRACE PRO  
SOUČASNOU ARCHITEKTURU**



# **ARCHITECT, TECHNOLOGY AND FUNCTION - GEOPHYSICAL OBSERVATORY IN RACIBORZ BY KONRAD WACHSMANN**

## **ARCHITEKT, TECHNOLOGIA I FUNKCJA – OBSERWATORIUM GEOFIZYCZNE W RACIBORZU AUTORSTWA KONRADA WACHSMANNA**

Adam Bednarski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Raciborzu, Instytut Architektury, ul. Łąkowa 31 47-400 Racibórz, adam0bednarski@gmail.com

### **ABSTRAKT**

Zrealizowany w 1928 r. w Raciborzu budynek Obserwatorium Geofizycznego był wyjątkowy pod wieloma względami. Miał pomieścić mieszkanie i zarazem odizolowane – ze względu na charakter prowadzonych badań – obserwatorium procesów sejsmicznych profesora Carla Mainki. Osiągnięto to dzięki formie i konstrukcji samego budynku, którą stanowiło połączenie murowanego postumentu piwnicznego mieszczącego aparaturę badawczą i dwukondygnacyjnej budowli w konstrukcji drewnianej. Autorem projektu był Konrad Wachsmann – niemiecki architekt, główny projektant unikatowej wówczas fabryki drewnianych domów Christoph & Unmack w Niesky. Budynek ten stanowił istotny element rozwijających się dwóch karier – geofizyka i architekta, przynosząc obydwu z biegiem lat światowy rozgłos. Warto podkreślić, że przez wszystkie lata budynek obserwatorium zachował w większym stopniu swoją oryginalną formę i konstrukcję oraz nadal pełni pierwotną funkcję jako siedziba Śląskiego Obserwatorium Geofizycznego Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk. Budynek jest wzorcowym przykładem symbiozy architektury i techniki. W pełni zaspokoił oczekiwania funkcjonalne właściciela, a przy tym reprezentował nową jakość architektoniczną poprzez nowatorską formę i konstrukcję. Nie jest to dziś budowla powszechnie znana, dlatego postanowiłem niniejszym artykułem o niej przypomnieć.

Słowa kluczowe: Konrad Wachsmann, budownictwo drewniane, architektura modernistyczna, Racibórz, obserwatorium geofizyczne, Carl Mainka.

## ABSTRACT

Observatory Building in Raciborz was built in 1928, and even then it was unique in many ways. Main challenge was its function – living space and observatory for German seismologist Carl Mainka. The observatory had to be separated from surroundings because of sensitive equipment. It was realised by special combination form and construction of building. The brick basement was a place for equipment and over was two storey wooden house. Building's was designed by Konrad Wachsmann – a German architect and main designer in Christoph & Unmack Wooden Houses Factory in Niesky. This building was also main element in developing world career both – the seismologist and the architect. The building has been in its original function and mostly form for all the years till nowadays. The Observatory is an example of technology and architecture symbiosis. It was very functional for its user and it has been represented new architecture quality because its innovative form and construction. I would like to remind this interesting building because it is not so popular nowadays.

Keywords: Konrad Wachsmann, wooden buildings, modern architecture, Racibórz, geophysical observatory, Carl Mainka.

## WPROWADZENIE

Postać Konrada Wachsmanna nie jest tak znana jak nazwiska innych modernistycznych niemieckich architektów pierwszej połowy XX wieku – Waltera Gropiusa, Miesa van der Rohe czy Ericha Mendelsohna. Tymczasem jego projekty, realizacje i nowatorskie podejście do architektury powinny zapewniać mu podobną popularność. Racibórz miał tę wyjątkową okazję, że właśnie tutaj pojawiła się potrzeba zrealizowania jednego z bardziej wyjątkowych projektów tego architekta. Budynek powstał, a w dodatku istnieje i pełni swoją funkcję po dzień dzisiejszy.

Konrad Wachsmann urodził się 16.05.1901 r. we Frankfurcie nad Odrą. Studia realizowane w Berlinie kończy w klasie mistrzowskiej Hansa Poelziga, a w przeciągu dwóch lat podejmuje pracę w fabryce budowli drewnianych (Holzbaufabrik) Christoph & Unmack AG w miejscowości Niska (Niesky Oberlausitz). Jego pomysłowość, ambicja i zmysł organizacji szybko zostały dostrzeżone i w 1926 r. otrzymuje stanowisko głównego architekta w tej fabryce. Sama fabryka Christoph & Unmack AG jest wyjątkowa. Założona w 1835 r. firma początkowo działała jako fabryka produkująca szyny oraz wagony kolejowe. W 1882 r. został utworzony oddział zajmujący się produkcją drewnianych elementów – z czasem rozbudowany do wielkich rozmiarów.

Zainteresowanie budownictwem drewnianym wzrosło po pierwszej wojnie światowej, gdy Republika Weimarska rozwinęła wielki program realizacji masowych mieszkań i domów. Drewno – dostępne i łatwe w obróbce, a przede wszystkim dające możliwość wznoszenia całego budynku w relatywnie krótszym czasie niż budynku murowanego – coraz częściej gościło jako element światowych i lokalnych wystaw budownictwa mieszkaniowego. Drewniane budynki w ramach tego typu przedsięwzięć projektowali m.in. Hans Poelzig, Hans Sharoun, Paul Heim, Gustav Lüdecke, Bruno Paul. Otwarta na inno-

wacje technologiczne fabryka Christoph & Unmack AG stawała się jednym z głównych producentów budynków drewnianych na terenie Niemiec (il.1.,2.). Do najbardziej znanych realizacji z pewnością należy zaliczyć: zawieszona na skale alpejskie schronisko na szczycie Zugspitze, wrocławskie przedszkole na wystawę WUWA<sup>1</sup>, budynki kościołów ewangelickich w Zabrze, Bytomiu i Niesky, a przede wszystkim zrealizowany w 1935 r. gliwicki maszt radiostacji<sup>2</sup>. Jednak poza takimi realizacjami to przede wszystkim prefabrykowane domy szkieletowe stanowiły główny procent produkcji fabryki w Niesky. Przy współdziałaniu wielu architektów i samego Wachsmanna opracowano katalog kilkudziesięciu domów typowych, których konstrukcja oparta była o budownictwo szkieletowe i zmodernizowaną technologię baloon frame<sup>3</sup>. Stylistyka budynków odzwierciedlała zarówno nurt modernistycznej zabudowy z płaskimi dachami neues bauen, jak i formy nawiązujące do tradycyjnego budownictwa niemieckiego z okresu Goethego. W wielkich halach fabryki Niesky powstawały gotowe elementy, a często całe niewielkie domy gotowe do montażu na docelowych działkach. W tej technologii zbudowano wówczas większość domów w Niesky, w tym także dom dyrektora fabryki autorstwa samego Konrada Wachsmanna w 1927 r. Być może to ten obiekt stanowił element wyjściowy do późniejszych projektów willi drewnianych projektowanych przez tego architekta.

Zamówienie na budynek w Raciborzu miało swój początek w roku 1926. Do miasta przyjeżdża znany fizyk, specjalista w dziedzinie geosejsmologii – prof. Carl Mainka. Urodzony w Opolu, po studiach we Wrocławiu, zdobywa ogromne doświadczenie w placówkach naukowych w Strassburgu i na Spitzbergenie. Na Górnym Śląsku przyjeżdża, by badać wstrząsy geosejsmiczne. Skonstruowana aparatura pomiarowa jego autorstwa to techniczny wynalazek, który mógłby stanowić system wczesnego ostrzegania przed wstrząsami w śląskich kopalniach i miastach. Mainka zakłada pierwszą w Europie sieć sejsmiczną obejmującą swym zasięgiem Gliwice, Zabrze, Biskupice, Pyskowice, Bytom i Rozbark (gdzie stację pomiarową umieszczono 500 m pod ziemią w kopalni). Centrum tego układu stanowi Racibórz – tu Carl Mainka postanawia zamieszkać i prowadzić codzienne badania. By stało się to możliwe, w 1926 r. kieruje zapytanie do wielu architektów o możliwość realizacji trudnego zadania. Oczekiwania stawiane przez fizyka są wysokie: budynek miałby zawierać część mieszkalną oraz obserwatorium geofizyczne, zorientowane według stron świata, w którym znalazłaby miejsce i właściwe warunki aparatura badawcza. Konrad Wachsmann przedstawia projekt zintegrowania obu części funkcjonalnych. Ponadto proponuje Maince wygodny, nowoczesny dom w konstrukcji właśnie drewnianej.

<sup>1</sup> Budynek autorstwa Paula Heima. Obecnie budynek z 1929 r. został zaadaptowany na siedzibę wrocławskiego SARP poprzez projekt pracowni architektonicznej Z. Maćków.

<sup>2</sup> Gliwice posiadały przed II wojną światową trzy maszty radiostacji. Dwa w stalowej konstrukcji znajdowały się przy obecnej ul. Radiowej i stanowiły stację nadawczą gliwickiego radia. Natomiast drewniany, ponadstumetrowy maszt został zaprojektowany przez firmę Lorenz jako stacja odbiorcza przy dzisiejszej ul. Tarnogórskiej.

<sup>3</sup> Konstrukcja szkieletowych domów kolonialnych, nazwana tak ironicznie, by nawiązać do lekkości nowego typu budowania, opartego na drewnianej konstrukcji szkieletowej i prefabrykacjach, czyli deskach łączonych maszynowo w większe powierzchnie. Zwana często także „konstrukcją chica-gowską” (J. Rączka za S. Giedion).

Budynek zlokalizowano na wzniesieniu terenu (215 m n.p.m.), w pewnej odległości od centrum miasta, przy dzisiejszej ul. Chłopskiej. Usytuowanie ściśle względem stron świata miało na celu uzyskanie właściwej dokładności prowadzonych przez Carla Mainkę badań. W murowanej przestrzeni wysokiej piwnicy znalazły się pomieszczenia laboratorium, gdzie umieszczono stacjonarne czujniki sejsmiczne własnej konstrukcji profesora, o masach wahadeł poziomych po 900 kg i masie wahadła pionowego 750 kg (il. 9.). Na murywanym podpiwniczeniu stanął prosty i nowoczesny w bryle drewniany budynek. Parter rozplanowano tak, by pomieściły się dwa pokoje biurowe, przestronne instrumentarium (il. 10.), wychodząca poza obrys pracownia<sup>4</sup> oraz część mieszkalna (pokój dzienny, sypialnia, kuchnia, łazienka). Znajdująca się przy samym wejściu imponująca klatka schodowa (il. 11., 12.) prowadziła kręconymi schodami na wyższe kondygnacje, gdzie mieściły się kolejne pomieszczenia mieszkalne (odpowiadające rzutowi niższej kondygnacji), a pozostała przestrzeń została przewidziana jako większy pokój dzienny oraz biblioteka. Najwyższa kondygnacja pełniła funkcję niewielkiego pomieszczenia do prowadzenia obserwacji astronomicznych, z którego wychodzono na płaski dach – platformę obserwacyjną. Poza niezachowaną pracownią parteru, praktycznie cały układ pomieszczeń i bryła budynku zachowały się do dnia dzisiejszego (il. 5.-8.). Remonty i konserwacja budynku, przeprowadzane co kilka lat, mimo zastosowania wielu kontrowersyjnych materiałów i metod przeprowadzania prac<sup>5</sup> pozwoliły na utrzymanie obiektu w zadowalającym stanie.

Swoją kubistyczną, prostą formą i estetyką budynek raciborskiego obserwatorium geofizycznego nawiązywał do zrealizowanego w tym samym okresie budynku biura BVG w Berlinie (il. 3.). W obu przykładach Konrad Wachsmann zaproponował nowoczesną ryzalitowaną bryłę z płaskim dachem tarasowym i elewację z poziomym rysunkiem drewnianych desek. Te dwie realizacje jednak nie przyniosły architektowi takiego rozgłosu jak kolejne zamówienie z końca lat 20. ubiegłego wieku – budowa domu letniskowego dla Alberta Einsteina.

W rocznicę 50. urodzin fizyka, w 1929 r. miasto Berlin postanawia wybudować Einsteinowi dom – takie ogłoszenie zostało umieszczone w ówczesnej prasie. Dom – zgodnie z życzeniem noblisty – ma być drewniany i pełnić funkcję domu letniego. Na ogłoszenie błyskawicznie reaguje Konrad Wachsmann i bez zapowiedzi odwiedza berlińskie mieszkanie Einsteinów. Nie zastając Alberta, namawia jego żonę Elbę do wycieczki na teren przyszłej inwestycji do miejscowości Caputh pod Poczdamem i w drodze przekonuje ją do swoich umiejętności wznoszenia budynków drewnianych. Następnego dnia pojawia się ponownie i spotyka z fizykiem. Zanim dochodzi do spotkania, przez noc wykonuje cały wstępny projekt odpowiadający sugestiom Elsy, skonsultowany z rozwiązaniami realizowanymi przez fabrykę w Niesky. Einstein jest pod ogromnym wrażeniem wykonanej pracy

<sup>4</sup> Nie zachowała się do dnia dzisiejszego. Pozostała jedynie wyprowadzona płyta pełniąca dziś funkcję tarasu.

<sup>5</sup> Stosowano m.in. przeciętne materiały malarskie, których powłoka po czasie prowadziła do złuszczeń i narażenia drewnianych ścian budynku na zniszczenie. Również dokonano w wielu miejscach wymiany oryginalnych desek, zastępując je materiałem gorszej jakości. Nie zabezpieczono właściwie pomieszczeń piwnic, stąd problemy z wilgocią i stanem technicznym posadowienia budynku.

i rozeznania we wcześniej podanych przez żonę sugestiach. Ponadto udaje się Wachsmannowi przekonać fizyka do realizacji domu nie z solidnych beli drewnianych kładzionych na sobie (co było życzeniem inwestora), a do konstrukcji baloon frame. Jako izolację pomiędzy deskami architekt proponuje sprasowany torf. Jak się później okaże, to rozwiązanie pozwoliło na to, by dom przewidziany jako sezonowy, mógł służyć swoim użytkownikom przez cały rok. Także w zakresie oczekiwań funkcjonalno-estetycznych rozwiązania zaproponowane przez Wachsmanna okazały się trafniejsze, mimo że odbiegały od wcześniej stawianych przez fizyka warunków (m.in. francuskie okna, czerwona dachówka itp.). Dom łączył – podobnie jak w przypadku obserwatorium w Raciborzu – funkcje przytulnego miejsca do mieszkania oraz przestronnej pracowni badawczej mieszczącej wymagane instrumentarium. Einsteinom nie dane było mieszkać zbyt długo w nowym domu (il. 4.), lecz przez te dwa lata fizyk podobno nigdy i nigdzie nie czuł się lepiej i bardziej zrelaksowany niż tu „na wsi”, w domu „w którym można gwizdać na cały świat” – jak wspominał<sup>6</sup>.

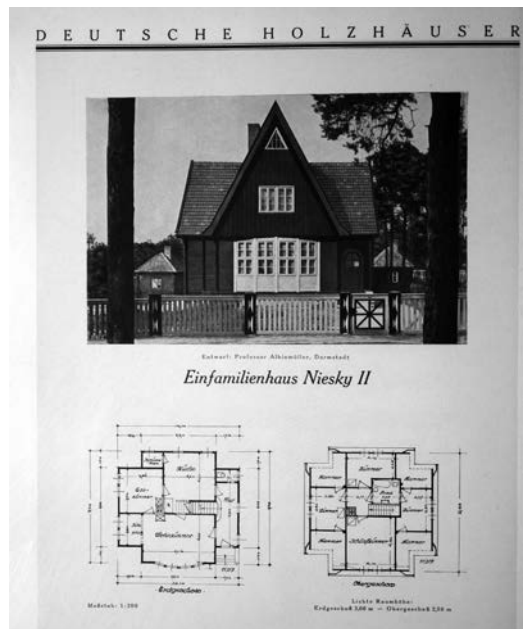
Podobnie jak małżeństwo Einsteinów, także i sam Konrad Wachsmann emigruje z hitlerowskich Niemiec, początkowo do Paryża (1938 r.), a następnie do Stanów Zjednoczonych (1941 r.). Znany z realizacji domu w Caputh, nawiązuje w Stanach współpracę z Walterem Gropiusem, z którym wspólnie rozwija system budownictwa prefabrykowanego z drewna „Packaged House System”. Metoda ta zakładała wzniesienie domu z prefabrykatów w czasie krótszym niż 9 godzin! System szybko zyskuje popularność i pojawiają się pierwsze zamówienia. Ze względu na zaangażowanie Stanów Zjednoczonych w II wojnę światową, Wachsmannem zainteresowana jest armia amerykańska i władze. W roku 1943 otrzymuje on zadanie zaprojektowania i wzniesienia na terenie tajnego wojskowego poligonu w Utah typowej wioski drewnianej o charakterze niemieckiej architektury. Taki sam fragment typowej niemieckiej zabudowy murowanej ma wznieść nieopodal Erich Mendelssohn. Wybrani przez rząd USA architekci niemieccy zostali uznani za specjalistów od murowanej i drewnianej architektury niemieckiej. Eksperyment nazywany w historii jako Dugway Proving Ground ma za zadanie przeanalizować i wykazać, jaką taktykę należy obrać przy planowanych na miasta niemieckie nalotach bombowych, by straty wroga aliantów były największe. Między innymi, za udział w tej operacji Konrad Wachsmann otrzymuje po wojnie stanowisko profesorskie – najpierw na Illinois Institute of Technology w Chicago (1949-1964), a następnie na University of Southern California w Los Angeles (1964-1974). W tym czasie rozwija swoje badania nad strukturami i konstrukcjami zarówno drewnianymi, jak i stalowymi, projektując liczne patenty i udogodnienia techniczne. Umiera w 1980 r. w Los Angeles, lecz zgodnie z jego życzeniem zostaje pochowany w rodzinnym Frankfurcie nad Odrą.

Postać Konrada Wachsmanna, przez wiele lat była w Polsce niemal nieznana. Wiązało się to początkowo z polityką prowadzoną przez powojenne władze ludowe, które umniejszały lub eliminowały z życia wszelkie przejawy wkładu kultury czy myśli niemieckiej w rozwój miast, które znalazły się po wojnie w obrębie polskich granic. Podobnie jak

<sup>6</sup> Relacja z uzyskania zlecenia oraz cytaty za A. i M. Sternickimi – wg bibliografii.

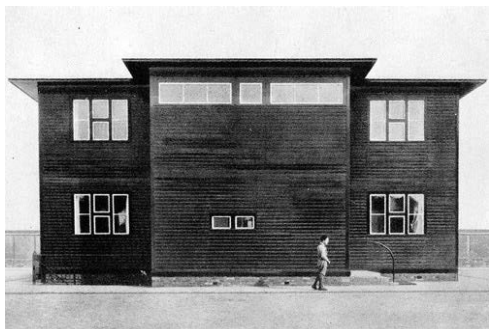


Zabrze – jeszcze w latach 50. i 60. „nie posiadało żadnych zabytków” i budynków godnych uwagi<sup>7</sup>, tak i budowle Raciborza po latach dopiero mają możliwość ujawnienia swoich walorów. Pośród licznych atrakcji architektonicznych Raciborza, budynek Obserwatorium Geofizycznego jest moim zdaniem wybitnym przykładem modernistycznej myśli architektonicznej, łączącej funkcjonalizm z prostymi i nowoczesnymi rozwiązaniami materiałowymi. Ponadto technologia jego realizacji i sama konstrukcja jest – w moim odczuciu – ewenementem na ponadlokalną skalę. Innymi słowy – budynek autorstwa Konrada Wachsmanna jest dla Raciborza tym, czym drewniany maszt radiostacji dla Gliwic, w dodatku obie konstrukcje zostały zrealizowane przez tego samego wykonawcę w tych samych czasach. Poświęciłem ten artykuł właśnie temu budynkowi i jego twórcy, gdyż pamięć i troska o taki obiekt jest dbałością o nasze dziedzictwo architektoniczne.



Il. 1, 2 Katalog firmy Christoph&Unmack A.G. Okładka oraz jeden z projektów zamieszczony w opracowaniu. [6]

<sup>7</sup> Co niestety podkreśla nawet tak zasłużony dla powojennego kształcenia architektów prof. Cz. Thu-  
lie w swoich publikacjach.



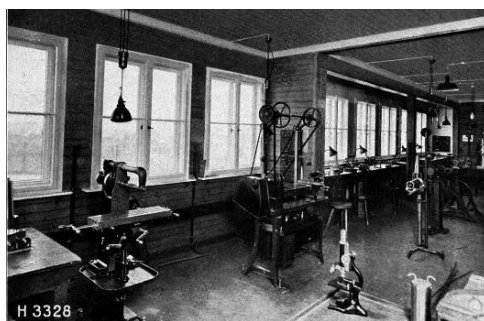
Il. 3 Budynek BVG w Berlinie. [2]



Il. 4 Dom Einsteinów w Caputh. [4]



Il. 5 Budynek Obserwatorium z zewnątrz  
– fot. archiwalna. [1]



Il. 6 Budynek Obserwatorium, pracownia  
– fot. archiwalna. [1]



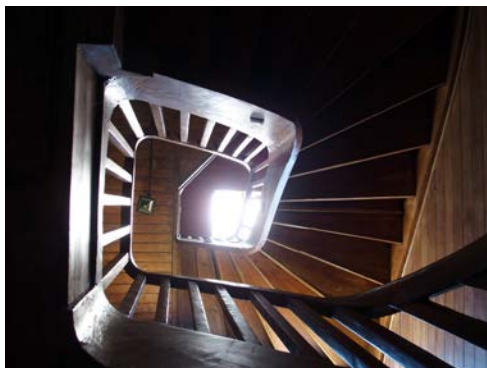
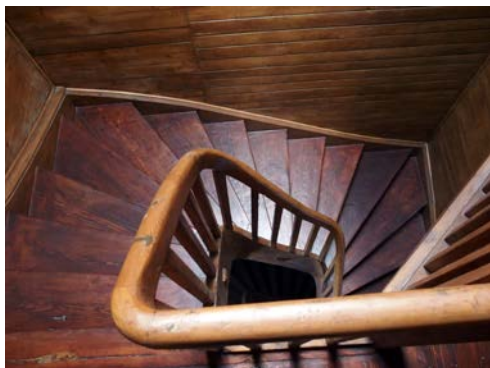
Il. 7 Budynek Obserwatorium – widok od południowego zachodu. Fot. A. Bednarski, 2016 r.



Il. 8 Budynek Obserwatorium – widok od południowego wschodu. Fot. A. Bednarski, 2016 r.

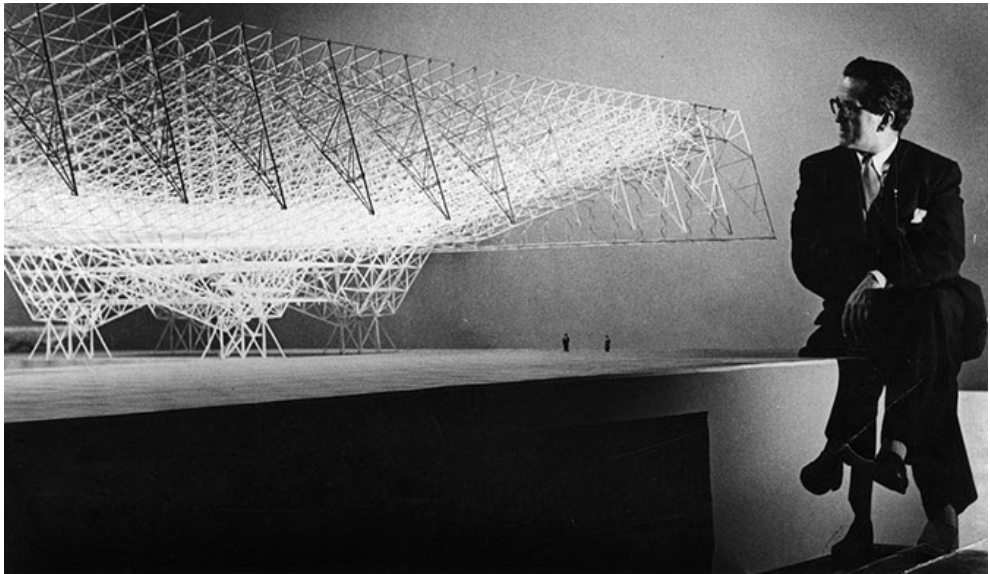


Il. 9, 10 Budynek Obserwatorium. Sejsmografy C. Mainki w piwnicy oraz pracownia na parterze. Fot. A. Bednarski, 2016 r.



Il. 11, 12 Budynek Obserwatorium. Klatka schodowa – widok z góry i z dołu. Fot. A. Bednarski, 2016 r.





Il. 13 Konrad Wachsmann w 1959 r.. [5]

Wielkie wyrazy podziękowania kierownikowi Obserwatorium Geofizycznemu w Raciborzu, panu mgr. inż. Wojciechowi Wojtakowi za wszelką pomoc i dostęp do materiałów.

## LITERATURA

1. „Budownictwo i Architektura” 1931, nr 7.
2. Wachsmann K., Building the wooden house. Technique and design, Birkhäuser Verlag, 1996.
3. <https://eng.archinform.net/arch/3420.htm> – Konrad Wachsmann na archINFORM
4. <http://2testfff.blogspot.com/2011/07/dom-einsteina.html> – blog A. i M. Sternickich
5. <http://www.axxio.net/waxman/> - strona internetowa z materiałami o okresie po 1950 r. Wachsmanna
6. <http://julius-hensel.ch/2016/07/das-deutsche-holzhaus/> – art. o niemieckim budownictwie drewnianym
7. [https://de.wikipedia.org/wiki/Christoph\\_%26\\_Unmack](https://de.wikipedia.org/wiki/Christoph_%26_Unmack) – Christoph & Unmack A.G. na Wikipedii
8. [https://de.wikipedia.org/wiki/Konrad\\_Wachsmann](https://de.wikipedia.org/wiki/Konrad_Wachsmann) – Konrad Wachsmann na Wikipedii
9. [https://en.wikipedia.org/wiki/German\\_Village\\_\(Dugway\\_proving\\_ground\)](https://en.wikipedia.org/wiki/German_Village_(Dugway_proving_ground)) – projekt Dugway
10. <http://raciborz.com.pl/2007/07/26/unikatowe-muzeum-techniki.html> – M. Jończy o Obserwatorium

11. <http://www.einsteinsommerhaus.de/> – dom Einsteina w Caputh
12. [http://www.niesky.de/index.php?article\\_id=92](http://www.niesky.de/index.php?article_id=92) – budownictwo drewniane w Niesky
13. <http://www.wachsmannhaus.niesky.de/Holzbaute%20C&U.htm> – dom Wachsmanna w Niesky

# INTELLIGENT FACADE AS A METHOD OF SAVING ENERGY AND A NEW ARCHITECTURE FORM

Natalia Bejrowska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gdańsk University of Technology, Faculty of Architecture, ul. Gabriela Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, natalia.bejrowska@gmail.com

## ABSTRACT

Intelligent façades are a still developing section of building construction. They are different from regular facades in affecting on external conditions. The article shows a detailed mode of action such facades and their technology. Intelligent facades are strongly connected with smart buildings and their main common factor is saving energy, its optimal use and environmental protection. The article contains examples of exploiting intelligent facades during building designing which provides to arising new architecture forms. Examples from country and world are included.

Keywords: intelligent façade, saving energy, architecture form.

Intelligence, from Latin, means understanding, according to the Polish Language Dictionary of PWN, "the ability to understand, learn, and use knowledge and skills in new situations". Façades are not able to "understand" and "learn" in the way people do, they do not belong to the group of animated objects, but some of them have been called intelligent.

## WHAT IS INTELLIGENCE OF A FACADE

The façade intelligence primarily depends on their ability to adapt to the environment and the environment in which it is located, this is the main factor distinguishing façades of this type from other façades encountered on a daily basis. The surrounding differently impacts on façades, solar radiation is the most common external factor which naturally involves the building's zoning. Already in the early stages of the designing process, a building is oriented, so a designer can immediately predict the best place for a façade, which is impacted by sunlights.

Talking about the difference between the ordinary and the intelligent façade, one should consider where the "façade" intelligence limit is, whether the intelligent façade can be the one that is constantly regulated by a human. Going through this reasoning,

the intelligent façades can include even the ones where a human manually sets shutters in the windows, the conditions are after all met - a building adapts to the environment by adjusting the amount of falling sunlight. However, this activity is not the same as programming a system that automatically obscures the shutter windows with a single click of a button on the control panel. Hence, the conclusion is that the façades can be called intelligent, when a human does not make changes directly, and through the intermediary of a control system or these are such façades, where the materials from which they are made ensure the desired effects; it also often happens that a human only at the very beginning of the use of such façades sets the programme so as to be able to observe the occurring changes.

The intelligent façades and the intelligent buildings have a lot in common. The operation of the façade can be used to improve the energy-efficient system, while minimizing energy costs. This involves the energy balance of the building: in the summer, it is cooler indoors, resulting in lower costs for air conditioning, and in winter the sun provides warmth, which also has its impact on the costs, but this time we talk about heating costs.

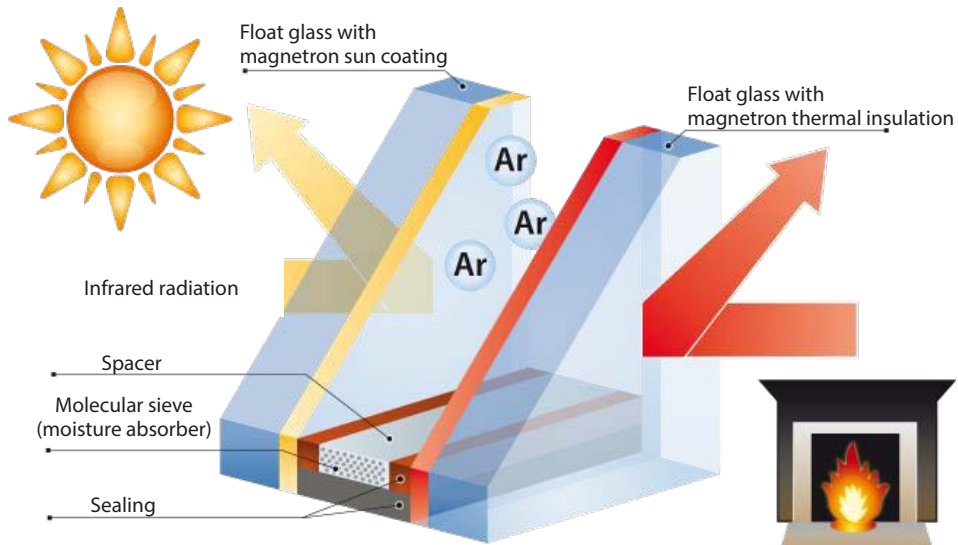
Not every intelligent building must have the intelligent façade, but also not every intelligent façade must be on the intelligent building. The operation of the façades can be assisted by the operation of a house, thus reducing the operation of the energy systems of the building. The systems governing the amount of flowing sunlight, which reduce energy costs of solar heating, must be re-stressed here.

## **TECHNOLOGIES USED IN THE INTELLIGENT FACADES BUILDING GLAZINGS**

Glazings are the most common component of the intelligent façades. At the time of heat, the users of the building look for cool, and at the winter time, they look for warmth. On the one hand, all this can be provided by such systems as air conditioning and central heating. On the other hand, when designing a new building, an architect tries not to use the old traditional ways of cooling and heating, and use modern, sustainable solutions. Keeping this in mind, one can come to the conclusion that all types of glazing largely impact on the acquisition of renewable energy.

There are a number of systems governing the impact of solar energy. One of them is the use of sun protection panes, which to some extent reflect or hold sunlight; hence, they can be divided into absorption, reflective and selective glass. Absorption glass holds a part of solar radiation with the additives tinting glass, included in it. In addition to the partial holding of solar radiation, it also holds visible radiation, which causes slight shadowing. In the case of reflective glass, thin layers of metals and metal oxides are applied on the surface of the ordinary glass. Depending on their composition, they reflect short- or long-wave heat radiation. Long-wave, low-emission radiation is produced by all types of radiators in the rooms, as well as people and animals. Reflective glass reflects such radiation, preventing it from escaping to the outside, resulting in a reduction of heat loss in the winter. In turn, short-wave radiation, i.e. infrared, comes from solar radiation. Panes reflect

then such rays, protecting the building against excessive heating in public areas, which is desirable during the summer. The best solution is to combine two types of coatings, then selective glass is created, which performs its task in both the winter and the summer. To prevent from damage under weather conditions, it is preferable to use sun protection glass in glazing units.



II. 1 The construction of a glazing unit with selective glass with reflective coatings (infrared) and low emissivity (emitted by heated objects). [11]

Windows using sunlight to drive the mechanism of opening and closing windows are a slightly different type of glazing. Ventic Solar window drive has been created for wireless control of all windows in hard-to-reach places. The compact design of the window contains a drive, a solar panel and a battery pack, allowing for easy installation in areas where installation of the usual drives requiring power supply would be difficult and expensive. A provided remote control can be used for up to 10 windows. The system is mainly used in the roof and hard-to-reach windows. The use of solar energy is the ecological solution, desired in the design process, and the operation does not require additional costs.





## II. 2 Ventic Solar drive integrated with a solar panel [2]

A relatively innovative window solution involves the so-called i-Tec SmartWindow, controlled by a smartphone or tablet with the application. One of the features of this window is the ability to control ventilation integrated with the design of the window. On the one hand, it allows for the flow of fresh air into the room, and on the other hand, it recovers heat escaping in the winter by using a heat exchanger that recovers 86% of energy. Window shutters are another element subject to remote control. They are different from the usual shutters built into windows, and their solar energy does not require connection to the electrical system. The whole is based on Wi-Fi, and additionally installed weather station will allow for dependence of ventilation and shading from the weather. i-Tec windows allow you to keep healthy conditions in public areas due to their solutions. The ventilation system prevents from excessive cooling of air, as if it occurred at opening of the ordinary windows. Also in the case of pollen, especially burdensome for people with allergy, the installed filters prevent from flowing of allergens into the room. In addition, the ventilation has a built-in moisture sensor, which allows to automatically reduce its level, to prevent from the growth of mould and fungi. The cost savings of i-Tec Smart Window significantly outweighs the cost of electricity that ranges from 40 to 50 PLN a year.



II. 3 Ventilation in the i-Tec Smart Window [12]

## SHUTTERS

All types of shutters largely impact not only on the visual reception of the façade, but also on the adjustment of the supply of sunlight. These can be ordinary, internal window shutters, set manually or remotely controlled, and large shutters covering the whole glazing. The office building of Grupa Skalska in Kraków is the building which introduces the especially developed shutter system. It applies a double façade, which in conjunction with the shutters, is controlled using special KNX panel, independent of the powering system. In the double façade, the inner cover closes the building, and the outer cover protects it against intense solar radiation through the glass holding or reflecting the rays. The ventilation between the façades is provided by holes in the outer cover, causing the air circulation, and the ventilation inside the office building is provided by electrically opened windows. Due to small holes in glass partition walls, airing is possible throughout the building, without the use of air conditioning. This can be supplemented with shutters which additionally regulate light flow - they automatically change the angle of the lamellas, following a changing height of the sun during the day. Sunlight does not fall between the lamellas, but reflect from them towards the ceiling, providing light in the whole room, even in distant places, without dazzling the users. One can also adjust the opening to each room individually, the whole process is controlled by the administrator.



Il. 4 Coloured shutters are decorative and protect against sunlight due to the intelligent control, photo the archive of Grupa Skalska [10]

## PHOTOVOLTAICS

Photovoltaic panels are a very important material for the energy balance of the building. They can be integrated with the building cover, they are the then unusual alternative to typical façade solutions, then they are called BPV, i.e. Building Integrated Photovoltaics. Integration involves the connection of a cover to form a functional and structural whole. The photovoltaic module, which is a hermetic panel with current generating cells enclosed in a protective housing, is the primary element. The modules are combined into larger structures to obtain the proper amount of power. This, produced in the cells, can be delivered immediately to the network by the inverter or stored in batteries. Depending on the needs, when selecting the photovoltaic system, one can create its own configurations, inter alia, material, size, shape, or colour is selected. Typical modules involve a regular grid of dark blue or black cells.



Il. 5 Research and Development Centre, Wuxi Suntech Power, Wuxi. BPV glass façade is created by 2552 semi-transparent photovoltaic panels with a total area of 20 000 m<sup>2</sup>. Photo Suntech [5]

There is the possibility of solutions in thin-layer technologies. Ultra-thin layers of a semiconductor material in a form of a mixture of copper, gallium indium and selenium (CIGS) or amorphous silicon (a-Si) are embedded in the course of the production on a glass substrate and laminated with another sheet of glass. The module will become light and flexible if steel tape or plastic is a carrier material. Energy efficiency of thin-layer materials is slightly lower than typical PV modules (approximately 5-13%); however, they are more suitable for the construction, due to the fact that they are less sensitive to temperature and function better in worse conditions of sunlight, and also stand out in colours: a-Si occurs in brown, CIGS - in black.



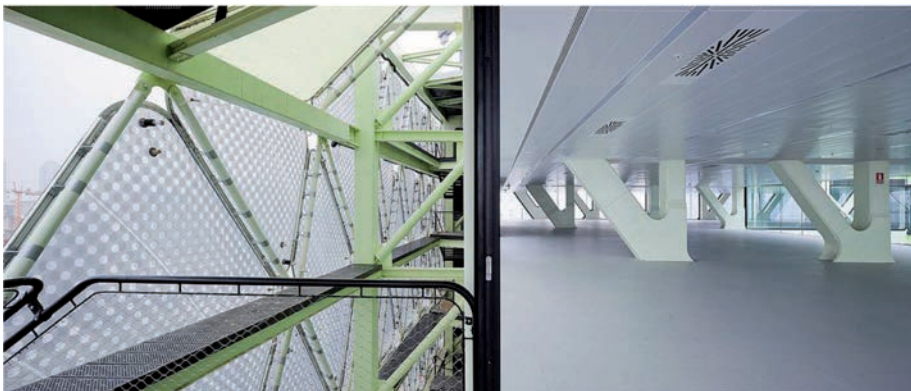
II. 6 Black cladding of glass CIGS modules – Sulfrucell building in Berlin Adlershof [13]

The effectiveness of BPV depends largely on the appropriate shape of the façade or its relevant parts. The type and number of used modules, their orientation and inclination relative to the Sun can result in the amount of generated energy. The south is a natural direction for the European latitude, any deviation to the east or west can reduce the profits of energy up to a few percent. The slope of the panels is the most effective way for equal latitude at a given location, then the radiation falls on the modules at a straight angle. Energy gains will, of course, change in the daily and seasonal cycle due to the movements of the Sun. It is worth to carry out computer simulations during the design phase, taking into account, inter alia, the form and construction of the façade, the proximity to other buildings, greenery with the changes of the seasons, the daily and annual variability of the shadow and the layout of BPV.

## UNUSUAL EXAMPLES FROM THE WORLD

In addition to the widely used façade systems, one can also meet the ones individually customized to particular buildings. There are so innovative solutions that one can specify them as unusual, not only because of the new approach to the intelligent façade, but also rarity of the occurrence. Some of the façades can be seen only on one building in the world, as in the below examples.

An interesting concept of the façade was presented by the designers of Media-TIC building in Barcelona. Cloud 9 architectural office proposed to install plastic pillows on the moving façade. Special protecting panels were placed on two façades exposed to sunlight the most. From the south-east side, some of them act like sunglasses, limiting the flow of light. From the south-west, pillows filled with water steam were installed, which reduces heating of the façade by up to 90%. This allowed to reduce energy consumption by 20%, and reduced the production of carbon dioxide by up to 95%. The office building won the title of the building of the year at the World Architecture Festival 2011 in Barcelona.



Il. 7 "Pillows" on one of the façades of Media-TIC. Photo Iwan Baan [14]

An innovative solution for the façades was created by the designers from Splitterwerk Architects and ARUP, who created the world's first algae façade, in cooperation with the scientists. The building, constructed for the international construction exhibition IBA in Hamburg, uses algae as a source of energy. The façade consists of bio-reactive shutters filled with algae. Heat generated by micro-algae in the photosynthesis process is captured by bioreactors that convert then into energy for the building. Moving green shutters can



also be used as an aperture on hot, sunny days. Algae were selected because of their fast growth and low breeding requirements. It is the beneficial solution because energy produced from biomass is renewable, and in the proper conditions, algae can process solar energy more efficiently from than the solar panels.



II. 8 Algae façade on BIQ building [15]

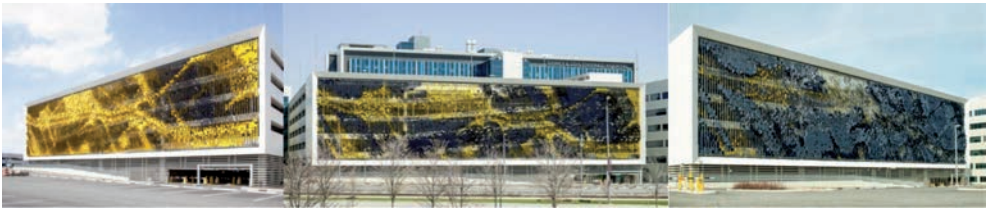
The façade of Al Bahar towers in Abu Dhabi opens and closes. The workplaces must be protected from oppressive sunlight, when the temperature outdoors reaches 50°C. The façade is composed of two layers; inside, there is a glass cover closing the building; outside, there is a curtain wall installed to an independent frame, two meters from the building. It is formed by the triangles coated with fibreglass, and are programmed to track the movement of the Sun. Their appearance resembles the traditional Arabic moucharabieh, i.e. a decorative wooden grate covering the window. Each hexagonal component constructed of the triangles has its own actuator, i.e. a device setting a component on the basis of a control signal. A total number of 2100 components is on two towers, each measuring 4x6m, weighing 600 kg. One managed to reduce air-conditioning demand for electricity by 20%, and the average level of sunlight inside has fallen by 50%.



II. 9 View of two towers of Al. Bahar and the components opening schema [16]

## NEW ARCHITECTURAL FORMS

Other than the ordinary type of the façades builds new architectural forms. It is enough to change a colour of the façade, and the building looks different. Photovoltaic panels have not only an unusual colour, but also a structure, which provides the building with a bit industrial look. The systems, in which elements of the façade move, e.g. automatic shutters, make quite different designs, and a whole wall lives, providing the building with a fresh new look. One will be bored with the building; one can go next to it thousands of times and every time something else will be seen. The car park of the hospital in Indianapolis is the building of a seemingly variable form, where one of the façades is covered with approx. 7000 metal panels, set at different angles, on the one side in yellow, on the other side in black. Moving along the façade, one can feel that the whole façade waves.



Il. 10 View from different parts of the car park of Eskenazi hospital in Indianapolis [17]



Il. 11 Close-up on the metal panels on the façade of the car park of Eskenazi hospital in Indianapolis [17]

## CONCLUSIONS

Discovering the architectural innovations, we hear about the intelligent façades more and more often. They will be selected by the designers more and more often, because they are a great source of support. The cost of the construction of the intelligent façades will pay off each day of the use of the the building. The diversity of the façades provides the ability to adjust them to the requirements of the environment, one should not be so worry that it is not worth to install them in a given location. The best practice is to use glazing, occurring in each building - it is enough to use the right type of glass and the difference in the energy balance will be observed. Installation of the shutter systems will be an additional factor reducing energy costs. Solar panels have been known for a long

time, but they are still not integrated into the façade of the building very often. There are a number of methods to use the intelligent façades on the buildings, some can be seen more often, others are unique enough that the building is granted an award. The diversity of the intelligent façades and the changes occurring in them are still a fresh path, so it is important to promote environmentally friendly solutions, extremely valuable in the polluted world.

## REFERENCES

1. hasło: Inteligencja, Słownik Języka Polskiego <http://sjp.pwn.pl/sjp/inteligen-cja;2561737.html>
2. D+H Polska Sp. z o.o., Okna napędzane słońcem, w: Zawód: Architekt #26, 2012
3. Januszkiewicz K., Zwierzycki M., Wrażliwa skóra. Wieże Al Bahar Towers, Abu Dhabi, ZEA, Archivolta 1/2013
4. Muszyńska-Łanowy M., BiPV – fotowoltaika zintegrowana z budynkiem, w: Świat Szkła 5/2010
5. Muszyńska-Łanowy M., Szklane fasady fotowoltaiczne – energooszczędność i komfort. Cz. 1, w: Świat Szkła 11/2010
6. Muszyńska-Łanowy M., Szklane fasady fotowoltaiczne – energooszczędność i komfort. Cz. 2, w: Świat Szkła 1/2011
7. Niespodziewański K., Okienne rewolucje, w: Zawód: Architekt #39, 2014
8. Niespodziewański K., Inteligentne okna dbające o zdrowie, w: Zawód: Architekt #46, 2015
9. Surmiak P., Słońce – wróg i sprzymierzeniec, w: Zawód: Architekt #15, 2010
10. Wlezień T., Inteligencja rozbudowana, w: Zawód: Architekt #15, 2010
11. <http://www.effectglass.net/szyby/przeciwsłoneczne.html> [data dostępu: 20.09.2016]
12. <http://www.okna-pasywne.pl/dla-architekta/i-tec-smart-window> [data dostępu: 20.09.2016]
13. [http://www.ideefa.com/project/nordseite\\_klimafassade/](http://www.ideefa.com/project/nordseite_klimafassade/) [data dostępu: 20.09.2016]
14. <http://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli> [data dostępu: 20.09.2016]
15. <http://www.arup.com/projects/solarleaf> [data dostępu: 20.09.2016]
16. <http://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> [data dostępu: 20.09.2016]
17. <http://www.designboom.com/architecture/dynamic-facade-system-eskenazi-hospital-indianapolis-urbana-architecture-07-27-2014/> [data dostępu: 20.09.2016]





# ELEWACJE INTELIGENTNE JAKO SPOSÓB OSZCZĘDNOŚCI ENERGII ORAZ NOWA FORMA ARCHITEKTURY

Natalia Bejrowska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Architektury, student I stopnia, natalia.bejrowska@gmail.com

## ABSTRAKT

Elewacje inteligentne to wciąż rozwijający się dział budownictwa. Różnią się one od zwykłych elewacji oddziaływaniem pod wpływem czynników zewnętrznych. W artykule został szczegółowo przedstawiony sposób działania takich elewacji oraz technologii w nich zastosowanych. Inteligentne fasady tworzą nierozwalny związek z budynkami inteligentnymi, których głównym wspólnym czynnikiem jest oszczędność energii i jej optymalne wykorzystanie oraz jednoczesna ochrona środowiska. Zaprezentowane są również przykłady, w jaki sposób można wykorzystać inteligentne fasady podczas projektowania nowego budynku, w wyniku czego powstają nowe formy architektoniczne. Całość podparta została przykładami z kraju i świata.

Słowa kluczowe: elewacja inteligentna, energooszczędność, formy architektury, inteligentna fasada.

Inteligencja, z łaciny *intelligentia* oznacza zdolność pojmowania, według Słownika Języka Polskiego PWN „zdolność rozumienia, uczenia się oraz wykorzystywania posiadanej wiedzy i umiejętności w sytuacjach nowych”. Elewacje nie są w stanie „rozumieć” i „uczyć się” w taki sposób, w jaki robią to ludzie, nie należą do grupy przedmiotów ożywionych, ale postanowiono część z nich nazwać inteligentnymi.

## CZYM JEST INTELIGENCJA ELEWACJI

Inteligencja elewacji polega przede wszystkim na ich zdolności adaptacji do otoczenia i środowiska, w jakim się znajduje, jest to główny czynnik odróżniający elewacje tego typu od pozostałych, na co dzień spotykanych fasad. Adaptacją do otoczenia może być zmiana koloru, zmiana położenia poszczególnych elementów, zmiana struktury w przypadku szyb regulujących transparentność. Otoczenie w różny sposób wpływa na elewacje, najczęstszym czynnikiem zewnętrznym jest promieniowanie słoneczne, co w naturalny sposób wiąże się ze strefowaniem budynku. Już w początkowych fazach projektowania budynek zostaje zorientowany, co automatycznie narzuca stopień nasłonecznienia poszczególnych elewacji, dlatego też projektant od razu może przewidzieć,

w którym miejscu najkorzystniej będzie umieścić fasadę, na którą wpływ mają promienie słoneczne.

Mówiąc o różnicy między elewacją zwykłą a inteligentną, należy zastanowić się, gdzie leży granica „inteligencji” fasady, czy inteligentną elewacją można nazwać tę, która jest na bieżąco regulowana przez człowieka. Idąc tym tokiem rozumowania, do inteligentnych fasad można zaliczyć nawet te, gdzie człowiek ręcznie ustawia żaluzje w oknach, warunki są przecież spełnione – budynek adaptuje się do otoczenia regulacją ilości wpadających promieni słonecznych. Jednak działanie to nie jest takie samo, jak zaprogramowanie systemu, który automatycznie zasłania okna żaluzjami jednym kliknięciem przycisku na panelu sterowniczym. Stąd narzuca się wniosek, że elewacje można nazwać inteligentnymi, gdy człowiek nie dokonuje zmian bezpośrednio, a za pomocą pośrednika, jakim jest system sterujący lub są to takie elewacje, gdzie materiały, z których są zrobione, zapewniają pożądane efekty; często bywa też tak, że człowiek jedynie na samym początku użytkowania takiej fasady wprowadzi ustawienia do programu, by później tylko obserwować zmiany, jakie się na niej dokonują. Dotyczy to najczęściej takich fasad, które raz ustawione, zmieniają się pod wpływem danego czynnika (temperatury, siły wiatru, ilości promieni słonecznych).

Wiele wspólnego mają ze sobą fasady inteligentne oraz budynki inteligentne. Działanie elewacji można wykorzystać do usprawnienia systemu energooszczędnego, minimalizując jednocześnie koszty zużycia energii. Najszybciej przychodzą na myśl wszelkie systemy elewacji regulujące ilość wpadającego do budynku promieniowania słonecznego, mowa tu o systemach zacieniających, wszelkie systemy okienne z regulacją przycienienia. Wiąże się to z bilansem energetycznym budynku: latem w pomieszczeniach jest chłodniej, co powoduje mniejsze koszty klimatyzacji, a zimą Słońce zapewnia ciepło, co również ma swoje przełożenie na koszty, jednak tym razem są to koszty ogrzewania.

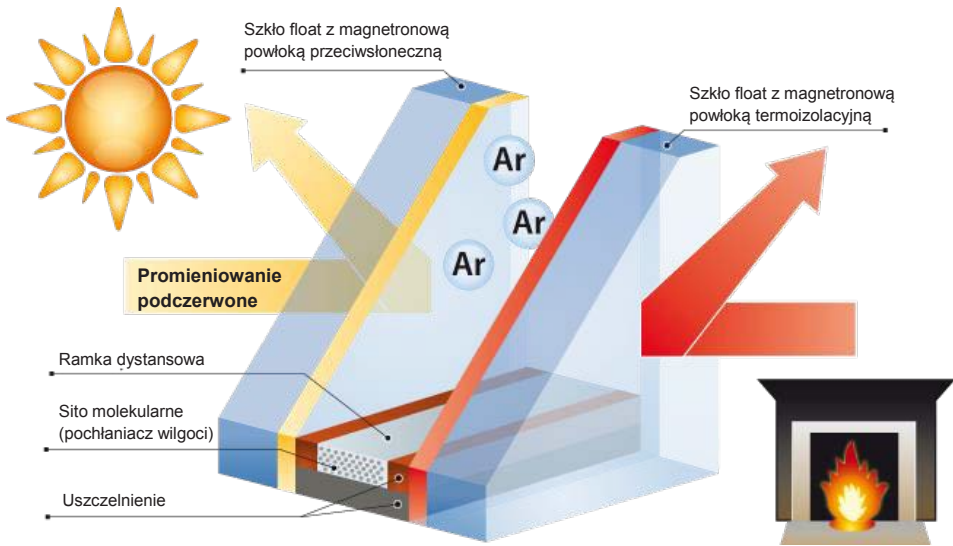
Nie każdy budynek inteligentny musi mieć elewacje inteligentne, ale również nie każde elewacje inteligentne muszą znajdować się na budynku inteligentnym. Działanie fasad może wspomagać pracę zwykłego domu, odciążając systemy energetyczne budynku. Ponownie należy przytoczyć systemy regulujące ilość wpadających promieni słonecznych, które obniżają koszty zużycia energii używając do ogrzewania energią słoneczną.

## **TECHNOLOGIE WYKORZYSTYWANE W ELEWACJACH INTELIGENTNYCH PRZESZKLENIA BUDYNKU**

Najczęściej spotykanym elementem inteligentnych fasad są przeszklenia. Obecnie to one stanowią filar nowatorskich elewacji. Użytkownicy budynku w czasie upałów szukają w nim ochłody, a podczas mroźnej zimy – ciepła. Z jednej strony wszystko to mogą zapewnić instalacje takie jak klimatyzacja i wentylacja oraz centralne ogrzewanie. Z drugiej, projektując nowy budynek, architekt stara się jak najbardziej odchodzić od tradycyjnych sposobów chłodzenia i ogrzewania na rzecz nowoczesnych, proekologicznych rozwiązań. Jest to spowodowane również wymagającymi przepisami prawnymi: warto tu wspomnieć chociażby o wskaźniku energii pierwotnej EP, który, regulowany co kilka lat, pozwala na

coraz mniejsze wykorzystanie energii nieodnawialnej, co zmusza do zrównoważonego projektowania, uwzględniającego w jak największym stopniu pozyskanie i wykorzystanie energii odnawialnych. Mając to wszystko na uwadze, można dojść do wniosku, iż bardzo duży wpływ na pozyskanie energii odnawialnej mają tu wszelkiego rodzaju przeszklenia.

Systemów regulujących wpływ energii słonecznej istnieje bardzo wiele. Jednym z nich jest zastosowanie szyb przeciwsłonecznych, które do pewnego stopnia odbijają lub zatrzymują padające promienie słoneczne, stąd można je podzielić na szyby absorpcyjne, refleksyjne i selektywne. Według producentów po wymianie zwykłych szyb na ciepłochłonne „można w sezonie grzewczym zaoszczędzić: 23 l oleju opałowego/m<sup>2</sup>, 25 m<sup>3</sup> gazu/m<sup>2</sup>, 222 kWh/m<sup>2</sup>” (Surmiak 2010). Szklą absorpcyjną zatrzymują część promieniowania słonecznego dzięki domieszkom zawartym w szkle, które zabarwiają je na kolor szary, brązowy, niebieski czy nawet zielony. Charakteryzuje się dużą odpornością na uszkodzenia, jednak absorpcja promieni powoduje nagrzewanie się szyby, co może prowadzić do pęknięcia, dlatego najczęściej stosuje się szkło hartowane, w przeciwieństwie do klejonego. Szklą absorpcyjną, oprócz częściowego zatrzymywania promieniowania słonecznego, zatrzymują też promieniowanie widzialne, co powoduje lekkie zacienienie. W przypadku szkła refleksyjnego, na powierzchni zwykłego szkła nakłada się cienkie warstwy metali i tlenków metali. W zależności od ich składu, odbijają one promieniowanie ciepłe długolub krótkofalowe. Promieniowanie długofalowe, niskoemisyjne, wytwarzane jest przez wszelkiego rodzaju grzejniki w pomieszczeniach, a także ludzi i zwierzęta. Szklą refleksyjną odbija takie promieniowanie, zapobiegając jego wydostawaniu się na zewnątrz, co skutkuje obniżeniem strat ciepła w okresie zimowym, kiedy ciepło w pomieszczeniach jest niezwykle cenne. Z kolei promieniowanie krótkofalowe, czyli podczerwone, pochodzi z promieniowania słonecznego. Szyby odbijają wtedy takie promienie, chroniąc budynek przed zbytnim nagraniem się w pomieszczeniach, co pożądane jest w okresie letnim. Najlepszym rozwiązaniem jest połączenie dwóch typów powłok, kiedy z jednej strony szkło chronione jest przed promieniowaniem długofalowym, a z drugiej krótkofalowym. Wtedy powstaje szkło selektywne, która spełnia swe zadanie zarówno zimą jak i latem. Aby zapobiec zniszczeniu pod wpływem warunków atmosferycznych, najlepiej jest zastosować szkło przeciwsłoneczne w szybach zespolonych.



Il. 1 Budowa szyby zespolonej ze szkłem selektywnym z powłokami odbijającymi promieniowanie wysokoemisyjne (podczerwone) oraz niskoemisyjne (emitowane przez nagrzane obiekty). [11]

Nieco innym typem przeszkleń są okna, które nie tyle zatrzymują bądź odbijają promieniowanie słoneczne, lecz wykorzystują je do napędzania mechanizmu otwierającego i zamykającego okna. Napęd okienny Ventic Solar stworzony został w celu bezprzewodowego sterowania wszelkimi oknami, umieszczonymi w trudno dostępnych miejscach, a gdzie użytkownik chciałby je otworzyć, by przewietrzyć pomieszczenie. Kompaktowa konstrukcja okna zawiera napęd, panel słoneczny oraz akumulator, co umożliwia łatwy montaż w miejscach, gdzie instalacja zwykłych napędów wymagających doprowadzenia zasilania byłaby utrudniona i kosztowna. Nawet tam, gdzie zakończono już remont, montaż okna z napędem na energię słoneczną nie wymagałby ponownego rozpoczynania prac budowlanych, niezbędnych przy tradycyjnych oknach z napędem. Sterownie napędem zapewnia pilot, mogący obsłużyć nawet 10 okien. System ma zastosowanie głównie w oknach połaciowych i trudnodostępnych. Wykorzystanie energii słonecznej jest proekologicznym rozwiązaniem, pożądanym w projektowaniu, a eksploatacja nie pociąga za sobą dodatkowych kosztów.



## II. 2 Napęd Ventic Solar zintegrowany z panelem słonecznym [2]

Względnie nowatorskim rozwiązaniem okiennym są tzw. inteligentne okna i-Tec SmartWindow, sterowane za pomocą smartfona lub tabletu dzięki aplikacji. Jedną z funkcji takiego okna jest możliwość sterowania wentylacją zintegrowaną z konstrukcją okna. Z jednej strony pozwala na dopływ świeżego powietrza do pomieszczenia, z drugiej natomiast odzyskuje ciepło uciekające zimą, a dzieje się to za pomocą wymiennika ciepła, który odzyskuje 86% energii. Kolejnym elementem zdalnie sterowanym w oknie są żaluzje. Różnią się one od zwykłych żaluzji tym, że wbudowane są w okna zespolone, a zasilanie ich energią słoneczną nie wymaga podłączenia napędu do instalacji elektrycznej. Całość działa w oparciu o Wi-Fi, a dodatkowo instalowana stacja meteorologiczna umożliwi uzależnienie wentylacji i zacienienia od pogody. System zapewnia również zapamiętanie danych ustawień, które będą się często powtarzać, w zależności od potrzeb. Korzystając z inteligentnych okien, nie tracimy energii, a podnosimy komfort użytkowania budynku. Przywiązując szczególną uwagę do oszczędności energii, można zapomnieć o ludzkim zdrowiu. Okna i-Tec swoimi rozwiązaniami pozwalają na utrzymanie zdrowych warunków w pomieszczeniach. System wentylacji zapobiega nadmiernemu wychłodzeniu się powietrza, jak by to nastąpiło przy otwieraniu zwykłych okien. Również w przypadku pyłków, szczególnie uciążliwych dla alergików, zamontowane filtry uniemożliwiają przedostawanie się alergenów do pomieszczenia, a w przypadku dużych miast, także szkodliwych pyłów, brudu i kurzu. Oprócz tego, wentylacja ma wbudowany czujnik wilgoci, pozwalający automatycznie obniżyć jej poziom, by zapobiec rozwojowi pleśni i grzybów. Oszczędność wynikająca z użytkowania okien i-Tec Smart Window znacznie przewyższa koszty pobieranego prądu, które oscylują w granicach 40-50zł rocznie.



Il. 3 Działanie wentylacji w oknie i-Tec Smart Window [12]

## ŻALUZJE

Duży wpływ nie tylko na wizualny odbiór elewacji, ale również na regulację dopływu promieni słonecznych mają wszelkiego rodzaju żaluzje. Mogą to być zwykłe, wewnętrzne żaluzje okienne, ustawiane ręcznie lub zdalnie sterowane, a także duże żaluzje okrywające całe przeszklenia. Budynkiem, który wprowadza szczególnie rozwinięty system żaluzji jest biurowiec Grupy Skalski w Krakowie. Zastosowano tam również podwójną fasadę, co w połączeniu z żaluzjami sterowane jest za pomocą specjalnej magistrali KNX, niezależnej od instalacji zasilającej. W fasadzie podwójnej osłona wewnętrzna zamyka budynek, a osłona zewnętrzna chroni go przed intensywnym promieniowaniem słonecznym za pomocą szkła zatrzymującego lub odbijającego promienie. Wentylację przestrzeni między fasadami zapewniają otwory w osłonie zewnętrznej, powodujące cyrkulację powietrza, a wentylację wnętrza biurowca umożliwiają otwierane elektrycznie okna. Dzięki niewielkim otworom w szklanych ściankach działowych, przewietrzenie jest możliwe w całym budynku, bez używania klimatyzacji. Do tego dochodzą wspomniane żaluzje, dodatkowo regulujące dopływ światła. Są one o tyle nowatorskie, ponieważ automatycznie zmieniają kąt ustawienia lamel, podążających za zmieniającą się wysokością słońca w ciągu dnia. W ten sposób w słoneczne dni nie trzeba zamykać do końca żaluzji i używać oświetlenia sztucznego. Promienie słońca nie przebijają się pomiędzy lamele, ale odbijają od nich w kierunku sufitu, dając w ten sposób światło w całym pomieszczeniu, nawet w dalekich zakamarkach, bez oślepiania użytkowników. Ustawienie żaluzji uzależnione jest od pory dnia – część z nich od wschodniej strony rano będzie przymknięta, a wieczorem otwarta, kiedy te po zachodniej stronie rano będą maksymalnie otwarte, a wieczorem przymykane. Można również dostosować otwarcie do każdego pomieszczenia indywidualnie, całym procesem steruje administrator.





Il. 4 Kolorowe żaluzje pełnią zarówno funkcję dekoracyjną, jak i chronią przed nasłonecznieniem dzięki inteligentnemu sterowaniu, fot. archiwum Grupy Skalski [10]

## FOTOWOLTAIKA

Bardzo ważnym materiałem dla bilansu energetycznego budynku są panele fotowoltaiczne. Systemy te generują energię elektryczną bez hałasu, szkodliwych odpadów i zanieczyszczeń. Panele można zintegrować z powłoką budynku, stanowią wtedy niecodzienną alternatywę dla typowych rozwiązań elewacyjnych, mówi się wtedy o nich BiPV, czyli Building Integrated Photovoltaics. Integracja polega na połączeniu z powłoką, by tworzyły całość funkcjonalną i konstrukcyjną. Rozwiązanie stosuje się nie tylko w nowych budynkach, ale również w istniejących, często rewitalizowanych. Podstawowym elementem jest moduł fotowoltaiczny, czyli hermetyczny panel z ogniwami generującymi prąd, zamkniętymi w ochronnej obudowie. Moduły łączone są w większe struktury, by uzyskać odpowiednią ilość energii. Oprócz tego w skład instalacji wchodzi skrzynki przyłączeniowe, okablowanie stałoprądowe DC, inwertery (zmieniające prąd stały generowany przez ogniwa w prąd zmienny odpowiedni dla sieci), okablowanie zmiennoprądowe AC oraz regulator napięcia (dostosowuje napięcie całego systemu do wymagań instalacji). Energia wyprodukowana w ogniwach może być dostarczana od razu do sieci przez falownik lub zmagazynowana w akumulatorach. W zależności od potrzeb przy wybieraniu systemu fotowoltaicznego, można tworzyć własne konfiguracje, dobiera się wtedy między innymi materiał, wielkość, kształt, kolor i układ ogniw, kształt, wielkość i ciężar całego modułu, okablowanie i system złączy, moc modułu i wielkość systemu i wiele innych parametrów. Typowe moduły to regularna siatka ciemnoniebieskich lub czarnych ogniw, lecz można się spotkać z innymi kolorami, które są jednak znacznie droższe i mniej wydajne, dlatego też trwają prace nad wprowadzeniem na rynek specjalnej nanopowłoki, która nadałaby modułom dowolny kolor.





Il. 5 Centrum badawczo-rozwojowe Wuxi Suntech Power, Wuxi. Szklaną fasadę BiPV tworzy 2552 semitransparentnych paneli fotowoltaicznych o łącznej powierzchni 20 000 m<sup>2</sup>. fot. Suntech [5]

Istnieje możliwość rozwiązań w technologiach cienkowarstwowych. Ultracienkie warstwy materiału półprzewodnikowego w postaci mieszaniny miedzi, indu, galu i selenu (CIGS) lub krzemu amorficznego (a-Si) osadzone są w trakcie produkcji na szklanym podłożu i zalaminowywane z drugą taflą szkła. Moduł staje się lekki i giętki, gdy materiałem nośnym jest taśma stalowa lub plastik. Sprawność energetyczna materiałów cienkowarstwowych jest nieco niższa od typowych modułów fotowoltaicznych (ok. 5-13%), jednak bardziej nadają się na budowę, charakteryzują się bowiem mniejszą wrażliwością na temperaturę i lepszym funkcjonowaniem w gorszych warunkach nasłonecznienia, a także wyróżniają się kolorystycznie: a-Si występuje w kolorze brunatnym, CIGS – w czarnym.



Il. 6 Czarna okładzina ze szklanych modułów CIGS – budynek firmy Sulfrucell w Berlinie Adlershof [13]

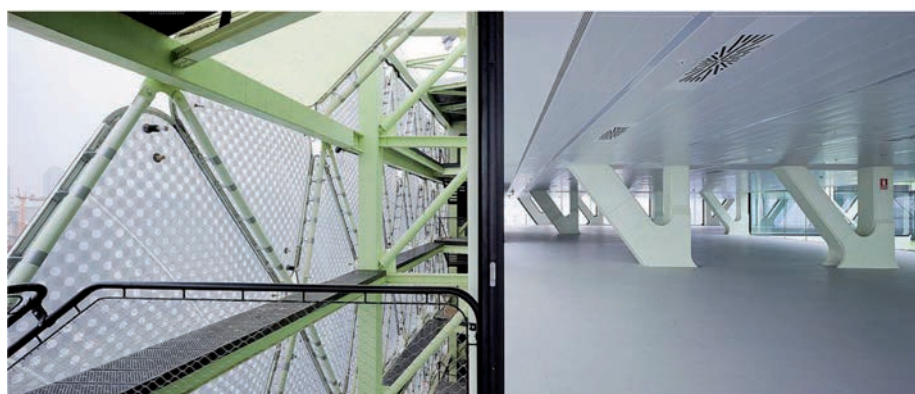
Korzystnym rozwiązaniem dla nowoczesnych konstrukcji jest szkło fotowoltaiczne. Technologia BiPV pozwala na trwałe zintegrowanie modułów fotowoltaicznych z konwencjonalnym tworzywem budowlanym, dlatego też ogniwa można połączyć z wieloma rodzajami szkła: izolacyjnym, rozpraszającym światło, laminowanym, antywłamaniowym, kuloodpornym, a nawet giętym. Frontowa szyba (przed ogniwami) musi być przezroczysta, by zapewnić maksymalną transmisję światła, natomiast szyba tylna może być kolorowa, pokryta nadrukiem, transparentna. Szklane moduły są częściowo przezroczyste, jednak poziom transparentności nie przekracza 30-50%, ponieważ wraz z jego wzrostem, maleje powierzchnia ogniw, a co za tym idzie wydajność energetyczna całego modułu.

Efektywność BiPV zależy w dużej mierze od odpowiedniego ukształtowania fasady lub wyboru jej stosownych fragmentów. Typ oraz liczba użytych modułów, ich orientacja i nachylenie względem Słońca może się odbić na ilości wygenerowanej energii. Naturalnym kierunkiem dla europejskich szerokości geograficznych jest południe, wszelkie odchylenia w kierunku wschodnim lub zachodnim mogą obniżyć zyski energetyczne nawet o kilka procent. Nachylenie paneli jest najefektywniejsze pod kątem równym szerokości geograficznej w danym miejscu, wtedy promieniowanie pada na moduły pod kątem prostym. Oczywiście zyski energetyczne będą ulegać zmianom w cyklu dobowym i sezonowym wskutek ruchów Słońca. Warto jest przeprowadzić symulacje komputerowe jeszcze w fazie projektowania, gdzie bierze się pod uwagę między innymi formę i budowę fasady, sąsiedztwo innych budynków, zieleni wraz ze zmianami związanymi z porami roku, zmienność cienia w cyklu dobowym i rocznym czy też sam układ elementów BiPV.

## INIETYPOWE PRZYKŁADY ZE ŚWIATA

Oprócz szeroko stosowanych systemów fasadowych, można spotkać się również z technologiami indywidualnie dostosowywanymi do konkretnych budynków. Są to o tyle nowatorskie rozwiązania, że można określić je mianem nietypowych, nie tylko z powodu nowego podejścia do inteligencji elewacji, ale też rzadkości ich występowania. Niektóre fasady można zobaczyć tylko na jednym budynku na świecie, jak w przytoczonych poniżej przykładach.

Interesujące rozwiązanie elewacji przedstawili projektanci budynku Media-TIC w Barcelonie. Biuro architektoniczne Cloud 9 zaproponowało zamontowanie na ruchomej elewacji plastikowych poduszek. Specjalne panele ochronne umieszczono na dwóch najbardziej narażonych na działanie promieni słonecznych fasadach. Część z nich, od strony południowo-wschodniej, działa jak okulary przeciwsłoneczne, ograniczając dopływ światła. Od strony południowo-zachodniej zamontowano poduszki wypełnione parą wodną, co ogranicza ogrzanie elewacji aż o 90%. Dzięki temu udało się zredukować zużycie energii o 20% oraz zmniejszyć produkcję dwutlenku węgla aż o 95%. Biurowiec zdobył tytuł budynku roku na Światowym Festiwalu Architektury 2011 w Barcelonie.



Il. 7. „Poduszki” na jednej z elewacji budynku Media-TIC fot. Iwan Baan [14]

Nowatorskim rozwiązaniem fasady mogą się pochwalić projektanci z Splitterwerk Architects oraz ARUP, którzy we współpracy z naukowcami stworzyli pierwszą na świecie elewację algową. Zbudowany na międzynarodową wystawę budowlaną IBA (Internationale Bauausstellung) w Hamburgu budynek wykorzystuje algi jako źródło energii. Fasada składa się z bio-reaktywnych żaluzji wypełnionych glonami. Ciepło wytworzone przez mikroglony w procesie fotosyntezy zostaje przechwycone przez bioreaktory, które zamieniają je w energię zasilającą budynek. Dodatkowo powstaje biomasa, która może być wykorzystana do zasilania budynku. Ruchome zielone żaluzje można też użyć jako przysłona w upalne, słoneczne dni. Wybór padł na algi ze względu na ich szybki wzrost i niskie wymagania hodowlane. Sama produkcja jest prosta i nie wymaga trudnodostępnych materiałów. Jest to o tyle korzystne rozwiązanie, że energia pozyskiwana z biomasy jest odnawialna, a same algi w odpowiednich warunkach potrafią przetworzyć energię słoneczną skuteczniej od paneli słonecznych.



II. 8 Fasada algowa na budynku BIQ [15]

Elewacja wież Al Bahar w Abu Dhabi otwiera się i zamyka. Miejsca pracy muszą być chronione przed uciążliwym nasłonecznieniem, kiedy temperatura na dworze dochodzi do 50°C. Elewacja składa się z dwóch warstw, wewnątrz znajduje się szklana powłoka, zamykająca budynek, na zewnątrz jest ściana osłonowa, zamocowana na niezależnej ramie, dwa metry od budynku. Tworzą ją trójkąty pokryte powłoką z włókna szklanego i są zaprogramowane tak, by śledziły ruch Słońca. Wyglądem przypominają tradycyjną arabską maszrabiję, czyli ozdobną drewnianą kratę zakrywającą okna. Każdy sześciokątny komponent zbudowany z trójkątów posiada własny akuator, czyli urządzenie, które na podstawie sygnału sterującego reguluje ustawienie komponentu. Projektanci z grupy Aedas zamówili nawet aplikację do symulacji ruchów elewacji w odpowiedzi na zmiany nasłonecznienia w ciągu doby. Na dwóch wieżach znajduje się w sumie 2100 komponentów, każdy o wymiarach 4x6m, ważących 600 kg. Oprócz ozdoby architektonicznej, dynamiczna powłoka znacznie ogranicza koszty eksploatacji budynku oraz poprawia mikroklimat wewnątrz. Udało się zredukować zapotrzebowanie urządzeń klimatyzacyjnych na energię elektryczną o 20%, a średni poziom nasłonecznienia wewnątrz spaść o 50%.

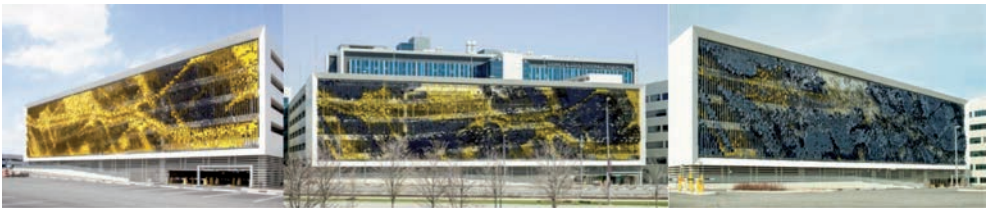


II. 9 Widok na dwie wieże Al. Bahar oraz schemat otwierania komponentów [16]



## NOWE FORMY ARCHITEKTONICZNE

Inny niż zazwyczaj typ fasad buduje nowe formy architektoniczne. Wystarczy choćby zmiana koloru elewacji, a budynek już wygląda inaczej. Panele fotowoltaiczne mają nie tylko nietypowy kolor, ale też strukturę, która nadaje budynkowi nieco przemysłowy wygląd. Systemy, w których elementy elewacji poruszają się, jak na przykład automatyczne żaluzje, tworzą zgoła odmienne wzory i cała ściana żyje, nadając budynkowi nowy, świeży wygląd. Taki budynek nigdy się nie znudzi, można przejść obok niego tysiące razy i za każdym razem zobaczy się coś innego. Jest to niecodzienny typ formy architektonicznej, ponieważ w ten sposób mamy do czynienia ze zmienną formą, budynek nie ma jednej, stałej formy, co jest jeszcze świeżym zjawiskiem w architekturze. Budynek o pozornie zmiennej formie jest parking szpitala w Indianapolis, gdzie jedną z elewacji pokryto około 7000 metalowymi panelami, ustawionymi pod różnym kątem, z jednej strony w kolorze złotym, z drugiej – w czarnym. Poruszając się wzdłuż fasady, można odczuć, jak cała elewacja faluje.



Il. 10 Widok z różnych stron na parking szpitala Eskenazi w Indianapolis [17]



Il. 11 Zbliżenie na metalowe panele na elewacji parkingu szpitala Eskenazi w Indianapolis [17]

## WNIOSKI

Poznając nowinki architektoniczne, coraz częściej słyszy się o inteligentnych elewacjach. Będą one coraz częstszym wyborem projektantów, ponieważ stanowią doskonałe źródło wspomaganie całego budynku. Koszt budowy fasad inteligentnych będzie się zwracał z każdym dniem użytkowania budynku. Różnorodność elewacji tworzy możliwość dopasowania ich do wymagań otoczenia, nie należy się więc martwić, że w danym miejscu nie będzie się opłacała ich instalacja. Najkorzystniej jest wykorzystać przeszklenia, występujące w każdym budynku, czy będą to okna czy tafle szkła. Wystarczy użyć odpowiedniego rodzaju szkła i z pewnością odczuje się różnicę w bilansie energetycznym.

Zamontowanie systemów żaluzji będzie dodatkowym czynnikiem obniżającym koszty zużycia energii. O panelach słonecznych słyzy się od dawna, jednak jeszcze nieczęsto spotyka się je zintegrowane z fasadą budynku. Pokrycie ściany panelami może się okazać niezwykle korzystne, nie tylko dla portfela, ale dla środowiska. Sposobów wykorzystania elewacji inteligentnych na budynkach jest niezliczona ilość, niektóre mogą być częściej spotykane, inne na tyle wyjątkowe, że budynek otrzymuje nagrodę. Różnorodność elewacji inteligentnych i zmiany w nich zachodzące są jeszcze świeżą ścieżką w architekturze, dlatego warto popularyzować proekologiczne rozwiązania, niezwykle cenne w zanieczyszczonym świecie.

## LITERATURA

1. hasło: Inteligencja, Słownik Języka Polskiego <http://sjp.pwn.pl/sjp/inteligencja;2561737.html>
2. D+H Polska Sp. z o.o., Okna napędzane słońcem, w: Zawód: Architekt #26, 2012
3. Januszkiewicz K., Zwierzycki M., Wrażliwa skóra. Wieże Al Bahar Towers, Abu Dhabi, ZEA, Archivolta 1/2013
4. Muszyńska-Łanowy M., BiPV – fotowoltaika zintegrowana z budynkiem, w: Świat Szkła 5/2010
5. Muszyńska-Łanowy M., Szklane fasady fotowoltaiczne – energooszczędność i komfort. Cz. 1, w: Świat Szkła 11/2010
6. Muszyńska-Łanowy M., Szklane fasady fotowoltaiczne – energooszczędność i komfort. Cz. 2, w: Świat Szkła 1/2011
7. Niespodziewański K., Okiene rewolucje, w: Zawód: Architekt #39, 2014
8. Niespodziewański K., Inteligentne okna dbające o zdrowie, w: Zawód: Architekt #46, 2015
9. Surmiak P., Słońce – wróg i sprzymierzeniec, w: Zawód: Architekt #15, 2010
10. Wlezień T., Inteligencja rozbudowana, w: Zawód: Architekt #15, 2010
11. <http://www.effectglass.net/szyby/przeciwsłoneczne.html> [data dostępu: 20.09.2016]
12. <http://www.okna-pasywne.pl/dla-architekta/i-tec-smart-window> [data dostępu: 20.09.2016]
13. [http://www.ideefa.com/project/nordseite\\_klimafassade/](http://www.ideefa.com/project/nordseite_klimafassade/) [data dostępu: 20.09.2016]
14. <http://www.archdaily.com/49150/media-tic-enric-ruiz-geli> [data dostępu: 20.09.2016]
15. <http://www.arup.com/projects/solarleaf> [data dostępu: 20.09.2016]
16. <http://www.archdaily.com/270592/al-bahar-towers-responsive-facade-aedas> [data dostępu: 20.09.2016]
17. <http://www.designboom.com/architecture/dynamic-facade-system-eskenazi-hospital-indianapolis-urbana-architecture-07-27-2014/> [data dostępu: 20.09.2016]



# APPLICATION OF THE PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS IN THE PROCESS OF RENOVATING HOUSING ESTATES IN GERMANY

Joanna Biedrońska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Silesian University of Technology, Faculty of Architecture, ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice, joanna.biedronska@polsl.pl

## ABSTRACT

Today, innovative solutions in urban planning are inseparably linked to the use of green technologies in the entire world. Designs of modern buildings, neighborhoods and whole cities in Western Europe, the Middle East, China, Japan or the United States involve creating energy self-sufficiency, which could be achieved through the use of renewable energy and by reducing energy consumption. Examples from Germany show that the newly designed buildings can not only provide electricity for their own use but can achieve a surplus to sell outside. This approach can be applied to the existing settlements while renovating them to adapt to EU requirements of the energy policy. This can be done by upgrading existing systems with installations using energy from renewable sources. The goal of this paper is to give examples from Germany aimed at energy efficiency, energy independence in urban multifamily settlements. Such practices have not been yet applied into practice and most remedial programs for multifamily housing in Poland from the 70s, 80s have been limited to the basic treatment such as wall insulation, window replacement, and renewal of facades. This approach is not sufficient, overall. In summary, presented is an attempt to identify opportunities for modernization of Polish apartments blocks including PV installations based on a very positive German experience.

Keywords: renovation of the housing estates, energy efficiency, solar energy, PV installations.

## Introduction

The sustainable development is the most closely associated in the public awareness of energy efficiency. If we comprehensively understand savings in the sustainable residential environment, then of course, we cannot omit the use of energy sources that allow to save non-renewable raw materials.



In the scale of the settlement, one of the main features of the sustainable residential environment is the infrastructure design with the use of the technology and technical systems for energy savings (m.in. passive and active gaining of solar energy). Currently, the efficient use of the energy of the Sun requires high technology. Undoubtedly, the future belongs to the photovoltaic cells, allowing to generate electricity, which is used in all areas of life [3]. The community integration of the energy solutions (e.g. roof or façade photovoltaic panels included into the energy system of the settlement) should allow to create the sustainable buildings and construction units self-sufficient in terms of energy.

In the economic range, the availability of residential buildings due to the prices and preferences of the green construction, the prices comparable with the traditional residential construction, provides a measurable profit as a result of the integration of the technological systems of energy and water savings. The systems to gain renewable energy contribute to significantly reduced operating costs, as well as to improve the residential environment and the quality of architectural space [1].

## **DIRECTIONS FOR THE APPLICATION OF THE PV TECHNIQUES IN THE MODERNIZATION OF THE SETTLEMENTS IN GERMANY**

In Germany, the modernized large-board residential construction provides the users, apart from the improvement of the quality of places of residence, a higher standard of residential function that can also generate energy from the renewable sources. The leading cities that provide the energy renewal programmes are: Freiburg, Berlin and Stuttgart. The model for the adopted energy policy is the settlement in Vauban district of Freiburg, which has become the pioneer of the solution design, completed in accordance with the idea of energy-efficient houses supplied in energy from photovoltaics, where the technologies and practices have given impetus to the modernization of the existing settlements.

Vauban district in Freiburg in Germany consistent with the idea of sustainable development was established as a successful example of the eco-settlement, a model in terms of electricity supply from renewable sources. Photovoltaic panels, integrated into the roofs provide fully supply power to the buildings, and the surplus is sold to the city grid. In this case, the vision of the homes of the future is implemented, when they become the producers of pure energy, and not only their consumers. Such a designed system of the supply of electricity from the RES was possible due to the interdisciplinary cooperation of the specialists. The installation of the appropriate surface size of the solar or photovoltaic panels on multi-family houses requires the adaptation of architecture and urban planning of these buildings to such a project. The introduction of the Integrated Design Process and the Integrated Energy Design should take into account all aspects of the energy economy in terms of: location, position relative to the world, size of the development, possibility to apply the system to generate energy, both in the design phase as well as the modernisation of the existing settlement.

In the context of the revitalization of multi-family houses in Berlin, in the last few years, over 1.500 photovoltaic systems have been installed on roofs and façades of buildings.

The gained solar energy is transformed by the photovoltaic modules in alternating electric current that powers the public power grid, and the cost of its production is compensated in accordance with the provisions of the EEG (Erneuerbare Energien-Gesetz/ the Code of the Renewable Energies). The German Society for Solar energy (German: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie) keeps the register of equipment and systems using solar energy at the order of the Administration of Berlin on the Development of the City. The registry is intended to allow access to verified and certain data, originating from the area around Berlin and on the amount of produced energy, the development of the energy market, the system life and long-term experience with their operation [4].

## **EXAMPLES OF THE MODERNIZED SETTLEMENTS WITH THE USE OF PV SYSTEMS ON THE BUILDINGS IN BERLIN**

### **High-Deck settlement, Berlin-Neukölln**

The settlement was established in 1970/1980 within the social construction. The concept of the development, as opposed to other large settlements of Berlin, had a lower population density and innovative solution for functional separation of movement of pedestrians and traffic at two levels. Pedestrian bridges (hence the name “high-deck”) provided to five- and six-story buildings, which have approx. 2400 homes, which gives the number of 6000 inhabitants. Parking spaces are located in the basements of houses, the streets are at the basement level (II. 1, II.2). Walking platforms are available from streets and parks by ramps and stairs. Between the buildings, there is a lot of greenery, gardens, children’s playgrounds, there is a full range of services in the settlement scale. In the 1970s, houses enjoyed great success due to the location on the green outskirts of West Berlin, which was considered as the perfect settlement. Today, the settlement, due to a number of its features, would be included in the sustainable residential environment trend.

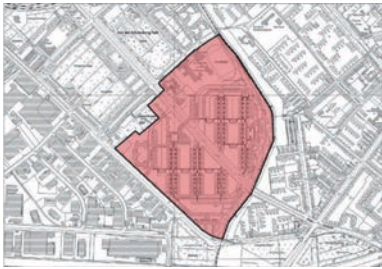


II. 1.; II. 2. Street view of High-Deck settlement in Berlin. Source: photo by Joanna Biedrońska August 2015.

When the eastern and western sides were connected, the settlement lost its attractiveness and quiet. In 2007, the restructuring of old buildings was inevitable. The renovation costs exceeded the financial capacity of the city and country, and as a result, the settle-

ment became the property of 3 owners. At that time, there was a complete renovation which involved inter alia the repairs of: concrete, façades and roof surface.

The task allowed to solve the issue of savings in energy costs, thanks to the integrated power grid for the whole settlement, generated from the renewable sources, i.e. from the Sun. In 2015, in the context of the modernisation on 32 roofs, one installed the PV systems with a total capacity of 1MGW created as a result of the connection of 4248 PV modules, satisfying the needs of the inhabitants in terms of eco-friendly electricity (II.4, II.5). The system covered the whole settlement, including 38 individual devices connected in the switchboard building, in the centre of the settlement [5]. The location of buildings on the north and south axis allowed to set the panels in a row, towards the south.



II. 3. Plan of High-Deck settlement in Berlin. Source: [6];



II.4 Top view of High-Deck settlement in Berlin. Source: [5]



II.5. View of the photovoltaic panels installed on the roof of the buildings of High-Deck settlement in Berlin.

Source: photo by Joanna Biedrońska August 2015.

### Hellersdorf settlement - Berlin

Hellersdorf settlement in Gelben Viertel district, in Berlin, is another example of the modernization of the prefabricated residential buildings from the 70's and 80's, 20th century, located on the outskirts of the city, consisting of the introduction of the photovoltaic

system on 50 roofs with total area size of 6 pitches, 800 polycrystalline PV modules were installed here (II.6, II.7). Since 2014, the whole photovoltaic system has produced 1.6 GWh, i.e. (= 1593000 kWh) of electricity per year. Depending on the production and demand, the inhabitants obtain 40-50% of energy from the Sun. The rest is provided by a certified supplier of eco-energy, Lichtblick. The tenants of the apartments in Hellersdorfer settlement who use electricity "from the roof" pay less than in terms of the ordinary green electricity tariffs. The net costs, reduced fees and low power control significantly reduce the price of electricity which can impact on the decisions to reside in this apartments complex [7].

The pilot project for the city of Berlin shows that solar energy "from the roof" in an urban multi-family house does not have to be only in the field of an experimental design, and can provide tangible economic benefits. The project in Hellersdorf settlement is of a great importance, because it is the largest solar system that was installed on the residential buildings complex in Germany.

The experts of solar energy in Germany believe that there is a huge potential of roofs to use them to install PV providing the building with electricity both locally and in the system of the connection of the whole settlement or district.



II.6. Top view of Hellersdorf settlement - Berlin. Source: [8]



II.7. View from the roof with the PV system in Hellersdorf settlement - Berlin. Source: [7];



### Residential building at Helene-Weigel-Platz, Berlin-Marzahn

The alternative to gain energy from the Sun in the building can involve the energy active façade when the photovoltaic modules are installed on the façade. The performance is not as effective as in the case of the roof system, but there is no doubt that the south exposure, especially during the winter, provides an additional source of energy. The example represents the modernization of the multi-family building in Berlin at Helene-Weigel Platz 6/7. The centrally located skyscraper from the '80s, 20th century, in Marzahn settlement, Berlin, was completely rebuilt. In 1998, the modernization of the building included the use of the innovative technologies, i.e. covering the south façade to the height of 70 m with the PV panels on the surface of 426m<sup>2</sup> (II.9). These panels replaced the conventional façade panels, which produced 25.000 kWh of solar energy. The energy is transferred to the public power grid in accordance with the Act of Energy Saving (EEG) to meet the demand for electricity needed to run elevators, ventilation, lighting, etc. In general, this reduces the operating costs of the inhabitants [9].



II.8. Plan of the building at Helene-Weigel Platz;



II.9. View of the façade. Source: [9].

## THE SCOPE OF THE ACTIVITIES OF THE ENERGY REGENERATION OF THE POLISH SETTLEMENTS

The German practices aiming at energy efficiency, energy independence in the multi-family settlements, are not applied in Poland, and most repair programmes of the multi-family buildings from 70s, 80s, 20th century, define the basic activities to insulate walls, replace windows, renew façades. The modernization of the residential settlements made of large board: the imposition of additional layers of thermal insulation on the walls

of the building and the modernization of the heating devices can achieve savings in energy consumption reaching 60% [2].

Using the experience of the German construction industry within the modernization of the residential settlements from large board must be analysed within the possibility to carry out similar activities in Poland. Would it be possible to provide a higher participation of the renewable energy systems in a form of roof and façade surfaces covered with the solar panels? The installation of the appropriate surface size of the solar or photovoltaic panels on multi-family houses requires the adaptation of architecture and urban planning of these buildings to such a project. The characteristics of the spacial formation of such a complex should correspond to the priorities of sunlight of the solar panels.

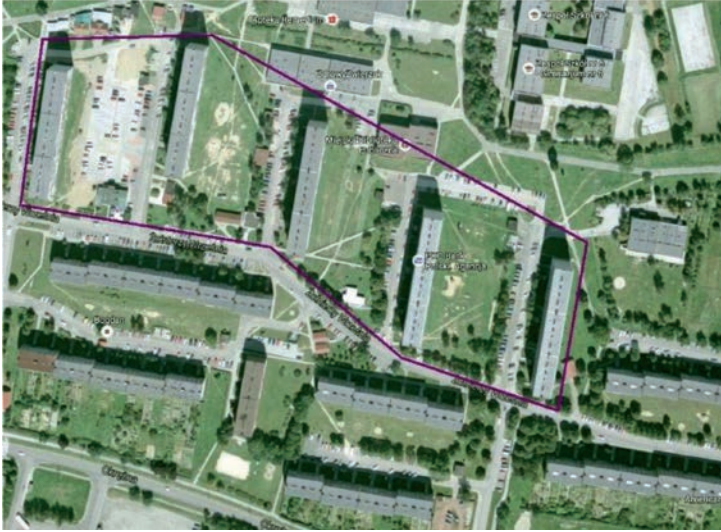
The data from the report "The Photovoltaics Market in Poland, 2016" developed by the Institute of Renewable Energy shows that: "In recent years, the market for the photovoltaic systems in Poland has continuously grown, despite the unclear legal situation of this sector. The total installed capacity of the photovoltaic systems connected to the grid is 119.2 MW. This involves 87.7 MW of the systems which have received the certificate of energy origin (at the end of the first quarter of 2016). The micro-systems were already 31.5 MW, i.e. 26% of the total installed power capacity (at the end of 2015). Only 2015, there was 77.2 MW of the PV system more. This involves approx. 8.8 MW from the Prosumer programme implemented by the National Fund for Environmental Protection and Water Management, financed by the BOŚ Bank. In addition, the REI estimates that approx. 8.3 MW of the installed capacity involves the off-grid systems. The value of the photovoltaics market in 2015 is estimated to be approx. 470 million (an increase of 60% compared to 2014.)" [10].

The report states that the photovoltaics market in Poland develops; however, to tend in the direction of the German standards, it is necessary to establish the RES Act providing the possibility to re-sell the power grids the produced excess electricity and reduce the cost of the PV installation devices so that they can be widely applied.

## **POSSIBLE APPLICATIONS THE PV SYSTEMS IN THE MODERNIZATION OF THE MULTI-FAMILY BUILDINGS SETTLEMENTS IN POLAND. EXAMPLES**

There are a number of settlements from PRL times, which due to their location could be subjected to the modernization taking into account the applications of the PV systems on roofs and façades. The solar systems installed on the façade provides not only energy from the Sun, but also meet the task of the building cover. The below 2 examples of the settlements from Żory and Miechowice show the possibility of renovation in order to improve the energy efficiency of the buildings taking into account their location and the availability of external partitions for the installation of the PV systems.

### Example 1



II.10. Plan of the settlement in Żory at Żołnierzy Września Street. Source: google maps

The multi-family buildings placed in the eastern and western axis have free peak walls turned towards the south with a low deviation (II.10, II.13.) As in the case of a skyscraper in Berlin Marzahn, in which the façade was covered with the solar panels in the process of the modernization of the building, acting as the energy active façade.



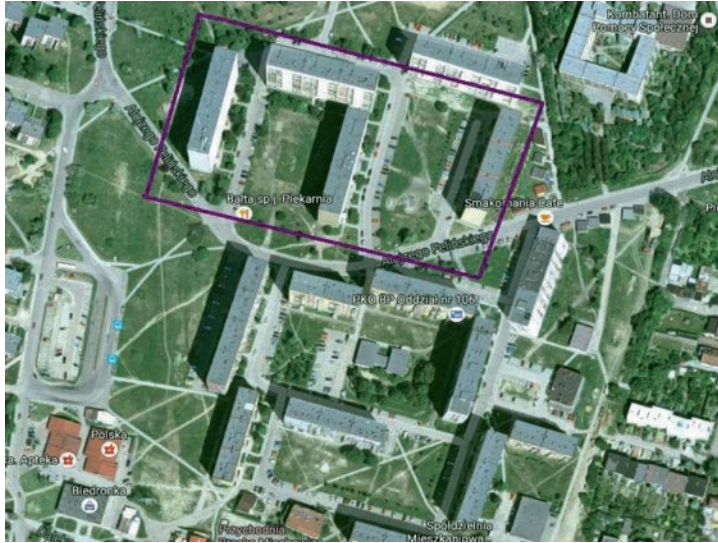
II.11. Peak wall of the building. II.



12. View of the buildings of the settlement at Żołnierzy Września Street in Żory.

Source: photo by Joanna Biedrońska August 2016.

## Example 2



II.13. Plan of the settlement in Miechów at Felińskiego Street. Source: google maps



II.14. Peak wall of the building.



II.15. View of the buildings of the settlement at Felińskiego Street in Miechów. Source: photo by Joanna Biedrońska August 2016.

In both the similar examples, the buildings consist of 10 floors (II.11, II.14), in the peak wall, the surface is approx. 440 m<sup>2</sup>; if it is covered with the PV KYOTO PURE 280/285 Wp-mono modular panels, sized 0.992 m x 1.666 m, this will provide a result of 224 PV panels with



a capacity of 62720 Wp, which provides an annual electricity gain of 41.05 MWh/year in accordance with the calculations of the PV calculator, i.e. piTERN [11].

## CONCLUSION

The introduction of the modernization process of the settlements of large boards seems to be justified in terms of energy in Poland, as well. The revitalization of multi-family houses in Berlin for the PV applications points to a possibility of such realization in our country, they are the base of the experience to be followed. We must seek to ensure a higher participation of the integrated renewable energy systems to ensure high energy and environment efficiency both in the design of new settlements as well as in the process of revitalization. The systems contribute to significantly reduced operating costs, as well as to improve the residential environment and the quality of architectural space [1].

## REFERENCES

1. Biedrońska J., Osiedle ekologiczne jako model zrównoważonej społeczności, W:Badania interdyscyplinarne w architekturze 1. BIWA 1, T. 1, Problemy jakości środowiska w kontekście zrównoważonego rozwoju, Wydział Architektury Politechniki Śląskiej, 2015, ISBN 978-83-936574-4-5, s.101-110
2. Łodziński P., Wybrane problemy modernizacji budynków mieszkalnych z wielkiej płyty na przykładzie osiedla Hellersdorf w Berlinie, ARCHITECTURAE et ARTIBUS - 2/2009, s. 39-43
3. Schneider-Skalska G.; Zrównoważone środowisko mieszkaniowe. Społeczne – oszczędne – piękne. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012
4. Rewitalizacja budynków, Berlińskie doświadczenia oraz przykłady „best-practice”, [www.oder-partnerschaft.eu/files/file/Themen\\_Leitprojekte/Weitere\\_Projekte/Rewitalizacja\\_budynków\\_w\\_Berlinie\\_PL.pdf](http://www.oder-partnerschaft.eu/files/file/Themen_Leitprojekte/Weitere_Projekte/Rewitalizacja_budynków_w_Berlinie_PL.pdf) (dz.dost.16.09.2016)
5. <http://www.nea-lights.de/referenzen/> (dz.dost.16.09.2016)
6. <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/wohnen/quartiersmanagement/de/sonnenallee/index.shtml> (dz.dost.16.09.2016)
7. <http://www.berlin-spart-energie.de/energiesparprojekte/projekt/objectdetails/147.html>
8. [www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/eeg-novelle-im-bundesgesetzblatt-verffentlicht\\_100016088/](http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/eeg-novelle-im-bundesgesetzblatt-verffentlicht_100016088/) (dz.dost.16.09.2016)
9. <http://www.werkstatt-stadt.de/de/projekte/45/>(dz.dost.16.09.2016)
10. <http://odnawialneźródłaenergii.pl/energia-słoneczna-aktualności/item/2823-ieo-moc-instalacji-pv-w-polsce-wynosi-119-2-mw> (dz.dost.16.09.2016)
11. Kalkulator Fotowoltaiczny piTERN

# ZASTOSOWANIE INSTALACJI FOTOWOLTAICZNYCH W PROCESIE MODERNIZACJI OSIEDLI W NIEMCZECH

Joanna Biedrońska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Architektury, Gliwice, ul. Akademicka 7, e-mail:joanna.biedronska@polsl.pl

## ABSTRAKT

Obecnie na całym świecie nowoczesne rozwiązania w urbanistyce nierozzerwalnie wiążą się z wykorzystaniem zielonych technologii. Projekty nowoczesnych budynków, dzielnic i całych miast w Europie Zachodniej, na Bliskim Wschodzie, w Chinach, Japonii czy USA zakładają kreowanie samowystarczalności energetycznej, która ma być osiągnięta dzięki wykorzystaniu energetyki odnawialnej i ograniczeniu zużycia energii. Przykłady Niemiec pokazują, że budynki nowoprojektowane dzięki instalacjom fotowoltaicznym mogą nie tylko zapewniać energię elektryczną na własny użytek ale nadwyżki sprzedawać, dotyczy to także tak przyjętej polityki energetycznej, by osiedla poddane modernizacji dostosowywać do wymogów unijnych i wyposażać je w instalacje wykorzystujące energię z odnawialnych źródeł. Artykuł ma przybliżyć praktyki stosowane w Niemczech zmierzające do energooszczędności, niezależności energetycznej osiedli w zabudowie wielorodzinnej, które w Polsce nie znajdują jeszcze zastosowania a większość programów naprawczych budownictwa wielorodzinnego z lat 70-tych, 80-tych stanowią podstawowe zabiegi docieplenia ścian, wymiany okien, odnowienia elewacji. Jest to niewystarczające w ogólnym rozrachunku. Podsumowaniem jest próba wskazania możliwości rozwiązań modernizacyjnych dla bloków polskich osiedli z uwzględnieniem instalacji PV na tle niemieckich doświadczeń.

Słowa kluczowe: modernizacja osiedli, energooszczędność, energia solarna, instalacje PV.

## Wprowadzenie

Z projektowaniem zrównoważonym najmocniej kojarzona jest w powszechnej świadomości energooszczędność. Jeśli rozumiemy oszczędność w zrównoważonym środowisku mieszkaniowym kompleksowo, to oczywiście nie można pominąć wykorzystania źródeł energii, które pozwalają na oszczędność surowców nieodnawialnych.

W skali osiedla jedną z głównych cech zrównoważonego środowiska mieszkaniowego jest projektowanie infrastruktury gdzie ma miejsce zastosowanie systemów technologicznych i technicznych służących oszczędności energii (m.in. pasywne i aktywne pozyskiwanie energii słonecznej). Efektywne wykorzystanie energii słońca wymaga zastosowania dzisiaj wysokich technologii. Niewątpliwie przyszłością są ogniwa fotowoltaiczne, pozwalające na wytwarzanie energii elektrycznej, która znajduje zastosowanie we wszystkich dziedzinach życia [3]. Integracja wspólnotowa rozwiązań energetycznych (Np. dachowe lub elewacyjne panele fotowoltaiczne włączone do systemu energetycznego osiedla) powinna umożliwić kreowanie zrównoważonych zespołów zabudowy i budynków samowystarczalnych pod względem energetycznym.

W wymiarze ekonomicznym dostępność mieszkań ze względu na ceny i preferencje zielonego budownictwa, ceny porównywalne z budownictwem tradycyjnym, daje wymierny zysk w wyniku integracji systemów technologicznych oszczędzających energię i wodę. Systemy pozyskiwania odnawialnej energii przyczyniają się do znacznego obniżenia kosztów eksploatacji, a także do polepszenia środowiska mieszkaniowego i jakości przestrzeni architektonicznej [1].

## **KIERUNKI ZASTOSOWAŃ TECHNIK PV W ZAKRESIE MODERNIZACJI OSIEDLI W NIEMCZECH**

W Niemczech modernizowane mieszkaniowe budownictwo wielkopłytkowe dostarcza użytkownikom, obok poprawy jakości miejsc zamieszkania, wyższego standardu funkcji mieszkalnych także możliwość pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Przewodzące miasta, które realizują programy rewitalizacji energetycznej to: Freiburg, Berlin i Stuttgart. Wzorem dla tak przyjętej polityki energetycznej jest osiedle w dzielnicy Vauban we Freiburgu, które stało się prekursorskim rozwiązaniem projektowym, zrealizowanym zgodnie z ideą domów energooszczędnych zaopatrywanych w energię z fotowoltaiki, gdzie zastosowane technologie i praktyki dały impuls do działań modernizacyjnych osiedli już istniejących.

Dzielnica Vauban we Freiburgu w Niemczech zgodna z ideą zrównoważonego rozwoju powstała, jako udany przykład osiedla ekologicznego, modelowego pod względem zaopatrzenia w energię elektryczną ze źródeł odnawialnych. Panele fotowoltaiczne, zintegrowane z dachami zapewniają w pełni dostawę prądu do budynków a nadwyżka sprzedawana jest do sieci miejskiej. W tym przypadku jest to zrealizowana wizja domów przyszłości, gdy staną się one producentami czystej energii a nie tylko jej konsumentami. Tak zaprojektowany system dostawy prądu z OZE możliwy był przy podjętej interdyscyplinarnej współpracy specjalistów. Zainstalowanie, bowiem odpowiedniej wielkości powierzchni paneli solarnych lub fotowoltaicznych na budynkach wielorodzinnych wymaga dostosowania architektury i urbanistyki tych budynków do takiego przedsięwzięcia. Wprowadzenie Zintegrowanego Procesu Projektowego ZPP (ang. IDP Integrated Design Process)) jak i Zintegrowanego Projektowania Energetycznego (ang. IED – Integrated Energy Design) powinno uwzględniać wszystkie aspekty gospodarki energe-

tycznej w zakresie: lokalizacji, usytuowania względem stron świata, wielkości zabudowy, możliwości instalacji do pozyskiwania energii, zarówno w fazie projektowania jak i modernizacji już istniejących budynków osiedla mieszkaniowego.

W ramach rewitalizacji domów wielorodzinnych w Berlinie założono w ciągu ostatnich kilku lat ponad 1.500 instalacji fotowoltaicznych na dachach i fasadach budynków. Użytkowana energia słoneczna przeistaczana jest przez moduły fotowoltaiczne w zmienny prąd elektryczny, który zasila następnie publiczną sieć energetyczną, a koszt jego wytworzenia rekompensowany jest zgodnie z przepisami EEG (Erneuerbare Energien-Gesetz/Kodeks ds. Energii Odnawialnych). Niemieckie Towarzystwo ds. Energii Słonecznej (niem. Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie) prowadzi rejestr urządzeń i instalacji wykorzystujących energię słoneczną na zlecenie Administracji Berlina ds. Rozwoju Miasta. Rejestr ma umożliwić dostęp do sprawdzonych i pewnych danych, pochodzących z obszaru całego Berlina i dotyczących ilości wyprodukowanej energii, rozwoju rynku energetycznego, okresu żywotności instalacji oraz długotrwałych doświadczeń związanych z ich działaniem [4].

## PRZYKŁADY MODERNIZOWANYCH OSIEDLI Z ZASTOSOWANIEM INSTALACJI PV NA BUDYNKACH W BERLINIE

### Osiedle High-Deck Berlin - Neukölln

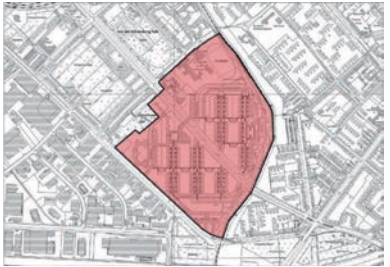
Osiedle powstało w latach 1970/1980 w ramach budownictwa społecznego. Koncepcja zabudowy w przeciwieństwie do pozostałych dużych osiedli Berlina charakteryzowała się mniejszą gęstością zaludnienia i innowacyjnym rozwiązaniem separacji funkcjonalnej ruchu pieszych i ruchu kołowego na dwóch poziomach. Kładki piesze (stąd nazwa „high-deck”) doprowadzone są do pięcio- i do sześćo-piętrowych budynków, które mają około 2400 mieszkań, co daje liczbę 6000 mieszkańców. Miejsca parkingowe znajdują się w piwnicach domów, ulice są na poziomie piwnic (Il.1,Il.2). Pomosty piesze są dostępne z ulic i parków poprzez pochylnie i schody. Między budynkami jest dużo zieleni, ogródków zabaw dzieci, występuje tu pełny zakres usług w skali osiedla. W 1970 roku, mieszkania cieszyły się dużym powodzeniem z powodu lokalizacji na zielonych przedmieściach Berlina Zachodniego, stanowiło uosobienie ideału osiedla. Dzisiaj osiedle to ze względu na wiele swych cech wpisaloby się w nurt zrównoważonego środowiska mieszkaniowego.



Il. 1.; Il. 2. Widok ulicy osiedla High-Deck w Berlinie. Źródło: fot. Joanna Biedrońska 08.2015r

Po połączeniu strony Wschodniej i Zachodniej osiedle zatraciło spokój marginalizacji, swoją atrakcyjność. W 2007 restrukturyzacja starych budynków stała się nieunikniona. Koszty renowacji przekroczyły możliwości finansowe miasta i kraju, skutkiem tego osiedle stało się własnością 3 właścicieli. W tym czasie nastąpił kompletny remont i dotyczył między innymi napraw: betonu, fasad i powierzchni dachowych.

Zadanie przyczyniło się do rozegrania kwestii oszczędności kosztów zużycia energii, dzięki zintegrowanej sieci energetycznej przewidzianej dla całego osiedla, pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych, tj. ze słońca. W 2015 roku, w ramach modernizacji na 32 dachach zamontowano instalacje fotowoltaiczne o łącznej mocy 1MGW powstałej w wyniku podłączenia 4248 modułów PV, zaspakajając tym samym potrzeby mieszkańców w przyjazną dla środowiska energię elektryczną (II.4.,II.5) System obejmował całe osiedle, łącznie 38 pojedynczych urządzeń połączonych w budynku centrali, w centrum osiedla [5]. Usytuowanie budynków na osi płn. - płd. umożliwiło szeregowe ustawienie paneli zwróconych na stronę południową.



II. 3. Plan osiedla High-Deck w Berlinie. Źródło:[6];



II.4 Widok z góry osiedla High-Deck w Berlinie. Źródło:[5]



II.5. Widok paneli fotowoltaicznych zamontowanych na dachu budynków osiedla High-Deck w Berlinie.

Źródło: fot. Joanna Biedrońska 08.2015r



## Osiedle Hellersdorf - Berlin

Osiedle Hellersdorf w dzielnicy Gelben Viertel, w Berlinie to kolejny przykład modernizacji prefabrykowanych budynków mieszkalnych z lat 70-tych i 80-tych, położonych na obrzeżach miasta, polegającej na wprowadzenia systemu fotowoltaicznego na 50 dachach o powierzchni całkowitej wielkości 6 boisk, zamontowano tu 8000 polikrystalicznych modułów PV (II.6.,II.7). Cały system fotowoltaiczny od 2014 r. produkuje 1,6 GWh tj. (= 1593000 kWh) energii elektrycznej rocznie. W zależności od produkcji i popytu mieszkańcy uzyskują 40-50 % energii ze słońca. Resztę zapewnia certyfikowany dostawca ekoenergii Lichtblick. Najemcy mieszkań w Osiedlu Hellersdorfer, którzy korzystają z energii elektrycznej „z dachu”, płacą mniej niż w przypadku zwykłych zielonych taryf energii elektrycznej. Koszty netto, zmniejszone opłaty oraz niska kontrola mocy zasilania znacząco obniża cenę energii elektrycznej, co może mieć wpływ na decyzje zamieszkania w tym kompleksie mieszkalnym [7].

Ten pilotażowy projekt dla miasta Berlina dowodzi, że energia słoneczna „z dachu” w miejskim domu wielorodzinnym nie musi być tylko w sferze projektu doświadczalnego a może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne. Projekt w berlińskiej dzielnicy Hellersdorf ma wielkie znaczenie, bowiem jest to największy system słoneczny, który został zainstalowany na zespole budynków mieszkalnych w Niemczech.

Wśród ekspertów słonecznej energii w Niemczech panuje przekonanie, że istnieje olbrzymi potencjał dachów dający możliwość wykorzystania ich do instalacji PV zaopatrującej budynek w energię elektryczną zarówno lokalnie jak i w systemie połączonym całego osiedla czy dzielnicy.



II.6. Widok osiedla Hellersdorf - Berlin z góry. Źródło: [8]



II.7. Widok dachu z instalacją PV na osiedlu Hellersdorf – Berlin. Źródło: [7];

### **Budynek mieszkalny przy Helene-Weigel-Platz, Berlin-Marzahn**

Alternatywą pozyskiwania energii ze słońca w budynku może być energetycznie aktywna fasada, gdy moduły fotowoltaiczne są montowane na elewacji. Wydajność nie jest tak efektywna jak w przypadku instalacji dachowej, ale niewątpliwie przy południowej ekspozycji, szczególnie w okresie zimy, daje możliwość dodatkowego źródła energii. Przykład taki reprezentuje modernizacja budynku wielorodzinnego w Berlinie przy Helene-Weigel Platz 6/7. Centralnie położony wieżowiec z lat 80-tych, położony w berlińskiej dzielnicy Marzahn, został całkowicie przebudowany. W 1998 r. modernizacja budynku obejmowała wykorzystanie innowacyjnych technologii w postaci pokrycia południowej elewacji do wys. 70 m panelami fotowoltaicznymi na powierzchni 426m<sup>2</sup> (II.9). Panele te zastąpiły konwencjonalne panele elewacyjne, dzięki którym wyprodukowano 25.000 kWh energii słonecznej. Energia przekazana jest do publicznej sieci energetycznej, zgodnie z ustawą o oszczędzaniu energii (EEG) i aby zaspokoić zapotrzebowanie na energię elektryczną potrzebną do uruchomienia wind, wentylacji, oświetlenia, itp. W ogólnym rachunku zmniejsza to koszty operacyjne mieszkańców [9].





Il.8. Plan sytuacyjny budynku przy Helene-Weigel Platz



Il.9. Widok elewacji. Źródło:[9].

## ZAKRES DZIAŁAŃ REWITALIZACJI ENERGETYCZNEJ OSIEDLI POLSKICH

Praktyki stosowane w Niemczech zmierzające do energooszczędności, niezależności energetycznej osiedli w zabudowie wielorodzinnej, w Polsce nie znajdują jeszcze zastosowania a większość programów naprawczych budownictwa wielorodzinnego z lat 70-tych, 80-tych stanowią podstawowe zabiegi docieplenia ścian, wymiany okien, odnowienia elewacji. Modernizacja osiedli mieszkaniowych z wielkiej płyty: nałożenie dodatkowych warstw izolacji termicznej na ściany budynku oraz modernizacja urządzeń grzewczych pozwala osiągnąć oszczędności w zużyciu energii sięgające 60% [2].

Korzystając z doświadczeń Niemieckiego budownictwa w zakresie modernizacji osiedli mieszkaniowych z epoki wielkiej płyty należy poddać analizie możliwości podobnych działań w Polsce. Czy udałoby się zapewnić większy udział systemów pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych w postaci powierzchni dachowych i elewacyjnych pokrytych panelami fotowoltaicznymi? Zainstalowanie odpowiedniej wielkości powierzchni paneli solarnych lub fotowoltaicznych na budynkach wielorodzinnych wymaga dostosowania architektury i urbanistyki tych budynków do takiego przedsięwzięcia. Cechy ukształtowania przestrzennego takiego zespołu powinny odpowiadać priorytetom nasłonecznienia paneli solarnych.

Z danych Raportu „Rynek fotowoltaiki w Polsce 2016” opracowanego przez Instytut Energetyki Odnawialnej wynika, że: „W ciągu ostatnich lat rynek systemów fotowoltaicznych w Polsce ciągle rośnie, pomimo niejasnej sytuacji prawnej tego sektora. Całkowita moc zainstalowana w systemach fotowoltaicznych przyłączonych do sieci wynosi 119,2 MW. W tym 87,7 MW to instalacje, które otrzymały świadectwa pochodzenia energii (stan

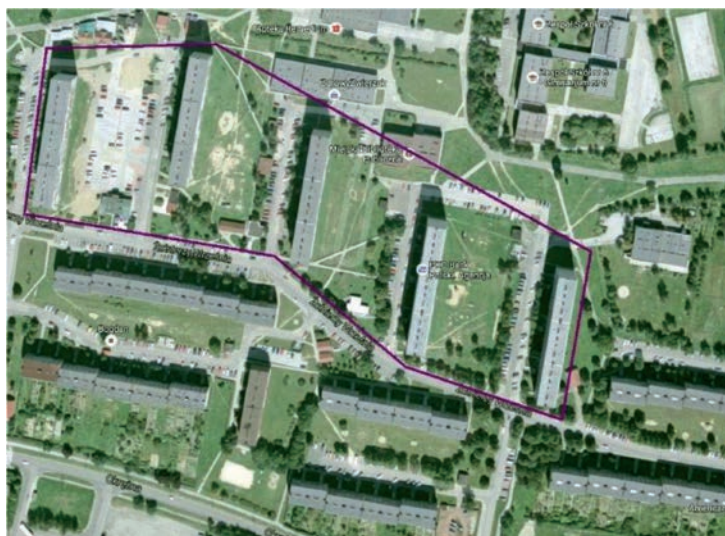
na koniec I kwartału 2016 roku). Mikroinstalacje stanowiły już 31,5 MW, czyli 26% całkowitej mocy zainstalowanej (stan na koniec 2015 roku). W samym tylko 2015 roku przybyło 77,2 MW instalacji PV. W tym ok. 8,8 MW z programu Prosument realizowanego przez NFOŚiGW z linii BOŚ Bank. Dodatkowo IEO szacuje, że ok. 8,3 MW zainstalowanej mocy to instalacje nieprzyłączone do sieci (OFF-GRID). Wartość rynku fotowoltaiki w 2015 roku szacuje się na ok. 470 mln PLN (wzrost o 60% w por. do 2014r.)” [10].

Z raportu wynika, że rynek fotowoltaiki w Polsce się rozwija, niemniej jednak, aby zmierzać w kierunku standardów niemieckich konieczne jest uchwalenie korzystnej ustawy o OZE dającej możliwości odsprzedaży sieciom energetycznym nadwyżki wyprodukowanej energii elektrycznej oraz obniżenie kosztów urządzeń instalacyjnych PV by mogły być powszechnie stosowane.

## **MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWAŃ INSTALACJI PV W MODERNIZACJI OSIEDLI BUDYNKÓW WIELORODZINNYCH W POLSCE. PRZYKŁADY**

Jest wiele osiedli z czasów PRL-u, które ze względu na swoje usytuowanie mogłyby być poddane modernizacji z uwzględnieniem zastosowań instalacji fotowoltaicznej na dachach i elewacji. Systemy solarne zamontowane na elewacji zapewniają nie tylko energię słoneczną, ale również spełniają zadania powłoki budynku. Przytoczone poniżej 2 przykłady osiedli z Żor i Miechowic wykazują możliwości renowacji w celu poprawy efektywności energetycznej budynków uwzględniając ich położenie i dostępność przegród zewnętrznych do instalacji PV.

### **Przykład 1**



Il.10. Plan osiedla w Żorach przy ul. Żołnierzy Września. Źródło: google maps

Ustawione w osi wschód- zachód budynki wielorodzinne dysponują wolnymi ścianami szczytowymi zwróconymi na południe z niewielkim odchyleniem (Il.10.,Il.13.) Tak jak w przypadku wieżowca w Berlinie Marzahn, w którym elewacja została pokryta panelami fotowoltaicznymi w procesie modernizacji budynku, pełniąc rolę aktywnie energetycznej fasady.



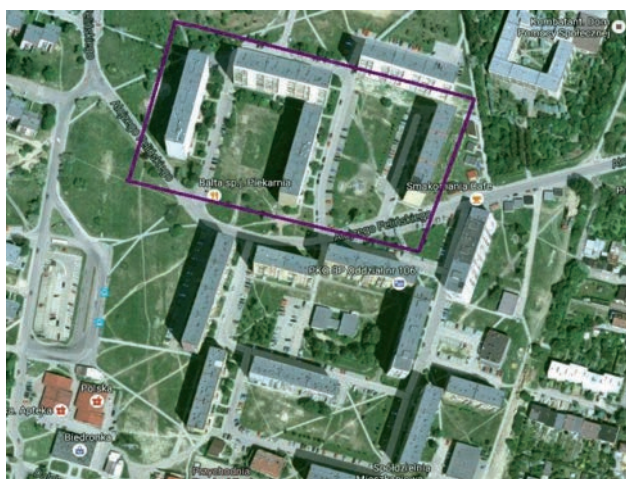
Il.11. Ściana szczytowa budynku.



Il.12. Widok budynków osiedla przy ul. przy ul. Żołnierzy Września w Żorach.

Źródło: fot. Joanna Biedrońska 08.2016 r.

## Przykład 2



Il.13. Plan osiedla w Miechowicach przy ul. Felińskiego. Źródło: google maps



Il.14. Ściana szczytowa budynku.



Il.15. Widok budynków osiedla przy ul.Felińskiego w Miechowicach.

Źródło: fot. Joanna Biedrońska 08.2016 r.

W obydwu analogicznych przykładach budynki o 10 kondygnacjach (Il.11.,Il.14.), w ścianie szczytowej dają powierzchnię około 440 m<sup>2</sup>, gdyby zastosować pokrycie jej panelami modułowymi PV KIOTO PURE 280/285 Wp-mono o wymiarach 0.992m x 1.666m, daje to wynik 224 paneli PV o mocy 62720 Wp co zapewnia roczny uzysk energii elektrycznej 41,05 MWh/rok wg obliczeń kalkulatora fotowoltaicznego piTERN [11].

## PODSUMOWANIE

Wprowadzanie procesu modernizacji budynków osiedli wykonanych z wielkiej płyty wydaje się również w Polsce uzasadnione pod względem energetycznym. Rewitalizacja domów wielorodzinnych w Berlinie pod kątem zastosowań technologii PV wskazuje na możliwości takich realizacji w naszym kraju, są bazą doświadczeń godną naśladownictwa. Musimy dążyć do zapewnienia większego udziału zintegrowanych systemów pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych zapewniających wysoką efektywność energetyczną i środowiskową zarówno przy projektowaniu nowych osiedli jak i w procesie ich rewitalizacji. Systemy te przyczynią się do znacznego obniżenia kosztów eksploatacji, a także do polepszenia środowiska mieszkaniowego.

## LITERATURA

1. Biedrońska J., Osiedle ekologiczne jako model zrównoważonej społeczności, W:Badania interdyscyplinarne w architekturze 1. BIWA 1, T. 1, Problemy jakości środowiska w kontekście zrównoważonego rozwoju, Wydział Architektury Politechniki Śląskiej, 2015, ISBN 978-83-936574-4-5, s.101-110
2. Łodziński P., Wybrane problemy modernizacji budynków mieszkalnych z wielkiej płyty na przykładzie osiedla Hellersdorf w Berlinie, ARCHITECTURAE et ARTIBUS - 2/2009, s. 39-43
3. Schneider-Skalska G.; Zrównoważone środowisko mieszkaniowe. Społeczne – oszczędne – piękne. Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012
4. Rewitalizacja budynków, Berlińskie doświadczenia oraz przykłady „best-practice“, [www.oder-partnerschaft.eu/files/file/Themen\\_Leitprojekte/Weitere\\_Projekte/Rewitalizacja\\_budynkow\\_w\\_Berlinie\\_PL.pdf](http://www.oder-partnerschaft.eu/files/file/Themen_Leitprojekte/Weitere_Projekte/Rewitalizacja_budynkow_w_Berlinie_PL.pdf) (dz.dost.16.09.2016)
5. <http://www.nea-lights.de/referenzen/> (dz.dost.16.09.2016)
6. <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/wohnen/quartiersmanagement/de/sonnenallee/index.shtml> (dz.dost.16.09.2016)
7. <http://www.berlin-spart-energie.de/energiesparprojekte/projekt/objectdetails/147.html>
8. [www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/eeg-novelle-im-bundesgesetzblatt-verffentlicht\\_100016088/](http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/eeg-novelle-im-bundesgesetzblatt-verffentlicht_100016088/) (dz.dost.16.09.2016)
9. <http://www.werkstatt-stadt.de/de/projekte/45/>(dz.dost.16.09.2016)
10. <http://odnawialnezrodlaenergii.pl/energia-sloneczna-aktualnosci/item/2823-ieo-moc-instalacji-pv-w-polsce-wynosi-119-2-mw> (dz.dost.16.09.2016)
11. Kalkulator Fotowoltaiczny piTERN





# **INFLUENCE OF ENERGY COMPONENTS ON DEVELOPING GROUPS OF DOWNTOWN FLAT HOUSING ON THE EXAMPLE OF STUDENTS' PROJECTS**

Jarosław Figaszewski<sup>1</sup>, Wiesław Olejko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> State University of Applied Sciences in Racibórz, Institute of Architecture, ul. Słowackiego 55, 47-400 Racibórz, jaroslaw.figaszewski@pwsz.raciborz.edu.pl

<sup>2</sup> State University of Applied Sciences in Racibórz, Institute of Architecture, ul. Słowackiego 55, 47-400 Racibórz,, wieslaw.olejko@pwsz.raciborz.edu.pl

## **ABSTRACT**

The examples of students' projects presented in the article emphasize connection that exists between forming groups of downtown flat housing and energy management. They show that assumptions of energy strategy actually can determine introduction of functional and structural-material solutions both for single building and entire settlement. Renewable energy infrastructure to be considered as one with significant meaning. Usage of renewable energy sources has an utilitarian point, it also influences function, form and esthetics of urban planning.

Keywords: housing, energy efficiency, renewable energy infrastructure.

## **INTRODUCTION**

New national legislation, implementing the provisions of EU directive 2010/31/EU are aimed at gradually reducing heat demand in buildings and increasing the use of energy from renewable sources. In the case of the buildings complex, the achievement of such purposes cannot be carried out on the basis of the adopted in an arbitrary manner, without prior analysis, decisions regarding the functional solutions, it cannot also be limited to individual buildings. The imperative of energy efficiency requires more - a comprehensive recognition, which means the inclusion of the energy issues to the design process already at the stage of the urban formation.

The article describes the impact of energy issues on the functional and spatial shaping of the downtown residential buildings in the urban terms. The works of students of architecture in the State School of Higher Professional Education in Racibórz, developed



under the direction of the authors of this study, were applied as a material for an analysis. Their task was to design residential complexes, taking into account the current spatial and technical solutions, gaining energy from the renewable energy sources (RES). The specific urban situations from the city of Racibórz were the basis for the design concepts. The purpose of the research is to determine the applicability of energy components from the RES range in this type of tasks and the assessment of their impact on the shaping of the city.

## **PLACES OF THE URBAN INTERVENTION**

Three city locations were used in the designing activities. Two of them are typical downtown situations: Długosz square and empty quarter between Opawska, Lwowska and Warszawska streets. Their immediate surroundings have a quarter structure which is a fairly strong formal conditionality. This is especially important in the context of the underdevelopment of the modernist architecture in terms of the creation of the urban space. Historical factors are an additional feature. Racibórz has a lot of empty places, remaining after the damages caused during the World War II. A city that once had a clear, decisive quarterly structure lost it. In view of all the above, all urban and architectural activities should aim at supplementing the urban fabric covered by the urban rules, with the main elements being the development quarters, streets and free spaces such as sites, squares, parks, etc.

The third plot, situated at the entrance to Racibórz from the Gliwice side, has a different character. It is located in the area of the chaotic suburban development, so the quarter structure is less visible here. At this point other factors are gaining in importance. The nearby transit road should lead to apply the solutions eliminating or reducing this inconvenience. On the other hand, the location at the entrance to the city leads to the formation of the buildings, which could become a recognizable formal element.

## **SHAPING OF THE DOWNTOWN BUILDINGS COMPLEX IN THE LIGHT OF THE CONDITIONS**

The downtown residential complexes are an essential component of any city. It is difficult to imagine the situation to omit them in the urban planning assumptions, limiting only to the public or industrial buildings. Therefore, despite the fact that the residential buildings are often an inconspicuous "filler" of the urban structure, they are the meaning and essence of the city.

The shaping of the urban buildings complexes has always been dependent on a number of factors. There are two distinct ways of the spatial organization in the urban development. The first deals with irregular, naturally occurring and spontaneous patterns, often derived from the rural structures. The second one concerns the "urban creation", which consists in shaping the structure of the city in accordance with the assumed plan. In most cases, the result was a regular grid of quarters, serviced by streets or other urban spaces (market, square, park, etc.). Both methods of the spa-

tial organization have coexisted with each other from the earliest times. A number of the cities lost their character as a result of the development in accordance with the plan, while others, chaotically developed, tried to be adjusted. The above-mentioned forms, occurring in the various periods of historical development, often occur next to each other. Barcelona is a perfect example, where in the neighbourhood of the medieval district with small, narrow, irregular quarters, a nineteenth-century characteristic regular buildings, stretching in hundreds of hectares, was constructed. The most common planning rule in the history of the urban construction was the allocation of the quarters for the residential buildings in accordance with a previously agreed regulatory plan. The representative examples come from ancient Greece of the classical period (Milet, Priene), but the buildings were subject to the specific rules, earlier in Babylonia and Egypt. There are few examples with a completely freely shaped urban structure. They usually refer to the medieval cities. This is the consequence of the difficulties in maintaining a rigid spatial scheme in the realities of the time, where the defense considerations were required to be located in the difficult-to-access areas, such as hills. The formation and development of the cities were therefore determined by the topographical conditions and by the necessity of limiting the development of the interior space inside the walls. However, even under such conditions, the space was settled in accordance with the certain rules.

Apart from the spatial determinants of the character of the downtown residential buildings are impacted by: geographical location, culture, habits, technical possibilities. The climate is also important. The clear examples of the shaping subordinate to climatic conditions are well known. The urban solutions used in the city of Olynthus in the 5th century BC guaranteed everyone access to the sunny places. A similar approach, though in another spatial reality, was noted in distant Pueblo Bonito, Chaco culture city. The foundation of such activities was to make the building's internal conditions more independent of weather variability, as well as to generate solar radiation for heating purposes. Nowadays, it strengthens positively and reduces a negative impact of the climate, using a wide range of solutions as a result of the technical progress.

The incorporation of energy aspects often leads to the use of greenhouses, solar collectors and photovoltaic structures. They can create some problems in the conditions of the existing quarter buildings. They result from the difficulty of the optimal location of the buildings against the sun, as well as the dangers of the formal monocultures of the residential complex, completely subordinated to the energy requirements.

The increasing energy needs tend to find other sources of energy available in the environment. In addition to solar radiation, the area of interest involves the use of natural forces (e.g. wind blasts, water flow), electromagnetic or acoustic waves, chemical reactions, or the motion of living creatures. The technical solutions to obtain energy from these sources are still often in the experimental phase, especially in the context of their use on a wider scale in the urban areas. The determination of their impact on the adoption of the functional-spatial solutions has not yet been recognized. Their adapta-

tion for the purpose of forming the concept of the downtown buildings complex is the content of the discussed designs.

## **ANALYSIS OF THE TECHNICAL SOLUTIONS**

The solutions applied the student's designs can be divided into generally two groups subordinate to the requirements of the location. The first one includes the designs located outside the city centre, and the other - in the downtown area.

In the first group, the location and shape of the plot did not force the use of the quarterly structure, which does not mean that it was not usable. The approach is an attempt to create a clear formal element at the entrance to the city as one of the main communication arteries. The designed residential structures are of a free character in most cases. The pro-ecological components were the added value, and did not have a clear impact on the adopted functional and formal solutions. This is surprising since for this location the students had the greatest flexibility in shaping the building complex without having to subordinate the quarterly structure of the environment. Various measures were introduced in the design solutions to reduce the negative impact of traffic noise. They consisted of removing the buildings from a road and the construction of additional buildings complex with the accompanying low buildings (covered car parks), slopes, greenery. The energy aspects are disclosed in the adoption of the integrated photovoltaic structures and wind turbines with vertical axis of rotation. These solutions impacted on the design solutions in a variety of ways. In the concept of Kamil Jan (fig.1a), the bridges suspended between the buildings, containing the microturbine structures, are a strong formal accent emphasizing the sculptural character of the complex. In the project of Dominika Zawisza (fig.1c), the curtain shields the building from the noise, thus the communication gallery, defining the geometry of the complex with individualized features. In the design of Marcin Tomczyk (fig.1b), the acoustic insulation elements in a form of vertical structures were used on the side of a busy street, adjacent to the residential buildings. They were assigned an energy function (individual winter gardens, PV cells integrated with the façade). Generally, the solutions adopted for this area were conditioned by the specific character of the plot (the location in the structure of the city, shape) and problems resulting from the proximity of a busy road. The pro-ecological solutions, as an added element, had an impact on the formal image of the complexes, but they were not binding in making strategic decisions.

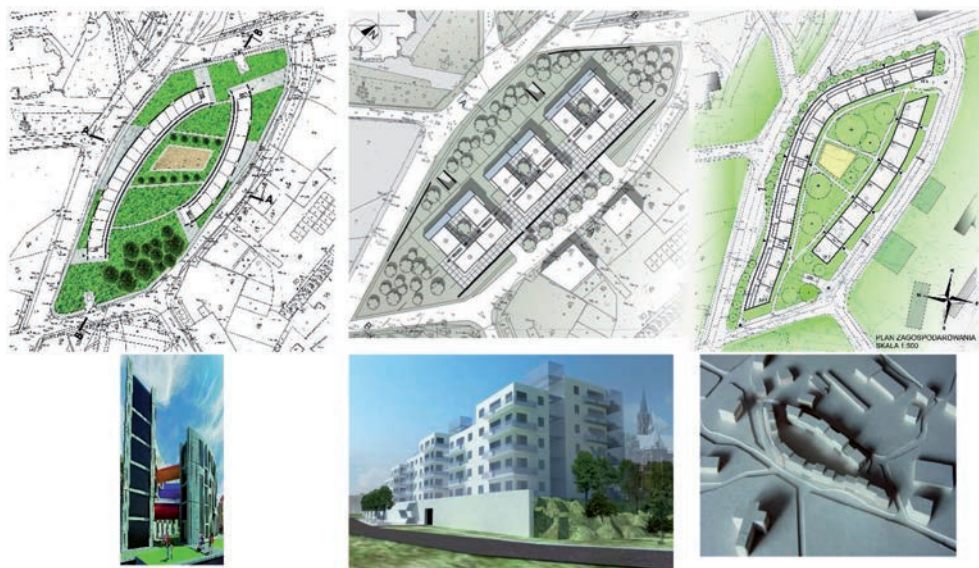


Fig.1 Design solutions located at the entrance to Raciborz: a) the concept of Kamil Jan, b) the concept of Marcin Tomczyk, c) the concept of Dominika Zawisza. The developments of the students of the fourth semester, academic year 2015/2016

A different group involves the designs located in the city centre. The consequence of this was the need to address the existing construction of the quarter's surroundings, and the requirement to maintain the urban character of the space. In most cases, the design concept shows the respect of the regulatory entry in a form of the quarterly structure. The whole range of the solutions covers the maintenance of the building line, creating a traditional quarter, as well as the concepts in which not only the residential buildings but also low accompanying buildings (trade, garages), tree stakes or elements of the RES infrastructure (solar ponds, wind turbines as independent architectural elements). In all the solutions, there are attempts to apply greenery as a tool of the sustainable design tool.

Among the concepts located in the city centre, there are two groups of solutions:

- Referring to the modernist tradition in a manner that takes into account the formal and functional requirements of the quarterly structure in the city centre;
- Referring to the classical quarter structure in a literal manner, tightly filling the space defined by the lines separating the quarter from a street.

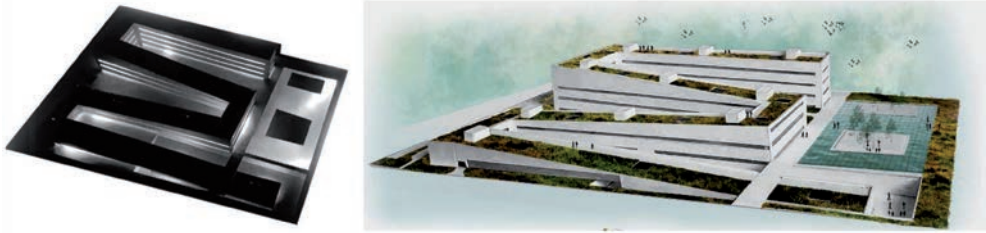


Fig.2 The concept of Klaudia Celińska-Spodar, the fourth semester, academic year 2015/2016

The first group represents the design of Klaudia Celińska-Spodar (fig.2). The whole plot was constructed with the RES infrastructure. The specially shaped building has the integrated photovoltaic cells and green roofs. The space around it, having the characteristics of the public space, was developed with a solar pond and pavements equipped with a piezoelectric installation. The whole must be associated with the modernist manner of the urban development. However, it was enriched with carefully designed public spaces and such a shape of the residential building that, despite its sculptural form, secures precise urban boundaries between the various functions of the quarter.

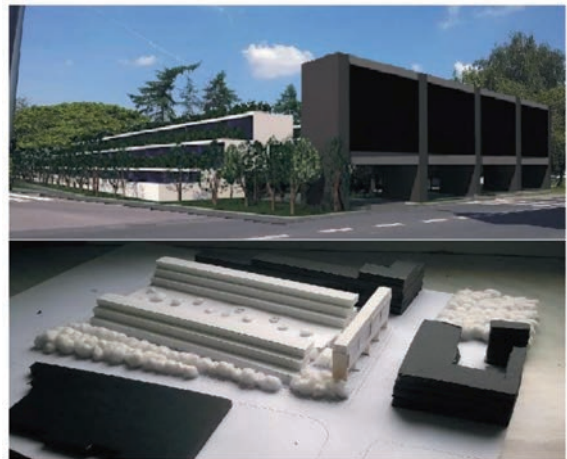


Fig.3 The concept of Jadwiga Wojcieszka, the fourth semester, academic year 2015/2016

In the project Jadwiga Wojcieszka (fig. 3), the quarter is expressed in the terraced buildings, and its green nature is stressed with the green terraces. This configuration needs to be oriented towards the sun, so that the rich tectonics of the buildings is also clear from the inside of the quarter. Placing a multi-station garage between the residential buildings actually weakens this effect, but it can precisely define the boundaries of the whole complex. A vertical system consisting of wind turbines and fans with ventilators for air heat



pumps closes the quarter from Opawska street. The devices were included in a similar plastic frames. In this way, the elements of the RES infrastructure were used to organize the urban space in a way that refers to the traditional urban solutions.



Fig.4 The concept of Aleksandra Mazur, the fourth semester, academic year 2015/2016

In the concept of Aleksandra Mazur (fig. 4), an attempt was made to diversify the energy sources within the quarter. The development of the system resulted in the arrangement of three irregular bands: external buildings with residential structures and a central recreation area. The buildings were divided with greenhouses, thus separating single residential segments. In the development of the recreational space, the innovative solutions in the field of the RES were introduced, adapted to the urban environment. The wind energy-oriented systems imitate large-scale reeds that move at every blow of wind. A newly developed “park” space opens to the city, and incorporates the traditional elements of the landscape architecture integrated into the reed-tree system.

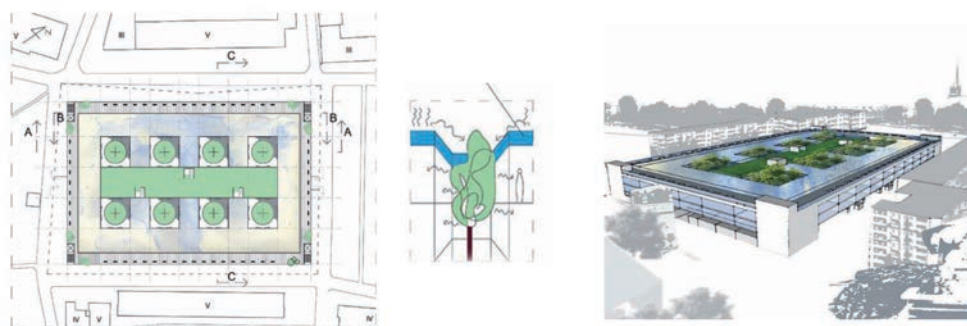


Fig.5 The concept of Sandra Pichlak, the fourth semester, academic year 2015/2016

The design of Sandra Pichlak (fig. 5) is a proposal of a multi-storey building, filling the whole quarter. Patios were used to provide additional lighting to all apartments. The downtown location justified the need to introduce trade and services on the ground floor. The concept includes, apart from the traditional trade, an advanced version of the urban market. The terrain is entirely designed as a roofed urban area, accessible from the outside streets anywhere. For the energy purposes, there is a swimming pool on the roof, acting as a solar pool, and to improve the microclimate of the interior, brine systems are de-

signed in the atria. The roof was made available to the residents of the complex (internal communication divisions) and people from the outside (independent staircases available from the street level). In this way, the city centre gains a completely different public space - a square elevated to a few storeys, providing the opportunity to rest from the urban noise and look at the centre from a different perspective. The project can serve as an example of the implementation of the innovative energy solutions to the traditional formulation of the downtown quarter, resulting in a newly interpreted traditional public space that enhances the city centre's functional attractiveness.

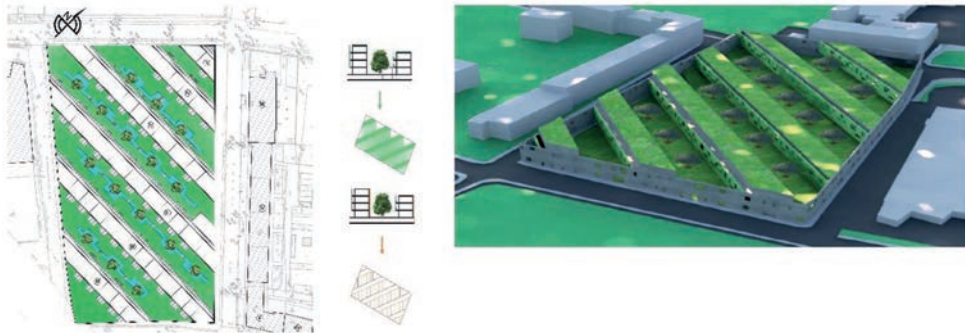


Fig.6 The concept of Paulina Skatula, the fourth semester, academic year 2015/2016

The design of Paulina Skatula (fig.6) confronts the existing urban situation, the records of which dates back to the nineteenth century, with the spatial shaping subordinated to the optimization of the energy solutions. A regular quarter was defined with a three-storey curtain wall, which neutralizes indoor activities. A structure composed of a number of buildings with maximum exposure to the sun was introduced to it. The southern façade has integrated PV cells. In the spaces between the buildings, semi-private recreational spaces with greenery and ponds were organized for the inhabitants. The basic value of the concept is a successful attempt to reconcile the different energy requirements with the requirements of the downtown regulatory plan.

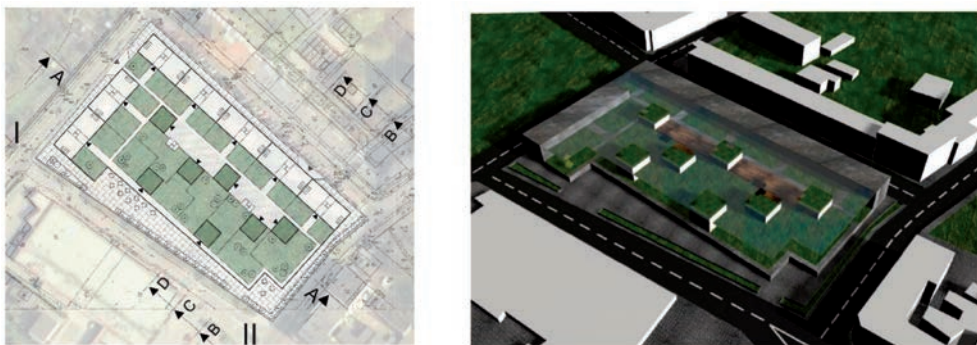


Fig.7 The concept of Sonia Merkel, the fourth semester, academic year 2015/2016



Another approach to the problem is revealed by the concept of Sonia Merkel (fig. 7). The development of the quarter has a clear functional division. The ground floor is designed for a garage zone and trade zone accessible from the street. The residential structure consists of two-storey residential segments located serially on the edge of the plot and free-standing buildings in the centre of the plot. The whole is covered by a transparent cover with integrated PV cells and elements for interior ventilation. It plays a dual role: protects and isolates against changing weather conditions, and also gains the energy of sunlight. As a result, instead of the individual winter gardens, each building received a "microscope", used together in the long term - the buildings were sunk in one common garden.

## **COMPREHENSIVE ACCEPTANCE OF THE ENERGY PROJECTS IN THE LIGHT OF THE ANALYSIS OF THE STUDENTS' DESIGNS**

The concepts of obtaining energy from the renewable sources was stressed in the adopted urban solutions. They are based on various systems and tools in the field of the RES, used commonly or experimentally. Their selection is individual and tends to diversify these sources in order to cover the energy needs of the designed buildings complex and ensure its stability in this area. It depends on climatic conditions, location, physiographic terrain and functional cubature. Although the economic account was not taken into consideration, this factor emerged in a form of the space management. One of the assumptions was the assignment of the energy functions to the elements of the area development. Apart from sporadic cases of the standalone RES structures, bifunctionality of the surface (traditional - usable and energetic) was achieved, by carrying out the basic tasks using new technical and design solutions.

The land development stresses the energy issues by:

- solar exposure of the surfaces oriented towards the acquisition of energy directly from solar radiation or enhancement of the energy effects (acquisition of reflected energy from reflective surfaces, e.g. mirror of ponds);
- the acquisition of the basic public space functions by the system from the scope of the RES (solar pond as a pond remains, piezoelectric systems integrated with strings for pedestrians, PV systems with non-slip surface as walkways, piezoelectric systems that use air traffic visually imitating greenery, solutions using the strength of human muscles at the gym or playground);
- the use of the kinetic energy of the air flow induced by the surrounding traffic for acquisition of electricity (free-standing structure with micro-turbines within the borders of the plots, lanterns equipped with turbines with vertical axis rotation);
- the use of greenery for thermal protection of the buildings (natural protection against cold wind in the winter from the north or excessive insulation in the summer from the south);
- the use of plants and water for cooling the urban interiors.

The impact of the energy issues on the shaping of the buildings became clear as a result of the adoption of the following assumptions:

- the cubature contents - to minimize heat loss through the shape of compact buildings to obtain the beneficial surface ratio of external partitions to volume ( $A/V$ );
- the optimal orientation of the building relative to the Sun, the Earth and the prevailing winds, depending on the functional and energy needs. This has a significant impact on the evolution of the functional zones, the intermediate area (greenhouses), the deployment of storage partitions, the translucent and other technical solutions, impacting on a form of the building;
- the use of the phenomenon of wind nozzles between the buildings to gain wind energy - the construction of complex structures with micro-turbines with vertical axis rotation VAWT;
- the view perforation - the use of open or covered with glass atrial spaces to improve the microclimate as well as lighting and heat conditions inside (brine systems);
- the use of thermo-buffer areas - they are formed by the separated areas under glass, located on both sunny and shaded side, not subject to insulation. They are a thermal buffer between the internal and external environment, causing e.g. the reduction of heat loss in the winter;
- the energy activation of the external partitions of the buildings – the activities within the cover to increase energy efficiency by the use of passive solar heating solutions (glazed façades, large areas of glazing on the south roof, heat stores) and the active integrated solar and wind systems (BIST thermal systems, photovoltaic systems, BIPV/T photovoltaic-thermal hybrids, BIWT micro turbines);
- the development of the surfaces of the partitions by using the additive thermal or photovoltaic components to gain heat or electricity (solar panels, photovoltaic panels, PV cells integrated with technical hoods).

The attempts carried out in the students' designs to take into account the modern systems of passive and active with a range of the RES at the stage of the urban shaping of the downtown buildings complexes allow to formulate the following conclusions:

- the use of the energy components of the RES range has an impact on the urban shape of the building complexes. They depend on the type of energy sources, the specification of the energy acquisition-oriented systems and the degree of integration with the building. The optimization of the design solutions for energy can be the most "conflict" for the quarter structures in the case of the use of energy from solar radiation. The exposure to the Sun is required, which can lead to the adoption of the spatial solutions which are not always congruent with the structure of the environment. The use of the solar techniques in free-form system without any downtown construction rules does not cause any major problems. The use of wind power typically involves the use of turbines on the edges of the plot or requires generating the phenomenon of a wind nozzle in the buildings. However, the piezo-

electric systems associated with the communication strings, which are subordinated to the adopted composition assumptions and require only the connection with the external communication system, do not significantly impact;

- The implementation of the active systems in the existing systems of the downtown buildings, despite the difficulties in reconciling all aspects relevant for both areas: urban planning and technology, can lead to a surprising, new interpretation of the known forms of the urbanism.



# WPŁYW KOMPONENTÓW ENERGETYCZNYCH NA KSZTAŁTOWANIE ZESPOŁÓW ZABUDOWY ŚRÓDMIEJSKIEJ NA PRZYKŁADZIE PROJEKTÓW STUDENCKICH

Jarosław Figaszewski<sup>1</sup>, Wiesław Olejko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PWSZ w Raciborzu, Instytut Architektury, u. Słowackiego 55, 47-400 Racibórz, jaroslaw.figaszewski@pwsz.raciborz.edu.pl

<sup>2</sup> PWSZ w Raciborzu, Instytut Architektury, u. Słowackiego 55, 47-400 Racibórz, Wieslaw.olejko@pwsz.raciborz.edu.pl

## ABSTRAKT

Zaprezentowane w artykule przykłady projektów studenckich uwydatniają związek między kształtowaniem zespołów śródmiejskiej zabudowy mieszkaniowej a gospodarowaniem energią. Pokazują one, że założenia energetyczne mogą determinować przyjęcie rozwiązań funkcjonalnych i strukturalno-materiałowych zarówno w skali budynku, jak i całego osiedla. Szczególną rolę odgrywa infrastruktura OZE. Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii ma wymiar użytkowy, wpływa również na funkcję, formę i estetykę układów urbanistycznych.

Słowa kluczowe: mieszkalnictwo, energooszczędność, infrastruktura OZE.

## WPROWADZENIE

Nowe krajowe regulacje prawne, implementujące postanowienia dyrektywy europejskiej 2010/31/EU mają na celu stopniowe zmniejszanie zapotrzebowania na ciepło w budynkach i zwiększenie wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych. W przypadku zespołów zabudowy osiąganie takich zamierzeń nie może odbywać się na podstawie przyjętych w sposób arbitralny, bez uprzednich analiz, decyzji odnośnie rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych, nie może też ograniczać się do poszczególnych obiektów. Imperatyw energooszczędności wymaga czegoś więcej – całościowego ujęcia, co oznacza włączenie zagadnień energetycznych do procesu projektowania już na etapie kształtowania urbanistycznego.

Przedmiotem niniejszego opracowania jest wpływ zagadnień energetycznych na sposób kształtowania funkcjonalno-przestrzennego zespołów śródmiejskiej zabudowy mieszkaniowej w ujęciu urbanistycznym. Wybór kategorii funkcjonalnej nie jest przypad-

kowy, ponieważ dotyczy obiektów, które wykazują się wysokim zapotrzebowaniem na energię. Jako materiał do analiz posłużyły prace semestralne studentów drugiego roku na kierunku architektura w PWSZ w Raciborzu, wykonane pod kierunkiem autorów niniejszego opracowania. W ramach przedmiotu „Projektowanie urbanistyczne” mieli oni za zadanie zaprojektowanie zespołów zabudowy mieszkaniowej z uwzględnieniem wspólnie stosowanych rozwiązań przestrzennych i technicznych, pozyskujących energię ze źródeł odnawialnych (OZE). Bazą dla koncepcji projektowych były konkretne sytuacje urbanistyczne związane z miastem Racibórz. Celem badań jest określenie możliwości stosowania komponentów energetycznych z zakresu OZE w tego typu zadaniach i próba oceny ich wpływu na kształtowanie urbanistyczne.

## **MIEJSCA INTERWENCJI URBANISTYCZNEJ**

W działaniach projektowych wykorzystano trzy lokalizacje miejskie. Dwie z nich są typowymi sytuacjami śródmiejskimi: Plac Długosza oraz pusty kwartał pomiędzy ulicami Opawską, Lwowską i Warszawską. Ich najbliższe otoczenie posiada strukturę kwartałową, co stanowi dosyć silne uwarunkowanie formalne. Powinno być ono brane pod uwagę w ewentualnych rozwiązaniach koncepcyjnych, zwłaszcza w kontekście niedomogów architektury modernistycznej w zakresie kreowania przestrzeni miejskiej. Dodatkowym czynnikiem są uwarunkowania historyczne. Racibórz posiada wiele pustych miejsc, pozostałych jeszcze po uszkodzeniach, jakie wyrządziła II wojna światowa. Miasto, które kiedyś posiadało czytelną, zdecydowaną strukturę kwartałową, utraciło ją. Wobec powyższego wszelkie działania na polu urbanistycznym i architektonicznym powinny zmierzać do uzupełnienia tkanki miejskiej, ujętej w reguły urbanistyczne, których głównymi elementami są kwartały zabudowy, ulice oraz wolne przestrzenie, takie jak: place, rynki, skwery, parki itp.

Odmienny charakter ma trzecia działka, położona przy wjeździe do Raciborza od strony Rud Raciborskich i Gliwic. Znajduje się ona w obszarze chaotycznej zabudowy o charakterze podmiejskim, zatem struktura kwartałowa jest tutaj mniej widoczna. W tym miejscu zyskują na znaczeniu inne czynniki. Pierwszym jest sąsiedztwo tranzytowej drogi, co powinno prowadzić do zastosowania rozwiązań eliminujących lub ograniczających tę niedogodność. Drugim czynnikiem determinującym charakter tego miejsca jest usytuowanie przy wjeździe do miasta. Poprzez odpowiednie ukształtowanie zespół zabudowy mógłby stać się rozpoznawalnym elementem formalnym.

## **KSZTAŁTOWANIE ZESPOŁÓW ZABUDOWY ŚRÓDMIEJSKIEJ W ŚWIETLE UWARUNKOWAŃ**

Śródmiejskie zespoły mieszkalne są podstawowym składnikiem każdego miasta. Trudno sobie wyobrazić sytuację, aby w założeniach urbanistycznych pominięto je, ograniczając się wyłącznie do budynków użyteczności publicznej lub zabudowy przemysłowej. Dlatego, mimo, że zabudowa mieszkaniowa jest elementem architektury i urbanistyki o charakterze utylitarnym, często niepozornym, „wypełniaczem” struktury miejskiej, stanowi ona sens i istotę miasta.

Kształtowanie zespołów miejskiej zabudowy mieszkaniowej było zawsze zależne od wielu czynników. W rozwoju urbanistycznym można zauważyć dwa, jakże odmienne sposoby ich organizacji przestrzennej. Pierwszy dotyczy układów nieregularnych, powstających w sposób naturalny i spontaniczny, często wywodzący się ze struktur wiejskich. Drugi polega na „kreacji miejskiej”, polegającej na kształtowaniu struktury miasta według założonego planu. W większości przypadków efektem założonego planu była w mniejszym lub większym stopniu regularna siatka kwartałów, obsługiwana przez ulice lub inne przestrzenie typu miejskiego (rynek, plac, park itd). Oba sposoby organizacji przestrzennej współistniały ze sobą od najdawniejszych czasów. Wiele miast założonych planowo zagubiło ten charakter na skutek rozwoju, natomiast inne, rozwijające się chaotycznie, próbowano poddać regulacji. Częstym przypadkiem jest występowanie obok siebie wyżej wspomnianych form, które pojawiły się w różnych okresach rozwoju historycznego. Doskonałym przykładem jest Barcelona, gdzie w sąsiedztwie dzielnicy średniowiecznej z małymi, ciasnymi, nieregularnymi kwartałami, powstała w XIX wieku charakterystyczna dzielnica o regularnych kwartałach, rozciągająca się na setkach hektarów (arch. Ildefons Cerda). Najpowszechniej występującą regułą planistyczną w historii budowy miast było wydzielanie kwartałów pod zabudowę mieszkaniową wg wcześniej ustalonego planu regulacyjnego. Najbardziej klasyczne i dopracowane pochodzą ze starożytnej Grecji okresu klasycznego (Milet, Priene), ale już wcześniej w Babilonii i Egipcie zabudowa podlegała określonym regułom. Niewiele jest przykładów, gdy mamy do czynienia z całkowicie swobodnym kształtowaniem struktury miejskiej. Z taką opcją jest zwykle kojarzony charakter średniowiecznych miast. Jest on następstwem trudności w utrzymaniu sztywnego schematu przestrzennego w realiach świata średniowiecznego, gdzie względy obronności wymagały sytuowania miast w miejscach trudno dostępnych, np. na wzgórzach. Powstawanie lub ich rozwój był zatem zdeterminowany warunkami topograficznymi oraz koniecznością ograniczenia zabudowy do przestrzeni wewnątrz murów obronnych. Ale nawet w takich warunkach zasiedlanie przestrzeni odbywało się według określonych reguł.

Oprócz uwarunkowań przestrzennych na charakter zabudowy mieszkaniowej śródmiejskiej mają wpływ inne czynniki, takie jak położenie geograficzne, kultura, zwyczaje, możliwości techniczne. Istotną rolę odgrywa także klimat. Znane są w przeszłości czytelne przykłady kształtowania podporządkowanego warunkom klimatycznym. Rozwiązania urbanistyczne zastosowane w mieście Olynthus w V wieku p.n.e. gwarantowały każdemu równomierny dostęp do nasłonecznionych miejsc. Podobne podejście, choć w innej rzeczywistości przestrzennej, odnotowano w odległym Pueblo Bonito, mieście kultury Chaco. U podstaw takich działań było uniezależnienie warunków wewnętrznych w budynkach od zmienności warunków pogodowych, jak również pozyskanie energii promieniowania słonecznego dla celów grzewczych. Współcześnie wzmacnia się pozytywne i osłabia negatywne oddziaływanie klimatu, używając do tego celu szerokiej palety rozwiązań, będących następstwem postępu technicznego. W przypadku zespołu mieszkaniowego należy je przewidzieć już na etapie koncepcyjnym projektowania urbanistycznego.



Uwzględnienie aspektów energetycznych prowadzi często do stosowania rozwiązań szklarniowych, kolektorów słonecznych i struktur fotowoltaicznych. Mogą one stwarzać pewne problemy w warunkach istniejącej zabudowy kwartałowej. Wynikają one z trudności optymalnego sytuowania budynków względem słońca, jak również niebezpieczeństwa monokulturowości formalnej zespołu zabudowy mieszkaniowej, całkowicie podporządkowanego wymogom energetycznym. Podobne problemy pojawiły się w przeszłości w okresie modernizmu. Akceptacja założenia, że najważniejszymi elementami kształtowania urbanistycznego zabudowy mieszkaniowej jest światło, zieleń i przestrzeń doprowadziła do powstania struktur urbanistycznych, w których budynki zajmowały optymalne położenie w stosunku do kierunku padania promieni słonecznych. Taka reakcja na rzeczywistość mieszkaniową XIX-wiecznych miast zaowocowała rozwiązaniami, które w późniejszym okresie spowodowały jej kryzys. Przejawiał się on monokulturowością zabudowy oraz trudnościami zdefiniowania obszarów funkcjonalnych, odpowiedzialnych za poczucie bezpieczeństwa, identyfikację oraz kreowanie więzi społecznych na różnych poziomach. Wyszczególnione cechy występują w klasycznych XIX w. rozwiązaniach urbanistycznych, których głównym komponentem jest kwartał, składający się z budynków mieszkalnych. Mimo chwilowego odwrótu od modernizmu, w okresie postmodernizmu filozofia ta jest nadal obecna na całym świecie. Uległa modyfikacjom, często przybiera formułę regionalną, mniej doktrynerską, ale dalej pozostaje w swym zasadniczym kształcie niezmieniona. W kwestii kształtowania śródmiejskich zespołów mieszkaniowych zdaje się wykorzystywać tradycyjną spuściznę urbanistyczną, ale w formie architektonicznej jak najbardziej współczesną. Można stwierdzić, że obecnie temperatura dyskusji na temat form i sposobów realizowania tego typu zabudowy znacznie opadła. Ten typ zabudowy nie jest polem walki ideologicznej, jak to było w latach 20-30. XX wieku.

Wzrastające potrzeby energetyczne skłaniają do poszukiwań innych źródeł energii, dostępnych w najbliższym otoczeniu. Oprócz promieniowania słonecznego, w obszarze zainteresowań jest wykorzystanie sił natury (np. podmuchów wiatru, przepływu wody), fal elektromagnetycznych lub akustycznych, reakcji chemicznych, czy też ruchu żywych stworzeń. Rozwiązania techniczne pozyskujące energię z tych źródeł pozostają jeszcze często w fazie eksperymentalnej, zwłaszcza w kontekście użycia ich w szerszej skali w zabudowie śródmiejskiej. Określenie ich wpływu na przyjęcie rozwiązań funkcjonalno-przestrzennych jest dotąd nierozpoznane. Adaptacja ich dla potrzeb kształtowania koncepcji zespołu zabudowy śródmiejskiej jest treścią omawianych projektów studenckich.

## **ANALIZA ROZWIĄZAŃ PROJEKTOWYCH**

Rozwiązania zastosowane w projektach studenckich można podzielić generalnie na dwie grupy podporządkowane wymogom lokalizacyjnym. Do pierwszej należą projekty umiejscowione poza ścisłym centrum miasta, a do drugiej – w obrębie śródmieścia.



Rys.1 Rozwiązania projektowe umiejscowione przy wjeździe do Raciborza: a) koncepcja stud. Kamila Jany, b) koncepcja stud. Marcina Tomczyka, c) koncepcja stud. Dominiki Zawiszy. Opracowania studentów IV semestru w r.akad. 2015-2016

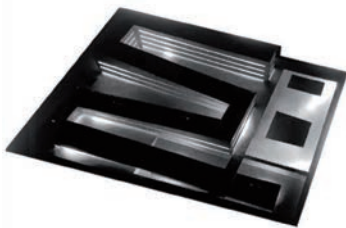
W pierwszej grupie usytuowanie i kształt działki nie wymuszały stosowania kwartałowej struktury, co nie oznacza, że nie była ona możliwa do zastosowania. Widoczne jest raczej podejście, polegające na próbie stworzenia wyraźnego elementu formalnego przy wjeździe do miasta jedną z głównych arterii komunikacyjnych. Zaprojektowane struktury mieszkaniowe w większości przypadków mają swobodny charakter. Komponenty proekologiczne były elementem dodanym i nie miały wyraźnego wpływu na przyjęte rozwiązania funkcjonalno-formalne. Jest to zaskakujące, gdyż właśnie w przypadku tej lokalizacji studenci mieli największą swobodę w kształtowaniu zabudowy, bez konieczności podporządkowania się kwartałowej strukturze otoczenia. W rozwiązaniach projektowych wprowadzono różne zabiegi, mające na celu osłabienie negatywnego oddziaływania hałasu komunikacyjnego. Polegały one na odsuwaniu zabudowy od drogi oraz obudowywaniu zespołu budynków niską zabudową towarzyszącą (kryte parkingi), skarpami, zielenią. Aspekty energetyczne ujawnione są w przyjęciu zintegrowanych struktur fotowoltaicznych i turbin wiatrowych o pionowej osi obrotu. Rozwiązania te w różny sposób wpływały na rozwiązania projektowe. W koncepcji Kamila Jany (rys.1a) pomosty zawieszane pomiędzy budynkami, zawierające struktury mikroturbin są mocnym akcentem formalnym, podkreślającym rzeźbiarski charakter zespołu. W projekcie Dominiki Zawiszy (rys.1c) kurtyna osłania od hałasu budynek, tym samym galerię komunikacyjną, definiując geometrię zespołu o indywidualizowanych cechach. W projekcie Marcina Tomczyka (rys.1b) zastosowano od strony ruchliwej ulicy elementy izolacji akustycznej w postaci pionowych struktur, przylegających do budynków mieszkalnych. Przypisano im funkcję energetycz-

ną (ogrody zimowe przyporządkowane do każdego mieszkania, zintegrowane z fasadą ogniwa PV). Generalnie, rozwiązania przyjęte dla tego terenu były uwarunkowane takimi czynnikami jak: specyficzny charakter działki (położenie w strukturze miasta, kształt) oraz realne problemy, wynikające z bliskości ruchliwej drogi. Rozwiązania proekologiczne jako element dodany miały wprawdzie wpływ na obraz formalny zespołów, ale nie były wiążące przy podejmowaniu decyzji strategicznych w projekcie.

Odminną grupę stanowią projekty zlokalizowane w centrum miasta. Fakt ten ma konsekwencje dwojakiego rodzaju. Pierwszą jest konieczność ustosunkowania się do istniejącej budowy kwartałowej otoczenia. Drugą jest wymóg zachowania śródmiejskiego charakteru przestrzeni. W większości przypadków w koncepcjach projektowych widoczne jest respektowanie zapisu regulacyjnego w postaci struktury kwartałowej. Całe spektrum rozwiązań obejmuje przypadki zachowania linii zabudowy, tworząc wręcz tradycyjny kwartał, jak również koncepcje, w których elementami wyznaczającymi granice kwartałów są nie tylko budynki mieszkalne, ale także niska zabudowa towarzysząca (handel, garaże), szpalery drzew, czy też elementy infrastruktury OZE (stawy słoneczne, zespoły minielektrowni wiatrowych potraktowane jako samodzielne elementy architektoniczne w miejskiej urbanistyce). We wszystkich rozwiązaniach widoczne są próby zastosowania zieleni jako narzędzia zrównoważonego projektowania, w niektórych przyjmując nawet status elementu formotwórczego zabudowy. Warto przybliżyć kilka koncepcji, których rozwiązania są wskazówką, w jaki sposób można uwzględnić współczesną infrastrukturę OZE na poziomie kształtowania urbanistycznego śródmiejskich zespołów zabudowy mieszkaniowej.

Wśród koncepcji sytuowanych w ścisłym centrum miasta można wyróżnić dwie grupy rozwiązań:

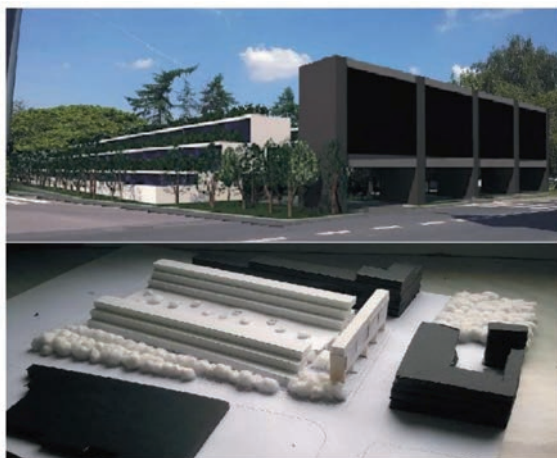
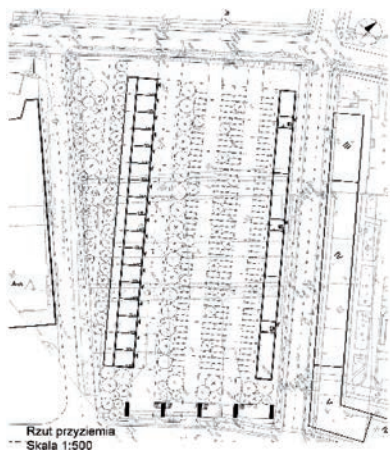
- odwołujące się do modernistycznej tradycji w sposób uwzględniający formalne i funkcjonalne wymogi, jakie stawia struktura kwartałowa w centrum miasta;
- nawiązujące do klasycznej struktury kwartałowej w sposób dosłowny, szczerze wypełniające zabudową przestrzeń określoną liniami rozgraniczającymi kwartał od ulicy.



Rys.2 Koncepcja stud. Klaudii Celiński-Spodar. Opracowania studentów IV semestru w r.akad. 2015-2016

Pierwszą grupę reprezentuje projekt Klaudi Celiński-Spodar (rys.2). Cała działka została zabudowana infrastrukturą OZE. Specyficznie ukształtowany budynek posiada zintegrowane ogniwa fotowoltaiczne i zielone dachy. Przestrzeń wokół niego, mająca cechy przestrzeni publicznej, zagospodarowano stawem słonecznym i chodnikami wyposażonymi w instalację piezoelektryczną. Całość należy kojarzyć z manierą modernistyczną kształtowania urbanistycznego. Została ona jednakże wzbogacona pieczołowicie zaprojektowanymi przestrzeniami publicznymi oraz takim ukształtowaniem budynku mieszkalnego, które mimo rzeźbiarskiej formy, wydziela precyzyjne granice urbanistyczne pomiędzy poszczególnymi funkcjami kwartału.

W kolejnym projekcie (rys.3), którego autorką jest Jadwiga Wojcieszka, kwartał wyrażony jest strukturami przestrzennymi ukształtowanymi tarasowo, a jego proekologiczny charakter uwydatniają zielone tarasy. Ukształtowanie takie wymaga usytuowania w kierunku słońca, dzięki czemu bogata tektonika brył czytelna jest również od wnętrza kwartału. Wstawienie garażu wielostanowiskowego pomiędzy budynkami mieszkalnymi wprawdzie osłabia nieco ten efekt, ale pozwala precyzyjnie wyznaczyć granicę całego zespołu. Przymknięciem kwartału od strony ulicy Opawskiej jest pionowa instalacja, tworząca kompozycję złożoną z turbin wiatrowych i czepni z wentylatorami dla powietrznych pomp ciepła. Urządzenia zostały ujęte w podobną oprawę plastyczną. Tym sposobem elementy infrastruktury OZE wykorzystano do porządkowania przestrzeni śródmiejskiej w sposób nawiązujący do tradycyjnych rozwiązań urbanistycznych.



Rys.3 Koncepcja stud. Jadwigi Wojcieszka. Opracowania studentów IV semestru w r.akad. 2015-2016

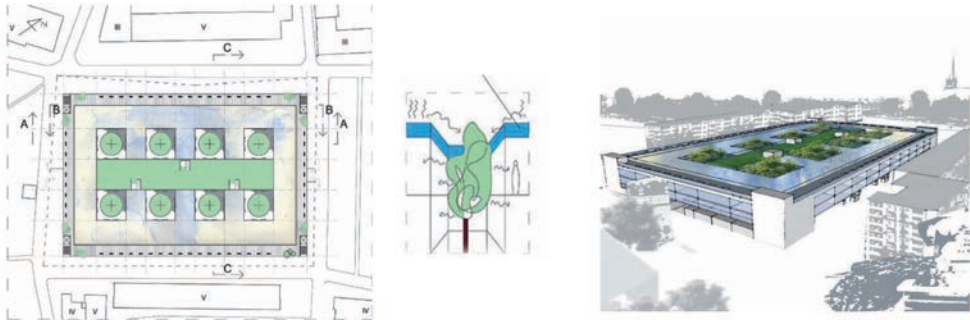
W koncepcji Aleksandry Mazur (rys.4) podjęto próbę dywersyfikacji źródeł energii w obrębie kwartału, co znalazło odzwierciedlenie w sposobie jego zagospodarowania. Uzyskano układ trzech nieregularnych pasm: zewnętrzne zabudowane strukturami



mieszkalnymi i środkowa stanowiąca przestrzeń rekreacyjną. Zabudowę poprzedzielano klasycznymi szklarniami, wyodrębniając tym sposobem pojedyncze segmenty mieszkalne. Szklarnie uczestniczą w biernym pozyskaniu energii cieplnej z promieniowania słonecznego. Zagospodarowanie przestrzeni rekreacyjnej podporządkowane jest wymogom, jakie stawiają nowatorskie rozwiązania z zakresu OZE, zaadaptowane do warunków śródmiejskich. Instalacje zorientowane na pozyskanie energii wiatrowej imitują wielkoskalarne trzciny, które poruszają się przy każdym podmuchu wiatru. Na nowo opracowana przestrzeń „parkowa” otwiera się na miasto i zawiera tradycyjne elementy małej architektury wkomponowane w układ drzew-trzciny.



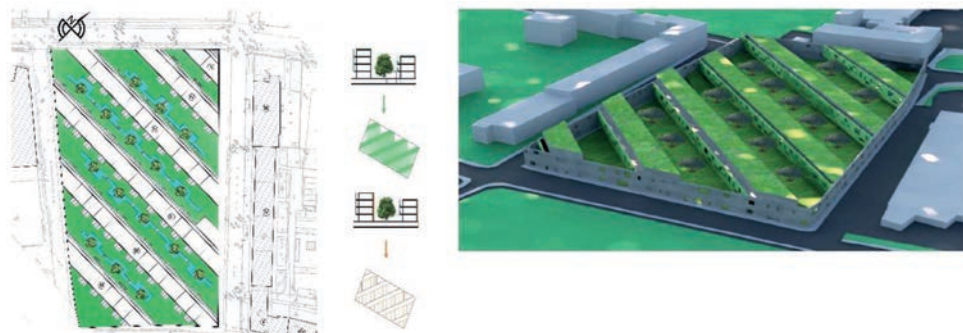
Rys.4 Koncepcja stud. Aleksandry Mazur. Opracowania studentów IV semestru w r.akad. 2015-2016



Rys.5 Koncepcja stud. Sandry Pichlak. Opracowania studentów IV semestru w r.akad. 2015-2016

Cechy klasycznej struktury kwartałowej ujawnia projekt autorstwa Sandry Pichlak (rys.5) – to propozycja kilkukondygnacyjnej bryły, wypełniającej szelnie cały kwartał. W celu doświetlenia mieszkań, znajdujących się wewnątrz struktury, zastosowano patia. Śródmiejska lokalizacja uzasadniła potrzebę wprowadzenia na poziomie parteru handlu i usług. Koncepcja przewiduje oprócz handlu tradycyjnego uwspółcześioną wersję targu miejskiego. Przyziemie zaprojektowano w całości jako zadaszoną przestrzeń miejską typu plac handlowy, dostępną z zewnętrznych ulic w dowolnym miejscu. W celach energetycznych zainstalowano basen na dachu, pełniący funkcję stawu słonecznego, a dla poprawy mikroklimatu wewnątrz zaprojektowano instalacje solankowe w przestrzeniach atrialnych. Dach ze stawem słonecznym udostępniono z osobna mieszkańcom zespołu (wewnętrzne piony komunikacyjne) oraz osobom z zewnątrz (niezależne klatki schodowe dostęp-

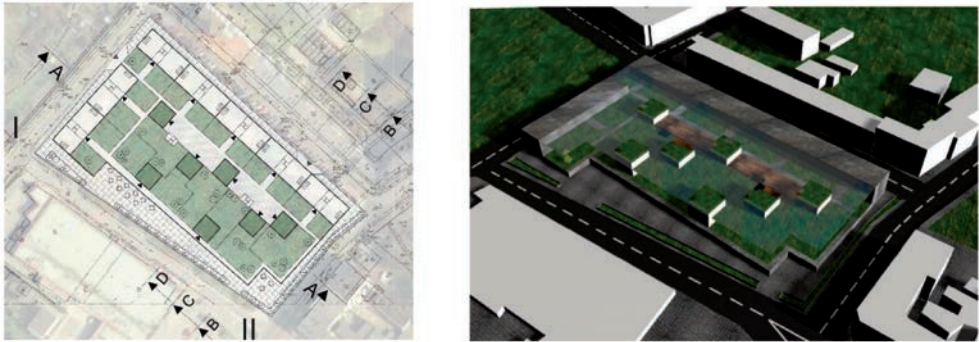
ne z poziomu ulicy). W ten sposób centrum miasta zyskuje zupełnie odmienną w swym charakterze przestrzeń publiczną - plac połączony z wodą wyniesiony na wysokość kilku kondygnacji, dający możliwość odpoczynku od miejskiego hałasu i spojrzenia na centrum z odmiennej perspektywy. Całość uzupełnia strefa parkingowa umieszczona w kondygnacji podziemnej. Projekt może posłużyć jako przykład implementacji nowatorskich rozwiązań energetycznych do tradycyjnej formuły kwartału śródmiejskiego, co skutkuje powstaniem na nowo zinterpretowanej tradycyjnej przestrzeni publicznej, podnoszącej atrakcyjność użytkową centrum miasta.



Rys.6 Koncepcja stud. Pauliny Skatulli. Opracowania studentów IV semestru w r.akad. 2015-2016

Projekt autorstwa Pauliny Skatulli (rys.6) konfrontuje istniejącą sytuację urbanistyczną, której zapis pochodzi z XIX wieku, z kształtowaniem przestrzennym podporządkowanym optymalizacji rozwiązań energetycznych. Regularny kwartał został zdefiniowany trzykondygnacyjną ścianą osłonową, która neutralizuje działania wewnątrz. W jego obrębie wprowadzono strukturę złożoną z szeregu budynków z maksymalną ekspozycją na słońce. Przeszkłone fasady południowe mają zintegrowane ogniwa PV. W przestrzeniach pomiędzy budynkami zorganizowano dla jego mieszkańców półprywatne przestrzenie rekreacyjne z zielenią i sadzawkami. Podstawową wartością koncepcji jest udana próba pogodzenia odmiennych wymogów energetycznych z wymogami planu regulacyjnego śródmieścia.

Jeszcze inne podejście do zagadnienia ujawnia koncepcja Sonii Merkel (rys.7). Zabudowa kwartału ma czytelny podział funkcjonalny. Parter przeznaczony jest na strefę garażową i dostępną od strony ulic usługę w postaci handlu. Struktura mieszkalna składa się z dwukondygnacyjnych segmentów mieszkalnych umieszczonych szeregowo na obrzeżu działki oraz budynków wolnostojących w środku parceli. Całość jest przekryta przezroczystą powłoką ze zintegrowanymi ogniwami PV i elementami umożliwiającymi wentylację wnętrza. Pełni ona podwójną rolę: chroni i izoluje przed zmiennymi warunkami pogodowymi, a także pozyskuje energię z promieniowania słonecznego. W efekcie zamiast indywidualnych ogrodów zimowych przy każdym budynku uzyskano „mikroświat”, który może być wspólnie użytkowany w dłuższej perspektywie czasowej - budynki zatopiono w jednym wspólnym ogrodzie.



Rys.7 Koncepcja stud. Sonii Merkel. Opracowania studentów IV semestru w r.akad. 2015-2016

## **KOMPLEKSOWE UJĘCIE ZAGADNIĘŃ ENERGETYCZNYCH W KSZTAŁTOWANIU PRZESTRZENNYM W ŚWIETLE ANALIZ PROJEKTÓW STUDENCKICH**

W przyjętych rozwiązaniach urbanistycznych zostały uwypuklone koncepcje pozyskania energii ze źródeł odnawialnych. Kształtowane są one w oparciu o różne systemy i narzędzia z zakresu OZE, stosowane powszechnie lub eksperymentalnie. Ich dobór ma charakter indywidualny i zmierza do dywersyfikacji tych źródeł w celu pokrycia potrzeb energetycznych zespołu projektowanej zabudowy i zapewnienia stabilności jego funkcjonowania w tym zakresie. Zależy on od uwarunkowań klimatycznych, lokalizacyjnych, fizjograficznych terenu i funkcjonalnych całego zespołu kubaturowego. Choć rachunek ekonomiczny nie był brany pod uwagę, to czynnik ten ujawnił się w sposobie gospodarowania przestrzenią. Jednym z podstawowych założeń było przypisanie funkcji energetycznych elementom zagospodarowania terenu. Poza sporadycznymi przypadkami wolnostojących struktur z zakresu OZE, osiągnięto bifunkcjonalność powierzchni (tradycyjna – użytkowa i energetyczna), realizując podstawowe zadania przy użyciu nowych rozwiązań technicznych i projektowych.

W zagospodarowaniu terenu uwypatniano zagadnienia energetyczne poprzez:

- ekspozycję słoneczną powierzchni zorientowanych na pozyskanie energii w sposób bezpośredni z promieniowania słonecznego lub też wzmocnienie efektów energetycznych (pozyskanie energii odbitej z powierzchni refleksyjnych, np. zwierciadła sadzawek);
- przejęcie podstawowych funkcji przestrzeni publicznej przez instalacje z zakresu OZE (staw słoneczny jako sadzawka, instalacje piezoelektryczne zintegrowane z ciągami pieszymi, instalacje fotowoltaiczne z powierzchnią antypoślizgową jako chodniki, instalacje piezoelektryczne wykorzystujące ruch powietrza wizualnie imitujące zielen, rozwiązania wykorzystujące siłę ludzkich mięśni na siłowni lub placu zabaw);
- wykorzystanie energii kinetycznej strumienia powietrza wzbudzonego przez okalający ruch uliczny dla pozyskania energii elektrycznej (wolnostojące struktury



z mikroturbinami w granicach działki, latarnie wyposażone w turbiny o pionowej osi obrotu);

- stosowanie zieleni w celu ochrony termicznej budynków (naturalna osłona przed zimnym wiatrem w zimie od północy lub nadmierną insolacją w lecie od południa);
- użycie roślin i wody dla chłodzenia wewnątrz urbanistycznych.

Aby osiągnąć pożądane efekty energetyczne wykorzystano zjawiska fizyczne, zachodzące w budynkach i ich sąsiedztwie przy udziale podstawowych elementów struktury budynków i komponentów dodanych. Oddziaływanie zagadnień energetycznych na kształtowanie zabudowy stało się czytelne wskutek przyjęcia następujących założeń:

- zwartość kubatury - zminimalizowanie strat ciepła poprzez ukształtowanie zwartych brył, aby uzyskać korzystny stosunek powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury ( $A/V$ ). Odpowiednie uformowanie bryły oraz fasady pozwala regulować klimat wnętrza, chroniąc pomieszczenia przed przegrzewaniem w okresach letnich;
- orientacja budynku względem słońca, ziemi i przeważających wiatrów - optymalne zorientowanie budynków względem stron świata w zależności od potrzeb funkcjonalnych i energetycznych, dotyczących wykorzystania ciepła i światła słonecznego. Ma to istotny wpływ na kształtowanie stref funkcjonalnych, przestrzeni pośrednich (struktury szklarniowe), rozmieszczenia elementów przegród akumulacyjnych, przeziernych i innych rozwiązań technicznych, oddziałujących na formę budynku;
- wykorzystanie zjawiska dyszy wiatrowych między budynkami dla pozyskania energii wiatru - zabudowanie szczelin strukturami złożonymi z mikroturbin o pionowej osi obrotu VAWT;
- perforacja rzutu – stosowanie otwartych lub przekrytych szkłem przestrzeni atrialnych do poprawy mikroklimatu oraz warunków oświetleniowych i cieplnych wnętrza (instalacje solankowe);
- stosowanie przestrzeni termobuforowych – tworzą je wydzielone przestrzenie szklarniowe, znajdujące się zarówno po stronie nasłonecznionej, jak również zacienionej, nie podlegającej insolacji. Stanowią bufor termiczny pomiędzy środowiskiem zewnętrznym a mikroklimatem wnętrza, powodując np. ograniczenie strat nagromadzonego ciepła w okresie zimy;
- aktywizacja energetyczna zewnętrznych przegród budynków – działania w obrębie obudowy na rzecz zwiększenia efektywności energetycznej przez stosowanie rozwiązań pasywnego ogrzewania słonecznego (przeszkłone fasady, duże powierzchnie przeszkleń od południa, dachowe magazyny ciepła) oraz aktywnych zintegrowanych systemów słonecznych i wiatro-wych (termalne systemy BIST, systemy fotowoltaiczne BIPV, hybrydy fotowoltaiczno-termalne BIPV/T, mikroturbiny BIWT);
- zagospodarowanie powierzchni przegród przy użyciu addytywnych komponentów termalnych lub fotowoltaicznych dla pozyskania ciepła lub energii elektrycz-

nej (kolektory słoneczne, panele fotowoltaiczne, zintegrowane ogniwa PV z technicznymi osłonami przeciwsłonecznymi).

## **KOŃCOWE WNIOSKI**

Przeprowadzone na podstawie projektów studenckich próby uwzględnienia współczesnych systemów biernych i aktywnych z zakresu OZE na etapie urbanistycznego kształtowania zespołów zabudowy śródmiejskiej pozwalają sformułować następujące wnioski:

- zastosowanie komponentów energetycznych z zakresu OZE ma wpływ na kształtowanie urbanistyczne zespołów zabudowy. Jest on uzależniony od rodzaju źródła energii, specyfiki użytych systemów zorientowanych na pozyskanie energii i stopnia ich integracji z budynkiem. Optymalizacja rozwiązań projektowych pod kątem energetycznym może być najbardziej „konfliktogenna” dla struktur kwartałowych w przypadku wykorzystania energii z promieniowania słonecznego. Wymagana jest bowiem ekspozycja słoneczna, która może skłaniać do przyjęcia rozwiązań przestrzennych nie zawsze zbieżnych ze strukturą otoczenia. Zastosowanie technik solarnych w układach swobodnych nie poddanych rygorom zabudowy śródmiejskiej nie stwarza większych problemów. Wykorzystanie energii wiatru zwykle prowadzi się do zastosowania turbin na obrzeżach działki lub wymaga wywołania zjawiska dyszy wiatrowej w układzie budynków. Natomiast nie mają znaczącego wpływu instalacje piezoelektryczne skojarzone z ciągami komunikacyjnymi, które są podporządkowane przyjętym założeniom kompozycyjnym i wymagają jedynie powiązania z zewnętrznym układem komunikacyjnym;
- implementacja systemów aktywnych w istniejące układy zabudowy śródmiejskiej, mimo trudności w pogodzeniu wszystkich aspektów właściwych dla obu dziedzin: urbanistyki i technologii, może prowadzić do zaskakujących, nowych interpretacji znanych form urbanistyki miejskiej.

# THE USE OF INNOVATIVE MATERIALS AND CONSTRUCTION TECHNOLOGIES IN THE BUILDING INDUSTRY TODAY SELECTED EXAMPLES OF THE EUROPEAN

## ZASTOSOWANIE INNOWACYJNYCH MATERIAŁÓW I TECHNOLOGII BUDOWLANYCH W BUDOWNICTWIE WSPÓŁCZESNYM NA WYBRANYCH PRZYKŁADACH EUROPEJSKICH

Anna Gumińska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Afiliacja: Politechnika Śląska, Wydział Architektury, Katedra Strategii Projektowania i Nowych Technologii w Architekturze RAr-3, ul. Akademicka 7, 44-100 Gliwice, adres e-mail: anna.guminska@polsl.pl

### ABSTRAKT

Rozwój technologiczny i współczesne energooszczędne tendencje w budownictwie wpływają na obecny kształt struktury tkanki zbudowanej w miastach. Szczególnie interesującymi przykładami budownictwa obrazującymi zastosowanie energooszczędnych technologii i materiałów budowlanych są obiekty znajdujące się w miastach duńskich, niemieckich, szwedzkich i norweskich. Przedstawiają one spełnienie najważniejszych założeń energooszczędności i zastosowania odnawialnych źródeł energii w budownictwie, a także różne, mniej inwazyjne możliwości użycia tych materiałów, np. w już istniejących, modernizowanych budynkach.

W pracy analizowano: reakcję architektury na zmiany klimatyczne; czy obiekty są przystosowane do zmiennych klimatycznych; jakie są zastosowane technologie i materiały budowlane; jak dostosowano konstrukcję, otoczenie obiektu.

Problemem badawczym jest pytanie: Jakie działania proekologiczne w budownictwie mają wpływ na przeciwdziałanie zmianom klimatycznym?

Analizowano literaturę przedmiotu, a także obiekty architektoniczne „in situ” podczas wyjazdów studialnych.

Słowa kluczowe: innowacyjne materiały i technologie budowlane, energooszczędne budownictwo, OZE.

## ABSTRACT

Technological development and modern energy-saving trends in the construction industry impact on the current shape of the tissue structure built in the cities. Particularly interesting examples of housing illustrating the use of energy efficient technologies and building materials are the objects in the cities of Danish, German, Swedish and Norwegian. They represent the fulfillment of the main objectives of energy efficiency and use of renewable energy sources in the construction industry, as well as various less invasive possibility of using these materials, eg. In existing renovated buildings.

The study analyzed the reaction of architecture on climate change, whether the objects are adapted to climatic variables, which are used technologies and construction materials, as adjusted construction around the subject.

The research problem is the question: what ecological activities in the construction industry have an impact on climate change?

Analyze literature, as well as architectural objects "in situ" during study trips.

Keywords: innovative materials and construction technologies, energy-efficient buildings, renewable energy sources

## WPROWADZENIE

We współczesnej architekturze europejskiej zauważalne są tendencje do stosowania proekologicznych materiałów i technologii budowlanych. Kierunki te są efektem wprowadzania założeń zrównoważonego rozwoju.

Pojęcie „zrównoważony rozwój” dotyczy nie tylko budownictwa, ale całego środowiska. Wyjaśniono je w raporcie komisji WCED (World Commission on Environment and Development, Światowa Komisja ds. Środowiska i Rozwoju) w 1987 r. Ważnymi dokumentami dotyczącymi tego zagadnienia są także przepisy i dekrety europejskie, w tym polskie: Agenda 21 z 1992 r., Dokumenty końcowe Konferencji Narodów Zjednoczonych Środowisko i Rozwój z 1993 r.; Traktat Amsterdamski z 1997 r.; Konstytucja RP art. 5 – Dz.U. 1997 nr 78 poz. 483; Ustawa Prawo ochrony środowiska – Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627, Dz.U. 2016 poz. 672, 831, 903; Ustawa o efektywności energetycznej – Dz.U. 2016 poz. 831. Istnieje wiele innych dokumentów ukierunkowujących działania zrównoważonego rozwoju na strefę budownictwa wobec zmieniającego się klimatu i potrzeb z tego wynikających.

Główne tendencje zrównoważonego rozwoju zakładają zapewnienie najwyższego poziomu jakości życia dla obecnych pokoleń, z zapewnieniem szans rozwoju dla przyszłych pokoleń. Między innymi zwraca się uwagę na oszczędność zasobów naturalnych, nieniszczenie środowiska naturalnego i zapewnienie infrastruktury odpornej na zmiany klimatu. (Strategia UE w zakresie przystosowania się do zmiany klimatu; Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030; Komunikat Komisji do PE, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Strategia UE w zakresie ogrzewania i chłodzenia). Istotnymi kwestiami poruszonymi w dokumentach dotyczących tego zagadnienia są: poprawa efektywności energetycznej budynków, polepszenie systemu energetycznego, zwiększe-

nie wykorzystania OZE. Założono, iż „duże oszczędności można osiągnąć poprzez proste i tanie renowacje – izolacje poddaszy, ścian i fundamentów oraz stosowanie dwu- lub trzykomorowych przeszkleń. Ważnym wsparciem dla dekarbonizacji ogrzewania i chłodzenia w UE mają być także dobrze zaplanowana zieleń miejska, zielone dachy i ściany, zapewniające budynkom izolację oraz zacienienie” (Komunikat Komisji do PE, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów Strategia UE w zakresie ogrzewania i chłodzenia). Tendencje realizujące wyżej wymienione założenia można podzielić na stosowanie innowacyjnych rozwiązań materiałowych i technologicznych oraz działania planistyczne.

Analizę zagadnienia zawężono do europejskich rozwiązań architektonicznych i omówienia wybranych elementów z wieloaspektowego problemu, jakim jest dostosowanie architektury do zmian klimatu. Dokonano przeglądu literatury przedmiotu, a także zebrano dokumentację zdjęciową „in situ”.

Problem badawczy określono w formie pytania: Jakie przedsięwzięcia proekologiczne w budownictwie mają wpływ na przeciwdziałanie zmianom klimatycznym oraz dostosowanie architektury do tych zmian?

## **ZMIANY KLIMATU – WYBRANE ELEMENTY**

Najważniejsze efekty zmian klimatycznych wpływających na budynek (Wpływ zmian klimatu na gospodarkę, środowisko i społeczeństwo, t. 1, s. 131) są związane między innymi z nasileniem się zjawisk atmosferycznych (powodzie, intensywne opady deszczu, silne wiatry, duże nasłonecznienie). Konsekwencją tego jest konieczność zwiększenia odporności budynków na wymienione nowe zjawiska, na przykład poprzez zabezpieczenie budynku i terenu przed powodzią (hydroizolacje, konstrukcja, „gleba zasklepiona”), oszczędność energii (termoizolacja, wentylacja, chłodzenie, struktura obiektu, materiały budowlane), elastyczność konstrukcji budynku (odporność na silne wiatry, wstrząsy tektoniczne); niwelowanie efektu miasta „wyspy ciepła” (konstrukcja budynku, elewacje budynków, osłona przed ciepłem, słońcem), oczyszczanie atmosfery (np. elewacje budynków).

Także najbliższe otoczenie obiektu, jako integralna część środowiska, może mieć istotny wpływ na sam obiekt (np. stabilność posadowienia), a także na przestrzeń środowiska w aspekcie zmian klimatycznych (np. „gleba zasklepiona”, powodzie, nieodpowiednie wycinanie drzew, zmniejszona stabilizacja gruntu, osuwiska ziemi).

## **MATERIAŁY I TECHNOLOGIE PROEKOLOGICZNE**

W rozwiązaniach architektonicznych proekologicznych stosowane są między innymi następujące technologie i materiały budowlane:

- zielone ściany, ogrody wertykalne mające za zadanie zwiększenie ilości zieleni oraz poprawę mikroklimatu i gospodarki wodnej, dachy zielone, ogrody na elewacjach, np. Pawilon Amerykański na Wystawie Światowej Expo 2015, w Mediolanie, Włochy, wieże mieszkalne z ogrodami wertykalnymi „Bosco Verticale” w Mediolanie, Włochy, Mountain Dwellings w Ørestad City, Kopenhaga, Dania;

- technologie i materiały budowlane do oczyszczania atmosfery, np. betonowa elewacja pawilonu włoskiego na Wystawie Światowej Expo 2015 w Mediolanie, Włochy;
- technologie kontroli światła, blokowanie promieni UV i podczerwieni; zacienianie pomieszczeń, np. technologia SPD Smart Windows w pawilonie amerykańskim, Wystawa Światowa Expo 2015 w Mediolanie, Włochy;
- technologie pozyskujące energię ze źródeł odnawialnych, np. BIQ – Mikroalgi – fasada z mikroalgami do wytwarzania energii oraz kontroli światła i cienia w budynku w Hamburgu, Wystawa IBA, Niemcy;
- wentylacja i ogrzewanie zasilane z energii słonecznej, np. obiekty na Wystawie IBA w Hamburgu, Niemcy;
- kształtowanie struktury obiektów wykorzystujących naturalne zjawiska, np. naturalne oświetlenie, naturalna wentylacja, energia geotermalna; m.in. budynki biurowe: Urząd Miejski Rozwoju i Środowiska w Hamburgu, Wilhelmsburg, Niemcy i Siedziba Główna Federalnej Agencji Środowiska w Dessau, Niemcy;
- stosowanie elementów budowlanych ograniczających zużycie energii, np. wzmocniona izolacja termiczna w wyżej wymienionych obiektach;
- struktura budynku odporna na wiatry, np. Turning Torso w Malmö, Dania;
- stosowanie materiałów naturalnych i nieszkodliwych dla środowiska, inteligentne materiały budowlane, np. Siedziba Główna Federalnej Agencji Środowiska w Dessau, Niemcy.

## WYBRANE PRZYKŁADY BUDYNKÓW I TECHNOLOGII

W pracy wyróżniono następujące kryteria, które w różnym stopniu i w odmienny sposób wpływają na klimat przy pomocy wybranych elementów innowacyjnych, technologicznych i materiałowych:

- kryteria zewnętrzne budynku, otoczenia:
  - elewacje, dachy – zmniejszenie temperatury powietrza, zieleni (zwiększenie ilości zieleni), niwelowanie zanieczyszczeń atmosfery (technologie), energia (pozyskiwanie, oszczędność, OZE), proekologiczne materiały i technologie;
  - zagospodarowanie terenu – ukształtowanie i proporcje materiałów w terenie (woda, zieleni, inne), pozyskiwanie i oszczędność energii (OZE), proekologiczne materiały i technologie;
- kryteria wewnętrzne budynku:
  - struktura budynku – ukształtowanie i budowa proekologiczna, naturalna, oszczędność energii, naturalne procesy biologiczne, OZE, proekologiczne materiały i technologie;
  - konstrukcja – odporność mechaniczna na anomalie pogodowe, proekologiczne materiały i technologie;

Wybór powyższych kryteriów oparty został głównie na przeprowadzonej analizie literatury przedmiotu, a rozpatrywane przykłady technologii i materiałów innowacyjnych

często również występują w obiektach, w których przedstawiane są inne elementy badań. Natomiast o doborze obiektów do analizy zdecydowało zastosowanie danych technologii i materiałów w opisywanym budynku, z zawężeniem do współczesnej architektury mieszkaniowej, biurowej i doświadczalnej.

## **KRYTERIA ZEWNĘTRZNE BUDYNKU, OTOCZENIA – ELEWACJE, DACHY**

Stosowanie zielonych ścian, dachów, ogrodów wertykalnych ma za zadanie poprzez zwiększenie ilości zieleni w mieście poprawę mikroklimatu, gospodarki wodnej i obniżenie temperatury w otoczeniu. Także stosowanie zieleni na dachach i elewacjach może pełnić funkcję dodatkowej izolacji termicznej obiektu, dodatkowej przestrzeni do rekreacji i wypoczynku. Na przykład zielone dachy na wielorodzinnym budynku mieszkalnym z garażami pod spodem Mountain Dwellings w Ørestad City, Kopenhaga, Dania, projektu arch. Bjarke Ingels Group BIG z 2008 r. (Fot. 1, 20) oraz w budynku mieszkalnym 8 House, Big House w Ørestad City, Kopenhaga, Dania, projektu arch. Bjarke Ingels Group BIG z 2008 r. (Fot. 2) ukazują możliwe rozwiązania wprowadzające zieleni do obiektów.

W Mountain Dwellings zastosowano inny niż typowy układ budynku wielorodzinnego, a mianowicie nie kształtowano go wertykalnie, tylko podzielono go w poziomie na poszczególne mieszkania, uzyskując możliwość umieszczenia indywidualnych, małych tarasów z ogrodami dla każdego mieszkania. Dla właściwego nasłonecznienia mieszkań i ogrodów oraz ulokowania miejsc parkingowych dla mieszkańców pod budynkiem cała struktura obiektu wznosi się w kierunku mniejszego nasłonecznienia.

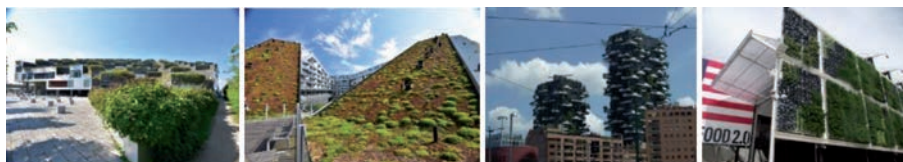
Następnymi przykładami zastosowania zieleni w budownictwie wielorodzinnym są „wieże mieszkalne” z ogrodami wertykalnymi „Bosco Verticale”, arch. Stefano Boeri; 2014 r. w Mediolanie (Fot. 3). Konstrukcję budynku ukształtowano w sposób umożliwiający wprowadzenie dużej ilości zieleni, w tym drzew, oraz zastosowanie systemu nawadniającego-rośliny.

Obiekt wielorodzinny z biurami i powierzchniami użyteczności publicznej 8 House jest także przykładem interesującego kształtowania architektury z zastosowaniem zieleni na dachu i południowej elewacji, gdzie zaprojektowano indywidualne tarasy z zielenią. Budynek ukształtowano w sposób zapewniający jak największe nasłonecznienie poszczególnych mieszkań (plan „8” z otwarciem i zmianą wysokości). Jest to przykład nowej typologii budynku mieszkalno-usługowego.

Do zwiększenia w budynku ilości zieleni czynnej – nie tylko ozdobnej, ale także użytkowej – może przyczynić się umiejscowienie farm i ogrodów wertykalnych na elewacjach. Przykładem takiego ogrodu-farmy wertykalnej może być obiekt Pawilonu Amerykańskiego na Wystawie Światowej EXPO w Mediolanie w 2015 r. (Fot. 4). W pawilonie przedstawiono możliwości pionowych upraw warzyw i owoców. System wertykalnych upraw tutaj zastosowany umożliwi nawodnienie, pielęgnację i zbiory uprawianych roślin z wnętrza budynku przy pomocy obracających się do wewnątrz pionowych pojemników z uprawianymi roślinami.



Stosowanie zwiększonej ilości zieleni może przyczynić się między innymi do zmniejszenia temperatury w mieście, oczyszczania atmosfery oraz do zwiększonej ochrony termicznej obiektów.



Fot. 1 Zewnętrzna zieleni na budynkach – obniżenie temperatury, zwiększenie powierzchni i przestrzeni wegetatywnej; Zielone dachy na wielorodzinnym budynku mieszkalnym z garażami Mountain Dwellings, Ørestad City, Kopenhaga, Dania, projekt arch. Bjarke Ingels Group BIG, 2008; fot. Anna Gumińska, 2016.

Fot. 2 Zielone dachy na wielorodzinnym budynku mieszkalnym 8 House, Big House, Ørestad City, Kopenhaga, Dania, projekt arch. Bjarke Ingels Group BIG, 2008, termoizolacja, zwiększenie powierzchni i przestrzeni wegetatywnej; fot. Anna Gumińska, 2016.

Fot. 3 Wieże mieszkalne z ogrodami wertykalnymi „Bosco Verticale”, arch. Stefano Boeri; 2014, Mediolan, zwiększenie powierzchni i przestrzeni wegetatywnej; fot. Anna Gumińska, 2015.

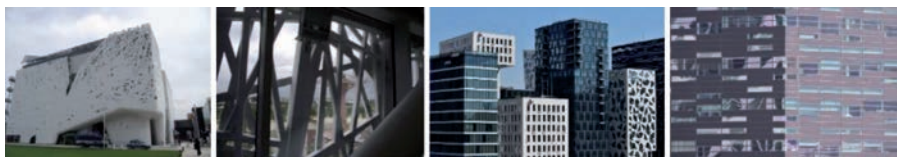
Fot. 4 Zieleni na elewacji, ogrody wertykalne, Pawilon Amerykański, Wystawa Światowa EXPO, Mediolan, 2015, zwiększenie powierzchni uprawnej żywności; fot. Anna Gumińska, 2015.

Innowacyjne technologie i materiały budowlane stosowane na elewacjach budynków mogą służyć do oczyszczania atmosfery. Przykładem takiej oczyszczającej atmosferę elewacji jest betonowa elewacja Pawilonu Włoskiego na Wystawie Światowej Expo 2015 w Mediolanie we Włoszech (Fot. 5, 6, Feeding the Planet Energy for Life, 2015); zastosowano elewację zbudowaną ze strukturalnych betonowych płyt z technologią oczyszczania atmosfery. Zastosowane płyty betonowe „i.active BIODYNAMIC” ze składnikiem aktywnym TX Active firmy Italcementi usuwa w kontakcie ze światłem słonecznym zanieczyszczenia powietrza, przekształcając je w obojętne sole. Cały obiekt w swojej strukturze, technologii i symbolicznie nawiązuje do drzewa. Technologia zastosowana w tym budynku daje możliwość osiągnięcia „0” zapotrzebowania na energię (struktura obiektu, materiały energooszczędne, technologie pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych).

Ważnym aspektem w oszczędzaniu energii jest ochrona przed nadmiernym nasłonecznieniem (Fot. 5-8). Do kontroli nasłonecznienia i zarządzania ilością dostarczanego światła mogą być stosowane technologie kontroli światła, blokowania promieni UV i podczerwieni, służące także do zacielenia i zasłaniania widoku do pomieszczeń, np. technologia SPD Smart Windows. Technologia zastosowana w Pawilonie Amerykańskim na Wystawie Światowej Expo 2015 w Mediolanie we Włoszech (Fot. 9, 10, Feeding the Planet Energy for Life, 2015). Technologia ta umożliwia zmniejszenie wydatków energetycznych na chłodzenie dużych oszklonych pomieszczeń, a także zabezpiecza przed nadmiernym nasłonecznieniem i umożliwia ograniczenie widoczności, przy bardzo prostym, elektronicznym sterowaniu natężeniem przepuszczalności światła w panelach.

Przykładem kontroli światła i cienia w budynku za pomocą szklanych paneli z mikroalgami jest budynek wielorodzinny BIQ – Mikroalgi w Hamburgu na Wystawie IBA w Niemczech (Fot. 11). Jest on budynkiem doświadczalnym w produkcji energii ze źródeł odnawialnych. Fasada tego obiektu zbudowana jest z paneli wypełnionych mikroalgami służących do wytwarzania energii, niwelacji dwutlenku węgla z atmosfery, a także do produkcji biomasy, z której powstaje biogaz. Obecnie system osiąga efektywność zaspokajającą 50% całkowitego zapotrzebowania na energię obiektu. Technologia jest w fazie doświadczalnej.

Inną proekologiczną tendencją jest stosowanie w elewacjach wielokubaturowych budynków mniejszej ilości oszklenia i materiałów odbijających słońce. Przyczynia się to do zmniejszenia temperatury (oprócz wewnętrznej temperatury w budynku) otoczenia budynku, a tym samym do poprawy parametrów mikroklimatu w danej przestrzeni (Fot. 7, 8).

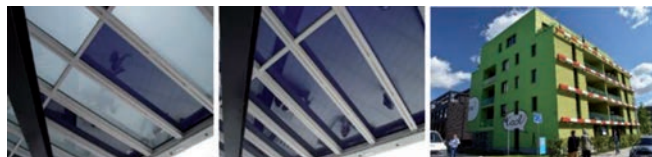


Fot. 5 Zastosowanie materiału budowlanego na elewacji oczyszczającego atmosferę z zanieczyszczeń, a także zmniejszenie powierzchni odbijającej słońce; Pawilon Włoski, Wystawa Światowa EXPO, Mediolan, 2015; fot. Anna Gumińska, 2015.

Fot. 6 Zastosowanie materiału budowlanego na elewacji oczyszczającego atmosferę z zanieczyszczeń; detal elewacji z płyt betonowych i.active BIODYNAMIC widziane od wnętrza pawilonu, Pawilon Włoski, Wystawa Światowa EXPO, Mediolan, 2015; fot. Anna Gumińska, 2015.

Fot. 7 Zmniejszenie powierzchni odbijającej słońce w obiektach Oslo Barcode, Fjord City, projekt. Dark Arkitekter, A-Lab oraz MVRDV, Oslo, Norwegia, fot. Anna Gumińska, 2016.

Fot. 8 Zmniejszenie powierzchni odbijającej słońce w Oslo Barcode, nowa dzielnica miasta Fjord City, projekt. Dark Arkitekter, A-Lab oraz MVRDV, Oslo, Norwegia; detal elewacji jednego z obiektów; fot. Anna Gumińska, 2016.



Fot. 9 Technologia SPD Smart Windows zastosowana w Pawilonie Amerykańskim na Wystawie Światowej Expo 2015 w Mediolanie we Włoszech, panele częściowo „otwarte” na światło; fot. Anna Gumińska, 2015.

Fot. 10 Technologia SPD Smart Windows zastosowana w Pawilonie Amerykańskim na Wystawie Światowej Expo 2015 w Mediolanie we Włoszech, panele częściowo „zamknięte” na światło; fot. Anna Gumińska, 2015.

Fot. 11 BIQ – Mikroalgi – fasada z mikroalgami do wytwarzania energii, kontroli światła i cienia w budynku w Hamburgu, IBA, Niemcy; zdjęcie budynku bez paneli z mikroalgami; fot. Anna Gumińska, 2015.

Wymienione kryteria dotyczą zewnętrznych części budynku, takich jak: elewacje, dachy. Zastosowane technologie i materiały wpływają na: niwelowanie zanieczyszczeń atmosfery (technologia betonu oczyszczającego atmosferę, zwiększona ilość zieleni), oszczędność, pozyskiwanie i produkcję energii (panele z mikroalgami), zmniejszenie temperatury powietrza, budynku (zwiększenie ilości zieleni, ograniczenie powierzchni odbijającej słońce).

## **KRYTERIA ZEWNĘTRZNE BUDYNKU, OTOCZENIA – ZAGOSPODAROWANIE TERENU**

Równie ważnym aspektem, oprócz właściwego, proekologicznego i energooszczęd- nego ukształtowania samego budynku, jest zagospodarowanie terenu wokół niego uwzględniające zrównoważony rozwój. Do elementów tych można zaliczyć: ukształtowanie terenu z naturalnych materiałów takich jak żwir, unikanie tzw. „zasklepionej gleby” nieprzepuszczającej wody, zieleń, zbiorniki wodne, inne naturalne elementy zagospodarowania, a także pozyskiwanie energii ze źródeł odnawialnych, proekologiczne, naturalne materiały i innowacyjne technologie. Przykładem ukazującym takie zagospodarowanie są wewnętrzne dziedzińce w budynku mieszkalnym 8 House w Ørestad City, Kopenhaga, Dania, projektu arch. Bjarke Ingels Group BIG z 2008 r. (Fot. 2). Znajduje się tutaj zieleń ogólnodostępna, teren jest zróżnicowany, przejścia wysypane żwirem.

Przykładem wpływania na mikroklimat miasta poprzez zmniejszenie temperatury na zewnątrz są domy na wodzie w Amsterdamie w Holandii (Fot. 12) i w Hamburgu w Niemczech (Fot. 13). Osiedle pływających domów na wodzie w Amsterdamie w Holandii (Fot. 12) usytuowane jest w zatoce i domy „przycumowane” są do pomostów połączonych z lądem. Takie położenie budynków umożliwia także wodną komunikację. Architektura tych obiektów jest zróżnicowana, z zastosowaniem różnych materiałów, ale ograniczona jednakowymi parametrami maksymalnej kubatury sześcianów. Stała temperatura wody zapewnia oszczędności energii i dobry mikroklimat.

Kompleks w Hamburgu składa się z trzech budynków z 3 niezależnymi 2-piętrowymi mieszkaniami i 9-kondygnacyjnej wieży z 22 mieszkaniami. Wszystkie budynki usytuowane są w zbiorniku wodnym, który jest magazynem wody deszczowej. Woda pełni tu także rolę zmniejszania temperatury otoczenia, a tym samym poprawy mikroklimatu. Budynki są skonstruowane w standardzie domów pasywnych. Geotermalna pompa ciepła wykorzystuje wodę do ogrzewania domów, a elementy solarne w elewacji zapewniają ciepłą wodę.



Fot. 12 Technologia Domy na wodzie Steigereiland Zuidbuurt IJburg, Steigereiland, Amsterdam, Holandia, 2003-2010; fot. Anna Gumińska, 2015.

Fot. 13 Domy na wodzie IBA Hamburg, WaterTower 9/TriPlex Houses 3 (Schenk + Waiblinger Architekten, Hamburg) Hamburg, Niemcy, 2011-2013; fot. Anna Gumińska, 2015.

Omawiane wybrane części obiektów są przykładami wpływu zewnętrznych elementów budynku i zagospodarowania terenu na środowisko i odpowiedź architektury na zmiany klimatyczne.

## **KRYTERIA WEWNĘTRZNE BUDYNKU – STRUKTURA BUDYNKU**

Ważnym zagadnieniem w zrównoważonym rozwoju jest kształtowanie struktury obiektów wykorzystujących naturalne oświetlenie, wentylację, energię geotermalną (np. budynki biurowe w Niemczech, w Hamburgu i Dessau).

Przykładem obiektu z zastosowanymi różnymi rozwiązaniami proekologicznymi jest Urząd Miejski Rozwoju i Środowiska w Hamburgu projektu arch. Sauerbruch Hutton Architekten, Berlin z 2013 r. (Fot. 14). Zmniejszenie zużycia energii w budynku osiągnięto przez połączenie środków czynnych i biernych, a mianowicie wzmocniona została izolacja termiczna, w fasadzie zastosowano okna o potrzebnej, ograniczonej przejrzystości, chroniące przed intensywnym światłem słonecznym. W wyniku rozczłonkowania obiektu uzyskano naturalne oświetlenie i wentylację pomieszczeń, zastosowano pozyskiwanie energii słonecznej i energii geotermalnej.

Kolejnym przykładem efektywnego energetycznie budynku jest Siedziba Główna Federalnej Agencji Środowiska w Dessau w Niemczech projektu Biura Sauerbruch & Hutton-Matthias Sauerbruch, Niemcy i Louisa Hutton, Anglia z 2005 r. (Fot. 15). Zastosowano podobne rozczłonkowanie bryły budynku jak w poprzednim przykładzie dla uzyskania optymalnego oświetlenia wewnątrz i dobrej wentylacji naturalnej. Okna budynku posiadają system podwójnych okien, który odbija nadmiar światła, rozprasza je i pozwala użytkownikowi na kontrolę temperatury w pomieszczeniu, a dodatkowa szyba chroni przed olśnieniem. Zewnętrzne fasady są w 40% przeszklone, a w 60% pokryte są kompozycją z podwójnie szklonych paneli okiennych zbudowanych z drewna modrzewiowego i bezpiecznego szkła w 33 różnych odcieniach. W tym czterokondygnacyjnym budynku zastosowano technologie energooszczędne: ściany działowe wykonane są z cegły Clay (dla zwiększenia masy termicznej), atrium pełni rolę bufora klimatycznego regulującego temperaturę, wody podziemne służą jako magazyn sezonowy, nocne chłodzenie obiektu wykorzystuje zmotoryzowane panele wentylacyjne, panele słoneczne umieszczone są na dachu, znajdują się tu również czerpnie powietrza geotermalnego, wymiennik ciepła

oraz inne materiały ekologiczne, jak: miedź cynowana, izolacja z celulozy, na zewnątrz modrzew.



Fot. 14 Struktura budynku – ograniczenie przeszkleń, dobra, wzmocniona izolacyjność termiczna i rozcłonkowanie bryły budynku; Urząd Miejski Rozwoju i Środowiska, Hamburg-Wilhelmsburg, Niemcy, 2013 (arch. Sauerbruch Hutton Architekten, Berlin); fot. A. Gumińska, 2015.

Fot. 15 Efektywny energetycznie budynek – Siedziba Główna Federalnej Agencji Środowiska, Dessau, Niemcy, 2013 (arch. Sauerbruch Hutton Architekten, Berlin); fot. A. Gumińska, 2015.

Następnym przykładem obiektu proekologicznego jest osada Energy-plus-house w dzielnicy Vauban Freiburg, zbudowana w latach 2000–2005, proj. Rolf Disch (Fot. 16, 17). Osada Energy-plus-house składa się z mniejszych ciągów budynków szeregowych i kompleksu mieszkalno-biurowo-usługowego Sun Ship z podziałem wewnętrznej przestrzeni na poszczególne kategorie z różnorodnym zagospodarowaniem, z użyciem dużej ilości zieleni i materiałów możliwych do ponownego recyklingu.

Energy-Plus to kompleks budynków, który produkuje więcej energii niż wykorzystuje sam oraz uzyskuje pozytywny bilans energetyczny z brakiem emisji CO<sub>2</sub>. Możliwe jest to dzięki połączeniu technologii niskoenergetycznych technik budowlanych (pasywne projektowanie budynków solarnych, izolacja próżniowa, w przestrzeniach biurowych zastosowanie 3-warstwowych dużych okien oszczędzających oświetlenie sztuczne), ukształtowania struktury obiektu i zagospodarowania terenu (duże ilości zieleni, materiały naturalne, „niezasklepiona gleba”).



Fot. 16 Osada Energy-plus-house zbudowana w latach 2003-2008, proj. Rolf Disch, Vauban, Fryburg Bryzgowijski, Niemcy, makieta obiektu, obiekt z częścią biurowo-usługowo-mieszkalna Sun Ship; fot. Anna Gumińska, 2015.

Fot. 17 Osada Energy-plus-house zbudowana w latach 2003-2008, proj. Rolf Disch, Vauban, Fryburg Bryzgowijski, Niemcy, wewnątrz założenia z mieszkalnymi budynkami w zabudowie szeregowej; fot. Anna Gumińska, 2015.

Na przedstawionych przykładach ukazano potrzebę zblizonego do natury kształtowania struktury obiektu. Ukształtowanie takie może przyczynić się do znacznych oszczędności energii.

## KRYTERIA WEWNĘTRZNE BUDYNKU – KONSTRUKCJA BUDYNKU

W zmieniającym się klimacie, przy nasilających się anomaliach pogodowych ważnym elementem budynku jest jego konstrukcja odporna na obciążenia wiatrem. Ciekawym przykładem jest budynek Turning Torso w Malmö w Szwecji projektu Santiago Calatrava, z lat 1999-2005 (Fot. 18, 19). Jest to obiekt o wysokości 190 m, 54-kondygnacyjny, o funkcji biurowo-mieszkalnej. Konstrukcja nośna uwidoczniona jest na elewacji, bryła jest od podstawy do szczytu przekręcona o 90 stopni. Konstrukcja obiektu to połączenie betonowego rdzenia (wspomaga cyrkulację pionową, stanowi też podporę dla części mechanicznych, instalacji elektrycznych i hydraulicznych oraz systemu wentylacji budynku) z konstrukcją szkieletową (jeden stalowy, helikoidalny słup – tzw. „szkielet zewnętrzny” połączony z poziomymi i ukośnymi wspornikami, które łączą go z betonowymi, poziomymi ścianami, przenoszącymi obciążenie na betonowy rdzeń). Elewacja wieży wykonana jest z profili aluminiowych, stanowiących oprawę kondygnacji okiennych. Struktura ta nadaje stabilność całej horyzontalnej konstrukcji. Takie ukształtowanie obiektu zapewnia elastyczność przy dużych i nagłych obciążeniach wiatrem, co zwiększa odporność konstrukcji.



Fot. 18 Struktura budynku Turning Torso w Malmö w Szwecji projektu Santiago Calatrava, 1999-2005; fot. Anna Gumińska, 2016.

Fot. 19 Turning Torso w Malmö w Szwecji projektu Santiago Calatrava, 1999-2005, detal konstrukcji; fot. Anna Gumińska, 2016.

## PODSUMOWANIE

Sposób kształtowania architektury zarówno nowopowstającej, jak i tej modernizowanej wskazuje na świadomość społeczną, a także unormowania prawne odzwierciedlające zasady zrównoważonego rozwoju. Wybrane przykłady ukazują duże możliwości dostosowywania różnych typów obiektów do wymagań proekologicznych. Zauważyć również należy stosowanie naturalnych, rodzimych materiałów w budownictwie, co jest też odpowiedzialnością na ekologiczne kształtowanie środowiska.

Z pewnością omawiane działania mają wpływ na poprawę jakości środowiska naturalnego oraz są mniej inwazyjne dla środowiska. Działania takie muszą być długoterminowe, wielozakresowe i o dużym zasięgu, aby miały wpływ na jakość życia mieszkańców i stan środowiska.

Przedstawione przykłady są jedynie kilkoma wybranymi działaniami, mającymi na celu przystosowanie obiektów do aktualnych potrzeb, w szczególności klimatycznych. Ukazują one technologie i materiały budowlane mające za zadanie oszczędzanie energii, oczyszczanie atmosfery, co jest kierunkiem zgodnym ze zrównoważonym rozwojem. Ukazują



różnorodność zastosowanych środków do ochrony środowiska naturalnego i przystosowania infrastruktury do zmieniającego się klimatu.

Jednak czy działania omówione powyżej wystarczą do poprawy środowiska naturalnego i jakości życia mieszkańców? Z pewnością wieloaspektowe przedsięwzięcia, prowadzące do uodpornienia architektury na zmiany klimatyczne poprawią warunki życia jej teraźniejszych i przyszłych użytkowników. Z pewnością nie wystarczy projektowanie i wytwarzanie przyjaznych dla środowiska budynków, ale konieczne jest połączenie i zintegrowanie koncepcji ekologicznej z architektoniczną, co zapewni efektywną poprawę stanu środowiska.



Fot. 20 Ogrody na dachu wielorodzinnego budynku mieszkalnego Mountain Dwellings, Ørestad City, Kopenhaga, Dania, projekt arch. Bjarke Ingels Group BIG, 2008; fot. Anna Gumińska, 2016.

## LITERATURA

1. Błaszczński T., Ksit B., Dyzman B., *Budownictwo zrównoważone z elementami certyfikacji energetycznej*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2012, ISBN 978-83-7125-197-9, s. 84-152.
2. *Feeding the Planet Energy for Life*, Official catalogue Expo Milano 2015, 24Ore Cultura – Electa, Mediolan 2015, ISBN: 978-88-918-0484-6, s. 46-49, 95, 156.
3. Gorgoń J., Zespół GIS, *Adaptacja miast polskich do skutków zmian klimatu*, Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych w Katowicach, Katowice, 26.02.2015., [www.ietu.katowice.pl](http://www.ietu.katowice.pl); dostęp: 15.09.2016.
4. *IBA Hamburg, Projects and Concepts, Catalogue for the Interim Presentation 2010*, Jovis Verlag GmbH, Berlin 2010, ISBN 978-3-86859-072-2, s. 33, 119-155.
5. *Konstytucja RP*, art. 5 - Dz.U. 1997 nr 78 poz. 483; s. 2. <http://isap.sejm.gov.pl/Download?id=WDU19970780483&type=3>, dostęp: 18.09.2016.
6. Rabiej J., *Architektura. Sztuka transfiguracji*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013, ISBN 978-83-7880-144-3, s. 57-62.
7. *Ramowa konwencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, Dokumenty końcowe Konferencji Narodów Zjednoczonych „Środowisko i Rozwój» z 1992 r.*; [https://www.mos.gov.pl/fileadmin/user\\_upload/srodowisko/Ramowa\\_Konwencja\\_Narodow\\_Zjednoczonych\\_w\\_sprawie\\_zmian\\_klimatu.pdf](https://www.mos.gov.pl/fileadmin/user_upload/srodowisko/Ramowa_Konwencja_Narodow_Zjednoczonych_w_sprawie_zmian_klimatu.pdf), dostęp: 18.09.2016.



8. *Strategia UE w zakresie ogrzewania i chłodzenia*, Komunikat Komisji do PE, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, 16.02.2016 r., <https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/PL/1-2016-51-PL-F1-1.PDF> dostęp: 18.09.2016.
9. *Strategia UE w zakresie przystosowania się do zmiany klimatu*; <https://klimada.mos.gov.pl/wp-content/uploads/2013/04/COM2013-216-final.pdf>, dostęp: 18.09.2016.
10. *Strategiczny plan adaptacji dla sektorów i obszarów wrażliwych na zmiany klimatu do roku 2020 z perspektywą do roku 2030*, <https://klimada.mos.gov.pl/wp-content/uploads/2013/11/SPA-2020.pdf>, dostęp: 18.09.2016.
11. *Traktat Amsterdamski*, 1997 r.: [http://oide.sejm.gov.pl/oide/images/files/dokumenty/traktaty/Traktat\\_amsterdamski\\_PL\\_1.pdf](http://oide.sejm.gov.pl/oide/images/files/dokumenty/traktaty/Traktat_amsterdamski_PL_1.pdf), dostęp: 18.09.2016.
12. *Ustawa o efektywności energetycznej* – Dz.U. 2016 poz. 831. <http://dziennikustaw.gov.pl/du/2016/831>, dostęp: 18.09.2016.
13. *Ustawa Prawo ochrony środowiska* – Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 627, Dz.U. 2016 poz. 672, 831, 903; <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20010620627>, dostęp: 18.09.2016.
14. *Wpływ zmian klimatu na gospodarkę, środowisko i społeczeństwo, projekt badawczo-rozwojowy nr POIG 01.03.01-14-011/08-00 KLIMAT*, [http://klimat.imgw.pl/?page\\_id=1540](http://klimat.imgw.pl/?page_id=1540), dostęp: 15.09.2016:
15. TOM 1: *Warunki klimatyczne i oceanograficzne w Polsce i na Bałtyku południowym – spodziewane zmiany i wytyczne do opracowania strategii adaptacyjnych w gospodarce krajowej*, pod red. Joanny Wibig i Ewy Jakusik, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012, ISBN 978-83-61102-65-6; s. VI, 131.
16. TOM 2: *Zmiany klimatu a monitoring i prognozowanie stanu środowiska atmosferycznego*, pod red. Michała Ziemiańskiego i Leszka Ośródk; Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012, ISBN 978-83-61102-66-3.
17. TOM 3: *Klęski żywiołowe a bezpieczeństwo wewnętrzne kraju*, pod red. Haliny Lorenc; Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012, ISBN 978-83-61102-67-0, s. 300-302.
18. TOM 4: *Zrównoważone gospodarowanie zasobami wodnymi oraz infrastrukturą hydrotechniczną w świetle prognozowanych zmian klimatycznych*, pod red. Wojciecha Majewskiego i Tomasza Walczykiewicza; Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012, ISBN 978-83-61102-68-7.



# **CONTEMPORARY DEVELOPMENT OF HISTORICAL BRICK NOGGED TIMBER WALL BUILDINGS INSULATION - CASES STUDY**

Agnieszka Szymanowska-Gwizdź<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Silesian University of Technology, Faculty of Civil Engineering, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, agnieszka.szymanowska-gwizdz@polsl.pl

## **ABSTRACT**

The article presents the example of contemporary development of the insulation of historical buildings, built in technology of half-timbered walls, preserved in Upper Silesia. There are trade objects among them, subjected to renovation treatments in the past, without the improvement of partitions' insulation, but also the ones existing as uninhibited buildings of poor technical state. Effective improvement of thermal state of such buildings is possible by the use of modern materials, provided properly selected technology, precise diagnosis of the existing situation and application of appropriate design methods. Analysis of examples shows the possibility of obtaining positive thermal effects, improving the quality of use, but also the risk of occurrence of adverse temperature and humidity effects in partitions. Their omission may result in deterioration of the technical condition and the conditions of use during the operation of facilities.

Keywords: brick nogged timber wall, historical buildings, internal insulation, buildings insulation.

## **INTRODUCTION**

The legal requirements in Poland for thermal protection impact on the shaping of activities related to the design of new buildings but also the maintenance and operation of the existing buildings. In newly designed buildings, proper insulation of the building partitions together with the required energy efficiency is possible due to the appropriate application of the modern technologies and materials by a designer. In the case of the existing buildings, which have been operated for years under certain climatic conditions, the improvement of the thermal parameters cannot be achieved by means of the thermal upgrading treatment without taking account of their existing condition. Currently, there are cases of humidity increase in the insulation of the external walls of the buildings, i.e. fungus visible from the premises side. The cause of this phenomenon should be seen in

ignoring the initial moisture content of the partitions, the wrongly selected solutions or the use of the simplified calculation methods. As far as the buildings subjected to a conservator protection, the insulation is applied from the inside of the buildings. Such solutions require the use of more advanced design methods taking into account the nature of the building and its operation. The positioning of the insulating material on the inside is not correct from the construction physics point of view, e.g. because of the risk of condensation of diffusing water vapour. The contemporary material solutions will allow for an effective improvement of the thermal insulation of the building partitions through internal insulation provided that the calculations are correctly carried out prior to a detailed analysis of the existing condition, taking into account the actual external climate conditions and the conditions related to the use of the premises. A special case for this type of the solutions involves the buildings with heterogeneous construction of walls, e.g. made as a wooden frame with brick fillings, the so-called Prussian wall. Such constructions were used at the turn of the 19th and 20th centuries also in present areas of the Upper Silesia region.

## **SILESIA HOUSES MADE OF THE PRUSSIAN WALL - EXAMPLES**

Among the preserved examples of the Prussian wall houses in Silesia, a large group of buildings are constructed within the settlements constructed under the so-called patronage settlements. They come mainly from the turn of the 19th and 20th centuries, and their origin is mainly connected with the development of the industry in this region. Such examples involve Zandka settlement in Zabrze, constructed during the operation of Donnersmarck steelworks or the workers' colony in Zabrze Rokitnica, associated with Castellen coal mine of earl Ballestrem. These buildings were constructed within the settlements originally intended for the workers, with the whole sets of buildings and social facilities. The objects of such a structure are also found in the settlements of Bytom and Ruda Śląska. In Pyskowice, there is a preserved settlement, the development of which was conditioned by the events connected with the formation of the railway junction.

A wooden frame structure with ceramic brick fillings was found in Silesia as a stand-alone in the whole buildings or it characterized only parts of the objects. In multi-family houses, it was used in the upper parts of the buildings, mainly in non-usable attics, but also in staircases. It was used to construct the walls of the last floors, or the partitions of unheated spaces, such as staircases or sometimes attics.

An example of a building with the Prussian wall in Gliwice is the building of the present State Music School, dating back to the beginning of the 20th century. The frame structure occurs in the second floor walls; the ground floor is wholly made of brick. The rooms of the floor contain a library and music rooms for exercises.



II. 1 View of the residential buildings in Zandka settlement in Zabrze, J. Dębowski, 2015



II.2-4. Wooden details of the Prussian wall in the residential buildings in Zandka settlement in Zabrze, A. Szymanowska-Gwiżdż, 2016





II.5-7. View of the residential buildings in the railway settlement in Pyskowiec, an originally non-usable attic made of the Prussian wall, A. Szymanowska-Gwiżdż, 2014



II.8. The Prussian wall in the building of the State Music School in Gliwice, A. Szymanowska-Gwiżdż 2015

## CONSTRUCTION OF PARTITIONS - EXISTING CONDITION

The construction of the partitions made in the technology of the Prussian wall in Silesia depended on their location of the building. The residential and commercial floors of the multi-family and public buildings (floors and other stories) were made with a thickness of one brick. A wooden frame (the most common cross-sections of columns: 12/12cm - 16/16cm) visible from the façade side was filled with brick and enclosed on the side of the rooms with a layer of a flat-laying brick. In total, the partition thickness was approx. 25cm. This type of the partition occurs in Zandka settlement in Zabrze, both in the workers' houses as well as the officials' buildings, also in the storey of the floor of the State Music School in Gliwice (in the preserved condition of the primary condition). In the case of non-usable attics and staircases, the walls were made up to a thickness of 1/2 brick (12cm). In single-family buildings, the walls were constructed with a thickness of 1 brick, insulated on the side of the rooms with cement-wood boards of suprema type, with a thickness of 5-10 cm.

The areas between a wooden frame were left as brick or covered with layered plaster, often with a texture. The spacing of the columns of a wooden frame was determined by the building, as well as the location of the window and door openings. Wood was also found in the façade decorative elements, in a form of richly decorated panels, cornice covers between the floors, balustrades, handrails, gable panels and shutters.

The insulation of the preserved wooden-ceramic partitions depends on the structure of the wall at the level of  $U = 1.9-2.7W/(m^2K)$ . The values of the calculated heat transfer coefficient "U" of the outer wall can differ depending on the assumed thermal conductivity of the materials. While in newly-designed buildings this parameter is based on the standard or producer's declarations, it cannot be easy to select the relevant parameter in the existing buildings. The properties of the materials used in the past (brick and wood) can show differences. In determining the existing status, the sets of the parameters of historical material available in printed sources or computer programmes library bases can help a designer in the thermal simulations and physical calculations. They include the following sources<sup>1</sup>:

1. Kuzman R.: Thermal tables with charts;
2. Häuptl P.: BAUPHYSIK;
3. DIN4108-4;
4. Material base of WUFI programme.

Tables 1 and 2 show the values of the thermal conductivity coefficient of wood and brick depending on the density of the material.

---

<sup>1</sup> A detailed description of the sources is provided in the references.



Tab.1 Summary of the thermal conductivity coefficients  $\lambda$  of wood

| Name                                      | Density [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | Source |
|---|------------------------------|------------------|--------|
| Pine, fir, spruce perpendicular to fibres | 400                          | 0.128            | 1      |
|   | 600                          | 0.186            |        |
| Spruce                                    | 550                          | 0.130            | 2      |
| Non-coniferous wood                       | 700                          | 0.201            |        |
| Oak across fibres                         | 650                          | 0.3              | 4      |
| Soft wood                                 | 400                          | 0.09             |        |
| Hard wood                                 | 650                          | 0.13             |        |

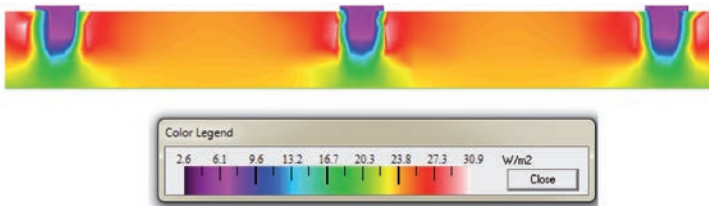
Tab.2 Summary of the thermal conductivity coefficients  $\lambda$  of ceramic bricks

| Name                  | Density [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | Source |
|-----------------------|------------------------------|------------------|--------|
| Old brick             | 1000                         | 0.326            | 1      |
|                       | 1200                         | 0.384            |        |
|                       | 1400                         | 0.442            |        |
|                       | 1600                         | 0.523            |        |
|                       | 1800                         | 0.733            |        |
|                       | 2000                         | 1.233            |        |
| Old clinker wall      | 2010                         | 1.045            | 2      |
| Old brick wall        | 1640                         | 0.590            |        |
|                       | 1810                         | 0.705            |        |
|                       | 1720                         | 0.842            |        |
| Full brick wall       | 1950                         | 0.960            |        |
| Typical brick wall    | 1792                         | 0.555            |        |
| Semi-clinker brick    | 1800                         | 0.81             | 3      |
| Historical full brick | 1850                         | 0.60             | 4      |
| Old brick             | 1670                         | 0.40             |        |

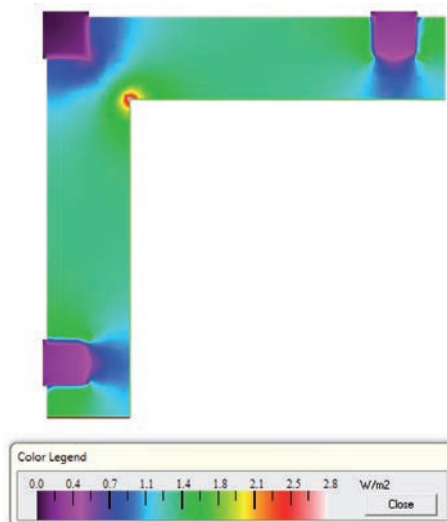
The calculation of the internal surface temperature values of the partitions of the building made of the Prussian Wall of the State Music School in Gliwice, using the selected parameters presented in Tables 1 and 2, showed differences of maximum value of 1.3°C. For most calculations, these differences are not significant; however, in the case of coupled thermal and humidity calculations, this impact can be significant. For a part of the extreme cases, it can cause distortion of the final results.

The partitions made of the Prussian wall, due to their construction, are a special case. The wall elements are connected there with wood, mortar, sometimes plaster. These are the materials with different coefficients of thermal conductivity, thermal expansion, and

with a different diffusion resistance. In addition, the characteristic feature of the partitions involves gaps between a frame and adjacent elements, allowing the penetration of rain water into the wall. It is thought that they can be due to, inter alia, the natural processes of degradation of wood and mortar. Such a phenomenon was described by Kozakiewicz (Kozakiewicz et. al. 2013), paying attention to the ageing processes and slow losses of cross-sections of the wooden elements. The places of the contact of a surface and a brick and the area around columns represent the zone of disturbance of heat flux density, which can impact on the durability of mortar in these parts of the partitions. Such disturbances were confirmed in the analyses carried out using Therm programme used to simulate the temperature field distribution of the partition cross-section, in the field of 2D model. The calculations were carried out for the external partitions of the building of the State Music School in Gliwice. The article presents the exemplary results of the calculations of the distribution of heat flux density in the partition cross-section in a graphical form, for a flat section and in a corner (Steidl et al. 2015).



II.9 Distribution of heat flux density - a flat part of the partition of the Prussian wall in Gliwice, the existing state (Steidl et al. 2015)



II. 10 Distribution of heat flux density - a corner of the partition of the Prussian wall in Gliwice, the existing state (Steidl et al. 2015)

## **POSSIBILITIES OF THERMAL INSULATION OF THE EXISTING PARTITIONS AND THEIR PHYSICAL EFFECTS**

Current legal requirements in the field of energy performance of the buildings and external partitions, and the desire to improve the comfort of the rooms use force the need to carry out thermal upgrading works, also in the historical buildings of a complex structure of the partition, such as the Prussian wall. Thermal insulations are carried out from the inside of the rooms, and in this case it is particularly important to apply correctly selected solutions of non-accumulation of humidity in the partition. It can occur both as a result of the migration of water vapour from the inside, as well as from the outside, e.g. in connection with the occurrence of precipitation.

The investors and designers have the modern materials and technologies, *inter alia* the thermal insulation systems (e.g. mineral wool) with a tight vapour barrier from the inside, and allowing free diffusion through the partition. The properly selected insulation should not impede the migration of humidity from the partition towards the room (as is the case in the original, historical construction of the partitions, due to small thickness of the wall and the lack of the insulating covers). The requirements for the thermal insulations from inside the walls of the Prussian wall using mineral wool were included in the literature [Kunzel et al. 2004, 2006]. It was noted that if the walls of the Prussian wall are insulated with mineral wool, the optimal solution, from the point of view of the flow of water vapour and the possibility to decrease of humidity in the partition, will involve the use of the so-called humidity adaptive foil, not a traditional vapour barrier. It works by changing the diffusion resistance depending on ambient humidity. Low humidity of the rooms heated in the winter causes the increase of resistance and reduction of diffusion; while in the summer at much higher relative humidity inside the building, reduced foil diffusion resistance creates the conditions for drying of wood humidity towards the rooms. However, the problem can involve uninsulated wooden frames leaving from the outside, which being in a lower temperature can be subject to unfavourable phenomena related to freezing for wood and its increased humidity to a critical value of - 20%. For this reason, the thickness of the thermal insulation applied from the inside in the climatic conditions of Germany and Poland to 5-6 cm is indicated [Kunzel et al. 2006].

Currently, the insulating technologies based on the materials allowing for free diffusion of water vapour are available. These include the so-called climatic, lime and silicate plates, plates of light concrete, or mats with aerogel.

Lime and silicate plates are characterized with a microporous structure, due to which possible condensate is properly vented, and provided to the room in drying periods. The coefficient of thermal conductivity of such a material is at the level of the 0.0626-0.0727 W/mK, diffusion resistance coefficient  $\mu = 3-6$ . Standard commercial plates thicknesses: 2.5cm, 3cm and 5cm.

Plates made of autoclaved aerated concrete for the internal insulation are produced with a density of up to 115kg/m<sup>3</sup>. They are able to absorb humidity from the air and dry quickly. The basic parameters for the thermal and humidity calculations: coefficient of

thermal conductivity - 0.042 W/mK, diffusion resistance coefficient -  $\mu=3$ , commercial thickness of plates made of autoclaved aerated concrete: 5-20cm

Aerogel is a type of rigid foam, 90-99.8% of the mass of which consists of the air, the rest is a porous silica-based material. The value of the coefficient of thermal conductivity varies on the level of 0.013-0.016 W/mK. Aerogels are sold in a form of mats in rolls. They are produced in thickness of 5 mm and 10 mm.

Table 3 Comparison of the selected parameters of the materials used for internal thermal insulation

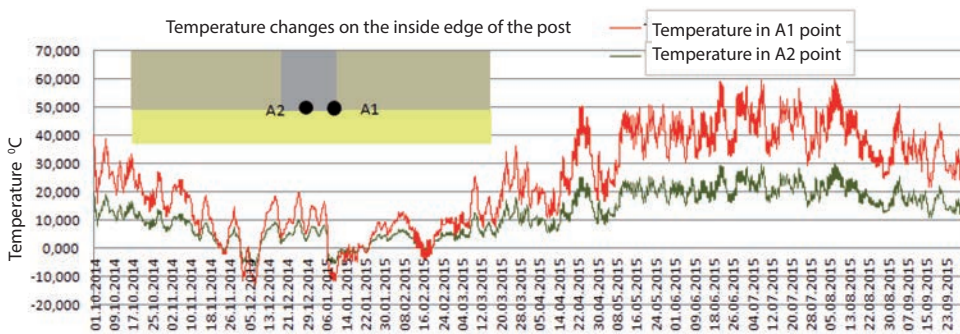
|   | Mineral wool | Silicate plates | Autoclaved aerated concrete | Aerogel     |
|---|--------------|-----------------|-----------------------------|-------------|
| Heat penetration coefficient declared by producers W/(mK) | 0.030÷0.045  | 0.0626          | 0.042                       | 0.014÷0.016 |
| Volume density kg/m <sup>3</sup>                          | 135÷170      | 180-300         | 115                         | 117÷143     |
| Diffusion resistance coefficient                          | 1            | 3-6             | 3                           | 5           |

The modern thermal insulation designs are supported by the computer calculation programmes. Most available programmes allow to calculate the heat transfer coefficient and check inter-layers condensation for flat sections of the homogeneous partitions. For the calculation of any two-dimensional model of a construction element, THERM programme is used, based on the use of the finite element method (FEM). It allows to obtain the heat transfer coefficient U (W/m<sup>2</sup>K), total heat flux density and temperature values anywhere in the cross-section of the partition, so that it can be used to obtain the necessary data (temperatures on the inner surface of the partition) for the estimation of surface condensation and the likelihood of the emergence of mould.

Modelling of nodes in 2D programme allows only to approximate the real conditions. This is significant especially in the case of the structures with variable elements at the height of the arrangement of all elements in the partition. Such a situation occurs in the walls of a wooden frame, e.g. in the case of braces in the corners. In the vertical line of the corner, one can expect alternating temperature distribution. It is visible in the thermal images (Steidl et al. 2015). In the case of horizontal cross-sections of the partition (in 2D), temperature reading relates only to a specified plane of the cross-section. The impact of the elements adjacent to the node is not included: window openings, horizontal partitions, etc., although their distance the tested building is often less than the required standard (PN-EN ISO 10211:2008 Thermal bridges in buildings. Heat fluxes and surface temperatures. The calculation details). 2D models carried out in a vertical plane taking into account e.g. the stories, requires knowledge of their construction and in the case of the possibility of carrying out pits, which is not always possible.

In the design of the insulation, the possibility of theoretical confirmation of the effectiveness of the introduced solutions is important at a certain time of use, because dangerous accumulation of humidity can occur after several years of operation. To carry out a two-dimensional simulation, WUFI programme is used, with the use of a coupled model of heat and humidity transport phenomena. It allows to estimate the drying time of the partitions from the initial technology humidity, and the one resulting from the operation, an assessment of the danger of condensation of humidity inside the partition, e.g. taking into account the impact of heavy rain. The programme can be helpful when selecting a suitable solution of modernization of the existing partitions, taking into account the impact of climate factors.

Simulations in WUFI are carried out for the walls of the Prussian wall of the building from Zandka settlement in Zabrze, insulated from the inside with concrete with a thickness of 6 cm (Krause et al. 2016).



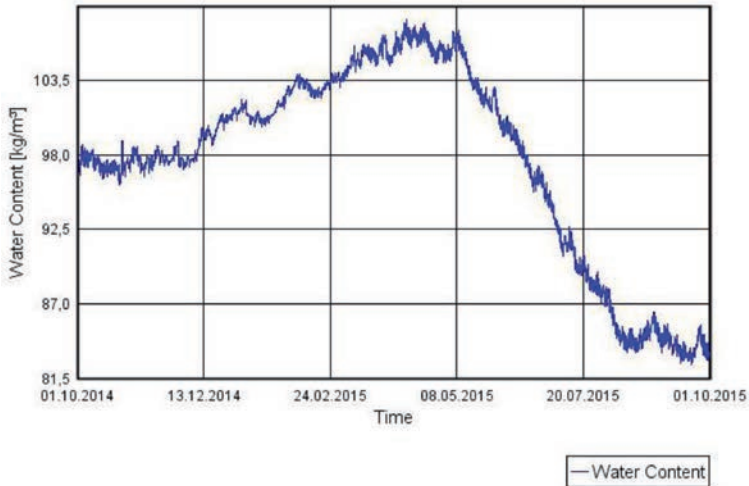
Il-11 Temperature changes in the given points on the internal edge of the partition column (Krause et al. 2016)

They allowed to determine the trend changes in the insulated partition. The final values that specify the water content in the insulation layer, after the annual period of simulation for the north and west walls do not differ significantly from each other. The analyses showed no worrisome accumulation of humidity inside the partitions or on its internal surface.

In this case, for a thin wall of the Prussian wall, insulated with the insulation material inside the rooms, providing the appropriate diffusivity of the partitions, the impact of hygro-thermal changes on wood and the contacts of the columns with the ceramic material seems to be a larger threat for the historic layout of the partitions. The generated charts show also the changes in the level of humidity in the individual elements of the partition (fig. 12 and 13).

However, the concern seems to be the impact of the isolation of the external layers of the wall from a warm interior due to the application of the internal thermal insulation. The temperature on the surface of wood, in the contact with the internal layers, falls to a couple of degrees below zero during the winter months. The largest impact of the conditions

of the external climate can be seen at the contact of wood with the wall brick, in a form of occurring negative temperatures, but also high temperatures during the summer. Fig. 11 shows the temperature changes in the selected locations of wooden columns in the interior and in the place of connection with brick parts. The carried out simulations provide a basis to believe that these places must be taken into special account, from the durability point of view, when designing the insulation of the partitions at the side of the rooms.



II.12 Humidity content in wooden columns, the internal insulation of the wall of the Prussian wall in Silesia, the western wall (Krause et al. 2016)



II.13 Humidity content in plates made of autoclaved aerated concrete, the internal insulation of the wall of the Prussian wall in Silesia, the western wall (Krause et al. 2016)

In that case, the analysis of the proposed solution did not show humidity accumulation inside the partition, for one calculated year. This does not mean, however, that it will not occur for a longer period of use. The calculations were carried out for the monthly average temperatures. Much more troubling results were obtained from the analyses carried out for the building of settlements in Pyskowice (the wall was of similar construction, but insulated with a panel of 8 cm thickness). For the minimum monthly temperatures, there was a constant annual increase in the wall dampness (Steidl et al. 2014).

## CONCLUSION

Among the preserved Silesian buildings of the Prussian wall, a considerable part can be renovated, repaired or provided with thermal and modernization works in the near future. Due to the historical value of the objects, and the specific nature of the façade, the solutions with the internal location of the insulation will probably be designed for them. It is worth to include the measured material values, the current value of the thermal conductivity and humidity of the partitions (which are the value of baseline for the analysis) in the design. It is also worth to establish the actual conditions of the internal climate, consistent with current or planned functional use of the rooms, and consider longer than a year calculation period. In particular, one must observe the place of the connection of wood with the ceramic material to determine their condition, including the initial humidity of wood and brick wall. Such data will allow to carry out the appropriate thermal calculations and/or thermal and humidity calculations and, if necessary, a simulated behaviour of the masonry and wood elements in the period of the future use.

## REFERENCES

1. Chrząszcz J. 1994. Historia miast Pyskowice i Toszek, przeł. Hepa M. Gliwice: Wydawnictwo Wokół Nas, 1994.
2. Hnatyszyn P. Osiedle spółki akcyjnej „Donnnersmarckhutte”, czyli „Zandka” z remizą i przedszkolem, w: Nasze Zabrze Samorządowe 2012, wydanie specjalne, s. 29.
3. Kozakiewicz P., Matejak M.: Klimat a drewno zabytkowe. Dawna i współczesna wiedza o drewnie, Warszawa, Wydawnictwo SGGW 2013.
4. Krause P., Orlik-Koźdoń B., Steidl T., Szymanowska-Gwiżdż A. Zmiany zawilgocenia przegród budynków historycznych przy zadanych warunkach klimatu zewnętrznego. Referat wygłoszony na konferencji Innowacyjne technologie energooszczędne - wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. VI Konferencja naukowa, Solina 2016, Rzeszów - Polańczyk, 21-25 czerwca 2016 roku.
5. Kuncel H., Olesiak J., Radoń J. Problemy ciepno-wilgotnościowe przy renowacji ścian budynków z muru pruskiego, w: Acta Scientiarum Polonorum, Architektura, Kraków 2006, s. 45-53.
6. Kuncel H., Radoń J. Zalety stosowania paroizolacji wspierających proces wysychania, w: Warstwy dachy ściany, 4/2004, s. 98-103



7. Steidl T., Szymanowska- Gwiżdż A. Impact of building walls of historic objects from half-timbered wall in their state of thermal protection, w: Civil and Environmental Engineering Reports, 2016 nr 20 (1), s. 171-178.
8. Steidl T., Szymanowska- Gwiżdż A. Analysis of temperature and humidity processes in existing half-timbered partitions, w: Czasopismo Techniczne,, B 2014 z. 3-B, s. 455-463
9. Szymanowska- Gwiżdż A. Wielorodzinne domy mieszkalne w pyskowickim osiedlu kolejowym - zagadnienia fizyczne, w: Familok - górnośląski dom wielorodzinny. Monografia. Red. Stanisław Majewski. Gliwice : Wydaw. Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej, 2009, s. 19-27
10. PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.



# **WSPÓŁCZESNE KSZTAŁTOWANIE DOCIEPLEŃ BUDYNKÓW HISTORYCZNYCH Z MURU PRUSKIEGO - STUDIUM PRZYPADKÓW**

Agnieszka Szymanowska-Gwiżdż<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 5, agnieszka.szymanowska-gwizdz@polsl.pl

## **ABSTRAKT**

W artykule przedstawione zostały przykłady współczesnego kształtowania ociepleń budynków, zachowanych na terenie Górnego Śląska, wykonanych w technologii muru pruskiego. Są wśród nich obiekty użytkowane, poddawane w przeszłości zabiegom remontowym bez poprawy izolacyjności przegród, użytkowane, ale także istniejące jako pustostany o złym stanie technicznym. Skuteczna poprawa stanu termicznego takich budynków jest możliwa przy wykorzystaniu współczesnych materiałów, pod warunkiem właściwie dobranych technologii, precyzyjnego rozpoznania stanu istniejącego i zastosowania odpowiednich metod projektowych. Analiza przykładów obrazuje możliwości uzyskania pozytywnych efektów termicznych, poprawiających jakość użytkowania, ale także niebezpieczeństwo wystąpienia niekorzystnych zjawisk ciepło - wilgotnościowych w przegrodach budowlanych. Ich przeoczenie skutkować może pogorszeniem stanu technicznego i warunków użytkowania w trakcie eksploatacji obiektów.

Słowa kluczowe: Mur pruski, budynki historyczne, izolacja wewnętrzna, ocieplenia budynków.

## **WPROWADZENIE**

Obowiązujące w Polsce wymagania prawne z zakresu ochrony cieplnej, wpływają na kształtowanie działań związanych z projektowaniem budynków nowych, ale także z utrzymaniem i eksploatacją budynków istniejących. W obiektach nowoprojektowanych zapewnienie właściwej izolacyjności przegród budowlanych wraz z wymaganą współcześnie energooszczędnością, możliwe jest dzięki odpowiedniemu zastosowaniu przez projektanta nowoczesnych technologii i materiałów. W przypadku budynków istniejących, eksploatowanych przez lata w określonych warunkach klimatycznych, polepszenie parametrów cieplnych, nie może być uzyskiwane na drodze zabiegów termo- modernizacyjnych bez uwzględnienia ich stanu istniejącego. Obecnie obserwuje się przypadki wzrostu wil-

gotności ocieplonych ścian zewnętrznych budynków, np. widocznego od strony pomieszczeń zagrzybienia, a w efekcie pogorszenia stanu technicznego przegród i warunków użytkowania pomieszczeń. Przyczyn takiego zjawiska należy upatrywać w nieuwzględnieniu początkowego stanu wilgotnościowego przegród, błędnym dobraniu rozwiązań czy stosowaniu uproszczonych metod obliczeniowych. W przypadku budynków objętych ochroną konserwatorską, posiadających bogaty wystrój elewacji lub specjalny charakter konstrukcji, stosowane są ocieplenia wykonywane od strony wewnętrznej budynków. Takie rozwiązania wymuszają zastosowanie bardziej zaawansowanych metod projektowych z uwzględnieniem charakteru budynku i sposobu jego eksploatacji. Sytuowanie materiału termoizolacyjnego po stronie wewnętrznej, nie jest poprawne z punktu widzenia fizyki budowli, chociażby ze względu na ryzyko wystąpienia wykroplenia dyfundującej pary wodnej. Współczesne rozwiązania materiałowe pozwalają na skuteczną poprawę stanu termicznego przegród budowlanych poprzez izolację wewnętrzną, pod warunkiem poprawnie przeprowadzonych obliczeń poprzedzonych szczegółowymi analizami stanu istniejącego, uwzględnienia rzeczywistych warunków klimatu zewnętrznego oraz warunków związanych z użytkowaniem pomieszczeń. Przypadek szczególny dla tego typu rozwiązań stanowią budynki o niejednorodnej budowie ścian, np. wykonanych jako szkielet drewniany z wypełnieniem cegłą, tzw. mur pruski. Takie konstrukcje stosowane były na przełomie XIX i XX także na obecnych terenach Górnego Śląska.

## **ŚLĄSKIE DOMY Z MURU PRUSKIEGO - PRZYKŁADY**

Wśród zachowanych do dzisiaj przykładów domów z muru pruskiego na Śląsku, pożądaną grupę stanowią budynki zgromadzone w obrębie osiedli wybudowanych w ramach tzw. osiedli patronackich. Pochodzą one głównie z przełomu XIX i XX w., a ich powstanie związane jest głównie z rozwojem przemysłu w tym rejonie. Do takich należy zabrzańskie osiedle Zandka, powstałe w okresie funkcjonowania huty Donnersmarck, czy kolonia robotnicza w Zabrze Rokitnicy, związana z kopalnią węgla kamiennego „Castellengo” hrabiego Ballestrema. Budynki takie powstawały w obrębie osiedli mieszkaniowych, przeznaczonych pierwotnie dla robotników, wraz z całymi zespołami budynków i urządzeń socjalnych. Obiekty o takiej konstrukcji występują też między innymi w osiedlach Bytomia i Rudy Śląskiej. W osiedlu Zandka w latach 1903 – 1927 wybudowano około 40 budynków mieszkalnych oraz budynki użyteczności publicznej m.in. przedszkole, straż pożarną, kasyno, dom handlowy. Dla robotników powstały budynki wielorodzinne, o dwóch lub trzech kondygnacjach mieszkalnych, czasami z mieszkaniami na kondygnacjach poddaszy. Sytuowano wśród nich także domy dla urzędników, o lepszym standardzie.

W Pyskowicach zachowane jest osiedle domów, którego rozwój uwarunkowały wydarzenia związane z powstaniem tamtejszego węzła kolejowego. Po uruchomieniu linii kolejowej z Opola do Gliwic przez Pyskowice, rozpoczęła się budowa osiedla dla kolejarzy. W 1910 roku, istniały już 12-to rodzinne domy kolejarskie, a po I wojnie światowej, powstawały kolejne budynki dla kolejarzy ale także dla górników i hutników, pracują-

cych poza Pyskowicami (Chrząszcz, 1994). W osiedlu, obok domów wielorodzinnych występują też budynki jednorodzinne w zabudowie wolnostojącej i szeregowej.

Drewniana konstrukcja szkieletowa z wypełnieniem cegłą ceramiczną występowała na Śląsku jako samodzielna w całych budynkach lub charakteryzowała jedynie fragmenty obiektów. W domach wielorodzinnych stosowana była w górnych partiach budynków, głównie poddaszach nieużytkowych ale także przy klatkach schodowych. Wykonywano z niej ściany ostatnich pięter, czy przegrody przestrzeni nieogrzewanych, jak klatki schodowe lub czasami poddasza.



Il. 1 Widok budynków mieszkalnych na osiedlu Zandka w Zabrze, J. Dębowski, 2015



Il.2-4. Drewniane detale z muru pruskiego w budynkach mieszkalnych na osiedlu Zandka w Zabrze, A. Szymanowska-Gwiżdż, 2016





Il.5-7 . Widok budynków mieszkalnych na osiedlu kolejowym w Pyskowicach, pierwotnie nieużytkowe poddasza z muru pruskiego, A. Szymanowska-Gwiżdż, 2014

Przykład budynku z muru pruskiego w Gliwicach stanowi budynek obecnej Państwowej Szkoły Muzycznej, pochodzący z początku XXw. Konstrukcja szkieletowa występuje w ścianach drugiej kondygnacji, parter wykonany jest w całości jako ceglany. Pomieszczenia piętra, mieszczą bibliotekę i sale muzyczne do ćwiczeń.



Il.8. Mur pruski w budynku Państwowej Szkoły Muzycznej w Gliwicach, A. Szymanowska-Gwiżdż 2015

## BUDOWA PRZEGRÓD – STAN ISTNIEJĄCY

Budowa przegród wykonanych w technologii muru pruskiego na Śląsku zależała od miejsca usytuowania ich w budynku. Kondygnacje mieszkalne i użytkowe budynków wielorodzinnych i użyteczności publicznej (pietra i kolejne kondygnacje) wykonywano o grubości jednej cegły. Szkielet drewniany (najczęściej występujące przekroje słupów: 12/12cm - 16/16cm) widoczny od strony elewacji wypełniany był cegłą i obudowywany od strony pomieszczeń warstwą cegły ułożonej na płask. W sumie grubość przegrody wynosiła ok. 25cm. Ten typ przegrody występuje w zabrzańskim osiedlu Zandka, zarówno w domach robotniczych jak i budynkach urzędników, także w kondygnacji piętra Państwowej Szkoły Muzycznej w Gliwicach (w miejscach zachowanego stanu pierwotnego). W przypadku nieużytkowych poddaszy i klatek schodowych ściany wykonywane były na grubość 1/2 cegły (12cm). W budynkach jednorodzinnych stosowano ściany o grubości 1 cegły, z izolacją od strony pomieszczeń, z płyt cementowo-drewnianych, typu suprema o grubości 5-10cm.

Pola pomiędzy szkieletem drewnianym pozostawiano ceglane lub pokrywano tynkiem warstwowym, często fakturowanym. Rozstaw słupów drewnianego szkieletu determinowała bryła budynku, a także położenie otworów okiennych i drzwiowych. Drewno występowało także w elewacyjnych elementach dekoracyjnych, w postaci bogato zdobionych płycin, obudów gzymsów między kondygnacyjnych, tralek, poręczy, deskowań szczytów czy okiennic.

Izolacyjność zachowanych przegród drewniano-ceramicznych znacznie odbiega od współczesnych wymagań z zakresu ochrony cieplnej i w zależności od struktury ściany kształtuje się na poziomie  $U=1,9-2,7W/(m^2K)$ .

Wartości obliczanego współczynnika przenikania ciepła „U” ściany zewnętrznej mogą różnić się w zależności od przyjętej przewodności cieplnej materiałów. O ile w budynkach nowoprojektowanych parametr ten przyjmowany jest na podstawie wartości normowych lub deklaracji producenta, to w budynkach istniejących dobór właściwego parametru może nie być prosty. Właściwości użytych w przeszłości materiałów (cegły i drewna) mogą wykazywać różnice. W określaniu stanu istniejącego mogą pomóc projektantowi zestawienia parametrów materiałów historycznych, dostępnych w źródłach drukowanych lub bazach bibliotek programów komputerowych, do symulacji cieplnych i obliczeń fizykalnych. Są wśród nich źródła<sup>1</sup>:

1. Kuzman R.: Tablice cieplne z wykresami;
2. Hauptl P.: BAUPHYSIK;
3. DIN4108-4;
4. Baza materiałowa programu WUFI.

W tabelach 1 i 2 zestawiono wartości współczynnika przewodności cieplnej drewna i cegły w zależności od gęstości materiału.

<sup>1</sup> Dokładny opis źródeł zamieszczony został w pozycjach literaturowych.



Tab.1 Zestawienie współczynników przewodności cieplnej  $\lambda$  drewna

| Nazwa                                       | Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | Źródło |
|---|------------------------------|------------------|--------|
| Sosna, jodła, świerk prostopadle do włókien | 400                          | 0,128            | 1      |
|   | 600                          | 0,186            |        |
| Świerk                                      | 550                          | 0,130            | 2      |
| Drewno liściaste                            | 700                          | 0,201            |        |
| Dąb w poprzek włókien                       | 650                          | 0,3              | 4      |
| Drewno miękkie                              | 400                          | 0,09             |        |
| Drewno twarde                               | 650                          | 0,13             |        |

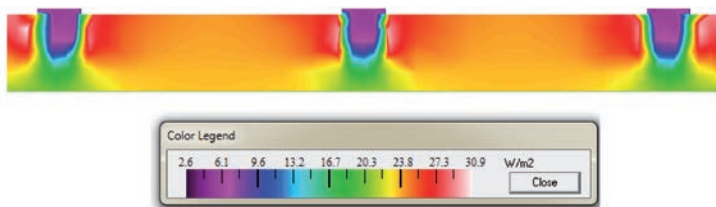
Tab.2 Zestawienie współczynników przewodności cieplnej  $\lambda$  cegieł ceramicznych

| Nazwa                   | Gęstość [kg/m <sup>3</sup> ] | $\lambda$ [W/mK] | Źródło |
|-------------------------|------------------------------|------------------|--------|
| Cegła stara             | 1000                         | 0,326            | 1      |
|                         | 1200                         | 0,384            |        |
|                         | 1400                         | 0,442            |        |
|                         | 1600                         | 0,523            |        |
|                         | 1800                         | 0,733            |        |
|                         | 2000                         | 1,233            |        |
| Stary mur z klinkieru   | 2010                         | 1,045            | 2      |
| Stary mur ceglany       | 1640                         | 0,590            |        |
|                         | 1810                         | 0,705            |        |
|                         | 1720                         | 0,842            |        |
| Mur z cegły pełnej      | 1950                         | 0,960            | 3      |
| Typowy mur ceglany      | 1792                         | 0,555            |        |
| Cegła półklinkierowa    | 1800                         | 0,81             | 4      |
| Cegła pełna historyczna | 1850                         | 0,60             |        |
| Cegła stara             | 1670                         | 0,40             |        |

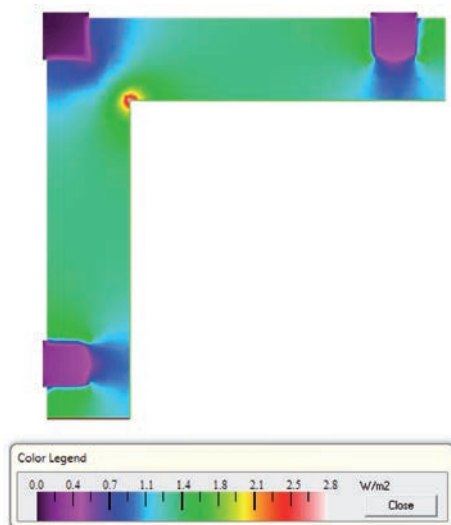
Obliczenia wartości temperatur powierzchni wewnętrznej przegród dla budynku z muru pruskiego Państwowej Szkoły Muzycznej w Gliwicach z wykorzystaniem wybranych parametrów zestawionych w tabelach 1 i 2, wykazały różnice o maksymalnej wartości 1,3°C. Dla większości obliczeń, różnice te nie są znaczące, jednak w przypadku sprzężonych obliczeń ciepłno-wilgotnościowych wpływ ten może okazać się istotny. Dla części skrajnych przypadków może spowodować zniekształcenie wyników końcowych.

Przegrody z muru pruskiego, z powodu swojej budowy, stanowią przypadek szczególny. Występuje w nim połączenie elementów murowych z drewnem, zaprawą, czasami tynkiem. Są to materiały o różnych współczynnikach przewodzenia ciepła, rozszerzalno-

ści cieplnej oraz o odmiennym oporze dyfuzyjnym. Dodatkowo charakterystyczną cechą przegrody jest występowanie szczelin pomiędzy szkieletem a przylegającymi elementami, umożliwiające wnikanie wody opadowej w głąb muru. Przypuszcza się, iż mogą one wynikać między innymi z naturalnych procesów degradacji drewna i zaprawy. Zjawisko takie opisywał Kozakiewicz (Kozakiewicz i in. 2013), zwracając uwagę na procesy starzeniowe i powolne ubytki przekrojów poprzecznych elementów drewnianych. Miejsca styku powierzchni drewna i cegły oraz okolice słupów stanowią strefę zaburzeń gęstości strumienia ciepła, co może wpływać negatywnie na trwałość zaprawy w tych częściach przegród. Zaburzenia takie potwierdziły analizy przeprowadzone z wykorzystaniem programu Therm, który służy do symulacji rozkładu pola temperatur przekroju przegrody, w zakresie modelu 2D. Obliczenia wykonane były dla przegród zewnętrznych budynku Szkoły Muzycznej w Gliwicach. W artykule przedstawione zostały przykładowe wyniki obliczeń rozkładu gęstości strumienia ciepła w przekroju przegrody w formie graficznej, dla wycinka płaskiego oraz w narożu (Steidl i in. 2015).



II.9 Rozkład gęstości strumienia ciepła – wycinek płaski przegrody muru pruskiego w Gliwicach, stan istniejący (Steidl i in. 2015)



II.10 Rozkład gęstości strumienia ciepła – naroże przegrody z muru pruskiego w Gliwicach, stan istniejący (Steidl i in. 2015)

## MOŻLIWOŚCI OCIEPLEŃ PRZEGRÓD ISTNIEJĄCYCH I ICH SKUTKI FIZYKALNE

Współczesne wymagania prawne w zakresie parametrów energetycznych budynków i przegród zewnętrznych oraz chęć polepszenia komfortu użytkowania pomieszczeń wymuszają konieczność wykonywania prac termomodernizacyjnych także w budynkach historycznych, ze złożoną budową przegrody, jak mur pruski. Ocieplenia wykonywane są od strony wewnętrznej pomieszczeń, a w takim przypadku szczególnie ważne jest zastosowanie prawidłowo dobranych rozwiązań niepowodujących kumulacji wilgoci w przegrodzie. Może do niej dochodzić zarówno na skutek migracji pary wodnej od środka, jak również od zewnątrz, np. w związku z występowaniem opadów atmosferycznych.

Inwestorzy i projektanci mają do dyspozycji nowoczesne materiały i technologie, wśród których wyróżnić można systemy ocieplenia (np. wełną mineralną) ze szczelną barierą paroizolacyjną od strony wnętrza, oraz umożliwiające swobodną dyfuzję przez przegrodę. Odpowiednio dobrane ocieplenie nie powinno utrudniać migracji wilgoci z przegrody do wnętrza pomieszczeń (co ma miejsce w pierwotnej, historycznej budowie przegród, ze względu na małą grubość muru i brak powłok izolacyjnych). Wymagania dla ociepleń od wewnątrz ścian z muru pruskiego przy wykorzystaniu wełny mineralnej opisywano w literaturze [Kunzel i in. 2004, 2006]. Zwracano uwagę, iż przy ociepleniu ścian z muru pruskiego wełną mineralną, optymalnym rozwiązaniem, z punktu widzenia wielkości przepływu pary wodnej i możliwości spadku wilgotności przegrody, jest zastosowanie tzw. wilgotnościowej folii adaptacyjnej, nie tradycyjnej paroszczelnej. Jej działanie polega na zmianie oporu dyfuzyjnego w zależności od wilgotności otoczenia. Przy niskiej wilgotności pomieszczeń ogrzewanych w zimie następuje wzrost oporu i zmniejszenie dyfuzji, natomiast w lecie przy znacznie wyższej wilgotności wewnątrz budynku, obniżony opór dyfuzyjny folii stwarza warunki do odsychania zgromadzonej w drewnie wilgoci do wnętrza pomieszczeń. Problem stanowić może jednak, pozostawienie od zewnątrz nieocieplonych ram drewnianych, które znajdując się w strefie niższej temperatury mogą podlegać niekorzystnym zjawiskom związanym z przemarzaniem drewna i podwyższeniem jego wilgotności masowej do wartości krytycznej - 20%. Z tego powodu wskazuje się na ograniczenie grubości izolacji termicznej stosowanej od wewnątrz w warunkach klimatycznych Niemiec i Polski do 5-6 cm [Kunzel i in. 2006].

Współcześnie dostępne są technologie ociepleniowe, w oparciu o materiały umożliwiające swobodną dyfuzję pary wodnej. Należą do nich tzw. płyty klimatyczne - krzemianowo-wapienne, płyty z lekkich betonów komórkowych, czy maty z areożelu.

Płyty krzemianowo-wapienne charakteryzuje mikroporowata struktura, dzięki której powstający, ewentualny kondensat jest odpowiednio odprowadzany a w okresach wysychania oddawany do pomieszczenia. Nazwy handlowe dostępne na rynku: Remmers SLP, Renovario, Sensec. Współczynnik przewodności cieplnej takiego materiału, kształtuje się na poziomie 0,0626-0,0727 W/mK, współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu=3-6$ . Standardowe grubości handlowe płyt: 2,5cm, 3cm i 5cm.

Płyty z betonu komórkowego do ociepleń wewnętrznych produkowane są o gęstości do  $115\text{kg/m}^3$ . Posiadają zdolność chłonięcia wilgoci z powietrza i szybkiego wysychania. Podstawowe parametry dla obliczeń ciepłno-wilgotnościowych: współczynnik przewodności cieplnej -  $0,042\text{ W/mK}$ , współczynnik oporu dyfuzyjnego -  $\mu=3$ . Produkty dostępne pod nazwą handlową Multipor, grubości handlowe płyt z betonu komórkowego: 5-20cm.

Aerożel to materiał będący rodzajem sztywnej piany, w której 90–99,8% masy stanowi powietrze, resztę porowaty materiał na bazie krzemionki. Wartość współczynnika przewodności cieplnej waha się na poziomie  $0,013\text{--}0,016\text{ W/mK}$ . Na rynku funkcjonuje pod zastrzeżoną nazwą handlową Porogel. Zgodnie z aprobatą techniczną ITB Porogel przeznaczony jest do wykonywania izolacji cieplnej min. wewnątrz pomieszczeń w budynkach ze szkieletem drewnianym. Aerożele sprzedawane są w postaci mat w rolkach. Produkowane są w grubościach 5mm i 10mm. Z powodu wysokiej ceny ( $100\text{--}200\text{zł/m}^2$ ) stosowane są w ociepleniach rzadziej niż wełna mineralna, płyty klimatyczne czy płyty z betonu komórkowego, zwłaszcza przy małych, prywatnych inwestycjach.

Tab.3 Porównania wybranych parametrów materiałów stosowanych do ociepleń wewnętrznych

|  | Wełna mineralna   | Płyty krzemianowe | Beton komórkowy | Aerożel           |
|--|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Współczynnik przenikania ciepła deklarowany przez producentów $W/(mK)$ | $0,030\div 0,045$ | $0,0626,$         | $0,042$         | $0,014\div 0,016$ |
| Gęstość objętościowa $\text{kg/m}^3$                                   | $135\div 170$     | $180\text{--}300$ | $115$           | $117\div 143$     |
| Współczynnik oporu dyfuzyjnego   | $1$               | $3\text{--}6$     | $3$             | $5$               |

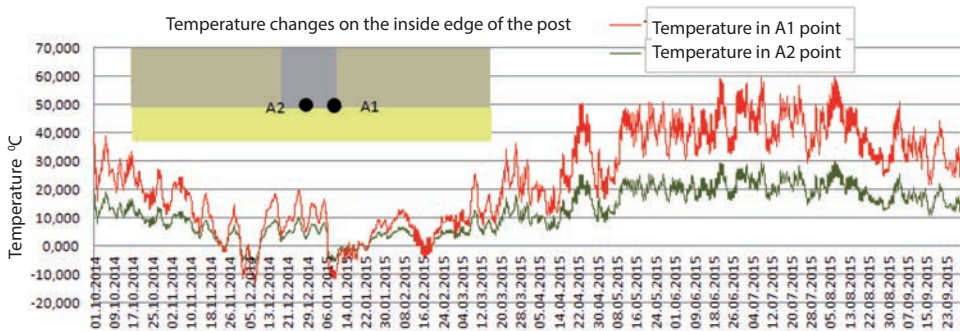
Współczesne projektowanie dociepleń wspomagane jest komputerowymi programami obliczeniowymi. Najbardziej dostępne programy umożliwiają obliczenia współczynnika przenikania ciepła i sprawdzenia kondensacji międzywarstwowej dla płaskich wycinków przegród jednorodnych. Do obliczeń dowolnego, dwuwymiarowego modelu elementu budowlanego, stosowany jest program THERM, bazującym na wykorzystaniu metody elementów skończonych (MES). Umożliwia on otrzymanie współczynnika przenikania ciepła  $U$  ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ), całkowitej gęstości strumienia ciepła oraz wartości temperatur w dowolnym miejscu przekroju przegrody, dzięki czemu może być wykorzystywany do uzyskania niezbędnych danych (temperatur na powierzchni wewnętrznej przegrody) dla oszacowania kondensacji powierzchniowej i prawdopodobieństwa powstania grzybów pleśniowych.

Modelowanie węzłów w programie 2D pozwala jednak jedynie na przybliżenie warunków rzeczywistych. Jest to znaczące zwłaszcza w przypadku konstrukcji z elementami o zmiennym na wysokości ułożeniu elementów w przegrodzie. Taka sytuacja występuje w ścianach o szkielecie drewnianym, np. w przypadku zastrzałów w strefie naroży. W linii

pionowej naroża można spodziewać się zmiennego rozkładu temperatur. Jest on widoczny w obrazach termowizyjnych (Steidl i in.2015). W przypadku przekrojów poziomych przegrody (wykonywanych w 2D), odczyt temperatur dotyczy jedynie określonej płaszczyzny przewodzenia przekroju. Nie uwzględniany jest też wpływ przylegających do węzła elementów: otworów okiennych, przegród poziomych, itp., chociaż ich odległość w badanym budynku jest często mniejsza niż wymagana w normie (PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe). Wykonanie modeli 2D, w płaszczyźnie pionowej z uwzględnieniem np. stropów wymaga znajomości ich budowy i zachodzi w przypadku możliwości przeprowadzenia odkrywek, co nie zawsze jest możliwe.

W projektowaniu dociepleń ważna jest możliwość teoretycznego potwierdzenia skuteczności wprowadzanych rozwiązań w określonym czasie użytkowania, ponieważ do niebezpiecznej kumulacji zawilgocenia może dojść po kilku latach eksploatacji. Do wykonywania symulacji dwuwymiarowych służy program WUFI, w którym zastosowano sprzężony model zjawisk transportu ciepła i wilgoci. Umożliwia on oszacowanie czasu wysychania przegród z początkowej wilgoci technologicznej oraz powstającej w wyniku eksploatacji, ocenę niebezpieczeństwa wystąpienia kondensacji wilgoci wewnątrz przegrody, np. z uwzględnieniem wpływu zacinającego deszczu. Program może być pomocny przy wyborze odpowiedniego rozwiązania modernizacyjnego istniejących przegród, uwzględniając wpływ czynników klimatu zewnętrznego.

Symulacje w programie WUFI przeprowadzane były dla ściany muru pruskiego budynku z osiedla Zandka w Zabrze, ocieplonego od wewnątrz płytami z betonu komórkowego o grubości 6cm (Krause i in.2016).

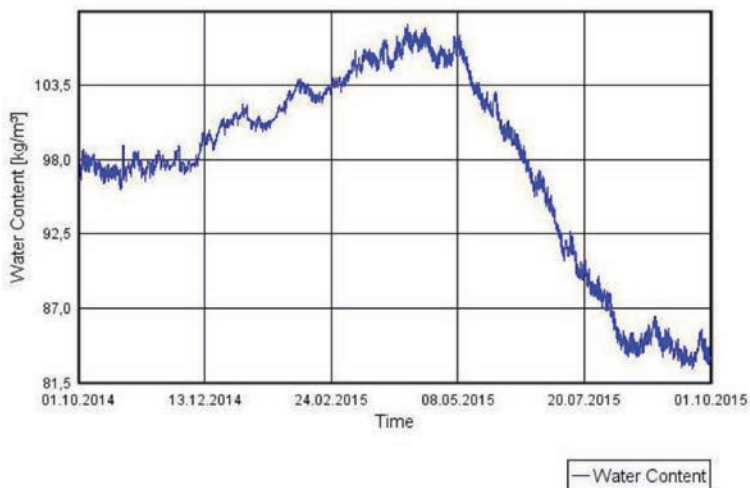


Il.11 Zmiany temperatur w zadanych punktach na krawędzi wewnętrznej słupka przegrody (Krause i in.2016)

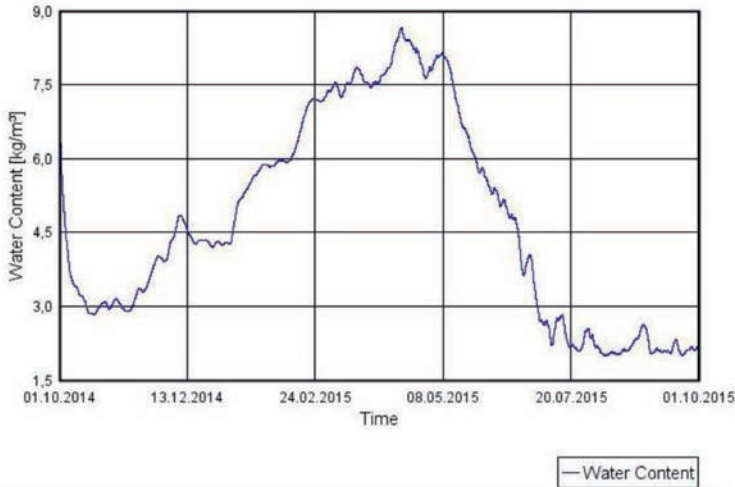
Pozwoliły ona na określenie tendencji zmian zachodzących w ocieplanej przegrodzie. Ostateczne, wartości określające zawartość wody w warstwie izolacji, po rocznym okresie symulacji dla ściany północnej i zachodniej nie odbiegały znacznie od siebie. Analizy nie wykazały niepokojącej kumulacji wilgoci wewnątrz przegrody ani na jej wewnętrznej powierzchni.

W tym przypadku, dla cienkiej ściany z muru pruskiego, izolowanego od wewnątrz pomieszczeń materiałem izolacyjnym zapewniającym odpowiednią dyfuzyjność przegrody, większym zagrożeniem dla historycznego układu przegrody wydaje się być wpływ zmian higrotermicznych na drewno i miejsca połączeń słupków z materiałem ceramicznym. W wygenerowanych wykresach widoczne są także wahania poziomu zawilgocenia w poszczególnych elementach przegrody (Il.12 i 13).

Niepokojący jednak wydaje się być wpływ odizolowania warstw zewnętrznych ściany od ciepłego wnętrza z powodu zastosowania wewnętrznej izolacji termicznej. Temperatura na powierzchni drewna, w styku z wewnętrznymi warstwami spada w okresie zimowym do kilku stopni poniżej zera. Największy wpływ warunków klimatu zewnętrznego zaobserwować można w miejscu styku drewna ze ścianą ceglana, w postaci występowania tam temperatur ujemnych ale także i wysokich dodatnich temperatur w okresie letnim. Il.11 obrazuje zmiany temperatur w zaznaczonych miejscach słupów drewnianych w jego wnętrzu i w miejscu połączenia z fragmentami ceglanymi. Przeprowadzone symulacje stwarzają podstawę do przypuszczenia iż miejsca te należy brać pod szczególną uwagę, z punktu widzenia trwałościowego, projektując ocieplenie przegród po stronie pomieszczeń.



Il.12 Zawartość wilgoci w słupkach drewnianych, przy ociepleniu wewnętrznym ściany z muru pruskiego na Śląsku, ściana zachodnia (Krause i in. 2016)



Il.13 Zawartość wilgoci w płytach z betonu komórkowego, ocieplenie wewnętrzne ściany z muru pruskiego na Śląsku, ściana zachodnia (Krause i in. 2016)

W przytoczonym przypadku analiza proponowanego rozwiązania nie wykazała występowania kumulacji wilgoci wewnątrz przegrody, dla jednego roku obliczeniowego. Nie znaczy to jednak, że nie wystąpi ona dla dłuższego okresu użytkowania. Obliczenia przeprowadzone były dla średnich miesięcznych temperatur. Znacznie bardziej niepokojące wyniki uzyskano z analiz wykonanych dla budynku z osiedla kolejowego w Pyskowicach (mur pruski o podobnej budowie, ale ocieplony płytami klimatycznymi o grubości 8cm,). Dla minimalnych temperatur miesięcznych występował stały roczny wzrost zawilgocenia ściany (Steidl i in. 2014).

## PODSUMOWANIE

Wśród zachowanych na Śląsku, budynków z muru pruskiego, znaczna część może być w niedługiej przyszłości poddawana zabiegom remontowym, renowacyjnym i termomodernizacyjnym. Z uwagi na historyczną wartość obiektów oraz szczególny charakter elewacji prawdopodobnie projektowane będą dla nich rozwiązania izolacyjne z wewnętrznym usytuowaniem ocieplenia. Warto aby przy projektowaniu uwzględnione zostały zmierzone wartości materiałowe, aktualne wielkości przewodności cieplnej i wilgotności przegród (stanowiące wartości stanu wyjściowego dla analiz). Wskazane jest także ustalenie rzeczywistych warunków klimatu wewnętrznego, zgodnego z aktualnym lub planowanym wykorzystaniem funkcjonalnym pomieszczeń, oraz przyjęcie dłuższego niż rok okresu obliczeniowego. W szczególności obserwacją należy ująć miejsca połączeń drewna z materiałem ceramicznym, określić ich stan techniczny, w tym wilgotność początkową drewna i muru ceglanego. Dane takie pozwolą wykonać stosowne obliczenia cieplne i/lub ciepno-wilgotnościowe a w razie potrzeby symulację zachowania się elementów murowych i drewnianych w okresie przyszłego użytkowania.



## LITERATURA

1. Chrząszcz J. 1994. Historia miast Pyskowice i Toszek, przeł. Hepa M. Gliwice: Wydawnictwo Wokół Nas, 1994.
2. Hnatyszyn P. Osiedle spółki akcyjnej „Donnersmarckhutte”, czyli „Zandka” z remizą i przedszkolem, w: Nasze Zabrze Samorządowe 2012, wydanie specjalne, s. 29.
3. Kozakiewicz P., Matejak M.: Klimat a drewno zabytkowe. Dawna i współczesna wiedza o drewnie, Warszawa, Wydawnictwo SGGW 2013.
4. Krause P., Orlik-Koźdoń B., Steidl T., Szymanowska-Gwiżdż A. Zmiany zawilgocenia przegród budynków historycznych przy zadanych warunkach klimatu zewnętrznego. Referat wygłoszony na konferencji Innowacyjne technologie energooszczędne - wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. VI Konferencja naukowa, Solina 2016, Rzeszów - Polańczyk, 21-25 czerwca 2016 roku.
5. Kuncel H., Olesiak J., Radoń J. Problemy ciepłno-wilgotnościowe przy renowacji ścian budynków z muru pruskiego, w: Acta Scientiarum Polonorum, Architektura, Kraków 2006, s. 45-53.
6. Kuncel H., Radoń J. Zalety stosowania paroizolacji wspierających proces wysychania, w: Warstwy dachy ściany, 4/2004, s. 98-103
7. Steidl T., Szymanowska- Gwiżdż A. Impact of building walls of historic objects from half-timbered wall in their state of thermal protection, w: Civil and Environmental Engineering Reports, 2016 nr 20 (1), s. 171-178.
8. Steidl T., Szymanowska- Gwiżdż A. Analysis of temperature and humidity processes in existing half-timbered partitions, w: Czasopismo Techniczne, B 2014 z. 3-B, s. 455-463
9. Szymanowska- Gwiżdż A. Wielorodzinne domy mieszkalne w pyskowickim osiedlu kolejowym - zagadnienia fizykalne, w: Familok - górnośląski dom wielorodzinny. Monografia. Red. Stanisław Majewski. Gliwice : Wydaw. Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej, 2009, s. 19-27
10. PN-EN ISO 10211:2008 Mostki cieplne w budynkach. Strumienie ciepła i temperatury powierzchni. Obliczenia szczegółowe.



# BIM BASED ENERGY MANAGEMENT MODEL

Melik Ziya Yakut<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Süleyman Demirel University, Technology Faculty Mechatronic Engineering Isparta Turkey, ziyayakut@sdu.edu.tr

## ABSTRACT

Green building is the process of creating buildings with are eco-friendly. These processes are applied carefully in all the stages of the building's life-cycle, such as siting to design, construction and operation. Green building projects are increasingly using Building Information Modelling (BIM) software. BIM software is an innovative method for communication and working between the architectural, engineering and building sectors. BIM software includes the generation and management of digital representations of physical characteristics of places. It helps to achieve more sustainable project drafts. These tools assist how to design decisions impact building performance. BIM software tools use energy simulations and potential of renewable energy sources, lighting analysis and other factors related to the energy use of buildings. Also, this program uses for green building certificate organizations such as Leadership in Energy and Environmental Design (LEED), Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM) are combining to create more sustainable outcomes in buildings for today and the future.

Keywords: green building, building information modelling, energy management model.

## 1. GREEN BUILDING

The world's population continues to rise rapidly, therefore humans should be living resource-efficiently in all areas. Sustainability and environment-friendly architecture are two of the most important features of green buildings. Green buildings use resources such as energy, water, materials and land—more efficiently and effectively than buildings that are built to this rule. By building green, contractor saves money by reducing construction costs and creating sustainable buildings that are in high demand. Owners save money by reducing operation and maintenance costs, lowering utility bills, and increasing occupant productivity. Many green buildings cost less in the long-term and help create healthy social and natural environments (Acuff et al., 2005).

The green buildings are yielding for savings during the construction process. The benefits of the green building construction process can be summarized as follows (Gottfried, 1996):

- Lower energy costs, by monitoring usage, installing energy-efficient lamps and fixtures, and using occupancy sensors to control lighting fixtures;
- Lower water costs, by monitoring consumption and reusing storm water and/or construction wastewater where possible;
- Lower site-clearing costs, by minimizing site disruption and movement of earth and installation of artificial systems;
- Lower landfill dumping fees and associated hauling charges, through reuse and recycling of construction and demolition debris;
- Lower materials costs, with more careful purchase and reuse of resources and materials;
- Possible earnings from sales of reusable items removed during building demolition; and
- Fewer employee health problems resulting from poor indoor air quality.

In particular, according to the following topics evaluation of the construction of the green building is required (Bernheim and Reed, 1996):

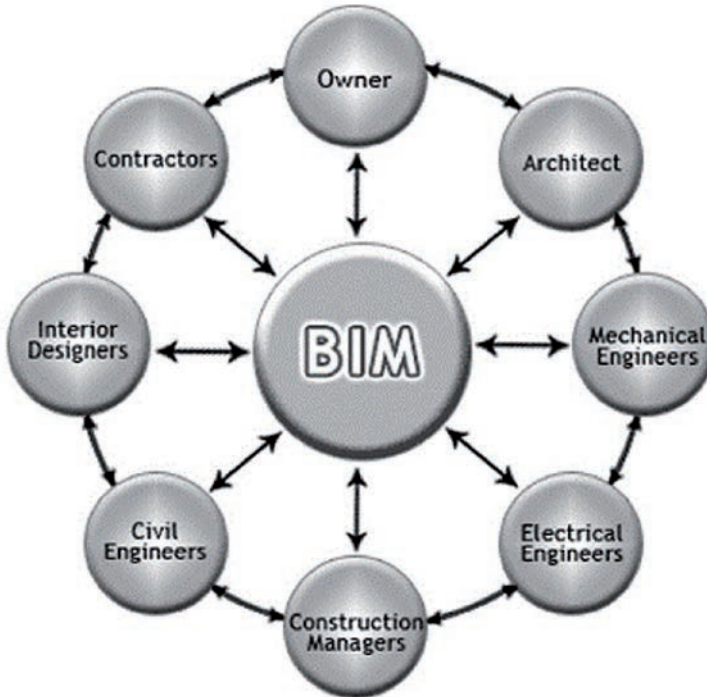
- Energy efficiency and renewable energy
- Direct and indirect environmental impact
- Resource conservation and recycling
- Indoor environmental quality
- Community issues

## **2. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)**

Building Information Modelling (BIM) is a modern method that works between the architecture, engineering and building sectors. The following illustration (II.1) shows the stakeholders which interact with BIM software. BIM technology allows an accurate virtual model of a building to be constructed digitally. A good virtual model should take detailed computer-generated models that contain accurate and well-defined geometry. And it should also be added to construction data, fabrication, and procurement activities necessary to realize the final building. The drawings, specifications and construction details are fundamental to the model, which includes attributes such as building geometry, spatial relationships, quantity characteristics of building components, and geographic information (Kubba, 2012).

Developing alternative designs can be accomplished more quickly and accurately using digital data. The database allows variations to be easily studied, evaluated, and assessed for meeting the goals of the project. Virtual modelling with the project data embedded allows accurate projections for meeting the project goals. The owner can create and maintain a building that meets these goals. Changes in the building during occupan-

cy, such as for a redesign for a tenant's needs or agency requirements, parallel the initial the project planning, design, and construction (Epstein, 2012). These assumptions let the project team quickly identify design and construction issues and resolve them in a virtual environment well before the Construction Phase in the real platform (Kubba, 2012).



## II. 1 BIM & Stakeholders (Kubba, 2012)

Virtual models are also used in related work such as installation and maintenance models. Facility managers and their teams are able to use the virtual models to assist them in planning, maintenance, controlling costs and scheduling work. They have accurate models of the entire building. They now have to maintain the BIM model if they are to continue to benefit from using virtual models. Depending on the size of the organization and the database, its virtual model may be maintained in-house by staff architects and engineers or they can outsource this work to a specialist. Owners and facility managers are now training their staff in BIM applications, supplanting the 2-D CAD work that has been the standard (Epstein, 2012).

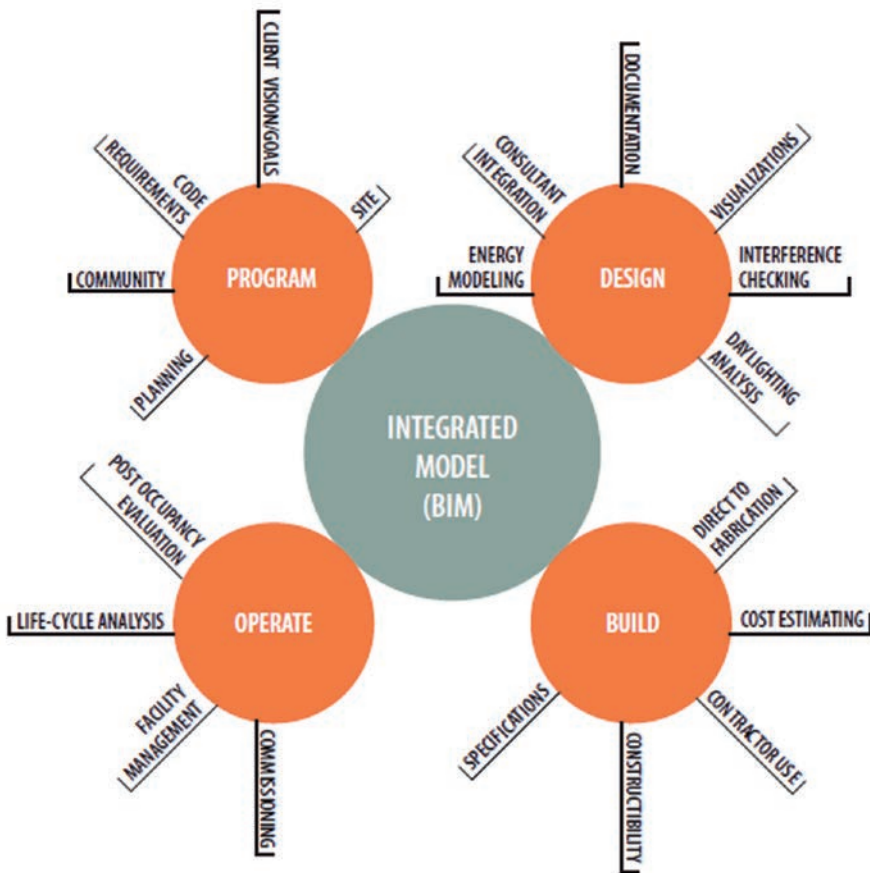
Using BIM, the collaborative effort of the process meets the owner and team goals of better-quality work created and maintained in less time and at less cost. The construction documents are now reduced to 25% of the work; previously, this set of documents was 50% of the work after using BIM software. Contractors spend less time for problematic issues in the design phase. As changes are made during construction, they can update the virtual model. Using this data construction, it is able to create a simulation of the building

(Epstein, 2012).

BIM is used to improve the following (Epstein, 2012):

- Profitability;
- The quality of the work produced;
- Efficiently producing the work;
- Competitiveness;
- Ability to collaborate;
- Openness to new business opportunities.

BIM software consists of many modules. The following illustration (II.2) shows:



II. 2 The integrated BIM model (Duell et al., 2015)

Therefore, BIM softwares' data is primarily a process that generate and manage building data during a project's life cycle. The building-modelling software to manage and increase productivity in building design and construction (Kubba, 2012).

### **3. ENERGY MANAGEMENT MODEL**

Buildings have got many green features, but if they don't use energy efficiency, these buildings are not truly green. A green building is a building whose energy efficiency and environmental performance is substantially better than the standard practice.

#### **3.1. Energy Consumption**

The cities are growing day by day, along with the increasing population of the world. In the United States alone, according to the Energy Information Association, buildings account for more than 30 percent of the waste output of the country, up to half of the energy used, and almost three quarters of the nation's electricity consumption (Henderson, 2012).

Energy is the main issue of buildings. Cooling, heating, lighting, cooking, and all electrical devices need energy. Fossil fuels contribute to climate change impacts such as rising sea levels, changing food supplies, and displacing millions of people (Henderson, 2012). The green buildings are prominently reducing the energy and carbon footprints that integrated in ecosystems and exchanges of matter-energy between human systems and natural systems. These buildings energy consumption used passive design and integrated large-scale renewable energy systems (Kibert, 2013).

#### **3.2. Building Certificate Organization**

Government politics and environmental organizations support ratings systems and certifications to measure the green attributes of buildings and building processes. Rating systems have been designed to view the sustainability level of Green Buildings. Rating systems have got several criteria compiled in guidelines and checklists that building owners and operators are using this a comprehensive measurable impact on their buildings' performance. (Kubba, 2012).

One of the great rating systems is the Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) such as Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BRE-EAM). It was released in 1998. Today, especially LEED certification system has forwarded the green building market. The LEED certification to play major role in environmental protection.

#### **3.3. Energy Modelling Module**

BIM Software integrates an energy calculation module. This module can control the parts of the building's design for increase energy efficiency and there is also that access to day lighting or life cycle system costs. This module is using some parameters such as location, exterior and its insulation materials, interior materials, houseware, major appliance and energy sources.

Energy models are useful parameters for determining the energy efficiency of the buildings. An energy model calculates the variables such as lighting, HVAC equipment, plug loads (e.g., computers, elevators), and service-water heating. The results are useful when



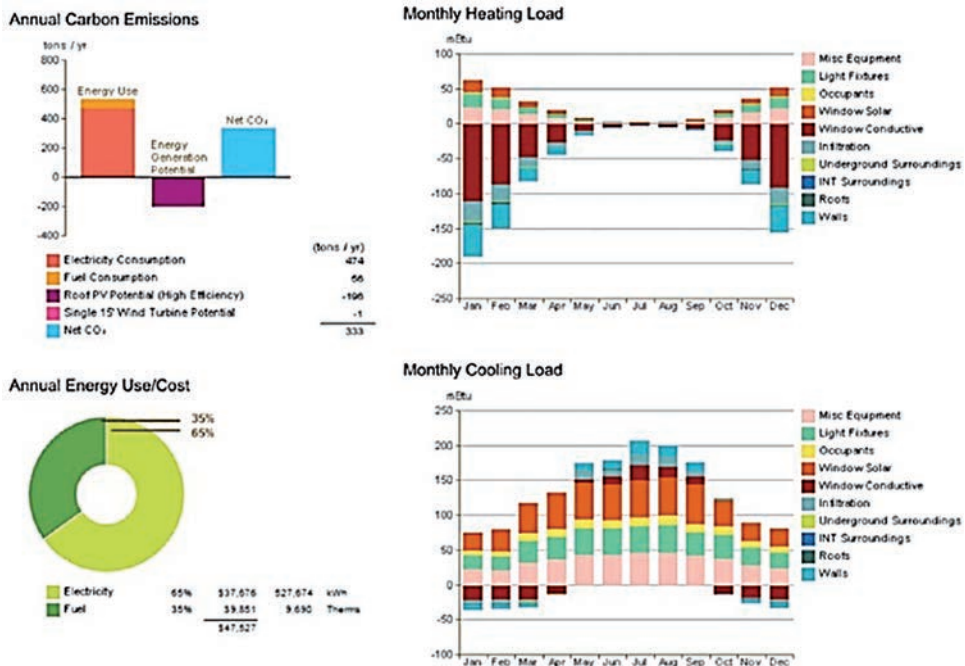
determining the expected operation of a building and how a building’s consumption and demand loads compare to buildings of a similar usage type and size (Henderson, 2012).

Energy modelling and management are complex processes which is a good reason to use the energy modelling module.

These models use climate data coupled with building loads, such as the following (Vandezande and Krygiel, 2015):

- The heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC) system
- Solar heat gain
- The number of occupants and their activity levels
- Sun shading devices
- Daylight dimming
- Lighting levels

The following illustration (Il. 3) shows an example of the results:



Il. 3 Sample result of Energy Modelling Module (Vandezande and Krygiel, 2015)

The energy model combines these factors to predict the building’s energy demands to help size the building’s HVAC system (Vandezande and Krygiel, 2015).

All the phases of the project, life-cycle costing should be taken into account. Life-cycle costing shows the total cost of ownership. For example, the initial cost of a more energy-efficient HVAC system may be higher, but when the life cycle of the building is calculated, the total cost might be a better value based on projections of long-term energy bill savings (Henderson, 2012).

The energy modelling module can be used for new construction, to retrofits of existing buildings. These modules are all just predictors of estimated annual energy use, and cannot precisely project exact energy usage of the completed building. In addition to that, a lot of factors are out of control such as construction delays, extreme weather changes, utilization factor and maintenance schedule (Henderson, 2012).

## CONCLUSION

The new construction buildings and existing buildings should use of maximum solar and other renewable forms of energy, and use efficient heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems, while maintaining performance targets for indoor air quality, thermal comfort, illumination levels and quality. The result of the process should be of several conceptual design alternatives, employing energy, daylighting, and other simulations to try out the alternatives, and then the selection of the most promising of these for further development. The next generations will be using more complex, smarter green buildings and cities in the coming years using modelling software.

## REFERENCES

1. Acuff Z., Harris A., Larsen L., Magnus B., Pumpbrey A., *Building Green for the Future, Case Studies of Sustainable Development in Michigan*, University of Michigan, June 2005 p. 3.
2. Bernheim A., Reed W., *Sustainable Building Technical Manual, Green Building Design Construction and Operations, Part II: Pre-Design Issues*, Public Technology, Inc., 1996 p. II.5.
3. Duell R., Hathorn T., Hathorn T. R., *Autodesk® Revit® Architecture 2016 Essentials*, John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, Indiana, 2015, ISBN: 978-1-119-05988-2, p 317.
4. Epstein E., *Implementing Successful Building Information Modeling*, Artech House, June 2012, ISBN: 978-1-60807-139-5, p 17-22-33-53-55-58.
5. Gottfried David A. *Sustainable Building Technical Manual, Green Building Design Construction and Operations, Part I: Economics and Environment*, Public Technology, Inc., 1996, p. I.6.
6. Henderson H., *Becoming a Green Building Professional*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2012, ISBN 978-0-470-95143-9, p 3-4-257-259-263.

7. Kibert C. J., *Sustainable Construction Green Building Design and Delivery*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013, ISBN 978-0-470-90445-9, p 243.
8. Kubba S., *Handbook of Green Building Design and Construction*, 2nd Edition LEED, BREEAM, and Green Globes, Elsevier Inc., 2012, ISBN: 978-0-12-385128-4, p 201-203.
9. Vandezande J., Krygiel E., *Mastering Autodesk Revit Architecture 2016*, John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, Indiana, 2015, ISBN 978-1-119-04461-1, p 350-351.

# DESIGN THINKING – TECHNOLOGY FOR CREATING INNOVATIVE PRODUCTS AND SERVICES

Henryk Zubel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State University of Applied Sciences in Racibórz, Institute of Architecture, ul. Słowackiego 55, 47-400 Racibórz, henrykzubel@onet.pl

## ABSTRACT

Design Thinking is defined as a new methodological approach in the process of creating all sorts of innovative products and services, in which human consumer is the central point of reference. Shared project teams, multi-analyzing the problem, modeling of proposed solutions, critical analysis at every stage of the design process, the main features of structured activities strive for success, mainly in the business world. The universality and popularity of this phenomenon, provokes to reflect on its effects on the activity of architects in designing and teaching curriculum design.

Keywords: Design Thinking, design process, innovations, architectural design, design teaching, creativity.

## INTRODUCTION

**“Design Thinking”** is the title of the book by architect G. Peter Rowe, former Dean of the Harvard Graduate School of Design, published in 1987 (Rowe, 1987)] The author described the specificity of the complex process in which the architectural project is being developed. Drawing on the experience of the architects - practitioners, he presented the strategies, methods, tools and techniques used by the designers to develop innovative solutions to design problems in architecture and urban planning (*Problem solving*).

The effectiveness of these systematized activities was supported by the thesis that the creativity and innovation are the attributes that can be developed, and the knowledge about them can effectively help in a creative activity.

The methodological aspects of the design process have always been present in the education of the architects, and design thinking is an integral property of a formed architect (Cross, 1998; Gasparski, 1988). In addition, a human (user) has always been and is at the centre of the architectural design activities.

The book has become a discovery not in the architectural environment, but in the business world. In recent years, the term “Design Thinking” has acquired there the status of autonomous “religion”. Design Thinking has become a “miracle” method for innovative

successes in various areas of commercial activity: trade, service, industry, social organizations, medicine, sport, media business, etc. (Dunne, 2008).

“**Design Thinking**” is also the title of the publication as of 2008 by Tim Brown, the founder of IDEO, a business world-renowned company involved in innovations and designs, with its registered office in Palo Alto, California. The author gained a guru’s position among the followers of Design Thinking, and his saying that “*Thinking like designer can transform the way you develop products, services, processes and even strategy*” has become a motto for a number of activists of this movement. It is also worth to cite its definition: „*Design thinking can be described as a discipline that uses the designer’s sensibility and methods to match people’s needs with what is technologically feasible and what a viable business strategy can convert into customer value and market opportunity*” (Brown ,2008).

## **INNOVATION PURPOSES.**

The movement of scientific research, methodological considerations, systematic analyses dynamically develops around these activities. Dozens of books and manuals have already been published to prove that “*hunting big ideas*” is reachable to everyone (Plattner 2011, Seidel 2013). Here are some distinctive titles that describe the essence of the phenomenon:

- *101 Design Methods: A structured Approach for Driving Innovation In Your Organisation.*(Kumar,2013),
- *This is Service Design Thinking: Basics, Tools, Cases.* (Stickdorn, 2012),
- *Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions.*(Martin, 2009),
- *Design Thinking: Interacting Innovation, Customer Experience and Brand Value* (Lockwood,2009),
- *Design thinking for strategic Innovation*, (Mootee, 2013), etc.

Design Thinking (**DT**) appears to be an irreplaceable method of an effective activity on the carrying wave of the motto “*innovations, innovations, innovations...*” Seminars, workshops, trainings are organized. Universities and research institutes are established. Stanford University is the leaser here, where the Hasso Plattner Institute of Design was established. On the European ground, the Hasso Plattner Institute at the University of Potsdam is its equivalent. Both universities are generously sponsored by a German magnate in the field of Hasso Plattner technology. Since 2013, Radford University in Virginia has offered the opportunity to gain Master of Fine Arts (MFA) in the field of design thinking, by fully on-line training on the web.

These universities are open for trainings (also at the Masters and Postgraduate levels) in the field of Design Thinking of anyone willing, regardless of their current professional profile. We will meet here managers, merchants, dancers, librarians, filmmakers, mechanics engineers, politicians, fashion designers, graphic designers, sometimes industrial designers, and architects the least often (Lamster, 2013). The qualified instructors and Design Thinking teachers are professionals as above, with the lowest participation of educated methodologists and architects. A new profession is emerging: DESIGN THINKER. The name

(title?) is used by a number of trainers and instructors, who are engaged in specialized companies, trainings, workshops, courses, etc.

Tim Brown identified five features that design thinkers should have. The first is empathy - the ability to perceive the world from different perspectives, with particular sensitivity to the needs and expectations of customers, ordinary users, consumers. The second feature is the interactive thinking, i.e. the ability to perceive non-obvious things in the analysed phenomena, contrary to previous experience, having the potential for desired changes. The third feature is optimism, which should be held by any person carrying out this profession. This attitude manifests itself in a specific attitude; there is no problem for which no solution could be found better than the previous one. The fourth feature is experimentalism; strong focus on creating risky, untested ideas that test the possibility of contradictions and non-obviousness. The last of these features is collaboration; the ability to resign from self-centred perception of a position, to collaborate in a multi-person team consisting of professionals representing different professions and qualifications.

Also in our country, we notice a clear fascination with this new form of activity in social movements and academia centres. On the Internet, Design Thinking opens dozens of offers for courses, trainings, workshops offering guaranteed (?) success in finding innovative solutions in any field. Only the proposals for architects are few and timidly articulated among many others. The idea to promote a new teaching method of creative thinking increasingly reaches to the Polish primary and secondary schools. The funds from the Ministry of Digitization helped the Centre for Civil Education to issue a teacher's manual entitled: *"Design thinking with Class"* (Kolowacik et al., 2013), modelled on the Stanford University training materials.

## **DT - DESIGN THINKING AS A METHOD.**

What did Design Thinking use to seduce so many of its current followers? The question is worth answering in the broader development of the problem. Due to the limited nature of the present text, I present briefly only the most important arguments:

1. The Concept of Design Thinking is the adoption of a widely known (used by the architects for a number of years) iterative model of the design process, in which the sequential nature of the design stages orders the thinking process and leads to innovative solutions (Cross, 1998, Gasparski, 1988, Zubel, 2014). In this process, we can distinguish the following stages:
  - TASK
  - ANALYSIS OF CONDITIONS
  - DEFINITION OF A PROBLEM
  - VARIATION OF HYPOTHESIS
  - CRITICAL ANALYSIS, CREATION AND SELECTION OF THE CONCEPT
  - DEVELOPMENT
  - REALIZATION
  - VERIFICATION

2. The above, well known to architects design process was transformed into a model by the Stanford Institute of Design, consisting of the following steps:
  - EMPATHIZE - know and understand human needs and dreams, try to identify with them.
  - DEFINE - discover the essence of the situation being analysed, name the challenge with which you should face, ask questions, define problems.
  - IDEATE - come up with answers to the questions you have been asked, create ideas, do not limit your imagination, quantity is important, map the thinking process as "coloured cards on the wall".
  - PROTOTYPING - build physical models of ideas in every shape and form; it can be a model, mock-up, played roles, space remodelling, poster or advertisement, etc., use any materials and tools to visualize ideas.
  - TEST - present prototypes to the user, listen to comments and criticism, if necessary - change and improve, strive for realization.

In the modified form, this model is enriched with one more step:

  - IMPLEMENT - try to realize the idea in the real world, be aware of technical, economic, social, aesthetic, marketing, business, etc. conditions.
3. In the implementation of Design Thinking, the following principles are strongly emphasized:
  - A future or potential user (customer) is the central character in the design process. Multi-person teams are created (not just specialists) to see a problem from the widest and various perspectives (a holistic approach). The participation and collaboration principle in the design team is a necessary condition (co-creation).
  - The heuristic techniques, such as brainstorming, are used to form creative ideas, and any available tools and techniques (graphs, sketches, diagrams, self-adhesive pieces of paper, photos, etc.) are used to write them.
  - Created ideas (concepts) are checked through physically executed models, mock-ups, simulations, prototypes.
4. Design Thinking is a methodological proposal for a number of organizations to develop their services, products, processes and strategies. It integrates three problem spaces: 1. Needs, expectations, and attractiveness are determined from a human point of view; user, client (DESIRABILITY). 2. Technical feasibility (FEASIBILITY). 3. Economic and social justification for ideas (VIABILITY).
5. Design Thinking, by using the design methods used in the general model of the design process, introduces methods, considered as its own, such as: interviews, creation of a user's profile, analysis of existing solutions, mental maps, development of prototypes, 5x why-questions, analysis of a situational context.
6. The implementation of the design process as well as the teaching of design is carried out in accordance with the principle of "learning-by-doing". This general postulate is dressed in various methodological approaches, such as: "action learning", "action



research”, “reflection in action”, “knowing in action” (Meinel, 2011; Weinstein, 1995). A close relationship with practice is to replace the traditional Project Based Learning (PBL) based on “chalk and talk”, i.e. a classic teaching with a chalk and a board. Instead of the current studios (design studio, atelier) conducted by a tutor (master), e.g. the concept of the DESIGN CHARRETTE is promoted. This is an intense session of the designers collaborating with each other (participants in a session, students) working on the solution to the design problem in a specific and limited time.

7. Design Thinking is to be a universal method of creating innovative solutions to the problems in the different areas of life (Owen 2006; Yen, 2012). This method is to convince anyone that the INNOVATION is: a discipline and not magic, requires a structured approach and system using different techniques and methods of work, requires team work of specialists of different disciplines, innovation is a creative achievement, which is formed by four forces: business, technology, design and society.

Taking into account all previous observations, it should be noted optimistically that we are all DESIGNERS, i.e. DESIGN THINKERS.

By reading these words, the architects - practitioners or teacher involved in the teaching of the architectural design, can say: And what is new? Exactly.

And yet, for many, THIS IS SOMETHING. For others, it is the subject of critical comments and negation.

## ARCHITECTURAL DESIGN IS DT.

The architectural design is pure design thinking. It is carried out creatively; it must strive to achieve the effect of the innovation. Obtaining those new, not experienced so far, relationships, is the purpose of the innovative activity. Therefore, the innovation is a necessary feature of a creative activity. The complementary requirement involves the condition of readable values to be included in the design solution.

**Design** is a conceptual preparation of a change (activity) carried out in the course of the process of an informative structure. Design (Latin *projectus* = extended anteriorly) therefore includes the idealization of the designing procedure activities (designer), the morphology of the activities with its individualities and invariables, as well as the methods of a practical approach to the ideal by: design strategies, methods and techniques. **The design** is the result of the design process.

**The design process**, in turn, is considered as a manifestation of an orderly impact (relationship) of the designing system (designer) on the designed system (design subject), which determines the method of the designing process.

**The design**, in the light of the above, is a subject (or process) pattern that allows to facilitate the immediate implementation of this subject (or process), created within the grounds necessary to this implementation and to use this subject (or process).

## **DT - THINKING TECHNOLOGY**

The word “*technology*” used in the title of the text determines the potential of Design Thinking, as something more than just the method of creative thinking. This concept is defined as the method for the preparation and implementation of the process of creating or processing for some good (including information) in a new form, e.g. a product, services. A widely concept of “*technology*” means the practical use of knowledge, with the use of appropriate tools and techniques (machines) to obtain the expected result in a form of a solution to the problem in the real world. Knowledge is the result of research and experience. The used tools and techniques do not have to be material; they can take a form of a virtual technology such as computer programmes, design methods, business methods or skills and experience. Technology can be seen as a type of activity which shape changes in the cultural environment (Arthur 2009, Wright 2008). The desired and expected characteristics of these changes should be: usability, functionality, security, aesthetics. The innovation should complement the criterion. Meeting all these demands together results in a solution to a design problem in a form of a product or service that is considered as an innovative solution. From this point of view, Design Thinking can be seen as a type of the production technology of a non-material form of any type of products and services.

## **CONCLUSIONS**

Design Thinking, as a phenomenon, cannot to be treated dismissively, and one cannot look at it from the architectural pedestal. Design Thinking becomes a mainstream activity in education, liberal arts and business. A wide field of research of the phenomenon, developing in the world for several years, allows to formulate some proposals that can be useful both in the design practice of each architect and in the expanding field of the research design methodology. In addition, in the teaching of the architectural design, one should use the positive sides of these experiences.

1. Design Thinking creates a chance to promote in the society the awareness that design is not a “hit and miss” game, but the formal process, in which the knowledge about the process has the heuristic power and is necessary to obtain the expected innovative results.
2. Design Thinking builds the awareness that can contribute to a better understanding of the role and professional competence of the architect as a designer to solve various problems, which by their nature, impact on a human and the society.
3. Design Thinking will force the architects to deepen their knowledge about the various aspects of the design process, with particular emphasis on exploring new strategies, methods and design techniques.
4. Design Thinking indicates that the purpose of the design is always a demand for innovation (changes); what is not so obvious for all designers.
5. Design Thinking is a skill of a teamwork, which we all still need to learn and practice (in practice and teaching).

6. Design Thinking indicates the need for the revision of the teaching programmes in the schools of architecture, clearly emphasising the aspects of the design methodology as well as connecting the design teaching with practice.
7. Design Thinking also offer new forms in the architectural education, which should differently use the methods of a teamwork and an interdisciplinary work.
8. Design Thinking creates a new field of professional activity of the architects who should be actively involved in the promotion of Design Thinking through courses, trainings, workshops, lectures promoting design as a universal skill.
9. Design Thinking is also a danger of marginalizing of the profession of architect by creating a new profession of Design Thinker, which can appropriate the field of competence of the architect as a coordinator of multi-person and multi-tasking teams solving design problems in the future.
10. Design Thinking does not seem to be a transient fashion phenomenon. This general trend is to blur the boundaries between the fields of competence of the various particular specialities and using them to solve the design problems, thereby achieving a widely-awaited INNOVATION effect.

A dozen years ago, the potential of Design Thinking was seen by Rem Koolhaas, who, with his usual pragmatism and visionary, created the OMA/AMO - an institution (office) solving the tasks in a global scale, where architecture problems are connected with policy, management, marketing, etc. He stated prophetically: „*Maybe, architecture doesn't have to be stupid after all. Liberated from obligation to construct, it can become a way of thinking about anything – a discipline that present relationships, proportions, connections, effects, the diagram of everything*” (Koolhaas 2004).

## REFERENCES

1. Arthur, W. Brian, *The nature of technology*. New York: Free Press , 2009
2. [Brown, T., *Design Thinking* ,Harvard Business Review, 2008
3. Cross , N. , *Engineering Design methods* , England: Viley, 1898
4. Dunne, D., Martin R., *Design thinking and how it will change management education: An interview and discussion*. The Academy of Management Learning and Education, 5(4), 2008
5. Gasparski, W.,(red), *Projektoznawstwo – Elementy wiedzy o projektowaniu* , WN-T, Warszawa 1988.
6. Kumar, V., *101 Design Methods : A structured Approach for Driving Innovation In Your Organisation*, John Wiley&sonS Inc., New Jersey, 2013
7. Kołowacik , E., Turek , J., Źmijski J., Źmijaska ,M., *Myślenie projektowe (Design Thinking) z Klasą*, Centrum Edukacji Obywatelskiej , 2013
8. Koolhaas, R., *AMO-OMA an &&&*, Content , Koln : Taschen, 2004
9. Lamster, M., *The Virtues, and Perils, of Design Thinking.*, Design, 2013.
10. Lawson, B. , *How Designers Think*, OxfordUK: Architectural Press/Elsevier, 2006.

11. Lockwood ,T. ,*Design Thinking : Interating Innovation, Customer Expierience and Brand Value* , Design Management Institute, 2009 .
12. [Martin, B., Hanington B. , , *Universal Methods of Design : 100 Ways to Research Complex Problems , Develop Innovative Ideas, and Design Efective Solutions.*, Rochport Publishers, 2009.
13. Meinel, C., Hanington B., *Design Thinking Research . In Design Thinking: Understand-Improve-Apply*, ed. H.Plattner, C.Meinel and Leifer, V-vi , Berlin:Springer, 2011.
14. Mootee, I., *Design thinking for strategic Innovation*, John Wiley&SonS Inc., Heboken, New Jersey, 2013.
15. Plattner, H., *Design Thinking Research. In Design Thinking: Understand-Improve-Apply*, ed.H.Plattner, C.Meinel and L.Leifer, v-vi. Berlin-Springer , 2011.
16. Rowe, P., *Design Thinking* , The MIT Press, Massachusetts , 1987.
17. [Seidel, V. P., Fixson S.K., *Adopting design thinking in novice multidisciplinary teams: The aplication and limits of design methods and reflektive practice*. Journal of Product Innovation Management 30(51), 2013.
18. Stickdorn, M., Schneider J., *This is Service Design Thinking: Basics, Tools, Cases*, Wiley , 2012.
19. Owen, C.L., *Design Thinking : Notes on its nature and use.*, Design Research Quarterly, 2006.
20. Weinstein, K., *Action learning* , UK.Harper Collins, London , 1995.
21. Wright, R.T., *Technology*. Gooheart-Wilcox Company, 5<sup>th</sup> edition, 2008.
22. Yen, C.C., Jiang H., *Design Thinking in different disciplines .* W: „Future is” -IDSA 2012 International Conference ; August , Boston , 2012.
23. Zubel, H., Model w Poszukiwaniu idei projektowej , W : Maryńczuk P. (red.) ; *Inicjacje w architekturze cz.1* , , Wyd. M-Projekt BUP, Bytom, 2011.
24. Zubel, H., Funkcjonalne projektowanie, jako warunek projektowania efektywnego, W: P. Maryńczuk (red.) ; : *Inicjacje w Architekturze cz. 2, W poszukiwaniu funkcji. Funkcjonalizm*, M-Projekt BUP, Bytom, 2012.
25. Zubel, H. , Diagram jako narzędzie zapisu konceptu w architekturze, W: P. Maryńczuk (red),*Inicjacje w Architekturze cz.3., Analizy w poszukiwaniu form* , M-Projekt BUP, Bytom, 2013
26. Zubel, H., Diagram jako metoda zapisu koncepcji w procesie projektowania architektonicznego, W : Misiągiewicz, Kozłowski (red.), *Definiowanie przestrzeni architektonicznej, zapis przestrzeni architektonicznej* , 2013, tom. 2 , wyd. Polit. Krakowska, 2013, s. 664-669.
27. Zubel, H. , *Diagramowy zapis koncepcji w procesie projektowania architektonicznego*. dysertacja doktorska, maszynopis , Polit. Śląska, Gliwice, 2014.

# DESIGN THINKING – TECHNOLOGIA TWORZENIA INNOWACYJNYCH PRODUKTÓW I USŁUG

Henryk Zubel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PWSZ w Raciborzu, Instytut Architektury, henrykzubel@onet.pl

## ABSTRAKT

Design Thinking definiowany jest jako nowe metodologiczne podejście w procesie tworzenia (kreowania) wszelkiego rodzaju innowacyjnych produktów i usług, w których ich konsument jest centralnym punktem odniesienia. Wieloosobowe zespoły projektowe, wielokierunkowe analizowanie problemu, modelowanie propozycji rozwiązań, krytyczna analiza na każdym etapie procesu projektowego, to główne cechy usystematyzowanych działań dążących do osiągnięcia sukcesu, głównie, w świecie biznesu. Powszechność i popularność tego zjawiska, prowokuje do zastanowienia się nad jego skutkami w polu aktywności zawodowej architektów: w projektowaniu i w dydaktyce nauczania projektowania.

Słowa kluczowe: Design Thinking, myślenie projektowe, proces projektowy, innowacje, projektowanie architektoniczne, dydaktyka, twórczość.

## WSTĘP

„**Design Thinking**„, to tytuł książki architekta G. Petera Rowe, byłego dziekana Harvard Graduate School of Design, opublikowanej w 1987r. (Rowe, 1987) Autor opisał specyfikę złożonego procesu, w którym powstaje projekt architektoniczny. Korzystając z doświadczeń architektów praktyków przedstawił strategię, metody, narzędzia i techniki jakimi posługują się projektanci w tworzeniu innowacyjnych rozwiązań problemów projektowych, w dziedzinie architektury i urbanistyki (*problem solving*).

Skuteczność tych usystematyzowanych działań dowodziła tezę, że kreatywność i innowacyjność to cechy, które można rozwijać, a wiedza o nich może skutecznie pomagać w twórczym działaniu.

Metodologiczne aspekty procesu projektowania, w kształceniu architektów zawsze były obecne, a myślenie projektowe jest integralną właściwością uformowanego architekta (Cross, 1998; Gasparski, 1988). Również człowiek (użytkownik), zawsze był i jest w centrum działań projektowych architekta.

Książka stała się odkryciem, nie w środowisku architektonicznym lecz w świecie biznesu. Tam, pojęcie „Design Thinking”, w ostatnich latach, uzyskało status autonomicznej „religii”. Design Thinking stał się „cudownym” sposobem na innowacyjne sukcesy w różnych dziedzinach komercyjnej działalności: w handlu, w usługach, w przemyśle, organizacjach społecznych, w medycynie, w sporcie, w medialnym biznesie, itp.(Dunne, 2008).

„**Design Thinking**” to również tytuł publikacji z 2008r., autorstwa Tima Brown’a, założyciela IDEO, znanej w świecie biznesu firmy zajmującej się innowacjami i projektowaniem, mającej siedzibę w Palo Alto w Kalifornii. Autor uzyskał pozycję guru wśród wyznawców Design Thinking, a jego powiedzenie, że „*Thinking like designer can transform the way you develop products, services, processes and even strategy*”, stało się mottem dla wielu aktywistów tego ruchu. Warto również przytoczyć jego definicję: „*Design thinking can be described as a discipline that uses the designer’s sensibility and methods to match people’s needs with what is technologically feasible and what a viable business strategy can convert into customer value and market opportunity*” (Brown,2008).

## CELEM INNOWACJE

Wokół tych działań rozwija się niezwykle dynamicznie ruch badań naukowych, metodologicznych rozważań, systematycznych analiz. Opublikowano już dziesiątki książek i podręczników dowodzących, że „*hunting big ideas*” jest osiągalne dla każdego (Plattner 2011, Seidel 2013) Oto niektóre charakterystyczne tytuły, które opisują istotę zjawiska:

- *101 Design Methods: A structured Approach for Driving Innovation In Your Organisation.*(Kumar,2013),
- *This is Service Design Thinking: Basics, Tools, Cases.* (Stickdorn, 2012),
- *Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Complex Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Effective Solutions.* (Martin. 2009),
- *Design Thinking: Interating Innovation, Customer Experieince and Brand Value* (Lockwood,2009),
- *Design thinking for strategic Innovation*, (Mootee, 2013), itp.

Na nośnej fali hasła „innowacje, innowacje, innowacje...”, Design Thinking (skrót **DT**) jawi się jako niezastąpiona metoda efektywnego działania. Organizowane są seminaRIA, warsztaty, szkolenia. Powstają katedry na uczelniach i Instytuty badawcze. Prym, w tej dziedzinie, wiedzie Stanford University, gdzie powstał Hasso Plattner Institute of Design. Na gruncie europejskim jego odpowiednikiem jest Hasso Plattner Istitute na Uniwersytecie w Poczdamie. Obie uczelnie są hojnie sponsorowane przez niemieckiego magnata w dziedzinie technologii Hasso Plattnera. O 2013 roku, Radford University w Virginii, oferuje możliwość uzyskania Master of Fine Arts (MFA) w dziedzinie design thinking, poprzez szkolenie całkowicie online w internecie.

Uczelnie te, otwarte są na szkolenie (również na poziomie studiów magisterskich i podyplomowych) w dziedzinie Design Thinking każdego chętnego, bez względu na

jego dotychczasowy profil zawodowy. Spotkamy tu menadżerów, handlowców, tancerzy, bibliotekarzy, filmowców, inżynierów mechaników, polityków, stylistów mody, grafików, czasami projektantów wzornictwa, a najrzadziej architektów (Lamster, 2013). Certyfikowanymi instruktorami i nauczycielami Design Thinking są fachowcy w specjalnościach jak wyżej, z najmniejszym udziałem wykształconych metodologów i architektów. Powstaje nowy zawód: DESIGN THINKER! Nazwy tej (tytułu?) używają już liczni trenerzy i instruktorzy, zaangażowani w wyspecjalizowanych firmach, prowadzących szkolenia, warsztaty, kursy, itp.

Wspomniany Tim Brown, zdefiniował pięć cech, którymi powinni charakteryzować się design thinkerzy. Pierwsza z nich to Empatia (empathy) - umiejętność postrzegania świata z różnych perspektyw, ze szczególnym uwrażliwieniem na potrzeby i oczekiwania klientów, zwykłych użytkowników, konsumentów. Druga cecha to Samodzielne Myślenie (integrative thinking) - zdolność do postrzegania w analizowanych zjawiskach rzeczy nieoczywistych, sprzecznych z dotychczasowymi doświadczeniami, mających potencjał pożądaných zmian. Trzecia cecha to Optymizm (optimism), którym promieniować powinna osoba wykonująca ten zawód. Postawa ta objawia się specyficznym nastawieniem; nie ma sytuacji problemowej, dla której nie można by znaleźć rozwiązania lepszego niż dotychczasowe. Czwarta cecha to Potrzeba Eksperymentu (experymentalism); mocne nastawienie na tworzenie ryzykownych, niesprawdzonych pomysłów, które testują możliwości w sprzecznościach i nieoczywistościach. Ostatnia z tych cech, to Współpraca (collaboration); umiejętność rezygnacji z egocentrycznego postrzegania swojej pozycji, na rzecz współdziałania w wieloosobowej grupie, składającej się ze specjalistów reprezentujących różne zawody i kwalifikacje.

Również w naszym kraju, zauważamy wyraźną fascynację tą nową formą aktywności w ruchach społecznych i środowiskach akademickich. W internecie, na hasło Design Thinking otwiera się dziesiątki propozycji kursów, szkoleń, warsztatów oferujących gwarantowany(?) sukces w znajdowaniu innowacyjnych rozwiązań w dowolnej dziedzinie. Jedynie propozycje dla architektów są nieliczne i nieśmiało artykułowane wśród wielu innych. Idea promująca nową metodę nauczania kreatywnego myślenia, w coraz większym stopniu, trafia również do polskich szkół podstawowych i średnich. Ze środków Ministerstwa Cyfryzacji, Centrum Edukacji Obywatelskiej wydało podręcznik dla nauczycieli zatytułowany: „*Myślenie projektowe (design thinking) z Klasą*” (Kołowacik i inni, 2013), wzorowany na materiałach szkoleniowych Stanford University.

## DT- MYŚLENIE PROJEKTOWE JAKO METODA

Czym uwiodło hasło Design Thinking tak wielu jego obecnie wyznawców? Pytanie warte jest odpowiedzi w szerokim rozwinięciu problemu. Z uwagi na ograniczony charakter niniejszego tekstu, przedstawiam, w dużym skrócie, jedynie najważniejsze argumenty:

1. Podstawą Myślenia Projektowego (**Design Thinking**) jest przyjęcie powszechnie znanego (stosowanego przez architektów od wielu lat) modelu iteracyjnego procesu projektowego, w którym sekwencyjny charakter etapów projektowania



porządkuje proces myślowy i prowadzi do innowacyjnych rozwiązań (problem solving proces) (Cross 1998, Gasparski 1988, Zubel 2014). W procesie tym, możemy wyróżnić następujące etapy:

- ZADANIE
- ANALIZA UWARUNKOWAŃ
- DEFINICJA PROBLEMU
- WARIANTOWANIE HIPOTEZ
- KRYTYCZNA ANALIZA, KREACJA i WYBÓR KONCEPTU
- OPRACOWANIE
- REALIZACJA
- WERYFIKACJA

2. Powyższy, dobrze znany architektom proces projektowy, przekształcony został przez Stanfordzki Instytut Designu w model, składający się z następujących kroków:

- EMPATYZUJ (empathize) - poznaj i zrozum ludzkie potrzeby i marzenia, staraj się z nimi utożsamić.
- DEFINIUJ (define) - odkryj istotę analizowanej sytuacji, nazwij wyzwanie, z którym powinieneś się zmierzyć, stawiaj pytania, definiuj problemy.
- GENERUJ POMYSŁY (ideate) – wymyślaj odpowiedzi na postawione wcześniej pytania, twórz pomysły, kreuj idee, niczym nie ograniczaj swojej wyobraźni, liczy się ilość, mapuj proces myślowy w postaci „kolorowych karteczek na ścianie”.
- PROTOTYPUJ (prototyping) – buduj fizyczne modele pomysłów w każdej postaci i formie; może to być: model, makieta, odgrywanie ról, przebudowa przestrzeni, plakat lub reklama itp., używaj dowolnych materiałów i narzędzi dla zwizualizowania pomysłów.
- TESTUJ (test) - przedstaw użytkownikowi prototypy, słuchaj uwag i krytyk, jeśli trzeba zmień i popraw, dąż do realizacji.

W zmodyfikowanej formie model ten, wzbogacony jest jeszcze o jeden krok:

- WDRAŻAJ (implement) - staraj się zrealizować pomysł w realnym świecie, miej świadomość uwarunkowań technicznych, ekonomicznych, społecznych, estetycznych, marketingowych, biznesowych itp.

3. W realizacji Design Thinking, mocno akcentuje się następujące zasady wzbogacające powyższy model:

- Przyszły lub potencjalny użytkownik (klient) jest centralną postacią w procesie projektowania (user centered design).
- Tworzy się wieloosobowe zespoły (nie tylko specjalistów), aby jak najszerzej i z różnych perspektyw widzieć problem (an holistic approach).
- Zasada partycypacji i współdziałania w zespole projektowym jest warunkiem koniecznym (co-creation).

- Dla wywołania twórczych idei stosuje się techniki heurystyczne np. brainstorming, a do ich zapisywania wykorzystuje się każde dostępne narzędzia i techniki (grafy, szkice, diagramy, samoprzylepne karteczki, zdjęcia, itp.).
  - Powstałe idee (koncepty) sprawdza się poprzez fizycznie wykonywane modele, makiety, symulacje, prototypy.
4. Design Thinking jest propozycją metodologiczną dla wielu organizacji w jaki sposób rozwijać swoje usługi, produkty, procesy i strategie. Integruje ona trzy przestrzenie problemowe: 1. Potrzeby, oczekiwania i atrakcyjność określane z punktu widzenia człowieka; użytkownika, klienta (DESIRABILITY). 2. Możliwości techniczne technologiczne (FEASIBILITY). 3. Ekonomiczne i społeczne uzasadnienie pomysłów (VIABILITY).
  5. Design Thinking korzystając z metod projektowania stosowanych w generalnym modelu procesu projektowania, wprowadza metody uważane za własne, takie jak: wywiady, tworzenie profilu użytkownika (klienta), analiza istniejących rozwiązań, mapy mentalne, tworzenie prototypów, pytania 5x dlaczego, analiza sytuacyjnego kontekstu.
  6. Realizację procesu projektowania jak i nauczania projektowania prowadzi się w myśl zasady „learning-by-doing”. Ten ogólny postulat ubierany jest w różne zniuansowane metodyczne podejścia typu: „action learning”, „action resaerch”, „reflection in action”, „knowing in action”(Meinel, 2011; Weinstein, 1995). Ścisły związek z praktyką ma zastąpić tradycyjną metodę dydaktyczną Project Based Learning (PBL) opartą na „chalk and talk”, czyli klasycznym nauczaniu z użyciem kredy i tablicy. Zamiast dotychczasowych pracowni (design studio, atelier) prowadzonych przez tutora (mistrza) lansuje się np. koncepcję the DESIGN CHARRETTE. Jest to intensywna sesja współdziałających ze sobą projektantów (uczestników sesji, studentów) pracujących nad rozwiązaniem problemu projektowego w ścisłe określonym i ograniczonym czasie.
  7. Design Thinking ma być uniwersalną metodą tworzenia innowacyjnych rozwiązań problemów w różnych dziedzinach życia (Owen, 2006;Yen, 2012). Metoda ta ma przekonać każdego, że INNOWACJA to: dyscyplina a nie magia, wymaga systemowego i uporządkowanego podejścia wykorzystującego różne techniki i metody pracy, wymaga pracy zespołowej specjalistów różnych dyscyplin, innowacja to twórcze osiągnięcie, które formowane jest przez cztery siły: business, technologię, design (projekt) i społeczeństwo.

Biorąc pod uwagę wszystkie poprzednie uwagi, należy stwierdzić optymistycznie, że WSZYSCY JESTEŚMY DIZAJNERAMI (PROJEKTANTAMI?) czyli DESIGN THINKERAMI.

Czytający te słowa architekci praktycy czy też dydaktycy zaangażowani w nauczanie projektowania architektonicznego, mogą powiedzieć: I cóż w tym nowego? No właśnie.

A jednak, dla wielu, TO JEST COŚ. Dla innych, to przedmiot krytycznych uwag i negacji.

## ZROZUMIEĆ DESIGN

DESIGN ma w języku polskim jak i języku angielskim wieloznaczne konotacje, a o jego definicje prowadzone są niekończące się spory natury filozoficznej. Pojęcie, często stosowane jest zamiennie ze słowem PROJEKTOWANIE. I w tym znaczeniu używane jest w niniejszym tekście. Ramy tego opracowania nie pozwalają na szersze omówienie różnic w definicyjnych znaczeniach słowa „design”, jednak dla jednoznaczności w odczytaniu pojęcia Design Thinking, kilka uwag jest koniecznych. Definicje słownikowe, w języku polskim, wyróżniają dwie formy znaczeniowe: czasownikową - projektować, rysować, kreslić, planować oraz rzeczownikową - projekt, konstrukcja, zamiar, model, plan, zamysł, ułożenie, zarys, obrys, cel, deseń. Szczególnie, to ostatnie znaczenie „deseń” (z języka włoskiego *,disegno'*: ‚rysunek’, ‚wzór’, w j. angielskim *,decorative design'*, *,design'*), ma w języku polskim duży wpływ na rozumienie słowa „dizajn”. W tym znaczeniu DIZAJN kojarzony jest powszechnie z działaniem twórczym w obrębie sztuk plastycznych, nazywanych sztukami dekoracyjnymi (applied arts, decorative arts); grafiki, mody, wzornictwa, wnętrzarstwa. Stąd powszechnie używane określenia zawodów: graphic designer, interior designer, fashion designer, web designer, car designer itp. W Polsce, osoba uprawiająca te zawody nazywana jest powszechnie: DIZAJNER. Warto podkreślić fakt, że architekci nie używają tego określenia dla nazwania swojego zawodu, zawsze nazywają siebie projektantami.

To zróżnicowanie ma swoje uzasadnienie na gruncie stosowanych w tych zawodach metodologii projektowania, sposobów edukacji, historycznych uwarunkowań. W największym uproszczeniu można powiedzieć, że DIZAJNING był (jest) postrzegany jako umiejętność estetycznego formowania cech zewnętrznych wytworu (produktu), podczas, gdy PROJEKTOWANIE postuluje również zmiany istotowych cech tego wytworu wraz z wewnętrznym mechanizmem, określającym jego system funkcjonalno-przestrzenny. (Lawson, 2006; Gasparski, 1988). Dla zrozumienia tej różnicy, warto porównać efekty pracy dizajnera jakim jest np. Filip Starck i architekta (projektant) Hermana Hertzbergera. Odzwierciedlają one odmienne sposoby myślenia w procesie projektowania.

Metoda Design Thinking zmierza do zatarcia tych różnic, wprowadzając filozofię holistycznego pojmowania procesu twórczego w każdej dziedzinie aktywności człowieka. To Steve'owi Jobs przypisuje się powiedzenie *„design is not 'Make it look good', design is 'How it works'”*.

## PROJEKTOWANIE ARCHITEKTONICZNE JEST DT

Projektowanie architektoniczne, to w czystej postaci myślenie projektowe. Wykonywane w sposób twórczy, musi dążyć do osiągnięcia efektu nowatorstwa. Uzyskanie tych nowych, nie doświadczanych dotychczas relacji, to cel działania innowacyjnego. Zatem, Innowacja (nowatorstwo) to konieczna cecha twórczego działania. Wymogiem dopełniającym jest warunek odczytywalnych wartości, które rozwiązanie projektowe winno w sobie zawierać.

Istnieje wiele definicji projektowania. Dotyczą one cech generalnych, jak i specyfiki projektowania architektonicznego. Dla wyobrażenia rozległości znaczeń definicyjnych oraz ich historycznej tradycji, przytacza się niektóre z nich (Gasparski 1988):

*Projektowanie to znajdowanie właściwych fizycznych składników struktur materialnych* (Aleksander 1963),

*Projektowanie jest działalnością polegającą na celowościowym rozwiązywaniu problemów* (Archer 1965)

*Projektowanie to twórczy proces decyzyjny skierowany ku zaspokajaniu potrzeb ludzkich* (Beakley 1967),

*Projektowanie to tworzenie odpowiedniego systemu mającego zaspokoić taką to a taką potrzebę lub spełnić taką to a taką funkcję.* (Nadler 1975),

*Projektowanie jako inicjum zmiany w obiektach wytworzonych przez człowieka.* (Jons 1977),

*Projektowanie jest tworzeniem nowych całości /nowych systemów/ ze znanych części (znanych podsystemów lub elementów).*(Gasparski, 1978).

Mimo, że przytoczone definicje mają już swoją historię i stworzone zostały, w większości, przez naukowców i teoretyków projektowania, to trzeba stwierdzić, że ich znaczenie jest wciąż aktualne w obecnym stanie wiedzy i doświadczeń praktycznych. Korzystając z definicji opracowanych przez klasyka teorii projektowania w Polsce – Wojciecha Gasparskiego - można przedstawić znaczenie najważniejszych haseł problemowych.

**Projektowanie** służy koncepcyjnemu przygotowaniu zmiany (działania) dokonywanemu w toku procesu o strukturze informacyjnej. Projektowanie (łac.*projectus*=wysunięty ku przodowi), zatem obejmuje idealizację procedury postępowania projektującego (projektanta), morfologii tego postępowania z jego osobliwościami i niezmiennikami, a także sposoby praktycznego zbliżania się do ideału poprzez: strategie, metody i techniki projektowania. Wynikiem procesu projektowania jest **projekt**.

„Projektowanie” ma odpowiedniki synonimiczne: „konstruowanie” i „planowanie”. „Projektowanie” jest pojęciem używanym przez architektów, inżynierów budownictwa, transportu, specjalistów z dziedziny wzornictwa przemysłowego, grafiki użytkowej, organizacji. „Konstruowanie” (łac.*construo*=układać warstwami, gromadzić, spiętrzać, budować, *constructio*=łączenie, budowa) jest używane przez specjalistów wznoszenia konstrukcji i budowy maszyn. „Planowanie” (łac. *planus*=równy, płaski, jasny, wyraźny) używane jest przez urbanistów, planistów, ekonomistów, wojsko itp.

**Proces projektowania**, z kolei, rozpatruje się jako przejaw uporządkowanego oddziaływania (relacji) systemu projektującego (projektant) na system projektowany (przedmiot projektowania), które to uporządkowanie stanowi o metodzie postępowania projektującego.

**Projekt**, w związku z powyższym, to wzór przedmiotu (lub procesu) umożliwiający i ułatwiający bezpośrednią realizację tego przedmiotu (lub procesu), obmyślony pod względami niezbędnymi do tej realizacji oraz do użytkowania tego przedmiotu (lub zastosowania procesu).

W procesie projektowaniu możemy wyróżnić etap wymyślenia (koncypowania) idei i etap nadawania jej cech postaci (konstruowanie). Wynikiem koncypowania jest koncept, a wynikiem konstruowania jest konstrukt. Rezultatem jednoczesnego połączenia konceptu i konstruktu jest **projekt (design)** (Zubel 2014).

## DT-TECHNOLOGIA MYŚLENIA

Użyte w tytule tego tekstu słowo *‘technologia’*, określa potencjał Design Thinking, jako coś więcej niż tylko metoda twórczego myślenia. Pojęcie to definiowane jest jako metoda przygotowania i prowadzenia procesu wytworzenia lub przetworzenia jakiegoś dobra (również informacji) w nową postać np. produktu, usług. Szeroko rozumiane pojęcie *‘technologii’*, oznacza praktyczne wykorzystanie wiedzy, z zastosowaniem właściwych narzędzi i technik (maszyn), dla uzyskania oczekiwanego rezultatu w postaci rozwiązania problemu w realnym świecie. Wiedza jest rezultatem badań i doświadczeń. Zastosowane narzędzia i techniki nie muszą być materialne; mogą mieć postać wirtualnych technologii takich jak programy komputerowe, metody projektowe, metody biznesowe, czy też umiejętności i doświadczenie. Technologia może być postrzegana jako rodzaj aktywności, które kształtują zmiany w środowisku kulturowym (Arthur 2009, Wright 2008). Pożądanymi i oczekiwanymi cechami tych zmian powinny być: użyteczność, funkcjonalność, bezpieczeństwo, estetyka. Kryterium dopełniającym tych cech winno być nowatorstwo. Spełnienie wszystkich tych postulatów razem, daje w efekcie rozwiązanie jakiegoś problemu projektowego w postaci produktu lub usługi, które postrzegamy jako rozwiązanie innowacyjne. Z tego punktu widzenia Design Thinking możemy postrzegać jako swoistą technologię wytwarzania nie materialnej postaci wszelkiego rodzaju produktów i usług.

## WNIOSKI

Design Thinking jako zjawiska nie należy traktować lekceważąco i patrzeć na nie z wysokości architektonicznego piedestału. Design Thinking staje się mainstreamowym nurtem aktywności w szkolnictwie, w liberalnej sztuce i w biznesie. Szerokie pole badawcze tego zjawiska, rozwijającego się w świecie od kilkunastu lat, pozwala sformułować kilka wniosków, które mogą być przydatne zarówno w praktyce projektowej każdego architekta jak i w poszerzaniu pola badawczego metodologii projektowania. Również w dydaktyce-nauczaniu projektowania architektonicznego należy korzystać z pozytywnych stron tych doświadczeń.

1. Design Thinking stwarza szansę upowszechnienia w społeczeństwie świadomości, że projektowanie nie jest zabawą „na chybił-trafił”, lecz sformalizowanym procesem, w którym wiedza o tym procesie ma moc heurystyczną i jest konieczna dla uzyskiwania oczekiwanych efektów innowacyjnych.
2. Design Thinking buduje świadomość, która może przyczynić się do lepszego zrozumienia roli i profesjonalnych kompetencji architekta jako projektanta rozwiązującego różne problemy, które przez swoją istotę, dotyczą indywidualnego człowieka jak i społeczeństwo.

3. Design Thinking wymusi na architektach pogłębianie wiedzy o wielorakich aspektach procesu projektowania, ze szczególnym naciskiem na poznawanie nowych strategii, metod i technik projektowania.
4. Design Thinking wskazuje, że celem projektowania zawsze jest postulat innowacyjności (zmiany) - co nawet dla wszystkich projektantów nie jest tak oczywiste.
5. Design Thinking to umiejętność pracy zespołowej, której wciąż wszyscy musimy się uczyć i praktykować (w praktyce i dydaktyce).
6. Design Thinking wskazuje na potrzebę rewizji programów nauczania w szkołach architektury, z wyraźnym wzmocnieniem aspektów metodologii projektowania oraz wiązania nauczania projektowania z praktyką.
7. Design Thinking to również oferta nowych form w dydaktyce architektonicznej, które w różny sposób winny eksploatować metody pracy zespołowej i interdyscyplinarnej.
8. Design Thinking stwarza pole nowych aktywności zawodowych architektów, którzy aktywnie powinni włączyć się w promowanie Myślenia Projektowego poprzez kursy, szkolenia, warsztaty, wykłady popularyzujące projektowanie jako uniwersalną umiejętność.
9. Design Thinking to również niebezpieczeństwo marginalizacji zawodu architekta poprzez wytworzenie nowego zawodu Design Thinker, który może zawłaszczać w przyszłości pole kompetencji architekta jako koordynatora wieloosobowych i wielobranżowych zespołów rozwiązujących problemy projektowe.
10. Design Thinking nie wydaje się być zjawiskiem o charakterze przejściowej mody. To ogólna tendencja zmierzająca do zacierania granic między polami kompetencji różnych partykularnych specjalności i wykorzystywania ich do rozwiązywania problemów projektowych, uzyskując powszechnie oczekiwany efekt INNOWACJI.

Potencjał zjawiska Design Thinking dostrzegł już kilkanaście lat temu Rem Koolhaas, który ze zwykłym sobie pragmatyzmem i wizjonerstwem stworzył OMA/AMO – instytucję (Biuro) podejmującą rozwiązania zadań w globalnej skali, gdzie problemy architektury wiążą się z polityką, menedżerem, marketingiem itp. Stwierdził proroczo: „*Maybe, architecture doesn't have to be stupid after all. Liberated from obligation to construct, it can become a way of thinking about anything – a discipline that present relationships, proportions, connections, effects, the diagram of everething.*” (Koolhaas 2004).

## Literatura:

1. Arthur, W. Brian, *The nature of technology*. New York:Free Press, 2009
2. [Brown, T., *Design Thinking*, Harvard Business Review, 2008
3. Cross, N., *Engineering Design methods*, England: Wiley, 1898
4. Dunne, D., Martin R., *Design thinking and how it will change management education: An interview and discussion*. The Academy of Management Learning and Education, 5(4), 2008

5. Gasparski, W.,(red), *Projektoznawstwo – Elementy wiedzy o projektowaniu*, WN-T, Warszawa 1988.
6. Kumar, V., *101 Design Methods: A structured Approach for Driving Innovation In Your Organisation*, John Wiley&sonS Inc., New Jersey, 2013
7. Kołowacik, E., Turek, J., Źmijski J., Źmijska, M., *Myslenie projektowe (Design Thinking) z Klasą*, Centrum Edukacji Obywatelskiej, 2013
8. Koolhaas, R., *AMO-OMA an &&&, Content*, Koln: Taschen, 2004
9. Lamster, M., *The Virtues, and Perils, of Design Thinking.*, Design, 2013.
10. Lawson, B., *How Designers Think*, OxfordUK: Architectural Press/Elsevier, 2006.
11. Lockwood, T., *Design Thinking: Interating Innovation, Customer Expierieence and Brand Value*, Design Management Institute, 2009 .
12. [ Martin, B., Haninggtton B., *Universal Methods of Design: 100 Ways to Research Com-plekx Problems, Develop Innovative Ideas, and Design Efective Solutions.*, Rochport Publishers, 2009.
13. Meinel, C., Hanington B., *Design Thinking Research . In Design Thinking: Understand-Improve-Apply*, ed. H.Plattner, C.Meinel and Leifer, V-vi, Berlin:Springer, 2011.
14. Mootee, I., *Design thinking for strategic Innovation*, John Wiley&SonS Inc., Heboken, New Jersey, 2013.
15. Plattner, H., *Design Thinking Research. In Design Thinking: Understand-Improve-Apply*, ed.H.Plattner, C.Meinel and L.Leifer, v-vi. Berlin-Springer, 2011.
16. Rowe, P., *Design Thinking*, The MIT Press, Massachusetts, 1987.
17. [Seidel, V. P., Fixson S.K., *Adopting design thinking in novice multidisciplinary teams: The aplication and limits of design methods and reflektive practice.* Journal of Product Innovation Management 30(51), 2013.
18. Stickdorn, M., Schneider J., *This is Service Design Thinking: Basics, Tools, Cases*, Wiley, 2012.
19. Owen, C.L., *Design Thinking: Notes on its nature and use.*, Design Research Quarterly, 2006.
20. Weinstein, K., *Action learning*, UK.Harper Collins, London, 1995.
21. Wright, R.T., *Technology*. Gooheart-Wilcox Company, 5<sup>th</sup> edition, 2008.
22. Yen, C.C., Jiang H., *Design Thinking in different disciplines .*, W: „Future is” -IDSA 2012 International Conference ; August, Boston, 2012.
23. Zubel, H., Model w Poszukiwaniu idei projektowej, W: Maryńczuk P. (red.) ; *Inicjacje w architekturze cz.1.*, Wyd. M-Projekt BUP, Bytom, 2011.
24. Zubel, H., Funkcjonalne projektowanie, jako warunek projektowania efektywne-go, W: P. Maryńczuk (red.) ; *Inicjacje w Architekturze cz.2, W poszukiwaniu funkcji. Funkcjonalizm*, M-Projekt BUP, Bytom, 2012.
25. Zubel, H., Diagram jako narzędzie zapisu konceptu w architekturze, W: P.Maryńczuk (red), *Inicjacje w Architekturze cz.3., Analizy w poszukiwaniu form*, M-Projekt BUP, Bytom, 2013



26. Zubel, H., Diagram jako metoda zapisu koncepcji w procesie projektowania architektonicznego, W: Misiągiewicz, Kozłowski (red.), *Definiowanie przestrzeni architektonicznej, zapis przestrzeni architektonicznej*, 2013, tom.2, wyd. Polit. Krakowska, 2013, s.664-669.
27. Zubel, H., *Diagramowy zapis koncepcji w procesie projektowania architektonicznego*. dysertacja doktorska, maszynopis, Polit. Śląska, Gliwice, 2014.



**3. TECHNOLOGICAL AND MATERIAL  
INNOVATIONS IN CONTEMPORARY  
CONSTRUCTION**

**INNOWACJE TECHNICZNE  
I MATERIAŁOWE WE WSPÓŁCZESNYM  
BUDOWNICTWIE**

**TECHNICKÉ A MATERIÁLOVÉ INOVACE  
V SOUČASNÉM STAVEBNICTVÍ**



# **SUSTAINABLE CONSTRUCTION AND RECYCLING OF WASTE OF BUILDING MATERIALS**

Mohamed Ahmad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>State University of Applied Sciences in Kalisz, Faculty of Polytechnic, ul. Poznańska 201-205, 62-800 Kalisz, kbpwsz@op.pl

## **ABSTRACT**

In recent years the development of the construction industry has gained tremendous momentum. There are many new facilities built, and many existing ones are modernized and renovated. There is huge amount of waste materials created, that usually cannot be reused and thus they become dangerous for the natural environment. Recycling is a very good solution, thanks to which the building waste materials can go back to use. For example, building rubble can be recycled. Such practices are widely used in increasingly popular sustainable building, or environmentally friendly building. It aims at reconciling the good of the environment with the constantly developing industry. Sustainable construction promotes the use of new building systems, which are aimed at creating the right conditions for the operation of buildings.

The article discusses: the contemporary threats to the natural environment, waste generated in the construction industry, the characteristics of construction waste, waste quantity, waste second life - recycling, recycling as an important element of sustainable construction, concrete as sustainable material, production of recycling aggregates in Europe, the characteristics of recycling aggregates and economic aspects of concrete recycling.

Keywords: sustainable construction, recycling of waste building materials.

## **Introduction**

In the recent times, the construction industry has been growing amazingly fast in Poland and around the world. More and more new buildings are constructed, all types of repairs and upgrades are carried out on a larger and larger scale. The demolition of existing buildings is more common now than in the past. As a result of these activities, a huge amount of waste is produced, which mostly are not re-used and persist, not only spoiling the landscape around us, but also seriously threatening the environment. The Earth is our home, for which we should care, and for which we take full responsibility. The care for

home and the awareness of decisions are fundamental principles, which should guide us when taking any industrial activity. When creating elegant and comfortable in operation buildings, today's engineers are increasingly guided by the ecological aspects and sustainable construction is becoming more and more popular.

## **WASTE IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**

### **WASTE CHARACTERISTICS**

Construction waste materials include (Ajdukiewicz, 2009): various metals, concrete debris, bricks, wood, soil from excavations, plastics, glass, insulating materials and other finishing materials, debris from the road infrastructure. Photo II.1 presents a variety of construction waste materials. In accordance with the regulation (Regulation, 2014), waste in the waste catalogue have been divided depending on the source of origin into 20 groups. Any type of waste has its code. The Polish division was made on the basis of the European classification, which is the pattern of all classifications of the European countries.



II.1. Demolition of the building – the diversity of waste material, photo Mohamed Ahmad, 16.06.2016

The estimated amount of concrete waste produced in the world in one year is approximately 1.2 billion tons. In Europe itself, approximately 200 million tons of waste is produced per year. At the end of 2004, the weight of the construction industry wastes accumulated on the Polish landfills reached a value of 2 million tons. It is expected that in 2018 waste increases to 2.4 million. In turn, according to Japanese forecasts, waste growth in this country will be 170–250 million tonnes per year (till 2035). In accordance with these data, we can note that in Poland, the production of construction waste per capita is much lower than in Japan. This disparity does not necessarily prove less debris produced in our country, but it can show the fact of keeping unreliable records of waste (Zajac et al., 2010). Figure 3.2 presents a chart illustrating the percentage share of waste produced by the construction industry (Ajdukiewicz, 2009).

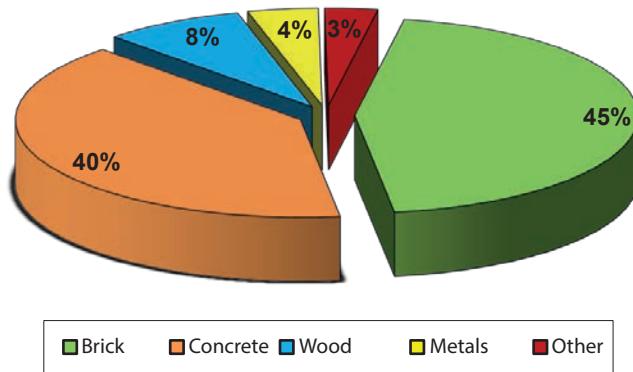


Fig. 1 Share of waste from demolition of buildings [1]

## SECOND LIFE OF WASTE - RECYCLING

In the act (Act, 2012), recycling is presented as recovery in which wastes are reprocessed into products, materials or substances used in the original purpose or for other purposes. The essence of this process is to extract the different ranges of recycling: recycling of materials, raw materials, energy, chemical. The idea guiding by recycling process itself involves caring primarily for the Earth:

- environmental protection - continuous extraction and processing of raw materials for items of the consumption world is inseparable connected with the destruction and excessive burden of the environment,
- conservation of natural resources - re-processing and re-use of secondary raw materials will result in less demand for the extraction of primary raw materials, what makes natural goods rebuild,
- energy savings – secondary raw materials are so much more energy-prone than primary energy, as long as energy generated by them can be extracted from them with less effort than included in them.

There are three basic types of recycling:

- re-application – the use of the material for the same purpose, e.g. retreading of tires,
- re-use - recovery of chemical wastes and re-putting them into production, e.g. using of car wrecks in steel plants,
- other applications - wastes used in a new field after chemical, physical or biological treatment applied.

## RECYCLING AS AN IMPORTANT ELEMENT OF SUSTAINABLE CONSTRUCTION

The main purpose of the sustainable construction is the creation of appropriate areas and manage them on a clean and efficient use of natural resources without missing aspects of quality of life and the environment. The generation of waste is an integral part of the functioning of modern society, especially in urban areas. Excessive accumulation of waste is a large threat to the environment. With this increase of waste, there is a problem



with their storage, therefore, we are forced to look for ways that will limit their growth and existing quantity. Currently developing intensive construction additionally contributes to the problem of waste. The sustainable construction development includes such tasks (Wi-erzbicki et. al., 2002):

- reducing climate changes, mainly by reducing energy consumption,
- responsible and moderate use of natural resources, adapted to current needs,
- correct procedures in relation to public health threats,
- improving communications and storage of wastes, which will allow for greater use of a workspace.

Energy-efficient construction – as the name suggests, should strive for the most economical use of natural resources and energy to burden the environment as least as possible. Poland is still considered as one of the countries where recycling materials are used in very low amount.

### **CONCRETE AS A SUSTAINABLE MATERIAL**

The sustainable construction is defined as the socio-economic development, which aims to integrate political, economic and social activities, while maintaining the balance of nature and the sustainability of natural processes. The purpose of this procedure is to guarantee today's and future society to satisfy its needs. The above definition, with respect to the construction sector, should be understood as a responsible attitude the purpose of which should involve carrying out of construction projects with the least burden of the environment. The correct application of energy used in the production of construction materials should be justified economically and exploit natural resources ([http://www.muratorplus.pl/technika/zrownowazony-rozwoj/materialy-budowlane-w-zgodzie-z-idea-zrownowazonego-rozwoju\\_69787.html](http://www.muratorplus.pl/technika/zrownowazony-rozwoj/materialy-budowlane-w-zgodzie-z-idea-zrownowazonego-rozwoju_69787.html), access date 07.07.2016). Construction materials must meet specific conditions to join the group these sustainable. The factors that have the greatest impact on the assessment and qualifications are:

- durability - the more durable material is, the better.
- composition - the most natural materials are ranked the highest,
- waste generated in the production process, extraction of material as well as during the construction process,
- impact of material on indoor air quality (the least volatile emissions that negatively impact on human health and the environment is also important);
- type of material packaging (material should have no packaging or that is suitable for multiple use),
- maintenance - people responsible for the maintenance and cleaning of a material are not exposed to the harmful effects of cleaning and preserving substances in use,
- availability - regional materials for easy access and fast transport are appreciated more, which is undoubtedly important in terms of a cost of material and time of delivery;

- degree of difficulty of use - the best materials do not require the use of specialized heavy equipment during the assembly, which would generate costs and environmental damage in a form of carbon dioxide emitted by the equipment,
- utilization - reusable or biodegradable materials are the best.

It is concrete that is the material that meets the above criteria. Only the fact that aggregate obtained for the production of concrete is a natural aggregate and not a renewable source can raise some doubts. However, if we replace this raw material with aggregate produced in the recycling process, this negative factor will be eliminated, and concrete will be considered as a fully sustainable material. Concrete has a number of advantages. When producing concrete, it is possible to reduce pollutants emitted to the air. This process enables the exchange some clinker contained in cement into the secondary raw materials and other waste produced in other sectors of the economy. Such raw materials can be e.g. fly ash (power stations) or blast furnace slag (metallurgy). The use of this process allows to remove harmful compounds such as carbon dioxide from the concrete structure throughout the life cycle of the building. This process is called carbonation and occurs on the surface of concrete. The research has shown that concrete being a part of the structure has the ability to be removed from the atmosphere during its existence – 10% carbon dioxide, which was emitted during the cement production needed to produce concrete ( [http://www.polskicement.com/files/Pages/100/uploaded/15\\_103.pdf](http://www.polskicement.com/files/Pages/100/uploaded/15_103.pdf) access on 07.07.2016). In accordance with the statistics, approx. 3 million tons of debris were produced in Poland in 2002. The use of the recycled methods can effectively contribute to reduce environmental pollution, but also provides the benefits for the construction companies. In the case of demolition of the old structure with the intention to construct a new one, the utilisation and use of debris foundation created during the demolition can significantly reduce the cost of future investments. Currently, more than 80% of recycled debris is re-used by the construction companies ( [www.terbet.com.pl](http://www.terbet.com.pl) access on 07.07.2016).

## **PRODUCTION OF RECYCLING AGGREGATES IN EUROPE**

Poland, which is a developing country, cannot boast about highly developed construction waste recycling and their extensive use. The total amount of recycling aggregates produced in Poland is not known. The estimates in this matter are presented by the Polish Federation of Employers of Aggregate Producers, specifying the size of this product at the level of 4.5 million tons. The data show that this is approx. 2.5% of all aggregates currently used in Poland (Kozioł et al., 2008). For comparison, figure 2 shows the volume of the production of recycling aggregate in selected European countries.

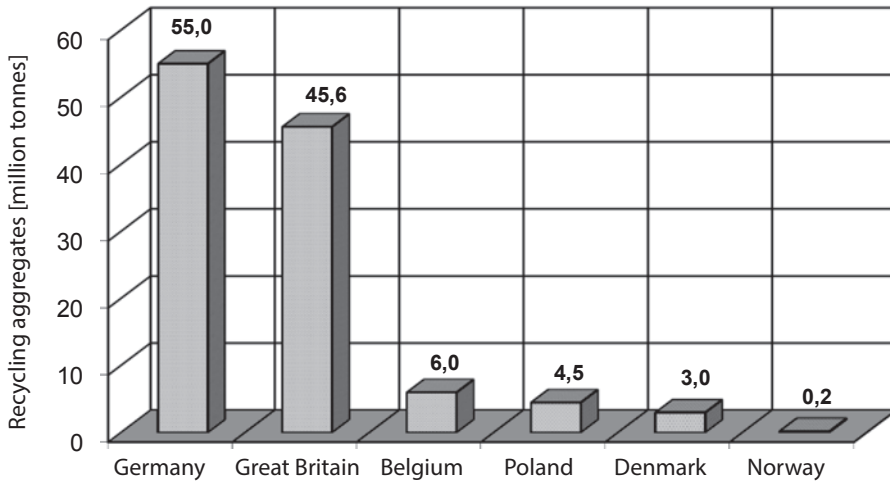


Fig. 2 Production of aggregates in selected countries, Source: Own development

The countries that achieve high conversion of debris into recycling aggregate are among the developed countries. A large number of residents and high-level industry in a number of areas have made it very important to take activities on the management of waste, including those of construction. Further, vigorous development of the construction industry in these countries forced the obligation to treat construction waste as much as possible, resulting in the conversion of debris to recycling aggregates is increasing. Figure 3 clearly shows the difference between aggregate circulation in the underdeveloped and developed countries (Ajdukiewicz, 2009).

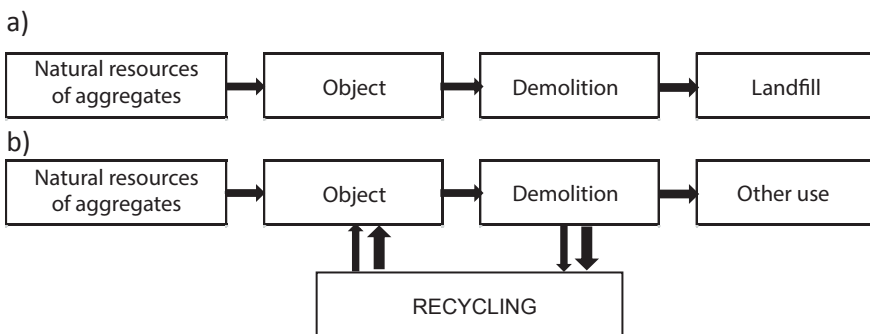


Fig. 3 Circulation of aggregates: a) the model used in the underdeveloped and developing countries b) The model used in the developed countries [1]

The current and future image of concrete recycling is described in the literature (Zajac et al., 2010). In accordance with the authors, the recovered debris is used only as a material for foundations of roads. The authors predict a closed circulation of recycling aggregates.

It will allow to completely utilise construction waste, i.e. debris, to construct new buildings.

## CHARACTERISTICS OF RECYCLING AGGREGATES

The whole construction industry is the raw material base for aggregates coming from recycling. The dependence is that the place of construction of a new building will also involve the demolishing processes, and recycling aggregate will be produced there, as well. The demolition of a building and the aggregate processing require the involvement of special enterprises. In order for the secondary aggregate to achieve the right quality while retaining its main properties from concrete debris, appropriate equipment and technologies for processing debris contaminated with waste are needed. Photo II.2 shows recycling aggregates from concrete and brick. Aggregates that can be used for the production of concrete are granular materials with specific properties. They can be natural, artificial and waste. The selection of the method of waste shredding (e.g. with impact, cylinder or jaw crusher) impacts on achieving the proper granulation of the secondary aggregate and its properties for stability and durability. Recycling aggregate is a heterogeneous material with high dispersion properties. For this reason, it must meet specific requirements that will ensure a sufficient level of structural safety.



II.2. Recycling aggregate from concrete and brick, photo Mohamed Ahmad. 16.06.2016

These requirements concern the permissible amount of impurities, water absorption and density in dry state. The presence of old mortar, leaven or light impurities can cause a reduction in the density of recycling aggregates to the limits of 2500–2610 kg/m<sup>3</sup>, which is lower than in conventional aggregates. Recycling aggregates have worse parameters of frost resistance and sulphate resistance to natural aggregates. Aggregates derived from

recycled concrete are not chemically inert, which affects the behaviour of both hardened and fresh concrete in which the aggregate is contained. The secondary aggregates are fully suitable for the production of concrete, but the tests of aggregates and concrete containing aggregates should firstly be carried out (Wolska-Kotańska, 2004). Aggregates from the recovery of ceramic bricks can also be used to produce concrete. However, these aggregates have worse characteristics than natural aggregates and those from recycling concrete. These concrete also have a number of disadvantages, but they can be used to produce components that will not be used to build the structure. They are characterized by low weight and high fire resistance (Zajęc, 2008). The major disadvantages of recycling aggregates are, first of all, a large variability caused by the variability of waste and the content of a number of pollutants that can be harmful to concrete and humans. The advantages of recycling aggregates are primarily (Wiaderny, 1993): abrasion resistance, cementing properties, good anti-skid properties, non-slip, suitable dynamic load resistance, elution and erosion resistance, veneering resistance.

## **ECONOMIC ASPECTS OF CONCRETE RECYCLING**

The research carried out in a number of countries around the world has shown that the viability of waste recycling companies is provided by certain conditions:

- easy disposal of produced aggregates,
- shortage or low availability of natural materials, resulting in high purchase and transportation costs,
- specified regular supplies of large quantities of a demolition material,
- good location of recycling plants, near large agglomerations would be the most beneficial,
- high storage costs of debris,
- good access to plants with larger tonnage.

The examples of locations for major recycling facilities in the countries such as Belgium, the Netherlands and Germany can confirm the above. Concrete from road pavements or runways from airports is the best material suitable for economic recycling, as it is relatively clean. However, the location of the plant allows to save the most, i.e. preferably in a place with natural aggregates shortage. It also requires the availability of large quantities of debris, pavements, road surfaces and demolition material from the structure. The economic analyses carried out in the USA show that a recycling plant is solvent if it processes 110–275 tons of wastes per hour. Annually, the plant should sell approx. 200.000 tons of aggregate. For this reason, its substrate is so important. Recycling aggregates should also have a good price to be competitive with natural aggregates, which is almost half the cost.

## **CONCLUSION**

The construction industry with the mining, energy, metallurgical and chemical industries are economic sectors that cause a lot of environmental burden (Jaworski, 1999). Respecting the principles of the sustainable development requires the construction indus-

try to construct buildings that meet certain social, environmental and economic criteria (Aysin, 2009). In Poland, natural aggregates are still used in the production of concrete, and the so-far research on the use of recycled aggregates has been insufficient. The analysis of the laboratory tests of a number of publications on both concrete and brick recycling aggregates confirms the suitability and possibility of obtaining low-strength concretes based on recycling aggregates. Properly managed construction waste management, if it does not completely solve the problem of waste, at least minimizes it and leads to savings in primary raw materials, energy and the protection of the environment.

## REFERENCES

1. Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A., Recykling betonu konstrukcyjnego – cz. I, Inżynier Budownictwa, 2/2009.
2. Aysin S., Can the Construction Industry Conceptual Framework, W: Sustainable development, vol. 17, issue 3, 2009 p. 161-173.
3. [http://www.muratorplus.pl/technika/zrownowazony-rozwoj/materialy-budowlane-w-zgodzie-z-idea-zrownowazonego-rozwoju\\_69787.html](http://www.muratorplus.pl/technika/zrownowazony-rozwoj/materialy-budowlane-w-zgodzie-z-idea-zrownowazonego-rozwoju_69787.html), dostęp dnia 07.07.2016.
4. [http://www.polskicement.pl/files/Pages/100/uploaded/15\\_103.pdf](http://www.polskicement.pl/files/Pages/100/uploaded/15_103.pdf), dostęp dnia 07.07.2016.
5. Jaworski K. M., Metodologia realizacji procesów budowy, PWN: Warszawa 1999.
6. Kozioł W., Kawalec P., Kruszywa alternatywne w budownictwie, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 7-8/2008.
7. Mikoś J., Budownictwo ekologiczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2000.
8. Rozporządzenie ministra środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów
9. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach.
10. Wiaderny K., Zakład produkcji kruszyw w KWB „Bełchatów”, „Węgiel Brunatny nr 3 (6), 1993.
11. Wierzbiński S. M., Gajownik R., Problemy zrównoważonego budownictwa w pracach Instytutu Techniki Budowlanej, W: Konferencja Naukowo-Techniczna, Budownictwo spełniające wymagania zrównoważonego rozwoju, ITB, Mrągowo, 2002 s. 34-42.
12. Wolska-Kotańska C., Kruszywa z recyklingu betonu – właściwości i zastosowanie, XVI Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia budownictwa”, PZTB, Bielsko-Biała 2004 s. 105-112.
13. [www.terbet.com.pl](http://www.terbet.com.pl), dostęp dnia 07.07.2016.
14. Zając B., Gołębiowska I., Ewolucja technologii recyklingu betonu, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 5/2010 s. 134-135
15. Zając B., Właściwości betonu z kruszywem recyklingowym z cegły, Inżynieria i Aparatura Chemiczna nr 5, 2008 s. 62-63.





# BUDOWNICTWO ZRÓWNOWAŻONE A RECYKLING ODPADOWYCH MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH

Mohamed Ahmad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu, Wydział Politechniczny, Katedra Budownictwa, ul. Poznańska 201-205, 62-800 Kalisz, e-mail: kbpwsz@op.pl

## ABSTRAKT

W ostatnich latach rozwój budownictwa nabrał ogromnego tempa. Wiele nowych obiektów jest wznoszonych, a wiele już istniejących jest modernizowanych i remontowanych. W czasie prac powstaje ogromna ilość odpadów, które zazwyczaj nie znajdują ponownego zastosowania i zalegają, zagrażając środowisku naturalnemu. Dobrym rozwiązaniem jest recykling, dzięki któremu spisane na straty odpady budowlane trafiają ponownie do obiegu. Recyklingowi można poddać np. gruz budowlany. Takie praktyki są powszechnie stosowane w coraz popularniejszym budownictwie zrównoważonym – czyli ekologicznym – które ma pogodzić dobro środowiska naturalnego z wciąż rozwijającym się budownictwem. Budownictwo zrównoważone promuje wykorzystywanie nowych systemów budowlanych, które mają na celu stworzenie odpowiednich warunków do eksploatacji budynków.

W artykule omówiono: współczesne zagrożenia środowiska naturalnego, odpady powstające w budownictwie, charakterystykę odpadów budowlanych, ilość odpadów budowlanych, drugie życie odpadów – recykling, recykling jako ważny element budownictwa zrównoważonego, beton jako materiał zrównoważony, produkcję kruszywa recyklingowego w Europie, charakterystykę kruszyw recyklingowych oraz aspekty ekonomiczne recyklingu betonu.

Słowa kluczowe: budownictwo zrównoważone, recykling odpadowych materiałów budowlanych.

## WPROWADZENIE

W ostatnich czasach budownictwo rozwija się zadziwiająco szybko na całym świecie, również w Polsce. Powstaje coraz więcej nowych budynków, wykonuje się wszelkiego rodzaju remonty i modernizacje zakrojone na coraz większą skalę. Częstszym niż dawniej zjawiskiem jest także rozbiórka istniejących budynków. W wyniku tych działań wytwarza-

na jest olbrzymia ilość odpadów, które najczęściej nie znajdują ponownego zastosowania i zalegają, nie tylko psując otaczający nas krajobraz, ale też poważnie zagrażając środowisku naturalnemu. Ziemia jest naszym domem, o który powinniśmy się troszczyć i za który ponosimy pełną odpowiedzialność. Troska o ten dom i świadomość podejmowanych decyzji są podstawowymi zasadami, którymi powinniśmy się kierować, podejmując wszelkie działania przemysłowe. Wspólnie musimy zadbać o to, aby przyszłe pokolenia poznały życie na planecie czystej i zielonej, a nie w przestrzeni pełnej betonu i wysypisk gruzu. Dlatego też dzisiejsi inżynierowie przy tworzeniu eleganckich i wygodnych w eksploatacji budowli coraz częściej kierują się aspektami ekologicznymi a budownictwo zrównoważone staje się coraz bardziej popularne. To bardzo ważne, by podczas tworzenia obiektu skupić się zarówno na jego projekcie i perfekcyjnym wykonaniu, jak i na możliwościach wykorzystania odpadów, które powstają podczas wznoszenia i wykańczania.

## **WSPÓŁCZESNE ZAGROŻENIA ŚRODOWISKA NATURALNEGO**

Ziemska biosfera cały czas otrzymuje energię zewnętrzną, którą jest promieniowanie słoneczne. Strumień tej energii równoważy siły degradacji i utrzymuje całą powłokę ziemską na optymalnym poziomie. Jeżeli wszystkie mechanizmy towarzyszące temu procesowi pozostałyby sprawne, nic jej nie zniszczy do końca istnienia życia na ziemi. Jednak obecnie jesteśmy świadkami głębokiego kryzysu spowodowanego zakłóceniami funkcjonowania wszystkich biosfer. Nadszedł czas, abyśmy zastanowili się nad podstawowymi regułami rządzącymi światem i nad naszymi działaniami, które – jak pokazuje życie – są prowadzone coraz bardziej wbrew naturze. Obecnie biosfera przechodzi proces degradacji ogromnych rozmiarów, który poważnie zagraża życiu na ziemi. Aby przeżyć, musimy go zahamować. Musimy zaprzestać marnowania bogactwa wszystkich surowców, energii i przestrzeni, jakie daje nam ziemia. Zdaje się, że zaczynamy tracić kontrolę nad cywilizacją przemysłową – powinniśmy zadbać o to, aby zaczęła działać w sposób sensowny i zharmonizowany z naturą. Prognozy naukowców nie napawają optymizmem, oszacowano, że w 2050 roku średnia temperatura na Ziemi może wzrosnąć aż o 6°C. Dwutlenek węgla zawarty w powietrzu może mieć stężenie większe o 4–8 razy w porównaniu z dzisiejszym, co wywoła „efekt szklarni”. Efekt cieplarniany – zwany także szklarniowym – jest spowodowany zatrzymaniem się w atmosferze coraz większych ilości promieniowania podczerwonego, co prowadzi do ogrzewania się Ziemi. Każde wahanie temperatury wpływa na zmianę zawartości pary wodnej w atmosferze, która zwiększa zachmurzenie i opady. Dodatkowo efekt cieplarniany powoduje także topnienie lodowców, co skutkuje podnoszeniem poziomu wód w morzach i zatapianiem lądów. I w końcu wyższa temperatura oznacza także powiększenie się obszarów pustynnych. Kolejnym zagrożeniem dla kuli ziemskiej jest „dziura ozonowa”. Powłoka ozonowa jest warstwą, która chroni biosferę przed przenikaniem silnego promieniowania elektromagnetycznego. Promieniowanie to jest bardzo szkodliwe dla zdrowia ludzkiego i wszystkich istot żywych – wywołuje poważne choroby, np. raka skóry, może też poważnie poparzyć. Dodatkowo powoduje podwyższenie temperatury na Ziemi. To najwyższy czas, by zacząć racjonalnie myśleć na temat

globalnego gospodarowania zasobami środowiska – powietrzem, energią, wodą, zasobami naturalnymi oraz florą i fauną. Ludzie i przyroda wspólnie tworzą system nazwany ekologicznym systemem osadniczym. Człowiek przekształcając pierwotne ekosystemy, wprowadza dodatkowe materiały i energię i wytwarza w tym procesie duże ilości odpadów. Jest to początek zakłóceń, jakie wprowadza się do naturalnego obiegu. Wielkie miasta są obszarami, gdzie równowaga ekologiczna jest szczególnie naruszana i niszczone. Ich rozwój jest już tak bardzo zaawansowany, że ekosystemy, które mają pewną zdolność do samoregulacji i adaptacji, nie są w stanie odeprzeć ataku tylu czynników degradacyjnych. Kiedy pewna granica zostanie przekroczona, ekosystemy zostaną zniszczone, a życie człowieka może być poważnie zagrożone. Stąd w ostatnich czasach duży nacisk kładzie się na ochronę środowiska. W Tab. 1 podane są czynniki szczególnie niszczące środowisko naturalne (Mikoś, 2000).

Tab.1 Czynniki szczególnie niszczące środowisko naturalne [8]

|   |   |
|---|---|
| Czynniki niszczące środowisko naturalne | Konieczne działania   |
| Samochody                               | Znacznie zmniejszenie zużycia paliwa o ok. 2 litrów i zanieczyszczeń środowiska.  |
| Domy                                    | Samowystarczalne energetycznie domy, wykorzystujące energię odnawialną – głównie energię słoneczną.   |
| Energia                                 | Produkcja energii nieobciążająca środowiska naturalnego. Produkcja energooszczędnych odbiorników.   |
| Transport                               | Stosowanie technologii telekomunikacyjnych zastępujących transport towarów i osób. Skrócenie drogi i czasu transportu. Stosowanie środków transportu energooszczędnego. |
| Odpady                                  | Stosowanie nowych technologii utylizacji odpadów. Stosowanie recyklingu.  |

Istnieją prognozy, według których w 2030 roku populacja na Ziemi wzrośnie do ośmiu miliardów. To z kolei będzie prowadziło do wzrostu ilości usług o około cztery razy. Już dzisiaj nadużywamy naturalnych zasobów, jakie oferuje nam nasza planeta, więc rodzi się pytanie – jak sprosta potrzebom ludzi w tak niedalekiej przyszłości?

## **ODPADY POWSTAJĄCE W BUDOWNICTWIE**

### **CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW BUDOWLANYCH**

Pojęcie odpadu budowlanego jest bardzo szerokie, ponieważ odnosi się do odpadów powstałych przy wznoszeniu obiektu na placu budowy, remontach i rozbiórkach budynków, w zakładach produkcyjnych, gdzie wytwarzane są materiały budowlane, a nawet przy remontach dróg i ulic. Mało kto wie, że wytwórcami odpadów są także przedsiębiorstwa

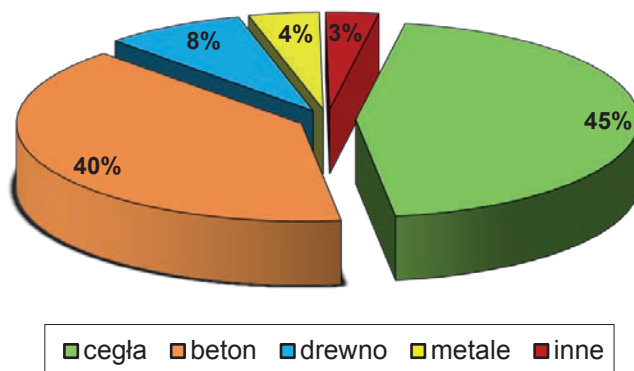
dostarczające ciepło, gaz i wodę. W kolejnictwie, w wyniku różnych prac demontażowych czy remontowych również powstają duże ilości odpadów. Ich zróżnicowanie jest bardzo duże – wszystko zależy od źródła powstania. Odpady powstałe w budownictwie przemysłowym mogą być zanieczyszczone np. substancjami impregnującymi czy metalami ciężkimi, a w kolejnictwie – olejami, smarami, metalami ciężkimi, środkami impregnującymi i innymi niebezpiecznymi substancjami. Do odpadowych materiałów budowlanych zalicza się (Ajdukiewicz, 2009): różne metale, np.: stal, gruz betonowy z konstrukcji betonowych oraz ceglanych, drewno, ziemię z wykopów, tworzywa sztuczne, szkło, materiały izolacyjne oraz inne materiały wykończeniowe, gruz pochodzący z infrastruktury drogowej, np.: asfalt, beton, kamień naturalny. Na fotografii Il.1 przedstawione są różnorodne budowlane materiały odpadowe. Zgodnie z rozporządzeniem (Rozporządzenie, 2014) odpady w katalogu odpadów zostały podzielone w zależności od źródła ich powstawania na 20 grup. Każdy rodzaj odpadu ma swój kod. Polski podział został wykonany na podstawie europejskiej klasyfikacji odpadów, na której wzorują się wszystkie klasyfikacje państw europejskich.



Il.1. Rozbiórka budynku – różnorodność materiału odpadowego  
fot. Mohamed Ahmad, 16.06.2016

Szacunkowa ilość odpadów betonowych wytwarzanych na świecie w ciągu jednego roku wynosi około 1,2 mld ton. W samej Europie wytwarza się ich w granicach 200 mln ton rocznie. Pod koniec 2004 r. na polskich składowiskach waga nagromadzonych odpadów z przemysłu budowlanego osiągała wartość 2 mln ton. Przewiduje się, że w roku 2018 ilość odpadów wzrośnie do 2,4 mln. Z kolei według japońskich prognoz przyrost ilości odpadów w tym kraju będzie wynosił 170–250 mln ton rocznie (do 2035 roku). Według tych danych możemy zauważyć, że w Polsce produkcja odpadów budowlanych w przeliczeniu na jednego mieszkańca jest dużo mniejsza niż w Japonii. Ta dysproporcja niekoniecznie świadczy o mniejszej ilości wytwarzanego gruzu w naszym państwie, ale może ukazywać

fakt prowadzenia mało rzetelnej ewidencji odpadów (Zając i in., 2010). Na Rys. 1 przedstawiony jest wykres ilustrujący procentowy udział odpadów, jakie wytwarza budownictwo (Ajdukiewicz, 2009).



Rys. 1 Udział odpadów pochodzących z rozbiórek obiektów budowlanych [1]

## DRUGIE ŻYCIE ODPADÓW – RECYKLING

W ustawie (Ustawa, 2012) recykling przedstawiony jest jako odzysk, w ramach którego odpady są ponownie przetwarzane na produkty, materiały lub substancje wykorzystywane w pierwotnym celu lub w innych celach. Istotą tego procesu jest wyodrębnienie różnych zakresów recyklingu: recykling materiałowy, surowcowy, energetyczny, chemiczny. Natomiast ideą, jaką kieruje się sam proces recyklingu, jest dbałość przede wszystkim o ziemię:

- ochrona środowiska – nieustanne wydobywanie i przetwarzanie surowców na przedmioty świata konsumpcyjnego jest nierozzerwalnie związane z wyniszczaniem i nadmiernym obciążaniem środowiska,
- ochrona zasobów naturalnych – ponowne przetwarzanie i wykorzystywanie surowców wtórnych spowoduje mniejszy popyt na wydobywanie surowców pierwotnych, co sprawi, że dobra naturalne odbudują się,
- oszczędność energii – surowce wtórne tak długo są oszczędniejsze od energii pierwotnej, jak długo można wydobyć z nich energię, którą w sobie wytwarzają, mniejszym nakładem niż jest w nich zawarty.

Wyróżnia się trzy podstawowe rodzaje recyklingu:

- ponowne zastosowanie – stosowanie materiału w tym samym celu, np. bieżnikowanie opon,
- ponowne użytkowanie – odzysk odpadów chemicznych i ponowne wprowadzenie ich do produkcji, np. używanie wraków samochodów w stalowniach,
- dalsze zastosowanie – odpady używane w nowej dziedzinie po uprzednim zastosowaniu przeróbki chemicznej, fizycznej bądź biologicznej.

## RECYKLING JAKO WAŻNY ELEMENT BUDOWNICTWA ZRÓWNOWAŻONEGO

Głównym celem budownictwa zrównoważonego jest tworzenie odpowiednich obszarów zabudowanych i zarządzanie nimi na zasadzie ekologicznego i efektywnego wykorzystywania zasobów naturalnych bez pominięcia aspektów jakości życia i środowiska naturalnego. Wytwarzanie odpadów jest nieodłączną częścią funkcjonowania współczesnego społeczeństwa, przede wszystkim w obszarach miejskich. Nadmierne gromadzenie odpadów jest bezsprzecznie dużym zagrożeniem dla środowiska naturalnego. Przy takim przyroście odpadów pojawia się problem z ich składowaniem, dlatego jesteśmy zmuszeni do poszukiwania sposobów, które pozwolą ograniczyć ich przyrost i istniejącą już ilość. Rozwijające się w tej chwili intensywnie budownictwo dodatkowo przyczynia się do problemu z odpadami. Zrównoważony rozwój budownictwa obejmuje takie zadania (Wierzbicki i in., 2002):

- zmniejszenie zmian klimatycznych przede wszystkim przez zmniejszenie zużycia energii,
- odpowiedzialne i umiarkowane korzystanie z bogactw naturalnych, dostosowane do aktualnych potrzeb,
- odpowiednie postępowanie w stosunku do zagrożenia zdrowia publicznego,
- usprawnienie łączności a także składowania odpadów, co pozwoli na większe wykorzystanie przestrzeni roboczej.

Budownictwo energooszczędne – jak sama nazwa wskazuje – powinno dążyć do jak najbardziej oszczędnego użytkowania zasobów naturalnych i energii, by jak najmniej obciążać przy tym środowisko. Polska wciąż jest zaliczana do krajów, gdzie materiały recyklingowe są wykorzystywane w bardzo małych ilościach. Nie jesteśmy z tym problemem osamotnieni, bo np. w Wiedniu także największe ilości odpadów budowlanych trafiają na wysypiska. W Szwajcarii jest to aż 90%, a są to naprawdę duże ilości, ponieważ dochodzą do 3 mln ton z samego budownictwa infrastrukturalnego i nadziemnego. Przekraczają one masę wszystkich zsumowanych odpadów komunalnych, których jest około 2,6 mln ton. W 2007 roku w Polsce sektor budownictwa wytworzył 818,4 tysięcy ton odpadów, z tej ilości 569,6 tysięcy ton poddano procesowi odzysku. 105 tysięcy ton unieszkodliwiono, w tym 16,6 tysięcy ton zostało umieszczonych na składowiskach a 4,1 tysięcy ton termicznie unieszkodliwionych. Resztę odpadów budowlanych, czyli 143,3 tysięcy ton, czasowo zmagazynowano. W tej sytuacji rozsądnym sposobem postępowania z odpadami wydaje się segregowanie materiałów budowlanych oraz odpowiednie zarządzanie nimi. Sposobem na odzyskanie aż 90% odpadów jest segregowanie ich rodzajami, osobne składowanie, a także transport. Potwierdzeniem efektywności tego rozwiązania jest fakt, że Brandenburgia produkuje 640 tysięcy ton odpadów budowlanych rocznie, z których odpady konstrukcyjne stanowią 308 tysięcy ton. W przeliczeniu na mieszkańców możemy w ten sposób uzyskać 248 kg odpadów budowlanych na osobę rocznie, w tym 119 kg odpadów konstrukcyjnych na osobę. W Berlinie ponowne wykorzystywanie odpadów ceglanych i betonowych z budynków sięga nawet 100%. Jeżeli chodzi o ogół odpadów budowlanych (uwzględniający ziemię i wszystko inne) jest to około 44%.



## BETON JAKO MATERIAŁ ZRÓWNOWAŻONY

Budownictwo zrównoważone jest definiowane jako rozwój społeczno-gospodarczy, który ma na celu integrowanie działań politycznych, gospodarczych i społecznych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej i trwałości procesów przyrodniczych. Celem takiego postępowania jest zagwarantowanie społeczeństwu współcześnie i w przyszłych pokoleniach zaspokojenia wszelkich potrzeb. Powyższa definicja w odniesieniu do sektora budowlanego powinna być rozumiana jako odpowiedzialna postawa, która za cel powinna obrać wykonywanie inwestycji budowlanych przy jak najmniejszym obciążaniu środowiska naturalnego. Właściwe zastosowanie energii wykorzystywanej podczas produkcji materiałów budowlanych powinno być uzasadnione ekonomicznie i odpowiednio eksploatować bogactwa naturalne ([http://www.muratorplus.pl/technika/zrownowazono-rozwoj/materiały-budowlane-w-zgodzie-z-idea-zrownowazonego-rozwoju\\_69787.html](http://www.muratorplus.pl/technika/zrownowazono-rozwoj/materiały-budowlane-w-zgodzie-z-idea-zrownowazonego-rozwoju_69787.html), dostęp dnia 07.07.2016). Materiały budowlane muszą spełnić określone warunki, aby dołączyć do grupy tych zrównoważonych. Do czynników, które mają największy wpływ przy ocenie i kwalifikacji należy:

- trwałość – im materiał trwalszy, tym lepiej,
- skład – materiały najbardziej naturalne są najwyżej punktowane,
- odpady wytwarzane w procesie produkcji, wydobycia materiału a także podczas procesu budowy,
- wpływ materiału na jakość powietrza wewnątrz budynku (ważna jest także jak najmniejsza emisja związków lotnych, które mają niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka i środowisko),
- rodzaj opakowania materiału (najlepiej, jeżeli materiał nie ma żadnego opakowania albo takie, które nadaje się do użytku wielokrotnego),
- konserwacja – aby osoby odpowiedzialne za konserwację i czyszczenie danego materiału nie miały kontaktu ze szkodliwym działaniem substancji czyszczących i konserwujących w trakcie użytkowania,
- dostępność – bardziej doceniane są materiały regionalne ze względu na łatwy dostęp i szybki transport, który niewątpliwie też ma znaczenie na koszt materiału i na szybkość jego dostarczenia;
- stopień trudności użycia – najlepsze są materiały, których montaż w obiekcie nie wymaga użycia specjalistycznego sprzętu ciężkiego, generującego koszty oraz straty dla środowiska naturalnego w postaci dwutlenku węgla emitowanego przez sprzęt,
- utylizacja – najlepsze są materiały, które mogą zostać ponownie wykorzystane lub poddane biodegradacji.

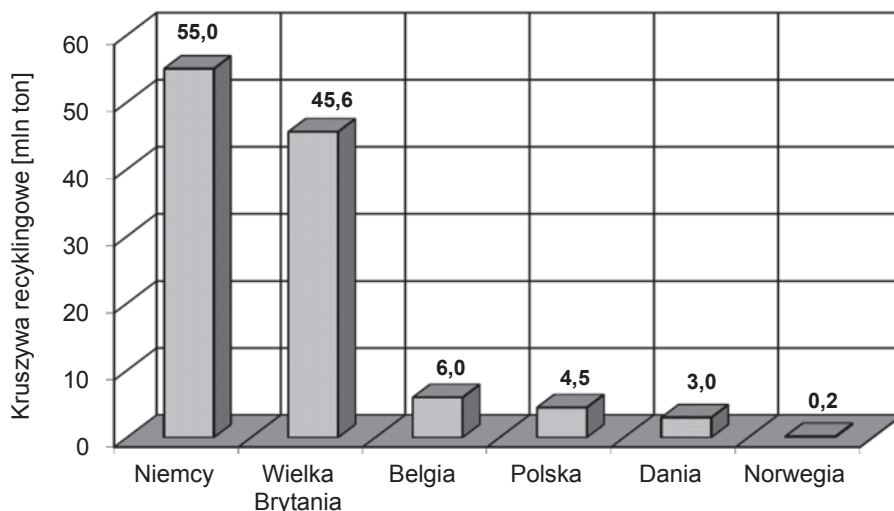
To właśnie beton jest materiałem, który spełnia powyższe kryteria. Jedyne fakt, że kruszywo pozyskiwane do produkcji betonu jest kruszywem naturalnym i nie należy do źródeł odnawialnych może budzić pewne wątpliwości. Jednak jeżeli zastąpimy ten surowiec kruszywem wyprodukowanym w procesie recyklingu, ten negatywny czynnik opisany zostanie wyeliminowany, a beton będzie można uznać za materiał w pełni



zrównoważony. Beton ma wiele zalet. Przy jego produkcji istnieje możliwość obniżenia wytwarzanych zanieczyszczeń (dwutlenek węgla) emitowanych do powietrza. Proces ten umożliwia wymianę pewnej części klinkieru, który jest zawarty w cemencie, na surowce wtórne i inne odpady powstające w innych dziedzinach gospodarki. Takimi surowcami mogą być np.: popiół lotny (elektrownie) lub żużel wielkopiecowy (hutnictwo). Zastosowanie tego procesu pozwala na pobieranie z konstrukcji betonowej szkodliwego związku, jakim jest dwutlenek węgla w trakcie całego cyklu życia budowli. Proces ten nosi nazwę karbonatyzacji i zachodzi na powierzchni betonu. W badaniach dowiedziono, że beton, który jest częścią konstrukcji, ma zdolność do pobrania z atmosfery podczas swojego istnienia 5–10% dwutlenku węgla, który został wyemitowany w trakcie produkcji cementu potrzebnego do powstania betonu ([http://www.polskicement.pl/files/Pages/100/uploaded/15\\_103.pdf](http://www.polskicement.pl/files/Pages/100/uploaded/15_103.pdf), dostęp dnia 07.07.2016). Według danych statystycznych w roku 2002 w Polsce zostało wyprodukowane około 3 mln ton gruzu. Zastosowanie w tym wypadku metody recyklingu może skutecznie przyczynić się do zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska naturalnego, ale też niesie za sobą korzyści dla firm budowlanych. Przykładem może być powszechnie stosowany recykling gruzu. W przypadku wyburzenia starej konstrukcji z zamiarem postawienia nowej, utylizacja i użycie do podbudowy fundamentu gruzu powstałego podczas rozbiórki mogą znacznie zmniejszyć koszty przyszłych inwestycji. Dzisiaj ponad 80% gruzu z recyklingu jest ponownie wykorzystywana przez firmy budowlane ([www.terbet.com.pl](http://www.terbet.com.pl), dostęp dnia 07.07.2016).

## **PRODUKCJA KRUSZYWA RECYKLINGOWEGO W EUROPIE**

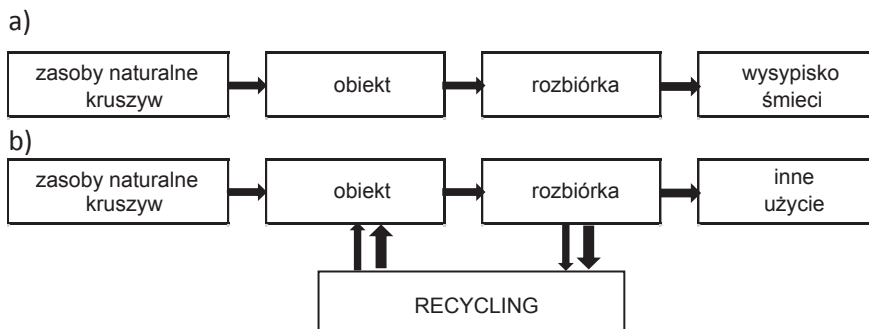
Polska, należąca do krajów rozwijających się, nie może się poszczycić wysokorozwiniętym przetwórstwem odpadów budowlanych oraz ich szerokim wykorzystywaniem. Nie jest znana całkowita ilość kruszywa recyklingowego produkowanego w Polsce. Szacunki w tej sprawie przedstawia Polski Związek Pracodawców Producentów Kruszyw, określając wielkość tego wyrobu rzędu 4,5 mln ton. Z danych wynika, iż jest to około 2,5% wszystkich kruszyw, które są obecnie stosowane w Polsce (Kozioł i in., 2008). Dla porównania Rys. 2 przedstawia wielkość produkcji kruszywa recyklingowego w wybranych krajach Europy.



Rys. 2 Produkcja kruszyw recyklingowych w wybranych państwach

Źródło: Opracowanie własne

Kraje osiągające wysoki przerób gruzu na kruszywo recyklingowe należą do grupy krajów rozwiniętych. Duża liczba mieszkańców oraz przemysł osiągający wysoki poziom w wielu dziedzinach sprawiły, iż bardzo ważne było podjęcie działań dotyczących zagospodarowania odpadów, także tych budowlanych. Dalszy, energiczny rozwój budownictwa w tych krajach wymusił obowiązek zagospodarowania odpadów budowlanych w jak największej ilości, co spowodowało, iż przeistoczenie gruzu na kruszywo recyklingowe jest coraz większe. Rys. 3 wyraźnie pokazuje różnicę pomiędzy obiegiem kruszyw w krajach słabo rozwiniętych a krajach rozwiniętych (Ajdukiewicz, 2009).



Rys. 3 Obieg kruszyw: a) model stosowany w krajach słabo rozwiniętych i rozwijających się b) model wykorzystywany w krajach rozwiniętych [1]

Aktualny i przyszłościowy obraz recyklingu betonu jest opisany w literaturze (Zając i in., 2010). Wg autorów odzyskany gruz jest wykorzystywany jedynie jako materiał na

podbudowę dróg. Autorzy przewidują obieg zamknięty kruszyw recyklingowych. Pozwoli on na całkowite wykorzystanie odpadu budowlanego – jakim jest gruz – do budowy nowych obiektów budowlanych.

## **CHARAKTERYSTYKA KRUSZYW RECYKLINGOWYCH**

Bazą surowcową dla kruszyw pochodzących z recyklingu jest całe budownictwo. Zależność jest taka, że w miejscu, gdzie powstaje nowy budynek, będą odbywać się także procesy wyburzania i będzie tam produkowane kruszywo recyklingowe. Rozbiórka obiektu budowlanego i proces przetwarzania kruszywa jest procesem, który wymaga zaangażowania specjalnych przedsiębiorstw. Aby kruszywo wtórne osiągnęło odpowiednią jakość przy zachowaniu jego głównych właściwości z gruzu betonowego, potrzebne są odpowiednie urządzenia i technologie przetwarzania gruzu zanieczyszczonego odpadami. Na fotografii II.2 przedstawione jest kruszywo recyklingowe z gruzu betonowego i ceglanego.



II.2. Kruszywo recyklingowe z gruzu betonowego i ceglanego  
fot. Mohamed Ahmad. 16.06.2016

Kruszywa, jakie można zastosować do produkcji betonu, to ziarniste materiały posiadające określone właściwości. Mogą być naturalne, sztuczne i odpadowe. Wybór metody rozdrabniania odpadów (np. kruszarkami udarowymi, walcowymi czy szczękowymi) ma wpływ na uzyskanie odpowiedniego uziarnienia kruszywa wtórnego, a także na jego właściwości dotyczące stabilności i trwałości. Kruszywo recyklingowe to materiał heterogeniczny o wysokim stopniu rozrzutu właściwości. Z tego względu musi spełniać szczególne wymagania, które pozwolą zapewnić wystarczający poziom bezpieczeństwa konstrukcji budowlanej. Wymagania te dotyczą dopuszczalnej ilości zanieczyszczeń, absorpcji wody i gęstości w stanie suchym. Obecność starej zaprawy, zaczynu czy lekkich zanieczyszczeń

może powodować zmniejszenie gęstości kruszywa recyklingowego do granic 2500–2610 kg/m<sup>3</sup>, która jest mniejsza niż w tradycyjnych kruszywach. Wartości te nie zależą od jakości pierwotnego betonu, ale różnią się w zależności od frakcji kruszywa: 2940 kg/m<sup>3</sup> dla kruszywa 16–30 mm, i 2340 kg/m<sup>3</sup> dla kruszywa 4–8 mm. Kruszywa recyklingowe mają gorsze parametry mrozoodporności i odporności na siarczany w stosunku do kruszyw naturalnych. Kruszywa pochodzące z recyklingu betonu nie są obojętne chemicznie, co wpływa na zachowanie betonu zarówno stwardniałego, jak i świeżego, w którym zawarte jest to kruszywo. Po zbadaniu kruszyw bezpośrednio po procesie recyklingu, odczyn pH wynosił 11–11,7. Po miesiącu w hali, w której wykonywane było badanie, stwierdzono spadek odczynu pH do wartości 10,1–10,3. Zjawisko to jest wynikiem opisanego wcześniej zjawiska karbonatyzacji – przeobrażenia się pod wpływem działania dwutlenku węgla i wody krzemianów w węglany. Konsekwencją jest zmniejszenie się porowatości przerobionego kruszywa, wzrost wytrzymałość na ściskanie, a także wzrost jego odporności na wymywanie się substancji mineralnych. Kruszywa wtórne w pełni nadają się do produkcji betonu, jednakże najpierw powinny być przeprowadzone badania kruszywa i betonu zawierającego dane kruszywo (Wolska-Kotańska, 2004). Do produkcji betonu można również wykorzystać kruszywa powstałe w procesie odzysku cegieł ceramicznych. Jednak kruszywa te cechują się gorszymi właściwościami niż kruszywa naturalne i te pochodzące z recyklingu betonu. Betony te również mają wiele wad, ale mogą zostać użyte do wytworzenia elementów, które nie będą przeznaczone do budowy konstrukcji. Cechują się małym ciężarem i dużą ognioodpornością (Zajac, 2008). Pomimo tego, że recykling jest jak najbardziej pozytywnym zjawiskiem, to nie każdy gruz może mieć wtórne zastosowanie. Istnieją trzy obszary określające jakość kruszywa betonowego, od najgorszej do najlepszej:

- materiały przeznaczone na podłoża do różnego rodzaju posadzek i nawierzchni,
- materiały przeznaczone do betonów niekonstrukcyjnych lub jako dodatek do kruszyw naturalnych w zakresie ograniczonym do 20–40%. Mają zastosowanie w betonach, które mają dość niskie wymagania wytrzymałościowe np.: masywne ściany, fundamenty, konstrukcje o charakterze balastowym,
- materiały przeznaczone do betonów konstrukcyjnych, które stanowią pełnowartościowe kruszywo grube i drobne.

Głównymi wadami kruszyw recyklingowych są przede wszystkim duże zróżnicowanie spowodowane zmiennością odpadów oraz zawartość wielu zanieczyszczeń, które mogą być szkodliwe dla betonu i ludzi. Zalety kruszyw z recyklingu to przede wszystkim (Wiaderny, 1993): odporność na ścieranie, właściwości cementujące, dość dobre właściwości antypoślizgowe, niewysadzinowość, odpowiednia wytrzymałość na obciążenia dynamiczne, odporność na wymywanie oraz erozję, odporność na okleinowanie. Z charakterystyki kruszyw pochodzących z recyklingu wyraźnie widać, że trwałość konstrukcji i właściwości, jakie będzie posiadał beton, zależną w głównej mierze od jakości zastosowanego kruszywa. Jeszcze jednym czynnikiem, na podstawie którego można stwierdzić, czy kruszywo jest odpowiednie do pełnienia swojej funkcji, jest stopień przyczepności

kruszywa do mieszanki betonowej. Jest to czynnik decydujący w procesie postawiania nowej konstrukcji budowlanej.

## **ASPEKTY EKONOMICZNE RECYKLINGU BETONU**

Badania prowadzone w wielu krajach świata pokazały, że rentowność firmom zajmującym się recyklingiem odpadów budowlanych zapewniają określone warunki:

- łatwa możliwość zbytu wytwarzanego kruszywa,
- niedobór lub mała dostępność materiałów naturalnych, co wiąże się z wysokimi kosztami zakupu i transportu,
- określone regularne dostawy dużych ilości materiału rozbiórkowego,
- dobra lokalizacja zakładów recyklingowych, najlepsza byłaby w pobliżu dużych aglomeracji,
- wysokie koszty składowania gruzu,
- dobry dostęp do zakładów środkami transportu o większym tonażu.

Potwierdzeniem dla powyższych warunków mogą być przykłady lokalizacji największych zakładów recyklingowych w takich państwach jak Belgia, Holandia czy Niemcy. Najlepszym materiałem nadającym się do recyklingu z ekonomicznego punktu widzenia są betony z nawierzchni drogowych czy pasów startowych z lotnisk, ponieważ są stosunkowo czyste. Jednak sposobem, dzięki któremu możemy najwięcej oszczędzić jest lokalizacja zakładu, najlepiej w miejscu, gdzie jest niedobór kruszyw naturalnych. Konieczna jest także dostępność dużych ilości gruzu, chodników, nawierzchni drogowych i materiału rozbiórkowego z konstrukcji. W USA przeprowadzono analizy ekonomiczne, które wykazały, że zakład recyklingowy jest wypłacalny, jeśli przerabia 110–275 ton odpadów na jedną godzinę. Rocznie zakład powinien więc sprzedawać około 200 tysięcy ton kruszywa. Dlatego tak ważne jest jego położenie. Kruszywo recyklingowe powinno także posiadać dobrą cenę, aby być produktem konkurencyjnym do kruszyw naturalnych, czyli być prawie o połowę tańsze. Niestety dotychczas jego cena nie jest zachęcająca, ponieważ jest nawet droższe od kruszywa naturalnego. Według badań przeprowadzonych w Holandii kruszywo recyklingowe powinno być minimalnie o 25% tańsze od naturalnego, a w chwili obecnej jego cena jest wyższa praktycznie o 50%. Pocięszającą kwestią jest fakt, że wraz z rozwojem tego sposobu przetwarzania cena będzie ulegała obniżeniu. Z punktu widzenia ochrony środowiska lepszym sposobem na przyspieszenie tego procesu jest wprowadzenie administracyjnego zakazu umieszczania odpadów budowlanych na składowiskach śmieci albo podniesienie kosztów ich składowania. Niestety zdarza się też wiele przypadków, że gruz budowlany jest składowany nielegalnie. Recykling może skutecznie przyczynić się do zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska naturalnego, ale też niesie ze sobą korzyści dla firm budowlanych. Przykładem może być powszechnie stosowany recykling gruzu. W przypadku wyburzenia starej konstrukcji z zamiarem postawienia nowej, utylizacja i użycie do podbudowy fundamentu gruzu powstałego podczas rozbiórki, mogą znacznie zmniejszyć koszty przyszłej inwestycji. Dzięki odpowiedniemu zastosowaniu gruzu budowlanego firmy przeprowadzające rozbiórkę zyskują dodatkową możliwość

obniżenia kosztów z tym związanych. Można do nich zaliczyć między innymi brak kosztów za wywóz gruzu z placu budowy oraz za składowanie odpadów budowlanych. Recykling gruzu jest najbardziej opłacalny w tych miejscach w Polsce, które są oddalone od najważniejszych źródeł kruszywa, czyli głównie północna i centralna część. Jest to też materiał, który może się przydać do dostosowania sieci dróg do standardów, jakie obowiązują w Unii Europejskiej.

## PODSUMOWANIE

Budownictwo wraz z przemysłem wydobywczym, energetycznym, hutniczym i chemicznym to sektory gospodarki, które powodują duże obciążenie środowiska (Jaworski, 1999). Respektowanie zasad zrównoważonego rozwoju obliguje sektor budownictwa do wznoszenia obiektów spełniających określone kryteria społeczne, ekologiczne i ekonomiczne (Aysin, 2009). W Polsce w dalszym ciągu do wytwarzania betonu wykorzystuje się kruszywa naturalne, a przeprowadzone dotąd badania nad wykorzystaniem kruszyw recyklingowych okazują się niewystarczające. Analiza wyników badań laboratoryjnych wielu publikacji na temat kruszyw recyklingowych zarówno betonowych, jak i ceglanych potwierdza przydatność i możliwość uzyskania betonów niskich klas wytrzymałości na bazie kruszyw recyklingowych. Właściwie prowadzona gospodarka odpadami budowlanymi, jeżeli nie rozwiązuje całkowicie problemu odpadów, to przynajmniej minimalizuje go i prowadzi do oszczędności surowców pierwotnych, energii oraz ochrony środowiska naturalnego. Konieczne jest przyspieszenie prac badawczych dotyczących ponownego wykorzystania kruszywa recyklingowego pochodzącego z gruzu betonowego i ceglano-mających na celu ustalenie wymagań, metody badania i sprawdzenia, kontroli jakości i zgodności wyrobów betonowych z kruszyw recyklingowych.

## LITERATURA

1. Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A., Recykling betonu konstrukcyjnego – cz. I, Inżynier Budownictwa, 2/2009.
2. Aysin S., Can the Construction Industry Conceptual Framework, W: Sustainable development, vol. 17, issue 3, 2009 p. 161-173.
3. [http://www.muratorplus.pl/technika/zrownowazony-rozwoj/materialy-budowlane-w-zgodzie-z-idea-zrownowazonego-rozwoju\\_69787.html](http://www.muratorplus.pl/technika/zrownowazony-rozwoj/materialy-budowlane-w-zgodzie-z-idea-zrownowazonego-rozwoju_69787.html), dostęp dnia 07.07.2016.
4. [http://www.polskicement.pl/files/Pages/100/uploaded/15\\_103.pdf](http://www.polskicement.pl/files/Pages/100/uploaded/15_103.pdf), dostęp dnia 07.07.2016.
5. Jaworski K. M., Metodologia realizacji procesów budowy, PWN: Warszawa 1999.
6. Kozioł W., Kawalec P., Kruszywa alternatywne w budownictwie, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, 7-8/2008.
7. Mikoś J., Budownictwo ekologiczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2000.

8. Rozporządzenie ministra środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów
9. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach.
10. Wiaderny K., Zakład produkcji kruszyw w KWB „Bełchatów”, „Węgiel Brunatny nr 3 (6), 1993.
11. Wierzbicki S. M., Gajownik R., Problemy zrównoważonego budownictwa w pracach Instytutu Techniki Budowlanej, W: Konferencja Naukowo-Techniczna, Budownictwo spełniające wymagania zrównoważonego rozwoju, ITB, Mrągowo, 2002 s. 34-42.
12. Wolska-Kotańska C., Kruszywa z recyklingu betonu – właściwości i zastosowanie, XVI Ogólnopolska Interdyscyplinarna Konferencja Naukowo-Techniczna „Ekologia budownictwo”, PZTB, Bielsko-Biała 2004 s. 105-112.
13. [www.terbet.com.pl](http://www.terbet.com.pl), dostęp dnia 07.07.2016.
14. Zając B., Gołębiowska I., Ewolucja technologii recyklingu betonu, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 5/2010 s. 134-135
15. Zając B., Właściwości betonu z kruszywem recyklingowym z cegły, Inżynieria i Aparatura Chemiczna nr 5, 2008 s. 62-63..



# CONTROLLED VENTILATION OF DWELLING AND CO<sub>2</sub> CONCENTRATION DEPENDING ON AIR FLOW

## ŘÍZENÉ VĚTRÁNÍ MÍSTNOSTI A KONCENTRACE CO<sub>2</sub> POMOCÍ PROUDĚNÍ VZDUCHU

Zdenek Galda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>VSB – Technical University of Ostrava, Department of Indoor Environmental Engineering and Building Services, Faculty of Civil Engineering, Ludvika Podeste 1875, Ostrava, 70833, Czech Republic, zdenek.galda@vsb.cz

### ABSTRACT

The carbon dioxide concentration in the environment where we live and spend long time of the day has a major impact on our health and work performance. It is, therefore, an essential factor that has a major impact on our quality of life. The legislative requirements prescribe the required quality of indoor microclimate and terms of the CO<sub>2</sub> concentration, but the real experimental measurements of CO<sub>2</sub> concentrations with different fresh air flow rates in the passive house showed the deviation of these legislative requirements, according to which it proposes a device for forced ventilation of the building.

The present article describes actual CO<sub>2</sub> level measurements made in the houses at different flow rates. Looking ahead, it is visible that this topic will be still more important in the future because the population spends over two-thirds of the daily time indoors now and this proportion exhibits an increasing trend. Hence, from the long-term point of view, microclimate considerations should play the one of the primary roles in building design.

Keywords: CO<sub>2</sub>, microclimate, building, air-flow, experiment, building services.

### INTRODUCTION

This article is a continuation of an ongoing long-term measurement of CO<sub>2</sub> concentrations in residential areas and its impact on human health and the blood supply of oxygen [5], [1]. The issue of CO<sub>2</sub> concentration in residential areas is a growing trend for not only low-energy constructions, but as well as for reconstruction and mainly by replacing old types of windows for new plastic air-tightness, more and more topical. This is due to continual pressure on the envelope air-tightness of this building's type and the decrease of energy performance of buildings as a whole.

Unfortunately this leads often to deterioration of the internal environment in apartments and houses. In poorly ventilated rooms, harmful substances accumulate. One of these is just carbon dioxide. CO<sub>2</sub> concentration is among the basic indicators of the quality of the indoor environment. Elevated CO<sub>2</sub> concentration appearing in the human body is a sign of fatigue, malaise, headache etc. Healthy indoor environment can ensure an adequate exchange of outdoor fresh air, but however, this often requires in the refurbished buildings, installing of the ventilation equipment.

In the Czech Republic, the maximum limit of CO<sub>2</sub> concentration in the living buildings is prescribed by notice no. 268/2009 Col. specifically it's changing no. 20/2012 Col. Under this decree it shall not exceed a CO<sub>2</sub> concentration of 1500 ppm. But this is the maximum limit! Note: Previously, the maximum limit set by decree was at a concentration of 1000 ppm.

Tab. 1 Effects of CO<sub>2</sub> on human body

| Concentration   | Description   |
|-----------------|---|
| cca 350 ppm     | Level of outdoor environment  |
| till 1000 ppm   | Recommended level of concentration CO <sub>2</sub> in indoor areas                                |
| 1200 – 1500 ppm | Recommended maximum level of CO <sub>2</sub> in indoor areas                                      |
| 2000 – 5000 ppm | Possibility of headache, maximum concentration, increased heart rate                              |
| > 5000 ppm      | Critical concentration, uneasiness and increased heart rate. Start of the serious health problems |
| > 15 000 ppm    | Breathing problems  |
| > 40 000 ppm    | Possibility of loss of consciousness  |

Air flow calculation from limits CO<sub>2</sub> concentration [2]:

$$V = \frac{m}{\rho_{\max} - \rho} = \frac{19 \text{ l/h}}{(1200 - 350) \text{ ppm} \cdot 10^{-3}} = 22,4 \text{ m}^3 / \text{h} / \text{person} \quad (1)$$

Where:

- V - required amount of fresh air to maintain a maximum allowable carbon dioxide concentration [l/h/person]
- m - production CO<sub>2</sub> by breathing – 19 l [l/h/person]
- $\rho_{\max}$  – maximum concentration in the interior 1200 ppm according to standard EN CR 1752 CEN for category “C” [g/m<sup>3</sup>]
- $\rho$  - CO<sub>2</sub> concentration of the incoming outside fresh air - 350 ppm [g/m<sup>3</sup>]

Maximum concentration of CO<sub>2</sub> in residential areas is regulated by the European standard EN 15251:2011 Indoor environmental input parameters for design and assessment

of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, which sets in the table B.5 three categories of indoor environment - Flow ventilation rates for residential homes, continuous ventilation.

Tab. 2 Ventilation air flow rates for residential homes, continuous ventilation [3]

| Category | Living-room and bedroom, mainly outside air |  |                    |
|----------|---|--|--------------------|
|          | l/s/person                                  | m <sup>3</sup> /h/person<br>(recalc. l/s/person) | l/s/m <sup>2</sup> |
| I        | 10  | 36   | 1.4                |
| II       | 7   | 25.2   | 1.0                |
| III      | 4   | 14.4   | 0.6                |

In some states the requirements of the CO<sub>2</sub> concentration in residential areas and to provide ventilation regulated by national legislation, which takes precedence over EU legislation.

Tab. 3 Requirements for the CO<sub>2</sub> concentration in selected countries, legislation [4]

| State              | Maximal concentration CO <sub>2</sub> [ppm] | State legislative  |
|--------------------|---|--|
| Czech Republic     | 1500  | Public notice no. 20/2012 Col. About technical requirements for buildings  |
| Germany            | 1000  | Living room DIN 1946-6:2009 Ventilation and air conditioning - Part 6. n = 0.17 to 0.5 h <sup>-1</sup> , 20 m <sup>3</sup> per person free ventilation, 30 m <sup>3</sup> /h per person forced ventilation |
| Estonia            | 1000 – 1500                                 | Minimum ventilation: 1.0 to 0.5 l/s/m <sup>2</sup>   |
| Finland            | 800   | National building code, part D2, living room 14.4 m <sup>3</sup> /h per person   |
| Great Britain      | 1000  | CIBSE Guidelines, living room 28.8 m <sup>3</sup> /h per person  |
| Norway             | 1000  | Guidelines to Compulsory documents, REN §8-34.2 living rooms n = 0,5 h <sup>-1</sup>   |
| Ashrae Standard 62 | 1000  | Living room n = 0.35 h <sup>-1</sup> , 27 m <sup>3</sup> /h per person   |

## MEASUREMENT DESCRIPTION

Experimental measurements were performed during August 2015 in an experimental passive house, at Faculty of Civil Engineering, VSB - Technical University of Ostrava in Ostrava city (about 205 m above the sea level). Atmospheric pressure during the measurement was from 98.27 to 98.98 kPa. The experimental house is an adjusted standardized house. It is a light wooden structure with a diffusion-open envelope cover. Energy performance of the building is 10 kWh/m<sup>2</sup> heat loss is 2 kW and airtight object n<sub>50</sub> = 0.45 h<sup>-1</sup>.

Measurements were performed in the upper chamber, the size of the room was 50.2 m<sup>3</sup>. The ventilation of fresh air was controlled by using Siemens Desigo software and subsequently checked by Testo flow gauges in the tested room diffusers every ten minutes [5]. Internal CO<sub>2</sub> concentration measurement was carried out with another subsidiary measurement with eight secondary Comet T6450 sensors.

The air flow of fresh air was determined to the room on flows 15, 25, 40, 50 and 60 m<sup>3</sup>/. Outer concentrations are variable according to the type of weather, location (country, city) and the season (summer, winter) in values of about 300 - 500 ppm routinely. During the measurement was only one person in the room! (Zdenek Galda). The outcomes are visible in the tables and graph below.



Figure. 1 Measurement of outer concentration CO<sub>2</sub> on outlet (Testo 435-2 and sensor of IAQ)

Tab. 4 CO<sub>2</sub> Concentration in the tested room with variable flow of fresh air (with central CO<sub>2</sub> sensor Siemens)

| <b>Outer CO<sub>2</sub> [ppm]</b>  | <b>330-340</b> | <b>370</b> | <b>355-440</b> | <b>395</b> | <b>370-500</b> | <b>385-430</b> |
|------------------------------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|----------------|
| <b>Fresh air [m<sup>3</sup>/h]</b> | <b>15</b>      | <b>25</b>  | <b>50</b>      | <b>50</b>  | <b>40</b>      | <b>60</b>      |
| 0:00:00                            | 582.4          | 652.4      | 596.0          | 636.0      | 802.0          | 783.8          |
| 0:10:00                            | 603.4          | 694.2      | 616.6          | 677.2      | 823.0          | 763.2          |
| 0:20:00                            | 707.2          | 715.2      | 637.4          | 677.2      | 823.0          | 763.2          |
| 0:30:00                            | 791.0          | 735.8      | 679.2          | 719.2      | 823.0          | 763.2          |
| 0:40:00                            | 853.2          | 776.8      | 701.0          | 739.4      | 844.0          | 804.4          |
| 0:50:00                            | 916.0          | 839.0      | 701.0          | 739.4      | 864.6          | 804.4          |
| 1:00:00                            | 978.8          | 881.0      | 701.0          | 739.4      | 885.0          | 804.4          |
| 1:10:00                            | 1041.6         | 902.6      | 722.0          | 739.4      | 885.0          | 804.4          |
| 1:20:00                            | 1062.4         | 943.8      | 742.2          | 760.2      | 885.0          | 825.0          |
| 1:30:00                            | 1187.4         | 1005.8     | 742.2          | 760.2      | 885.0          | 804.0          |
| 1:40:00                            | 1208.4         | 1005.8     | 763.0          | 781.0      | 926.8          | 802.1          |
| 1:50:00                            | 1250.4         | 1026.6     | 784.0          | 781.0      | 968.8          | 804.0          |
| 2:00:00                            | 1271.2         | 1047.6     | 784.0          | 781.0      | 978.2          | 804.0          |



Figure. 2 Controlling of flow volume on outlet (Testo 435-2, anemometer and Testovent 417)

Tab. 5 The average of CO<sub>2</sub> values calculated from the maximum values from the tested room with variable flow of fresh air after two hours. The measurement was made by another subsidiary system with eight sensors of CO<sub>2</sub> concentration (Comet T6450)

| Outer CO <sub>2</sub> [ppm]                | 330-340       | 370           | 355-440      | 395          | 370-500       | 385-430      |
|--|---------------|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Sensor / Fresh air [m <sup>3</sup> /h]     | 15            | 25            | 50           | 50           | 40            | 60           |
| CO <sub>2</sub> 1                          | 1380.0        | 1103.0        | 906.0        | 870.0        | 1058.0        | 860.0        |
| CO <sub>2</sub> 2                          | 1295.0        | 1157.0        | 926.0        | 782.0        | 1020.0        | 838.0        |
| CO <sub>2</sub> 3                          | 1297.0        | 1147.0        | 977.0        | 882.0        | 1063.0        | 879.0        |
| CO <sub>2</sub> 4                          | 1392.0        | 1239.0        | 1012.0       | 929.0        | 1126.0        | 823.0        |
| CO <sub>2</sub> 5                          | 1225.0        | 996.0         | 868.0        | 820.0        | 991.0         | 848.0        |
| CO <sub>2</sub> 6                          | 1292.0        | 1139.0        | 926.0        | 844.0        | 1040.0        | 884.0        |
| CO <sub>2</sub> 7                          | 1271.0        | 993.0         | 908.0        | 795.0        | 980.0         | 819.0        |
| CO <sub>2</sub> 8                          | 1249.0        | 1092.0        | 912.0        | 834.0        | 1028.0        | 911.0        |
| <b>Average Values CO<sub>2</sub> [ppm]</b> | <b>1300.1</b> | <b>1108.3</b> | <b>929.4</b> | <b>844.5</b> | <b>1038.3</b> | <b>857.8</b> |

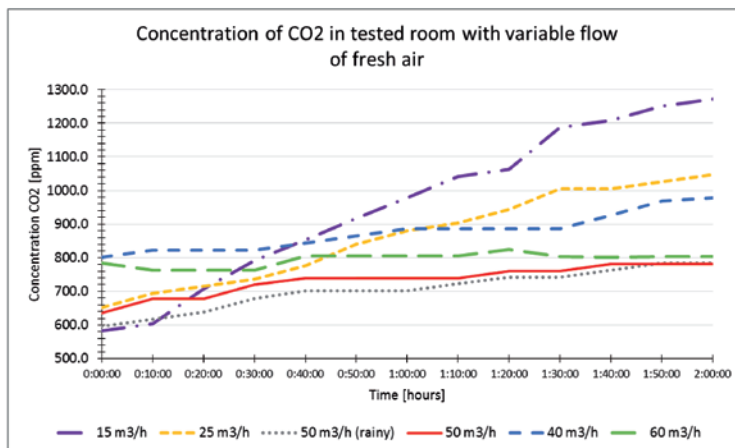


Figure. 3 Concentration of CO<sub>2</sub> in the tested room with variable flow of fresh air

## CONCLUSION

From the measurement results, it is clear that the limit values of the CO<sub>2</sub> concentration were at low flow rates (15 and 25 m<sup>3</sup>/h) achieved in a relatively short time, almost from 60 to 90 minutes. Measurements were carried out up to two hours, and it was obvious that the concentration was still increasing, while the flow rates above 40 m<sup>3</sup>/h and more on the contrary stabilized at values below 1000, respectively, 800 ppm.

However, the outside air CO<sub>2</sub> concentration has the crucial role, which determines the calculation of the air flow for ventilation of buildings. This concentration of outdoor air is calculated on the level of 350 ppm and a maximum internal level of 1200 ppm but in reality, and especially in winter, when the deteriorated dispersion conditions of outside air in cities and industrial areas often move above 500 ppm.

It is therefore very appropriate that when proper designing of ventilation equipment is foreseen not only to overall numbers how show standards and regulations (mostly all similar, but not too much according to measurement the fair values), but in order to take into account the fundamental fact that the CO<sub>2</sub> concentration in outdoor environment is variable and in winter, in urban areas, is higher than 350 ppm. This would avoid distortion of air flow required for residential areas as it is still so far.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This post has been handled by the Ministry of of Youth Education and Sports of the Czech Republic, too, from grant Support at the VSB - Technical University of Ostrava from the project "Fond rozvoje vysokych skol – University Development Fund IRP-FRVS 2016.

## REFERENCES

1. Arthurs, G.J., Sudhakar, M.: Carbon dioxide transport, Oxford Journals, CEACCP, Vol. 5, No. 6, pp 207-210, ISSN 2058-5357, 2005. DOI:10.1093/bja ceaccp/mki058
2. CEN CR 1752 - European design criteria for the indoor environment published./ Fanger, Povl Ole. In: REHVA Journal, Vol. 1st quarter, p. 7-7, 1999.
3. CSN EN 15251:2011 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics, ČNI, Prag, Czech Republic, 2011.
4. Dolezilkova, H.: Bytové větrání ve vztahu k produkci CO<sub>2</sub>, vlhkosti a škodlivin (I), [online]. Available: <http://www.tzb-info.cz/3029-bytove-vetrani-ve-vztahu-k-produkci-co2-vlhkosti-a-skodlivin-i>
5. Galda, Z., Labudek, J., Neiser, J., Šípkova, V.: Experimental Measurements of CO<sub>2</sub> Concentrations by Varying the Airflow and its Influence on the Blood Supply of Oxygen: Proceedings of the 8th International Conference on Energy Planning, Energy Saving, Environmental Education (EPESE '15), Rome. Italy, Nov 7-9, 2015, Published by WSEAS Press, Energy, Environmental and Structural Engineering Series 42. Rome. ISBN: 978-1-61804-346-7.

# DESIGNING THERMAL INSULATION OF WATER PIPES FROM THE POINT OF VIEW OF ENERGY AND ECONOMIC PARAMETERS

## NÁVRH TEPELNÉ IZOLACE VODOVODNÍHO POTRUBÍ Z POHLEDU ENERGETICKÝCH A EKONOMICKÝCH PARAMETRŮ

Pavel Gergela<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ing. Pavel Gergela, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava - Poruba, tel.: (+420) 597 321 909, e-mail: pavel.gergela@vsb.cz.

### ABSTRAKT

Cílem příspěvku je odpovědět na otázky montážníků, projektantů a investorů při návrhu a provádění tepelné izolace potrubí izolací kruhového průřezu. Následující text poukáže na správnost návrhu tloušťky a vlastností tepelné izolace na rozvodech potrubí vnitřního vodovodu dle platné legislativy a dále upozorní na důsledky různých návrhů z energetického hlediska na modelovém příkladu.

Klíčová slova: Tepelná izolace, vodovodní potrubí, cirkulace teplé vody.

### TEPELNÉ ZTRÁTY V ROZVODECH CIRKULAČNÍHO POTRUBÍ

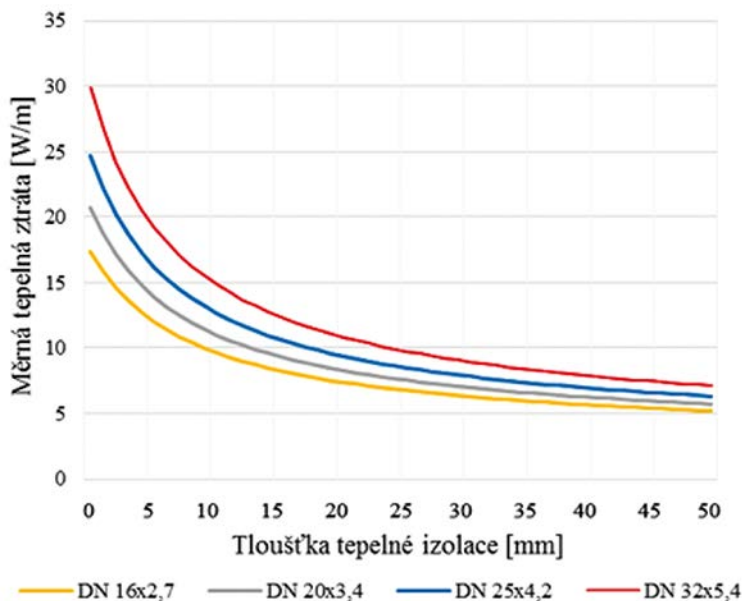
Zaizolování rozvodů vodovodního potrubí získává na významu především v provozních nákladech na přípravu TV zejména u panelové zástavby. Panelové domy jsou zpravidla vybaveny rozsáhlým cirkulačním okruhem, který má za úkol zajistit okamžitou dodávku TV v místě odběru každé bytové jednotky. Následkem jsou výrazné tepelné ztráty zvláště u starších a nekvalitně provedených návlečných tepelných izolací. Největší tepelné ztráty vznikají v suterénních nevytápěných prostorech, kde jsou cirkulační rozvody vystaveny zvýšenému tepelnému spádu a poté v bytových instalačních šachtách. Vyšší a rozsáhlejší objekty potřebují delší cirkulační okruh a tím narůstá tepelná ztráta, která se stává významnější z energetického i ekonomického pohledu.

Tepelná izolace také snižuje tepelné ztráty po ukončení odběru TV. Účinnost tepelné izolace v tomto ohledu závisí na časových úsecích mezi jednotlivými odběry a ovlivňuje pokles teploty teplé vody na teplotu okolního prostředí. V závislosti na modelu odběru



vody musí být správně vzaty v úvahu snížené tepelné ztráty a vliv tepelné izolace. Výpočet musí dále obsahovat zvýšené tepelné ztráty v důsledku ztráty tepla armaturami a potrubními závěsy. Tyto ztráty se zahrnují do hodnocení pomocí přírážky v podobě ekvivalentní délky potrubí.

Důsledným zaizolováním a řízenou cirkulací lze obecně snížit náklady na přípravu TV až o 20 %. Optimalizaci funkce cirkulačního čerpadla dosáhneme jeho omezením obvykle v nočních hodinách, kdy je potřeba TV pro minimální. Tento krok však vyžaduje souhlas všech obyvatel domu.



Graf 1: Závislost tloušťky tepelné izolace a tepelných ztrát

## SOUČASNÁ LEGISLATIVA

Při navrhování nových a při rekonstrukcích stávajících rozvodů platí vyhláška MPO č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. Každá část tepelné sítě, která prochází netemperovanými prostory, s teplonosnou látkou o teplotě vyšší než 40 °C nesloužící k temperování prostorů, kterými prochází, se vybaví tepelnou izolací [1].

Správným návrhem tepelné izolace rozvodů teplé vody a cirkulace teplé vody je dosaženo největší schopnosti přenosu tepelné energie z místa přípravy ke koncovému spotřebiči. Minimální tloušťka tepelné izolace je stanovena výpočtem tak, aby vyhláškou definované určující hodnoty součinitelů prostupu tepla vztažených na jednotku délky u vnitřních rozvodů byly menší nebo rovny hodnotám v příloze č. 3 této vyhlášky. U vnitřních rozvodů plastových a měděných potrubí se tloušťka tepelné izolace volí podle většího průměru potrubí nejbližšího většímu průměru potrubí řady DN. Při nedodržení

legislativy pro izolování rozvodů teplé vody dojde k jejímu nadměrnému ochlazení, což má za následky navýšení nákladů na její dodatečný ohřev, nekomfortní provoz a hrozí riziko vytvoření ideálního prostředí pro množení bakterií.

V souvislosti s požadavky vyhlášky nalezneme přibližné hodnoty součinitelů tepelné vodivosti materiálů potrubí a tepelných izolací, které jsou potřebné pro stanovení délkové tepelné ztráty úseku přívodního potrubí při návrhu cirkulace teplé vody, v ČSN 75 54 55 Výpočet vnitřních vodovodů [2]. Nejmenší tloušťky tepelné izolace potrubí studené pitné vody pak udává ČSN 75 5409 Vnitřní vodovody [3], kde tepelná izolace musí zabránit kondenzaci na vnějším povrchu kovových potrubí. Při neizolování rozvodů studené vody dojde naopak k jejímu ohřívání, rosení a odkapávání vody, což může vést k poškození soběžně vedených potrubí nebo k promáčení kazetových podhledů, apod.

## STANOVENÍ LINEÁRNÍHO SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA VZTAŽENÉHO NA JEDNOTKU DÉLKY

Výpočet lineárního součinitele prostupu tepla izolovaného potrubí kruhového průřezu se určí dle vztahu [1]:

$$U_{w,l} = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_i \cdot D} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{tr}} \cdot \ln \frac{d}{D} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_{iz}}{d} + \frac{1}{\alpha_{iz} \cdot d_{iz}}} \quad (1)$$

kde:

|                |    |  |
|----------------|----|--|
| $U_{w,l}$      | je | lineární součinitel prostupu tepla vztažený na jednotku délky [W/(m. K)];    |
| $D$            |    | vnitřní průměr trubky [m];   |
| $d$            |    | vnější průměr trubky [m];  |
| $d_{iz}$       |    | vnější průměr izolace [m];   |
| $\alpha_{iz}$  |    | součinitel přestupu tepla na povrchu izolace [W/(m <sup>2</sup> . K)];       |
| $\alpha_i$     |    | součinitel přestupu tepla na vnitřní straně trubky [W/(m <sup>2</sup> . K)]; |
| $\lambda_{iz}$ |    | součinitel tepelné vodivosti tepelné izolace [W/(m. K)];                     |
| $\lambda_{tr}$ |    | součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky [W/(m. K)].                    |

Součinitel přestupu tepla  $\alpha_i$  mezi médiem a vnitřním povrchem trubky lze při běžných výpočtech je zanedbat, protože tepelný odpor při tomto přestupu tepla je relativně malý. Hodnoty součinitelů tepelné vodivosti ( $\lambda_{iz}$  a  $\lambda_{tr}$ ) závisí také na teplotě a ve výpočtech jsou uvažovány jako konstantní [4].

Součinitel přestupu tepla  $\alpha_{iz}$  mezi povrchem potrubí (izolace) a okolním vzduchem [W/(m<sup>2</sup>. K)] lze stanovit přesným výpočtem pomocí matematické simulace děje a výpočetního software. Další možností je použití kritériálních rovnic nebo empirických vztahů, které se mohou lišit podle autorů, např. [5] a [6]. V případě, že je potrubí vedeno v drážce, nebude docházet k přestupu tepla na vnější straně potrubí a musí být zohledněno vedení tepla konstrukcí s konkrétními hodnotami součinitele tepelné vodivosti.

## TEPELNÉ ZTRÁTY CIRKULAČNÍM OKRUHEM NA ZÁKLADĚ FYZIKÁLNÍHO PŘÍSTUPU

Obecné stanovení tepelných ztrát cirkulačního okruhu sestávajícího z potrubních úseků (i) je dáno rovnicí:

$$Q_{W,dls,ls,col,on} = \sum_i Q_{W,dls,ls,col,on,i} = \sum_i \frac{3,6}{1\,000} \cdot U_{W,i} \cdot L_{W,i} \cdot (\theta_{W,dls,avg,i} - \theta_{amb,i}) \cdot t_W \quad [\text{MJ/den}] \quad (2)$$

kde:

|                        |    |   |
|------------------------|----|---|
| $Q_{W,dls,k,col,a,i}$  | je | ztráta tepla potrubního úseku (i) v průběhu doby cirkulace, [MJ/den];                 |
| $U_{W,i}$              |    | lineární součinitel prostupu tepla potrubního úseku, (i), [W/(m. K)];                 |
| $L_{W,i}$              |    | délka potrubního úseku, (i), [m];   |
| $\theta_{W,dls,avg,i}$ |    | průměrná teplota teplé vody potrubního úseku, (i), [° C];                             |
| $\theta_{amb,i}$       |    | průměrná teplota okolního prostředí kolem potrubního úseku, (i), [° C];               |
| $t_W$                  |    | denní doba využití při odpovídajících teplotách, ( $\theta_{W,dls,avg,i}$ ), [h/den]. |

## TEPELNÉ ZTRÁTY CIRKULAČNÍM OKRUHEM V OBDOBÍ BEZ CIRKULACE

V případě, že není cirkulační okruh nepřetržitě v činnosti, tepelná energie v cirkulačním okruhu je ztracena do okolního prostředí. Tato tepelná ztráta se vypočítá podle:

$$Q_{W,dls,ls,col,off} = \sum_i Q_{W,dls,ls,col,off,i} = \sum_i \frac{\rho_W \cdot c_W}{1\,000} \cdot V_{dls,i} \cdot (\theta_{W,dls,avg,i} - \theta_{amb,i}) \cdot n_{norm} \quad [\text{MJ / den}] \quad (3)$$

kde:

|               |    |   |
|---------------|----|---|
| $\rho_W$      | je | měrná hmotnost vody [kg / m <sup>3</sup> ];               |
| $c_W$         |    | měrná tepelná kapacita vody [kJ / (kg. K)];               |
| $V_{W,dls,i}$ |    | objem vody obsažené v potrubním úseku, [m <sup>3</sup> ]; |
| $n_{norm}$    |    | počet provozních cyklů oběhových čerpadel v průběhu dne.  |

## CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY CIRKULAČNÍM OKRUHEM

Celková tepelná ztráta se stanoví součtem tepelných ztrát cirkulačního okruhu po dobu cirkulace a ztrát tepla v období bez cirkulace:

$$Q_{W,dls,ls,col} = Q_{W,dls,ls,col,on} + Q_{W,dls,ls,col,off} \quad [\text{MJ / den}] \quad (4)$$

Týdenní, měsíční nebo roční ztráty tepla se získají vynásobením celkové ztráty za den příslušným počtem dnů.

## PŘÍKLAD NÁVRHU CIRKULAČNÍHO OKRUHU V BYTOVÉM DOMĚ

Uvedený postup pro stanovení součinitele prostupu tepla vztaženého na jednotku délky byl uplatněn na následujícím modelovém příkladu, který odpovídá bytovému domu o 5. NP a dvěma instalačními šachtami. Pripustíme, že je potřeba provést návrh tloušťky tepelné izolace pro cirkulační okruh s nepřetržitou potřebou TV. Mezi další okrajové podmínky potřebné k výpočtu patří střední teplota teplé vody  $\theta_{\text{stř}} = 54 \text{ }^\circ\text{C}$ , teplota vzduchu v okolí tepelné izolace přívodního horizontálního potrubí zavěšeného pod stropem v suterénu  $\theta_{\text{vzd},0} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$  a vertikálního potrubí v instalačních šachtách  $\theta_{\text{vzd},1} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$ , celková délka cirkulačního potrubí včetně ekvivalentních přírážek v suterénu  $l_{\text{ekv},0} = 20 \text{ m}$  a v instalačních šachtách  $l_{\text{ekv},1} = 40 \text{ m}$ , součinitel tepelné vodivosti materiálu trubky PPR PN 20  $\lambda_{\text{tr}} = 0,22 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ , jednotný průřez potrubí DN 32 x 5,4 mm, součinitel tepelné vodivosti tepelné izolace  $\lambda_{\text{iz}} = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  a součinitel přestupu tepla na vnějším povrchu tepelné izolace trubky  $\alpha_{\text{iz}}$  určený na základě kritériálních rovnic.

Tab.1 Dosažené výsledky na modelovém příkladu v závislosti na použité tloušťce tepelné izolace

| $s_{\text{iz}}$<br>[mm] | $U_{\text{w,l,hor}}/U_{\text{w,l,ver}}$<br>[W/(m. K)] | $q_{\text{t},10}$<br>[W/m] | $q_{\text{t},24}$<br>[W/m] | $Q_{\text{ztr},1,20}$<br>[W] | $Q_{\text{ztr},1,40}$<br>[W] | $Q_{\text{w,dls,ls,col,MJ/a}}$<br>[MJ/rok] | $Q_{\text{w,dls,ls,col,kWh/a}}$<br>[kWh] |
|-------------------------|---|----------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|--|--|
| 6                       | 0,394 /<br>0,271                                      | 17,3                       | 8,1                        | 346,8                        | 325,4                        | 21 200                                     | 5 889                                    |
| 9                       | 0,341 /<br>0,254                                      | 15,0                       | 7,6                        | 300,4                        | 304,5                        | 19 075                                     | 5 299                                    |
| 13                      | 0,294 /<br>0,234                                      | 12,9                       | 7,0                        | 258,7                        | 280,7                        | 17 014                                     | 4 726                                    |
| 20                      | 0,243 /<br>0,207                                      | 10,7                       | 6,2                        | 213,7                        | 248,9                        | 14 587                                     | 4 052                                    |
| 25                      | 0,219 /<br>0,193                                      | 9,6                        | 5,8                        | 192,8                        | 231,6                        | 13 384                                     | 3 718                                    |
| 30                      | 0,201 /<br>0,181                                      | 8,9                        | 5,4                        | 177,3                        | 217,6                        | 12 450                                     | 3 458                                    |
| 40                      | 0,177 /<br>0,164                                      | 7,8                        | 4,9                        | 155,4                        | 196,2                        | 11 086                                     | 3 079                                    |

where:

$U_{\text{w,l}}$  je lineární součinitel prostupu tepla potrubního úseku horizon./vert. potrubí, [W/(m. K)];

$s_{\text{iz}}$  tloušťka stěny tepelné izolace [mm];

$q_{\text{t}}$  délková tepelná ztráta úseku přívodního potrubí v prostředí s okolní teplotou vnitřního vzduchu 10 °C nebo 24 °C [W/m];

$Q_{\text{ztr,l}}$  tepelná ztráta potrubí s tepelnou izolací kruhového průřezu úseku horizontálního/vertikálního potrubí [W];

$Q_{\text{w,DLS,ls,col}}$  tepelná ztráta potrubí s tepelnou izolací za rok [MJ/rok; kWh/rok].

## ZÁVĚR

Uvedený příspěvek má za cíl na modelovém příkladu poukázat na důsledky návrhu tloušťky tepelné izolace potrubí z energetického hlediska. Porovnáním dosažených výsledků ročních tepelných ztrát dle použité tloušťky a pořizovacích cen tepelné izolace lze vyvodit závěr, že návratnost investice na provozních nákladech činí při užití požadovaných tloušťek v souladu s vyhláškou č. 193/2007 Sb. přibližně 1 až 3 roky. V běžné praxi se často můžeme setkat s podceněním tloušťky tepelné izolace nebo hledáním nemístných úspor na materiálu izolace. K instalaci tepelné izolace s větší tloušťkou než 12 mm dochází zřídka, přestože je legislativní požadavek výrazně vyšší. Správným návrhem tepelné izolace je dosaženo minimalizace energetické náročnosti z hlediska dopravy tepelné energie a maximální hodnoty účinnosti z hlediska tepelných ztrát. Dalším snížením tepelné ztráty lze docílit časově řízenou cirkulací TV v závislosti na charakteru odběru tepla v TV a s ním spojenými finančními nároky. Optimalizaci je vhodné provést např. v nočních hodinách, kdy dochází k minimálním odběrům TV. Je otázkou, zda bude nutné se v období trendu budov s téměř nulovou spotřebou energie zabývat podobně podrobným způsobem výpočtu.

## LITERATURA

1. Vyhláška č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2007.
2. ČSN 75 5455: Výpočet vnitřních vodovodů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
3. ČSN 75 5409: Vnitřní vodovody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
4. TZB – INFO – Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov  
URL:<<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/44-tepelna-ztrata-potrubi-s-izolaci-kruhoveho-prurezu>>.
5. Sazima, M. a kol: Sdílení tepla TP. Praha: SNTL, 1984. 720 s. ISBN 04-203-92.
6. Hemzal, K.: Přenosové jevy v technice prostředí. Vydavatelství ČVUT, 2004. 96 s. ISBN 80-01-02924-7.
7. ČSN EN 15316-3-2: Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinnosti soustavy - Část 3-2: Soustavy teplé vody, rozvody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

# WEATHERING STEEL STRUCTURES INFLUENCED BY CHLORIDE DEPOSITION FROM WINTER TREATMENT OF ROADS

## KONSTRUKCE Z PATINUJÍCÍ OCELI OVLIVNĚNY DEPOZICÍ CHLORIDŮ ZE ZIMNÍ ÚDRŽBY VOZOVEK

Monika Kubzová<sup>1</sup>, Vít Křivý<sup>2</sup>, Viktor Urban<sup>3</sup>

<sup>1</sup> VŠB - TU Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Structures, Ludvika Podeste 1875, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic, monika.kubzova.st@vsb.cz.

<sup>2</sup> VŠB - TU Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Structures, Ludvika Podeste 1875, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic, vit.krivy@vsb.cz.

<sup>3</sup> VŠB - TU Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Structures, Ludvika Podeste 1875, 708 00 Ostrava – Poruba, Czech Republic, viktor.urban@vsb.cz.

### ABSTRACT

The program of experimental tests on atmospheric corrosion carried out on weathering steel bridges in the Czech Republic is briefly introduced in this paper. Huge attention is paid to the evaluation of corrosion processes on load-bearing structures of girder bridges with the roadway above the supports.

This article presents selected results of experimental atmospheric corrosion testing aimed at the measurement of corrosion products' thicknesses. The results of the tests prove that corrosion processes on weathering steel bridges are significantly conditioned by the position and location of the surface exposed within the structure. The impact of the chloride deposition on corrosion layers is evaluated in the paper as well.

Keywords: weathering steel, steel bridges, corrosion, chlorides.

### INTRODUCTION

Weathering steel is used for various types of outdoor structures around the world, and also in the Czech Republic for more than 60 years [1-4]. In the Czech Republic, weathering steel is used for constructions as lattice transmission power, bridges, crane runways and also such as decorative material for roofs, facades and many others. This steel belongs to a group low-alloy steels with a low amount of alloying components like chrome, phosphor, nickel, copper and others. The amount of alloying components is lower than 2 % wt.

On the surface of weathering steel is created a protection layer of corrosion products which is called "patina". The protective function of the patina depends on exposure conditions such as temperature, pH and time moistening [5]. An important property of patina is its compactness, which is reduced in the case of high incidence of aggressive atmospheric agents such as sulfur dioxide and chlorides. It has been shown experimentally to create a sufficiently protective layer of patina in concentrations of sulfur dioxide to  $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$  [5]. Primarily the protective function of patina provides its compactness. From the beginning of the exposure, the speed of development of corrosion products does not differ from carbon structural steels. The protective layer is beginning to create during the first 3-5 years of exposure. In Europe weathering steels are used with commercial brands as Corten, Patinax, Coraldur, Intradur, Resista, Indaten. In the Czech Republic, in the 1970s weathering steel was produced under the brand name of Atmofix. The use of weathering steels will mainly benefit from the economic point of view. By creating a protective layer of corrosion products, we are experiencing cost savings for any corrosion protection or correction associated with corrosive attacks.

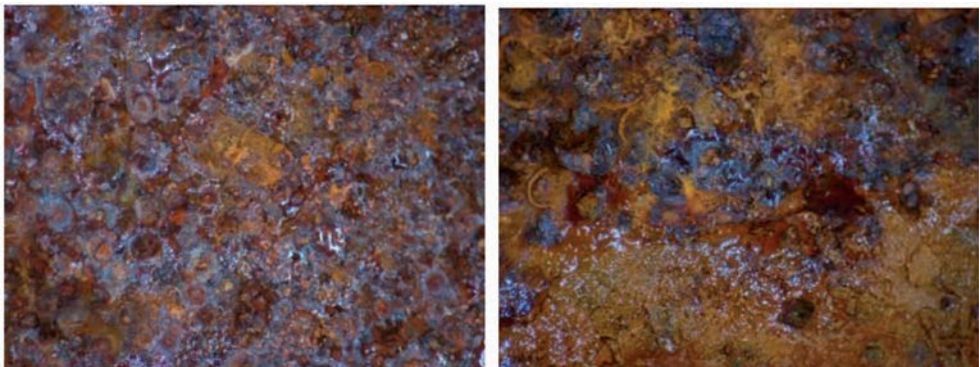


Figure 1: Details on the surface of the patina layer samples after 3 years of exposure – 25 x magnified

## CORROSIVITY IN ATMOSPHERE

The development of corrosion products on structures exposed to the external environment is affected by all the parameters of the environment such as temperature, humidity, air pollution (chlorides, sulfur dioxide,  $\text{NO}_x$ ), precipitation and more. The basic factors of atmospheric corrosion include deposition of chlorides, sulfur dioxide and time moistening of the exposed surface. Sulfur dioxide  $\text{SO}_2$  together with other elements such as  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  get to the air mainly by industrial production. The rate of sulfur dioxide pollution has declined substantially in the recent years and now the concentration is in most of the territory as low as  $10 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  [6]. Another significant corrosive stimulator in the atmosphere are chlorides, which do not affect the corrosion aggressiveness only in coastal areas but also outside these areas also as a result of the use of deicing salts in particular. Chlorides have the ability to absorb moisture from the corrosive environment even at low temperatures. Viability of the atmospheric corrosion depends on the humidity. In the atmosphere



without high air pollution the corrosive process is activated with humidity at the level of around 60 and 80 %. In the atmosphere with the chlorides the humidity around 20 % launches corrosion. In most cases, mainly local types of corrosion are caused by a chloride corrosion attack as pitting and crevice corrosion that is very dangerous for construction. Chlorides get in the air in the Czech Republic mainly from salt spray from road communications in the winter or from industrial production. In the winter season it is all about dissemination of aerosol, which is in the spring time substituted by dusty particles. The biggest effect of the corrosion can be expected during foggy weather.

## **ATMOSPHERIC CORROSION TESTS – DEVELOPMENT OF A PROTECTIVE LAYER OF CORROSION PRODUCTS**

VŠB – Technical University of Ostrava investigates the development of corrosion products on the weathering steel using atmospheric tests applied to selected bridges. Up to 80 % of the use of metal structures is referred to atmospheric corrosion. The program of experimental tests, the development of corrosion products on constructions of the weathering steel was introduced in order to refine the prediction model intended for calculation of design values for corrosive metals [7]. Other results may refer to:

- a) comparison of the development of corrosion products in regard to the different location of the bridge structures;
- b) the ability to assess the impact of the orientation of the exposed area of atmospheric exposure;
- c) analysis of the corrosion products – composition;
- d) pay attention, by designing, the structure - the determination of the critical surfaces on bridge construction (for example, the possibility of leaking of a leaking system and its influence on the development of the corrosion products) [8].

An important parameter for the development of corrosion products in atmospheric corrosion is primarily the time of moisture. For this reason, it is necessary to situate the patterns on different areas of the main carrier bridge construction. At the end of the year 2016 there have been tested 76 specific areas of the surface on 8 selected bridge structures in total.

The samples must be placed on relevant, specific surfaces so that the realistic conditions of exposure to particular surface parts of the structure are best characterized, and there is no way to influence the test results. For the experimental testing, standard samples were chosen, so that they are used for atmospheric corrosion tests according to the ČSN ISO 8407 - flat panels with dimensions of 100 x 150 mm, thickness of 1.5 mm. The samples were made from sheet metal; S355J2WP quality (Corten A) usually used for cladding structures [9, 10]. The back side of the used sample (page adjacent to the examinee of the surface structure) is masked because of the evaluation of the corrosion surface on an exposed surface - exposure to atmospheric conditions. Fixation of the corrosive samples is accomplished with the support of elements of stainless steel, see Figure 2, which allow close contact of the corrosion of the sample and the analysis of the surface. The contact can be regarded as a minimum. There is no effect on the development of corrosion products on the exposed surface.

The advantage is also the property connections which ensure a copy of the thermal inertia of the tangible object [11].

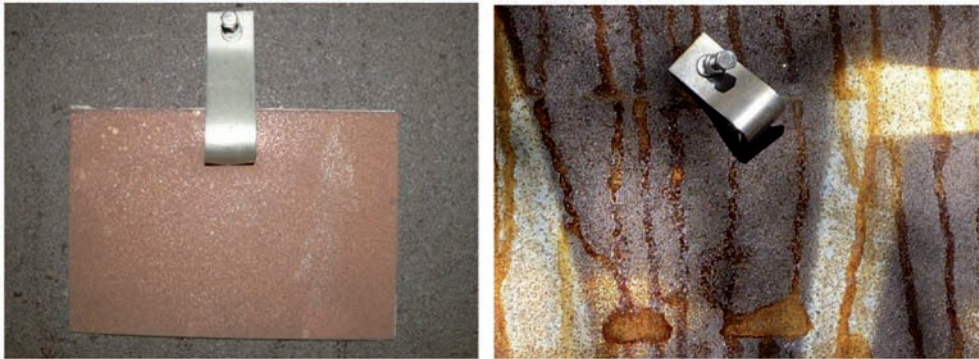


Figure 2: Fixation of corrosion specimen by using a pressing anchoring device made from stainless steel

For this article, a detailed interpretation of the applying atmospheric tests is selected and applied corrosive samples at the bridge in Prague - Motol.



Figure 3: The installation of corrosion specimens on the railway bridge in Prague - Motol

A total of three corrosion samples were exposed on each specific surface structure, of which material and method of mounting is described above. Subscription samples for determining the corrosive decreases according to the ČSN ISO 8407 are planned after 1, 3 and 10 years of exposure. Specimens were withdrawn from each surface after one and three years of exposure. At the time of installation corrosion samples were detected by statistical characteristics thickness of the corrosion products of the examined surface. The thickness of the corrosion products can be measured by using a magnetic-inductive method by PosiTector Smartlink and PosiTector 6000 with probe (F) specified for ferrous metals. A total of 30 measurements of layers of corrosion products were performed for each specimen.

Tab. 1 Construction tested within the program of experimental atmospheric tests

| ID | Type of surface  | Orientation |
|----|--|-------------|
| P1 | The external wall of northern main girder                      | north       |
| P2 | The external wall of southern main girder                      | south       |
| P3 | The external wall of main girder 5 cm above the bottom flange  | north       |
| P4 | The bottom surface of upper flange of the main girder          | north       |
| P5 | The upper external surface of bottom flange of the main girder | north       |
| P6 | The bottom surface of bottom flange of the main girder         | north       |
| P7 | The internal wall of northern main girder                      | north       |
| P8 | The upper internal surface of bottom flange of the main girder | north       |

## RAILWAY BRIDGE PRAGUE-MOTOL

The selected structure with corrosive samples for this article is a railway bridge over the Jeremiášova street in Prague-Motol. The supporting construction is created by four main I-sections girders and these girders are coupled with a concrete board deck. The bridge was built in 1981 with the subsequent installation of the bridge body in 1983. The steel structure of the bridge is designed of low-alloy steel with Atmofix B. In contrast to the steel Atmofix A is mainly in the mass ratio of the quantity of alloying additives. In addition, Atmofix B contains about 0.04% wt. Nb and contains less Cr 0.4 – 0.8% wt.

The main structure of the bridge consists of four steel beams and a cross section that are coupled together with a reinforced concrete slab bridge deck, see Figure 4. The bridge consists of three fields. The beams in each field are designed as simply supported with length 20 m (the distance between supports of bridge). Above the supporting points and in thirds margins of individual fields are placed reinforcing cross beams, which are not associated with the bridge deck. These reinforcing cross beams are bolted to the cross-section of the sloped reinforcements of the main beams. A single track is stored on a gravel bed. The weight of the steel structure is about 155 tons. View of the construction of the bridge is shown in Figure 5.

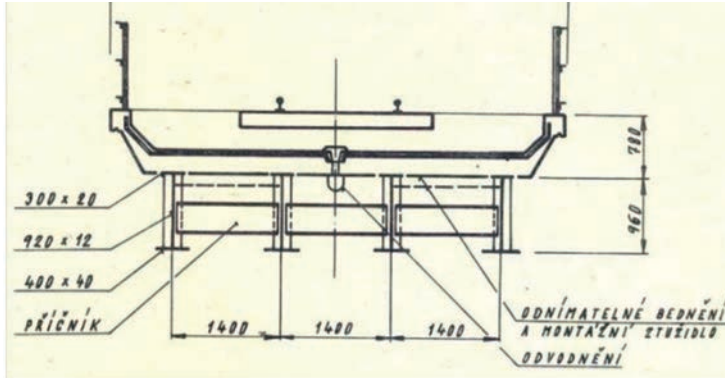


Figure 4: The cross sectional view of the bridge



Figure 5: The side view of the railway bridge in Prague

From each surface, after one and three years of direct exposure, one sample was removed, and was subsequently analyzed. For each sample, the measurement of the corrosion product has been carried out using the magnetic-inductive method. The measured thickness values are listed in table 2. The highest increase in corrosion products is noticeable in the place of the upper outer flange of the main beam. This surface may be affected by the resulting clumping of the dusty varnish with aggressive agents and prolonged moisture retention, any wetting rain precipitation – this represents the changing of the moistening and drying out. This area of the main beams structures generally exhibits the highest layer of thickness of corrosion products.

Tab. 2: Layer thickness of corrosion products on different surfaces of the bridge (after 1 and 3 years of exposure)

| ID | Type of surface  | thickness of patina ( $\mu\text{m}$ ) |         |
|----|--|---------------------------------------|---------|
|    |  | 1 year                                | 3 years |
| P1 | The external wall of northern main girder                      | 25,4                                  | 39,8    |
| P2 | The external wall of southern main girder                      | 30,5                                  | 40,8    |
| P3 | The external wall of main girder 5 cm above the bottom flange  | 29,1                                  | 35,9    |
| P4 | The bottom surface of upper flange of the main girder          | 39,4                                  | 58,1    |
| P5 | The upper external surface of bottom flange of the main girder | 87,4                                  | 117,2   |
| P6 | The bottom surface of bottom flange of the main girder         | 31,0                                  | 52,3    |
| P7 | The internal wall of northern main girder                      | 23,7                                  | 29,9    |
| P8 | The upper internal surface of bottom flange of the main girder | 54,1                                  | 73,9    |

Figure 6 displays the samples taken from the surface of the P4 after one and three years of exposure. The maximum thickness of the corrosion products was established on positions 5 and 8 – the upper surface of the lower flanges. In a layer of corrosion products there is a distinctive white-colored spring. The thickness of the corrosion products on the outer wall of the main girder slightly exceeds the thickness of the inner wall. Corrosion losses were analyzed in the laboratory on specimen of each selected surface. The results of the corrosion of the weathering steel after decreases of one and three years of exposure are listed in table 3.



Figure 6: Samples of top flange bottom surfaces P4 after 1 year (left) and 3 years (right)

Tab. 3: Laboratory determined corrosion losses on different surfaces of the bridge (after one and three years of exposure)

| ID | Type of surface  | corrosion losses ( $\mu\text{m}$ ) |         |
|----|--|------------------------------------|---------|
|    |  | 1 year                             | 3 years |
| P1 | The external wall of northern main girder                      | 6,01                               | 10,60   |
| P2 | The external wall of southern main girder                      | 5,71                               | 14,60   |
| P3 | The external wall of main girder 5 cm above the bottom flange  | 5,67                               | 14,50   |
| P4 | The bottom surface of upper flange of the main girder          | 9,14                               | 17,90   |
| P5 | The upper external surface of bottom flange of the main girder | 19,11                              | 34,00   |
| P6 | The bottom surface of bottom flange of the main girder         | 6,25                               | 14,70   |
| P7 | The internal wall of northern main girder                      | 4,50                               | 12,10   |
| P8 | The upper internal surface of bottom flange of the main girder | 9,33                               | 21,00   |

The biggest corrosion losses were detected on the corrosion outside the upper surface of the lower flange of the main beam (surface P5). A comparison between the surface P5 to the surface P1 (external wall of the main beam) shows that the annual corrosion loss of the outer flange is approximately 3,2x larger than the corrosion loss of external walls. Corrosion loss of the top surface of the outer flange of the main beam (surface P5) is approximately 2x greater in comparison with the same inner flange of the beam (surface P8). Another thing is that the differences between the outside surfaces, oriented to the North (P1) and South (P2) are negligible. Between the measured average thickness of corrosion products formed on corrosion samples after one and three years of exposure and the corrosion were found significant decreases of the apparent correlation dependence between the two measured quantities, see Figure 7. Correlation coefficient between the two variables is  $\rho = 0.92$ .



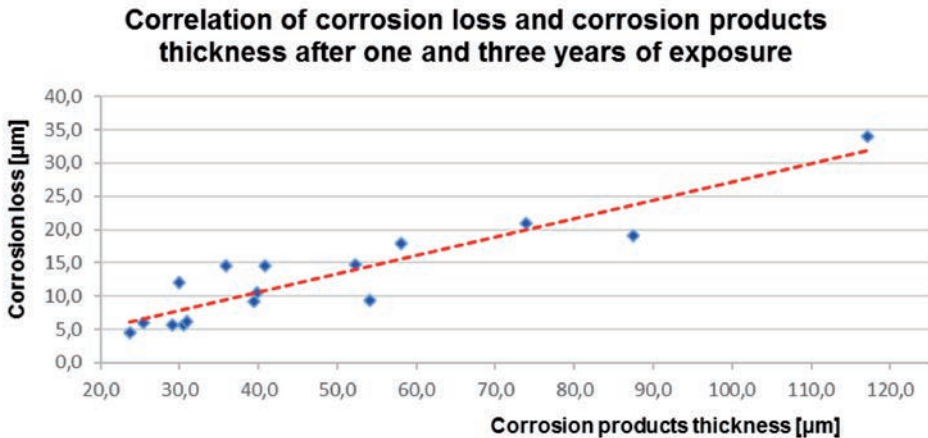


Figure 7: Graphic relationships between the measured corrosion losses and corrosion products thickness

The program of experimental atmospheric corrosion tests weathering steels is designed as a long-term project and the complete results will be evaluated after 10 years of direct exposure. At the end of 2016 there have been deployed over 100 corrosion samples to specific surfaces of steel structures of weathering steel.

## EFFECT OF CHLORIDE ON THE DEVELOPMENT OF CORROSION PRODUCTS

Chlorides are one of the main factors of the aggressiveness of the atmospheric corrosion. In our geographical area these occur mainly from deicing salt. During the winter period it is necessary to ensure the practicability of communications. Sledding is ensured by the use of gritting salt grit, which causes the melting of ice and snow on the road surface or deicing materials that make the surface rougher. In Europe, is used as a material spreader, mainly sodium chloride  $\text{NaCl}$ , then calcium chloride  $\text{CaCl}_2$ , magnesium chloride  $\text{MgCl}_2$ , less often is used urea or various alcohols or liquid AQUA gelo [12]. The costs of urea and alcohols (in comparison with sodium chloride) are very high, for this reason urea is used only in specific cases.

In the Czech Republic, sodium chloride is used in up to 98% of cases, in other cases it is the use of magnesium chloride. Chlorides are challenging not only for the main supporting structure of the bridge but also for the amenities such as railings and other metal backing construction of the bridge. Environment with the deposition of chloride greater than 2,5 – 3,0 mg/m<sup>2</sup>.d, is considered an environment with the influence of salinity on corrosion aggressiveness [6]. Movement of vehicles along the road disseminates aerosol deicing salt called tunnel effect, see Figure 8. The amount of chlorides that can pass, reaches up to 1,9 km away from the road in the direction of the wind and up to 170 m [6]. The chlorides have the ability to absorb the moisture, which speeds up the progress of the corrosion process.



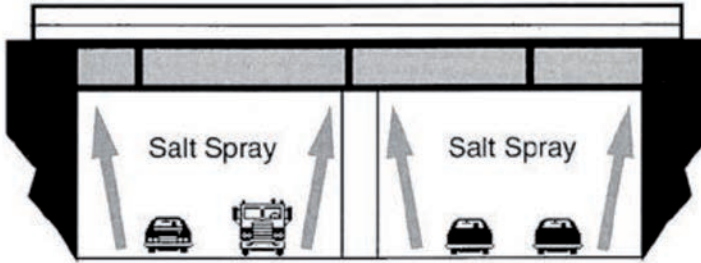


Figure 8.: Tunnel effect: the spread of aerosol from deicing salt in the winter period [6]

## ATMOSPHERIC CORROSION TEST FOR THE DETERMINATION OF CHLORIDE DEPOSITION

As previously discussed, the significant effect on the progress of the atmospheric corrosion to aggressiveness of atmospheric substances is caused by chlorides  $\text{Cl}^-$  and sulfur dioxide  $\text{SO}_2$ . Currently the influence of the particular action of chloride ions outweighs the  $\text{SO}_2$  due to the extensive use of the modern trend of deicing salt in the winter. It can be expected that the considerable influence of chlorides on the course and corrosion arises in the winter period of direct dissemination of electrolysis using the aerosol. This phenomenon is affected by many parameters — the size of the vehicles, their speed, the current state of the windy conditions. In the spring months, the chloride deposition continues but with considerably smaller deposition. Chloride ions after winter become part of the dirt particles that form the breadth of the area. Therefore, it is necessary to apply the measurement of chlorides deposition in sufficient extent.

The first attempts of the measurement of chlorides deposition are already carried out in Japan [13]. It was examined on a total of 9 bridges of the weathering steel, which were located far from the coast, with the expected effect of salt being spread by aerosol but especially chlorides from deicing salt. It has been shown that a substantial effect on the corrosion process takes two and a half months after the last use of deicing salt. Substantial alteration occurs on the outer surface of the outer beam. Additional measurements were carried out at a distance of 60 km from the coast [14] in order to avoid affecting the spread of aerosol chloride from sea water. In Japan, the use of the extension occurs grit salt since 1990. It was found that many more chlorides are present in the case of toll roads compared to classic roads. It is mainly affected by the traffic density and the subsequent enlargement of the salt. This applied measurement was carried out on the basis of the application of the method of dry plates.

Standard ČSN EN ISO 9225 - Corrosion aggressiveness atmospheres - measurement of factors affecting these corrosion aggressiveness atmospheres sets out two possible methods for measurement of chlorides deposition. The first way is the measurement method by using the, so called, "wet candle". This method is based on the adherence of chloride on the moistened gauze, the subsequent dissolution of the chlorides and a move into the bottle containing the solution of glycerol and octanoic acid. An important parameter for

the correct measurement is a sufficient humidity of the air due to avoid drying out the wick of the candle. Therefore, this method is suitable for the determination of chloride to deposition rate of coastal areas. The second method is currently the already mentioned method of "dry plates". The method represents the stretch gauze around which the air can flow spontaneously. This method works somewhat differently than the previous method, foremost to capture airborne fallout around the dusty roads. Both methods lead to the acquisition of chloride-containing aqueous extracts from which it can be determined the quantity of known chemical analyses.

VŠB – Technical University of Ostrava applied the first experimental measurements of deposition of electrolysis with both methods. The measurement aims to specify the appropriate structural adjustment and appropriate material, which will show the best results and choose the best way to exchange individual measuring methods (replacement of gauze, etc.).

The first test measurements were applied on June 3<sup>rd</sup> on the two selected bridges in the vicinity of Ostrava over and under the highway D1, see Figure 9 and 10. The testing bridge construction is a concrete bridge. Final measurements of chloride deposition will be carried out and will be applied to the selected bridge construction from the weathering steel. For the measuring method of the "dry plate" was made a temporary structure made of steel, which allows the plate to set the horizontal and vertical position. Both measuring equipment, the "wet candle" and "dry plates", were stored on supports bridge construction in the direction of travel of vehicles because of a possible check of the functionality of the device. This direction especially assumes the spread of chlorides with the passage of vehicles.



Figure 9: The concrete bridge construction across the street Vřesinská (the bridge is located below the D1)



Figure 10: The concrete bridge structure under the street Ostravská (located above the bridge D1)

After a month, the samples were removed or replaced, and the analysis was made of the amount of chloride in surgical gauze by using the spectrophotometric method. From the method “wet candle”, the first results could not be established, since damage has occurred to the measuring device. The deposition rate of chlorides contained in the surgical gauze of method of the “dry plates” was established in the value of  $0,8 \text{ mg/m}^2$  for the month of May and in the value of  $0,2 \text{ mg/m}^2$  for the month of June. This deposition rate is somewhat of low values. This may be due to the small amount of captured dusty soils that will bypass the surgical gauze of the reasons large perforation of the substance. For this reason, for the following exchange is deployed a new gauze in the form of industrial wipers with smaller holes’ woven fabrics.



Figure 11: The “wet candle” method for the determination of chloride deposition



Figure 12: The method of "dry plates" for the determination of chloride deposition (horizontal and vertical position)

The measuring equipment is shown in figures 11 and 12. It is necessary that the gauze of the "wet candle" was sufficiently damp immediately prior to installation. During the random checks, it was found that the gauze over time dries up at the top, and moisture is detained only over the seal. In this case, the "wet candle" method works on the same principle as the method of "dry plates" and the capture of dirt deposits from the air.

## CONCLUSION

Up to 80 % of steel structures are damaged due to atmospheric corrosion in particular. The main actors in the air are aggressive sulfur dioxide  $\text{SO}_2$  and chlorides. There are analytical relations for the determination of corrosion loss of steel. With the advent of a new type of atmospheric corrosion resistant steels, the question arose of refining of the prediction model. This is used to refine atmospheric tests to give in the case of obtaining a sufficient number of rows which determine the dependency between the time of exposure and the thickness of the corrosion products and weight loss. The surface layer and the local corrosion are caused by chloride violations that occur in the corrosive environment. Currently, the trend of the use of deicing salts increases, there is a proliferation of chloride ion by using wet deposition in the winter period and the secondary dust in other periods of the year. To determine the deposition rate there can be used two methods of chlorides "wet candles" and "dry plates". The measuring of the deposition rate is tested on selected bridges. As soon as the instrument is tuned and selects suitable materials for deposition measurements of chlorides, the program will be introduced, under which a securities depository will be measured together with speed decreases weathering steels on selected steel bridge structures in the Czech Republic.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This paper has been achieved with the financial support of the Ministry of Education, specifically by the Student Research Grant Competition of the Technical University of Ostrava under the identification number of SP2016/141.

## REFERENCES

- 1 ALBRECHT, P. a T.T. HALL. Atmospheric corrosion resistance of structural steel. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2003, 15, s. 2-24.
- 2 MORCILLO, M. et al. Weathering steels: From empirical development to scientific design. A review. *Corrosion Science*. 2014, 83, s. 6-31.
- 3 MORCILLO, M. et al. Atmospheric corrosion data of weathering steels. A review. *Corrosion Science*. 2013, 77, s. 6-24.
- 4 ROZLÍVKA, L. a V. KŘIVÝ. Užití patinujících ocelí Atmofix pro výrobu mostů. In *Sborník 46. celostátní konference OK. Hustopeče: Český svaz vědeckotechnických společností*, 2008, s. 18-20. ISBN 978-80-02-02061-5.
- 5 KREISLOVÁ, K., KNOTKOVÁ, D., GEIPLOVÁ, H. Korozní chování kovů a povlaků. *Metody sledování životnosti. SVÚOM.Praha*. 2014. ISBN 978-80-87444-08-05
- 6 KREISLOVÁ, K., KNOTKOVÁ, G. Atmosférická koroze. *Metody sledování životnosti. SVÚOM.Praha*. 2014. ISBN 978-80-87444-11-5
- 7 KŘIVÝ, V. et al. Bestimmung der Dickenzuschläge für wetterfesten Stahl im Brückenbau. *Stahlbau*, 2013, 8 (8), s. 583-588.
- 8 KŘIVÝ, V., URBAN, V., KREISLOVÁ, K. Development and failures of corrosion layers on typical surfaces of weathering steel bridges. *Engineering Failure Analysis*. 2015. DOI 10.1016
- 9 CZARNECKI, A.A. a A.S. NOWAK. Time-variant reliability profiles for steel girder bridges, *Structural Safety*, 2008, 30 (1), s. 49-64.
- 10 KAYSER, J.R. a A.S. NOWAK. Reliability of corroded steel girder bridges. *Structural Safety*, 1989, 6 (1), s. 53-63.
- 11 CZARNECKI, A.A. a A.S. NOWAK. Time-variant reliability profiles for steel girder bridges, *Structural Safety*, 2008, 30 (1), s. 49-64.
- 12 Williams A. L., Stensland G. J., „Atmospheric Dispersion Study of Deicing Salt Applied to Roads“, Part II Final Report For Period July 2002 to June 2004, in the January 2006 issue of Research Report No. 140, Illinois Department of Transportation
- 13 Yamaguchi, E. Maintenance of weathering steel bridges. *Steel Constr Today Tomorrow* 2015, 45:12-5.
- 14 Iwasaki, E. Scattering of Deicing Salts and Corrosion of steel Bridges. *Proceedings of the International Symposium on Steel Bridges*, 2015.

# TESTING AND DESIGN OF ASPHALT BELT SLIDING JOINTS TESTOVÁNÍ A NÁVRH KLUZNÝCH SPAR Z ASVALTOVÝCH PÁSŮ

Pavčina Matečková<sup>1</sup>, Martina Šmiráková<sup>1</sup>, David Litvan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> VŠB TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, L.Poděště 1875, 708 00,Ostrava, pavlina.mateckova@vsb.cz

## ABSTRAKT

Základové konstrukce jsou vystaveny zpravidla dominantnímu svislému zatížení. V některých případech je ale významná také hodnota deformačního zatížení v horizontálním směru, způsobená vodorovnou deformací terénu např. na poddolovaném území nebo vodorovnou deformací základové konstrukce způsobenou předpětím, dotvarováním smršťováním, případně teplotními změnami. Prostřednictvím tření mezi základovou konstrukcí a podložím se vnáší do základové konstrukce nezanedbatelné normálové síly. Myšlenka kluzné spáry, která eliminuje tření v základové spáře, pochází ze sedmdesátých let minulého století. Asfaltový pás díky svým reologickým vlastnostem se osvědčil jako materiál vhodný pro kluznou spáru. Na Fakultě Stavební VŠB –TU Ostrava byly od roku 2010 testovány různé druhy asfaltových pásů. Sledoval se mimo jiné vliv vertikálního a horizontálního zatížení a vliv teploty při měření v klimatizované komoře. Aktuálně se výzkumný tým zabývá cíleným vyhříváním kluzné spáry elektrickou mřížkou. Vzorky jsou zatíženy vertikální a horizontální silou a zahřívány opakovaně po určitý časový interval. V článku jsou uvedeny výsledky testování smykové odolnosti moderních, v současnosti používaných asfaltových pásů. Výsledky se používají k analýze tření v podloží v modelovém příkladu.

Klíčová slova: interakce základové půdy a podloží, asfaltový pás, poddolované území, dotvarování, smršťování.

## ÚVOD

Hlubinná těžba nerostů vždy ovlivňuje také é krajinu na povrchu, kde se formuje poklesová kotlina. Pokud se na povrchu nacházejí stavební konstrukce, jsou ovlivněny deformací terénu, která zahrnuje naklonění a zakřivení terénu a vodorovné stlačení/roztážení terénu, (Marshalko at al., 2008, 2014). Konstrukce jsou ovlivněny zejména na okraji poklesové kotliny. Jakmile se budova octne na dně poklesové kotliny, jsou sice vertikálně v nižší

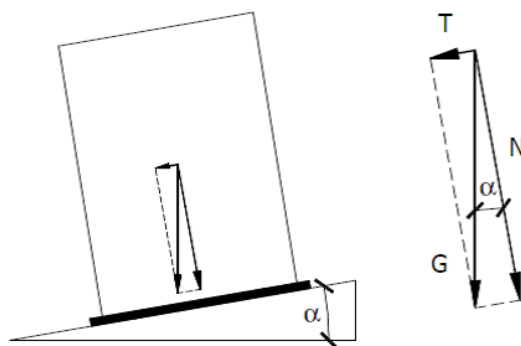
úrovni, ale deformace terénu postupně vymizí. Doporučení a pravidla pro stavby dotčené hlubinným dobýváním jsou v české platné normě Navrhování staveb na poddolovaném území (ČSN 730039).

Tento článek se zaměřuje na zatížení způsobené horizontálním stlačením/roztaháním terénu. Vlivem tření mezi základovou konstrukcí a podložím v základové spáře musí základová konstrukce přenést normálové síly, vnesené do konstrukce omezením vynucené deformace. Myšlenka kluzné spáry, která by eliminovala tření v základové spáře, pochází z 80. Let minulého století. Na počátku se uvažovalo o různých materiálech, ale nakonec se osvědčil asfaltový pás díky svým reologickým vlastnostem. První experiment provedli Balcárek a Bradáč (Balcárek & Bradáč 1982). Bylo zjištěno, že smykový odpor asfaltového pásu závisí na rychlosti deformace. Pokud je rychlost deformace malá, je malý i smykový odpor asfaltového pásu a tření v základové spáře se snižuje.

## TESTOVÁNÍ ASVALTOVÝCH PÁSŮ

### První testování

Výše uvedené první testování, jehož autory jsou Balcárek a Bradáč, spočívalo v měření posunu betonového bloku o váze 2208 kg po nakloněné rovině, na které byl umístěn asfaltový pás. Pro různý úhel naklonění se měnila svislá a vodorovná síla, Obr. 1. Na základě tohoto testování byla odvozena závislost smykového odporu na rychlosti deformace, která se používá pro návrh kluzné spáry v normě (ČSN 730039).



Obr. 1 Schéma prvního testování

### Motivace pro obnovené testování

V devadesátých letech minulého století se na trhu objevilo množství nových materiálů. Kromě toho byla potřeba vylepšit testovací zařízení. Na VŠB bylo navrženo testovací zařízení, které umožňuje měřit smykový odpor kluzné spáry pro různé svislé a vodorovné zatížení, Obr. 2. Nové testování asfaltových pásů začalo v roce 2008.

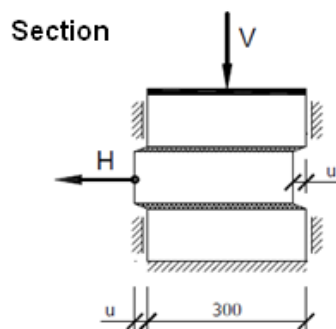




Obr.2 Testovací zařízení

#### Popis měření

Mezi tři betonové bloky jsou umístěny 2 vzorky asfaltového pásu. Tato soustava je zatížena svislým zatížením. Po jednom dni se aplikuje vodorovné zatížení, Obr. 3. Vertikální zatížení koresponduje s očekávaným zatížením v základové spáře. Vzorky byly obvykle vystaveny svislému zatížení 100 kPa a 500 kPa. Velikost vodorovného zatížení byla zvolena tak, aby rychlost deformace odpovídala očekávané rychlosti deformace. Obvykle se měřila deformace pro dvě velikosti vodorovné síly, 1,0 kN a 2,2 kN. Vodorovná deformace, tj. Posunutí středního bloku, se měřilo po dobu 6 dnů, v některých případech i více dnů.



Obr. 3 Schéma testování

### Vliv teploty

Materiálové charakteristiky asfaltových pásů jsou silně ovlivněny teplotou. S novým testováním pak bylo potřeba vyzkoušet nové asfaltové pásy také s vlivem teploty. Testovací zařízení bylo umístěno do klimatizované izolační komory, Obr. 4. V izolovaném prostoru je možné nastavit od  $-20^{\circ}\text{C}$  to  $+40^{\circ}\text{C}$ . Záměrem je ale samozřejmě testování pro teploty očekávané v základové spáře. Obvykle byly vzorky testovány při teplotě  $5^{\circ}\text{C}$  a  $10^{\circ}\text{C}$ . Měření bylo doplněno o měření při běžné teplotě  $20^{\circ}\text{C}$ .



Obr. 4 Izolovaná klimatizovaná komora

### Různé druhy asfaltových pásů

Vlastnosti surového asfaltu jsou vylepšeny oxidací nebo přidáním polymerů. Podle typu příměsí rozlišujeme asfalt s příměsí kaučuku, obvykle se jedná o styrene-butadiene-styrene (SBS asfalt) nebo příměs amorfního polypropylenu (APP asfalt). Oxidované a modifikované asfalty mají různou citlivost vůči teplotám, pružné a plastické deformační charakteristiky a přilnavost. Následně pak oxidované a modifikované asfaltové pásy vykazují různou smykovou odolnost.

### Cílené vyhřívání

Příznivý smykový odpor asfaltových pásů při vyšších teplotách vedl k myšlence cíleného vyhřívání kluzné spáry např. v době předpínání základů nebo v době kdy se aktivuje deformace terénu vlivem poddolování. Kluzná spára je součástí základové konstrukce a její cílené vyhřívání v době aktivace horizontální deformace (v případě poddolování po měsících a letech užívání objektu) je komplexní problém. Zařízení musí odolat velkým svislým i vodorovným silám a zůstat nepoškozené během provádění základové

konstrukce. V ložském roce se testoval SBS asfaltový pás s nízkonapěťovou elektrickou odporovou mřížkou, která byla umístěna mezi dva asfaltové pásy, Obr. 5. Detailnější popis experiment s odporovou mřížkou je v článku (Matečková et al., 2016).



Obr. 5 Cílené vyhřívání vzorků pomocí elektrické odporové mřížky

## VÝSLEDKY MĚŘENÍ

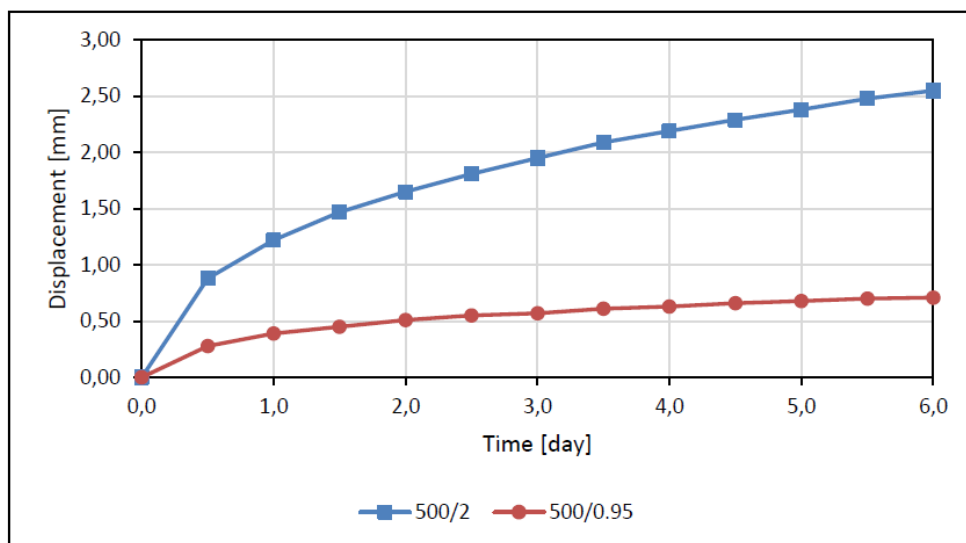
### Druhy asfaltových pásů

Od roku 2008 dosud bylo vyzkoušeno 14 typů asfaltových pásů s tloušťkou mezi 3-5 mm, zpravidla byly kryté minerálním posypem. Čtyři z nich byly oxidované asfaltové pásy, devět SBS modifikovaných a 1 APP modifikovaný. Výsledky měření jsou popsány v několika člancích, např. : (Čajka et al., 2011, 2012), (Čajka & Maňásek, 2007), (Janulíková & Stará, 2013), (Janulíková, 2014), (Janulíková et al. 2014).

### Vliv vodorovného zatížení

V tomto článku jsou prezentovány výsledky SBS modifikovaného asfaltového pásu.

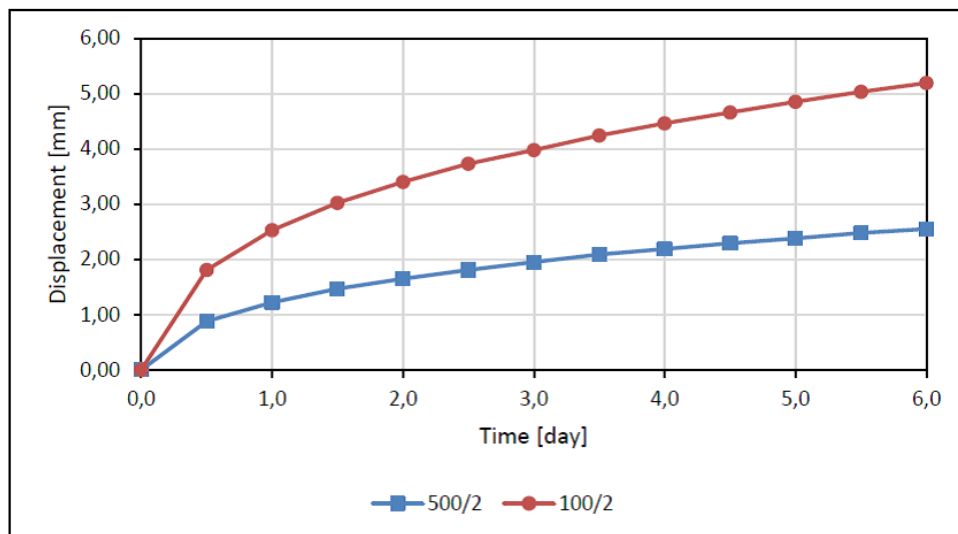
V grafu na obrázku 6 jsou změřená posunutí středního bloku pro svislé zatížení 500 kPa a vodorovné zatížení 2,0 kN a 0,95 kN. Testovací zařízení bylo umístěno v izolované klimatizované komoře, teplota prostředí byla 10°C. Změřené posunutí středního bloku pro nejméně dvě horizontální síly tvoří základ pro návrh kluzné spáry jako funkce závislosti smykového odporu na rychlosti přetvoření.



Obr. 6 Výsledky měření. Svislé zatížení 500 kPa, vodorovné zatížení 2.0 a 0.95 kN, teplota 10°C

### Vliv svislého zatížení

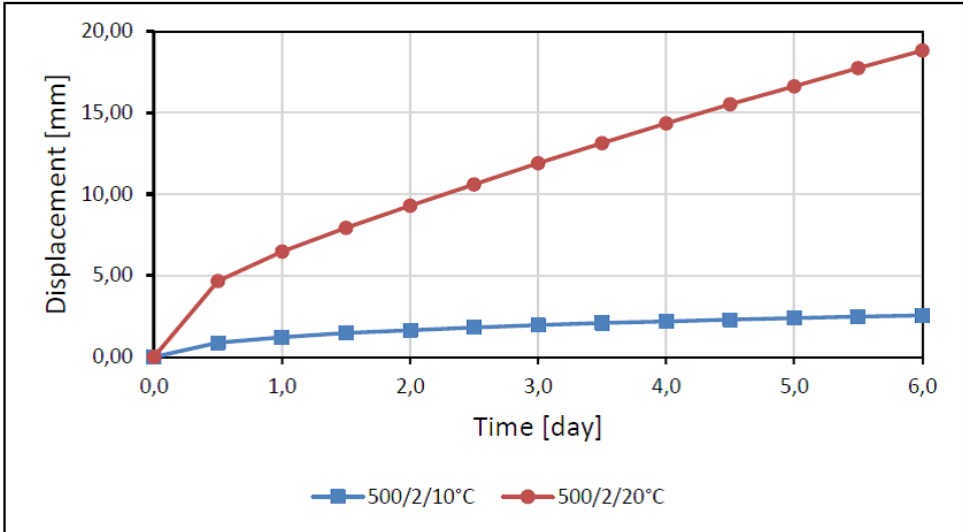
Asfaltové pásy byly testovány pro dvě hodnoty svislého zatížení a to 100 kPa a 500 kPa. Jak se očekávalo, posunutí pro větší svislé zatížení je menší než pro nižší úroveň svislého zatížení. Prokázalo se, že velikost svislého zatížení ovlivňuje velikost smykového odporu asfaltového pásu v základové spáře. Příklad naměřených hodnot je na obr. 7.



Obr. 7 Výsledky měření. Vodorovné zatížení 2.0 kN, svislé zatížení 500 kPa a 100 kPa, teplota 10°C

### Vliv teploty

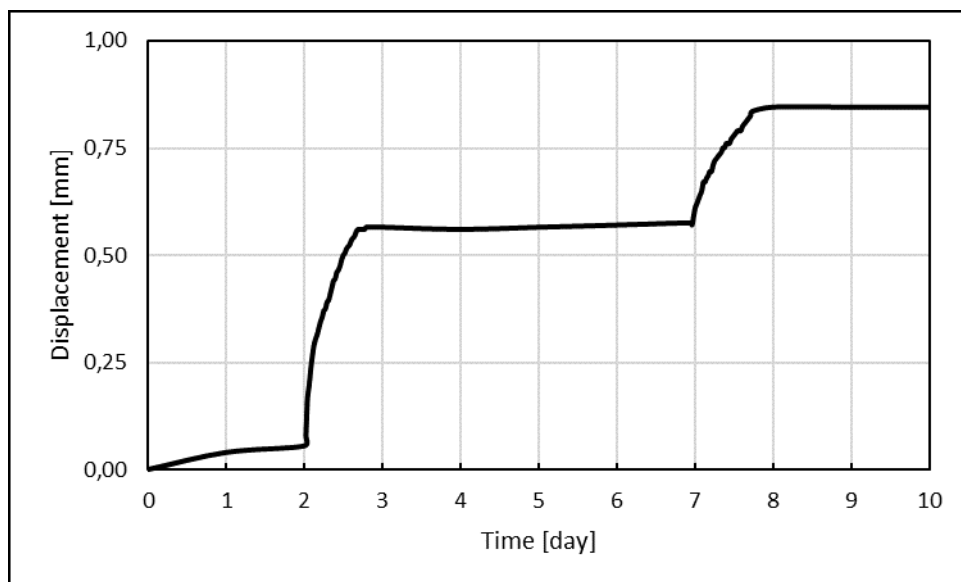
Na obrázku 8 jsou prezentovány výsledky měření pro různé teploty. Vyšší teploty vedou k většímu posunutí středního bloku vzorku a to jak pro oxidované tak pro SBS modifikované asfaltové pásy.



Obr 8 Výsledky měření. Svislá síla 500 kPa, vodorovná síla 2,0, teplota 10°C a 20°C,

### Cílené vyhřívání kluzné spáry

Soustava vzorků s elektrickou odporovou mřížkou byla zatížena svislým zatížením 500 kPa. Po jednom dni bylo aktivováno vodorovné zatížení 0,95 kN. Toto vodorovné zatížení způsobuje smykové napětí 5,6 kPa. Testovací zařízení bylo umístěno v klimatizované komoře se stálou teplotou 4°C. Vodorovné posunutí středního bloku soustavy vzorků bylo měřeno více než 100 dnů a během této doby byly vzorky čtyřikrát ohřáty na teplotu 20°C. Rychlost deformace odpovídala ohřívání vzorku a pro vyšší teplotu se zvětšila. Na obrázku 9 je viditelné zvětšení deformace pro první a druhé ohřívání vzorku. Výsledky testování se diskutují v článkách (Janulíkova, 2015), (Matečková et al., 2016).



Obr. 9 Výsledky měření. Cílené vyhřívání v čase 2 a 7 dnů

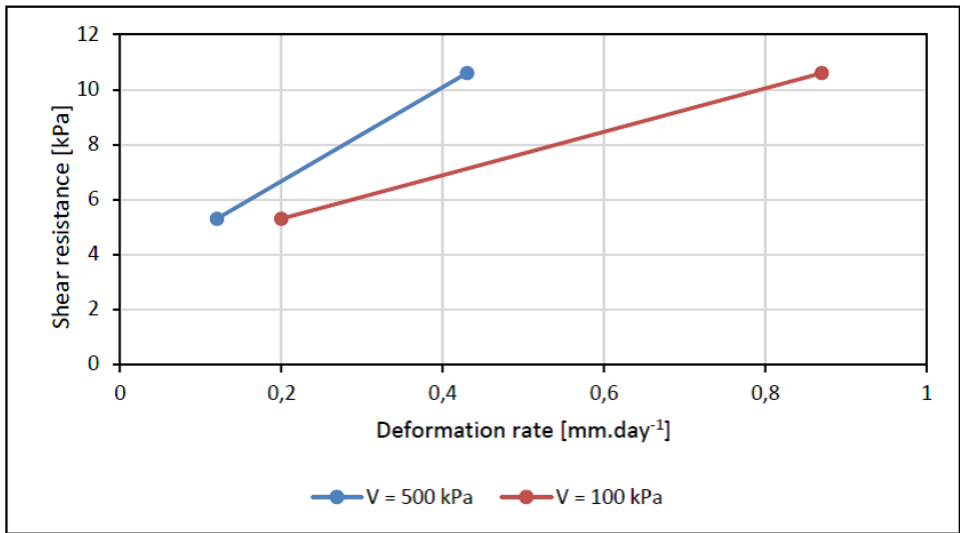
## NÁVRH KLUZNÉ SPÁRY

Smykové napětí v základové spáře bez kluzné spáry

Jednoduchou metodu výpočtu smykového napětí mezi základovou konstrukcí a podloží bez kluzné spáry je popsána v ČSN pro navrhování staveb na poddolovaném (ČSN 730039). Smykové napětí a z toho vyplývající normálová síly v základové konstrukci je stanovena jako funkce očekávané vodorovné deformace terénu, rozměrů základů a oedometrického modulu pružnosti zeminy. Je možné také zohlednit maximální hodnotu smykového napětí pomocí napětí na mezi pokluzu. Příslušné složité funkce nejsou v tomto článku citovány.

Jednoduchý návrh kluzné spáry

Výhodou návrhu kluzné spáry na základě výsledků měření je možnost vzít v úvahu mnoho různých parametrů, např. Typ asfaltového pásu, očekávané svislé zatížení, očekávaná teplota v základové spáře a čas trvání deformačního zatížení. Na základě výsledků měření je možné stanovit pro příslušný asfaltový pás závislost rychlosti deformace na smykovém napětí. Pomocí lineární regrese pak stanovíme závislost smykového napětí na rychlosti deformace, obr. 10.



Obr.10 Smykový odpor kluzné spáry. Svislé zatížení 500 kPa a 100 kPa

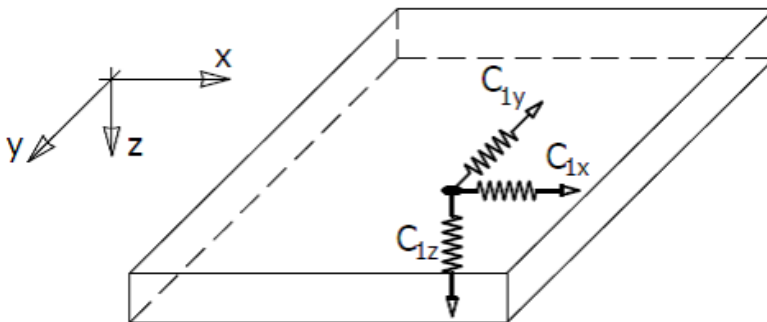
#### Pokročilý návrh kluzné spáry

Výsledky měření mohou být také použity pro analogii s jednoparametrickým modelem podloží. Na základě výsledků měření lze stanovit parametry  $C_{1x}$ ,  $C_{1y}$  analogicky k Winklerovu modelu podloží ve svislém směru  $C_{1z}$ , Obr. 11, rovnice (1)-(2), podrobnější popis je v článku (Čajka,2013).

$$\sigma_z = C_{1z} \cdot w \quad (1)$$

$$\tau_x = C_{1x} \cdot u \text{ and } \tau_y = C_{1y} \cdot v \quad (2)$$

Kde  $\sigma_z$  je svislé napětí,  $\tau_x$  a  $\tau_y$  jsou smyková napětí ve směru osy x a y, w je svislá deformace a u, v jsou horizontální deformace ve směru x a y.



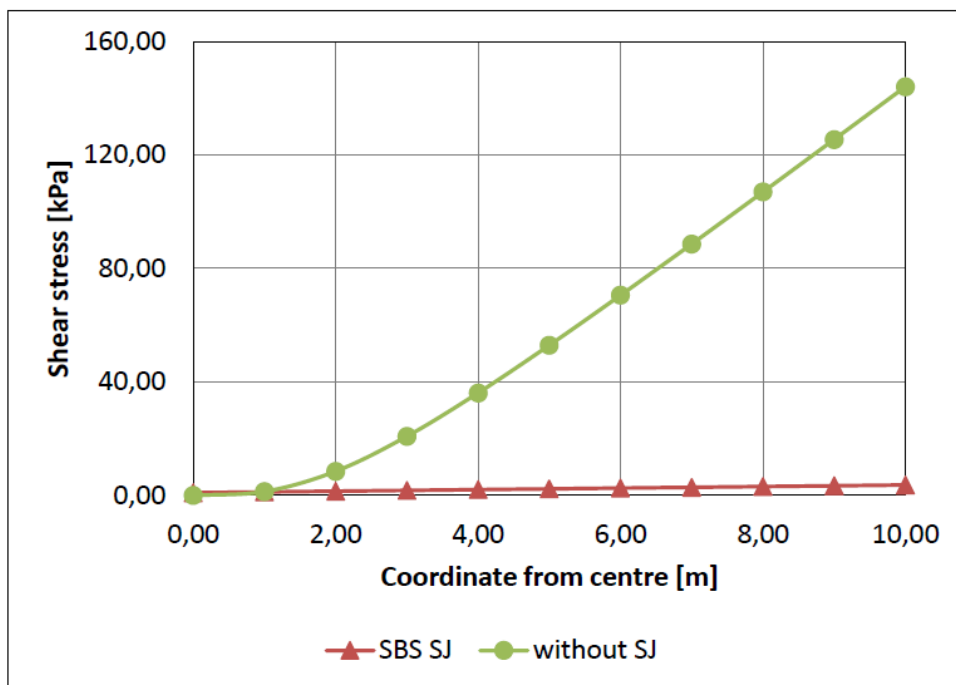
Obr. 11: Jednoparametrický model podloží



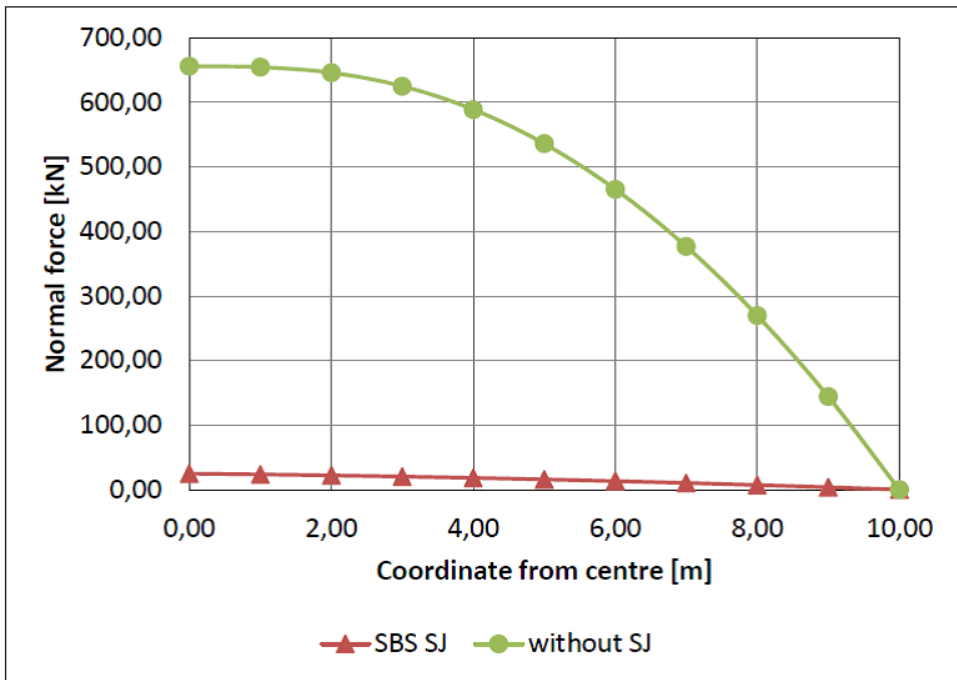
## APLIKACE KLUZNÉ SPÁRY

### Modelový příklad

Smykové napětí je stanoveno na modelovém příkladu základového pásu, umístěného na území dotčeném hlubinnou těžbou. Délka pásu je 20 m, šířka pásu je 1,0 m. Napětí v základové spáře se předpokládá 0,5 MPa, základ je uložený na štěrkovém podloží. Podle údajů těžební společnosti se očekává deformace 5 mm/m, nejprve stlačení pak roztažení terénu, každá fáze bude trvat 16 měsíců. Porovnání smykového napětí mezi základovým pásem a zemínou bez kluzné spáry a s aplikovanou kluznou spárou je na obr. 12, porovnání příslušných normálových sil od omezené deformace pak je na obr. 13.



Obr. 12 Smykové napětí bez kluzné s páry a s kluznou spárou, teplota 10°C, svislé zatížení 500 kPa



Obr. 13 Normálová síla v důsledku tření v základové spáře bez kluzné spáry s kluznou spárkou

#### Budova golfového klubu

Přírodní golfové hřiště je vybudováno v Moravsko-slezském regionu na území, kde probíhá aktivní hlubinná těžba černého uhlí a ovlivňuje krajinu na povrchu, obr. 14. Zděná a ocelová nosná konstrukce budovy je přizpůsobena na účinky poddolování, budova je rozdělena na dilatační celky, je umožněna rektifikace. Konstrukce byla založena na kluzné spáře, tvořené dvěma vrstvami SBS modifikovaného asfaltového pásu. Detailní popis je v článku (Čajka, 2014).



Obr. 14 Budova golfového klubu

## ZÁVĚR

Záměrem autorů bylo prezentovat mnohaletý výzkum zaměřený na testování různých druhů asfaltových pásů, používaných jako kluzná spára k eliminaci smykových napětí v základové spáře, které vznikají v důsledku horizontálních deformací základové půdy nebo horizontálních deformací základové konstrukce. Vzorky asfaltových pásů byly vystaveny různým vertikálním i horizontálním silám, u vybraných asfaltových pásů byl ověřen také vliv teploty.

V článku je rovněž uvedeno, jak je možné výsledky testování použít pro analýzu interakce základové konstrukce a podloží.

Testování kluzných spár na FAST VŠB –TU Ostrava potvrzuje redukci smykových napětí při použití kluzné spáry. Asfaltové pásy ve funkci kluzné spáry byly úspěšně aplikovány v několika budovách.

Výzkum kluzných spár stále pokračuje. Záměrem autorů je shromážďování výsledků a v budoucnu pak stanovení jednoduchých závislostí a pravidel pro návrh kluzné spáry.

## LITERATURE

1. Balcárek, V., Bradáč, J., "Využití bitumenových izolačních pásů jako kluzné spáry pro budovy na poddolovaném území", *Stavebnický časopis*, 2, (1982)
2. ČSN 730039: Navrhování konstrukcí na poddolovaném území. UNMZ (2015).
3. Čajka, R.: „Horizontal friction parameters in soil–structure interaction tasks.“ *Advanced Materials Research*, 818, 197-205, (2013). [OI:10.4028/www.scientific.net/AMR.818.197](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.818.197)
4. Čajka, R.: „Analytical derivation of friction parameters for FEM calculation of the state of stress in foundation structures on undermined territories.“ *Acta Montanistica Slovaca* 18.4 (2013): 254-261. [WOS:000343184100006](https://doi.org/10.14314/AMT.184.254-261)

5. Čajka, R., Mateckova, P., Janulikova, M.: „Bitumen sliding joints for friction elimination in footing bottom“, *Applied Mechanics and Materials*, 188, 247-252, (2012). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.188.247
6. Čajka, R., Janulíkova, M., Matečková, P., Stará, M.: „Modelling of foundation structures with slide joints of temperature dependent characteristics.“ *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, Crete, Greece, (2011). DOI:10.4203/ccp.96.208
7. Čajka, R., Labudek, P., Burkovič, K., Čajka, M.: „Construction of a green golf club buildings on undermined area.“ *4th International Conference on Green Building, Materials and Civil Engineering* (2014): 861-867.
8. Čajka, R., Maňásek, P.: “Finite element analysis of a structure with a sliding joint affected by deformation loading“. *Proceedings of the Eleventh International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing*, St. Julians, Malta, (2007). DOI:10.4203/ccp.86.18
9. Janulíkova, M., Stará, M.: „Multi-layer rheological sliding joint in the foundation structures.“ *Transactions of the VSB–Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series*, 13(2), 41-46, (2013). ISSN (Online) 1804-4824, ISSN (Print) 1213-1962, DOI: 10.2478/tvsb-2013-0008
10. Janulíkova, M.: „Comparison of the shear resistance in the sliding joint between asphalt belts and modern PVC foils.“ *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 501. (2014). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.501-504.945
11. Janulíkova, M., Stara, M., Mynarcik, P.: „Sliding Joints from Traditional Asphalt Belts.“ *Advanced Materials Research*. Vol. 1020, (2014). DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1020.335
12. Janulíkova, M.: „The New Options to Reduce Shear Stress into Foundation Structure.“ *Procedia Engineering* 114 (2015): 514-521. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.100
13. Mateckova, P., Janulikova, M., Litvan, D.: „Asphalt belt sliding joint – possible extension of use due to electric target heating.“ *Proceedings of conference ESAT* (2016).
14. Marschalko, M., Fuka, M., Treslin, L.: „Influence of mining activity on selected landslide in the Ostrava-Karvina coalfield.“ *Acta Montanistica Slovaca* 13.1 (2008): 58-65. WOS:000255024300008
15. Marschalko, M., Yilmaz, I., Lamich, D., Bednárik, M.: „Underground mining hazard map including building site categories in an area affected by underground mining activities.“ *Environmental Earth Sciences* 72.7 (2014): 2655-2666. WOS:000342166000033



# THERMAL INSULATION OF EXTERNAL WALLS BRICK FROM THE INSIDE - SELECTED ISSUES THERMO MOISTURE

Bożena Orlik-Koźdon<sup>1</sup>, Tomasz Steidl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Silesian University of Technology, Faculty of Civil Engineering, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, Bożena.Orlik-Kozdon@polsl.pl

<sup>2</sup> Silesian University of Technology, Faculty of Civil Engineering, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, Tomasz.Steidl@polsl.pl

## ABSTRACT

The article discusses selected issues of insulating the inside of the walls of brick in construction and housing. On the basis of modeling and measurements they traced the action of two popular insulation material, ie. expanded polystyrene and slabs of lightweight concrete. The aim of the article is to evaluate the behavior of the brick wall in a climate of local assessment of changes in the moisture of individual layers of the wall flat by measuring the temperature and humidity equilibrium in the designated layers of the wall. Keywords: thermal insulation from the inside, the moisture content, lightweight concrete, expanded polystyrene.

## INTRODUCTION

The subject of the internal wall insulation has been known for several years. Many years ago, the internal insulation was carried out from the inside with clay and straw mixtures. These materials, in addition to important thermal insulation features, also functioned as the "humidity regulator" of the rooms. The solutions used many years ago, and based on the use of the natural construction materials are also used today more and more often. With the development of the material engineering, the thermal insulation unused so far or used occasionally, has appeared on the construction market. The design of new buildings or modernization with the improvement of the thermal protection of the existing buildings was predominantly associated with the use of thermal insulating materials from the outside. Since the beginning of the 50s of the 20th century, wood wool has been used in individual cases in West European countries. These were the first "contemporary" thermal insulations from the inside. The particular development of the thermal insulation applied internally has been observed since the 1990s. In the article, the authors reviewed

the modern insulating materials, as well as the impact of the selected materials solutions on the humidity content of the partition. Based on the modelling and measurement, they have tested the operation of two common insulating materials, i.e. expanded polystyrene and cellular concrete slabs.

## **MATERIAL SOLUTIONS USED IN THE INSULATION FROM THE INSIDE**

By using the wall insulation solutions from the inside, one can select from three main concepts of the solutions (Orlik-Koźdoń, 2016):

- Insulation from the inside preventing from condensation,
- Insulation from the inside minimizing the occurrence of condensation,
- Insulation from the inside allowing condensation to prove that the condensate produced during the unfavourable period evaporates during the calculation year.

Insulation from the inside, preventing from condensation can be carried out in several variants. The first variant is insulating from the inside with the use of the insulating material with very high diffusion resistance. Black foam glass is the example of this type of material. The thermal conductivity of the plates is  $\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$ , the used thicknesses are from 4 to 18 cm, the diffusion resistance coefficient  $\mu = \infty$  (Foamglas Materials. [www.foamglas.de](http://www.foamglas.de)), and in practice  $\mu = 100000$ . Another solution is a partition with thermal insulation and the use of vapour barrier on the inside and a finishing layer in a form of e.g. plasterboard. Another variant is the use of heat insulating composite panels with a layer providing high diffusion resistance. The examples of this type of the solution are Intherm plate, consisting of EPS insulation with the additive of graphite and plasterboards, as well as optionally with vapour barrier, as an intermediate layer. The thermal diffusion coefficient of the plates varies depending on a plate type, i.e.  $\lambda = 0.032 - 0.042 \text{ W/mK}$  - , plasterboards:  $\lambda = 0.25 \text{ W/mK}$ , relatively to a thickness of thermal insulation from 4 to 10 cm, coefficient of diffusion resistance of thermal insulation  $\mu = 30-70$ .

The material solutions allowing for condensation are produced from limestone silicate. Silicone crystals form a microporous skeleton, which allows for high capillary properties of the material. If there is moisture underneath the insulation layer, there is generally no risk of wall moulding and insulation degradation. Calcium silicate plates, because of their capillary activity, absorb humidity and disperse it all over its surface, from where it is evaporated. This material does not lose its thermal insulation properties. The thermal conductivity of the plates is  $\lambda = 0.06 \text{ W/mK}$ , the used thicknesses are from up to 5 cm, the diffusion resistance coefficient  $\mu = 3-6$  (Renovario Materials, [www.ecovario.pl](http://www.ecovario.pl)).

Mineral insulating plates made of very light cellular concrete are another thermal insulating material that allows condensation to occur. The material has the ability to sorpt and rapidly dry - provide humidity to air. This feature means that this material is recommended as thermal insulation from the inside provided that the layers with low diffusion resistance are applied. Heat conduction coefficient in dry state,  $\lambda = 0.042 \text{ W/mK}$ . These plates are characterized by very low diffusion resistance  $\mu = 2$ . Low diffusion resistance allows for free penetration of water vapour into the porous structure of the plates. Fixing of the plate



to the wall is carried out using a system mortar. The mortar is applied to the whole surface of the plates. Thickness of the adhesive mortar layer should be 8 mm. The surface of the plate is covered with a layer of approximately 5 mm of the system mortar, fibreglass mesh is sucked in the mortar to prevent from cracking. The surface should be finished with mineral thin-layer plaster and appropriate paint.

Airgel is one of the materials with low thermal conductivity. This material is a type of rigid foam of low density, consisting of more than 90% of air. The rest is a gel forming a nano-structure. Heat conduction coefficient is usually  $\lambda = 0.018 \text{ W/mK}$ . Insulated with air-gel are also produced in a form of technical non-transparent insulation with a thermal conductivity coefficient  $\lambda = 0.013 \text{ W/mK}$ .



II.1. The application of aerosol insulation in the place of external wall tinning (EnergieCluster. HLWD Course 2011 Innendämmung mit Aerogel. Training materials 2011).

Aerobic is the thermal insulating material made of a combination of mineral wool with aerogel. The material heat transfer coefficient is  $\lambda = 0.019 \text{ W/mK}$ , diffusion resistance coefficient  $\mu > 3$  (Materials from Deutsche Rockwool Mineralwool. [www.Aerowolle.de](http://www.Aerowolle.de)).



II.2. Aerial as insulation from the inside (Materials by Deutsche Rockwool Mineralwool. [www.Aerowolle.de](http://www.Aerowolle.de))

Table 1. Selected insulations from the inside, materials and components (Orlik-Koźdan, Steidl, 2013).

| No. | Material                                | Thickness [cm] | $\lambda$ [W/mK] | $\mu$ [ ] |
|-----|---|----------------|------------------|-----------|
| 1.  | Limestone silicate                      | 1.5-30         | 0.042-0.07       | 2-6       |
| 2.  | Mineral plates                          | 1.5-10         | 0.042            | 5-7       |
| 3.  | Mineral heat-resistant plaster          | 2-10           | 0.070-0.090      | 7-8       |
| 4.  | Wool wood + clay plaster                | 4-10           | 0.045            | 5         |
| 5.  | Expanded clay aggregate and clay plates | up to 17 cm    | 0.200            | 5-10      |
| 6.  | Plasterboard + EPS                      | 3.3;4.3        | 0.25/0.04        | 40        |
| 7.  | Plasterboard + XPS                      |                |                  |           |
| 8.  | Foam glass                              | 4-18           | 0.040            | $\infty$  |
| 9.  | Mineral wool + aerogel                  | 1.6-5          | 0.019            | >3        |
| 10. | Bubble foil                             | 3              | 0.012            | 50.000    |
| 11. | XPS                                     | 0.3-0.9        | 0.030            | 650       |
| 12. | Wood wool                               | 2-10           | 0.040            | 3         |
| 13. | Cork-clay plates                        | 2-20           | 0.070            | 9-11      |
| 14. | Cork plates                             | 2-10           | 0.040            | 25-30     |
| 15. | Hemp fibre plates                       | 3-22           | 0.040            | 1         |
| 16. | Cellulose                               | 6-8            | 0.052            | 2.4       |
| 17. | Resonant foam                           | 3-14           | 0.022            | 38        |

The literature of the subject shows examples of insulating from the inside with vacuum insulation (so-called modular warming system from the inside). This insulation is characterized by an extremely low thermal conductivity  $\lambda = 0.007$  W/mK, applied thicknesses usually up to 3.5 cm, diffusion resistance coefficient  $\mu > 500.000$ .

The ecological materials used for the interior insulation are e.g. wood wool and hemp fibre insulation. These are materials with very good thermal insulation properties and low diffusion resistance. In addition, these materials have similar characteristics for mineral plates or climatic plates for capillary activity. A summary of the selected thermal and humidity parameters of the thermal insulating materials used for the inside insulations is presented in Table 1.

## TEST BENCH FOR TEMPERATURE AND HUMIDITY MEASUREMENTS IN THE PARTITION INSULATED FROM THE INSIDE

The authors (Orlik-Koźdoń B., Steidl T.) attempted to analyse the humidity content of the internal thermal insulation made of two insulating materials with varying coefficients of diffusion resistance. The purpose of the test is to answer the questions (Krause, Orlik-Koźdan et al., 2016):

- does the type of the insulating material in the thermal insulation system from the inside of the brick walls impact on humidity of the partition layers, which and to what extent?
- how does the used insulating material impact on humidity flow in the brick wall and react to the varying thermal and humidity conditions of the surrounding environment?

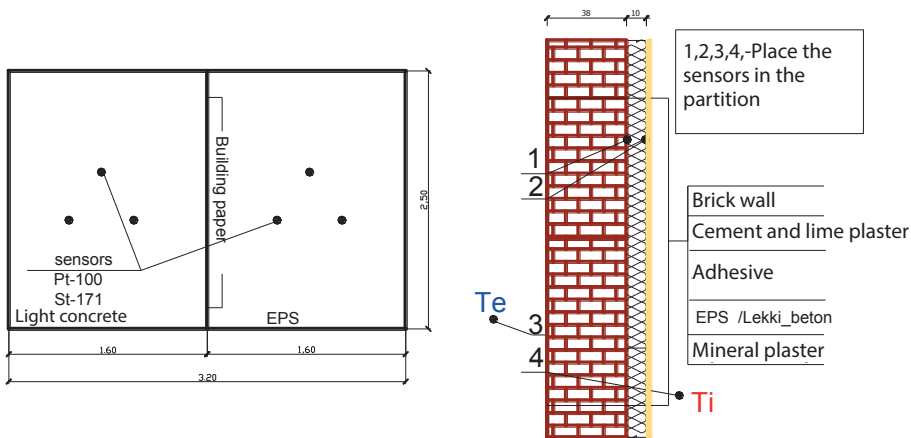
The scope of the test included: in-situ tests, model tests - simulation using the WUFI programme.

The insulated partition, insulated from the inside, is located in a building built in the 1930s in traditional brick technology. The building is located in the Silesia Province, in Poland. The thickness of the external bearing walls is 38.0cm, and the outer covering wall is 25.0cm. All walls are plastered on both sides with cement-lime plaster with a thickness of 1.5cm. Ceilings in the building are made of wood - beams, with a blind roof. The test was carried out in a living room connected to a kitchen with gravity ventilation. The rooms in the building were normally used during the test.

One of the bearing walls on the south side of the building was adopted for the insulation. The wall was insulated from the inside with two material variants: (W\_1) expanded polystyrene EPS with a thickness of 10cm and (W\_2) light concrete block of 115 kg/m<sup>3</sup> and a thickness of 10cm. The material data were based on the producer's information, i.e. expanded polystyrene EPS:  $\lambda_D=0.040$  W/mK, diffusion resistance coefficient  $\mu=45$ ; light concrete plate:  $\lambda_D=0.042$  W/mK, diffusion resistance coefficient  $\mu=4$ . The insulation was carried out on 9m<sup>2</sup> of the walls divided into two equal parts depending on the variant (the size of the measuring field was limited by the existing internal installation). In the partition layers, the measurement system was used to record data, i.e. relative humidity, equilibrium humidity (ST-171) and temperature distribution in individual partition layers and in the room. The additional measuring equipment installed on the building allows to measure the values characterizing the external environment: relative humidity and external air temperature. The measurement of all sizes was continuous, with a time step of one hour. The multichannel recorder type MA56902M09TG3, was used to measure temperature and humidity, and Pt-100 and ST-171 sensors to measure heat and humidity. Prior to the measurement, the wall humidity was measured using Testo 435-2. The average wall humidity was  $\varphi = 2.5\%$ .



II.3. The humidity of the wall and the heat transfer coefficient for a warmed wall were measured using Multifunction Testo 435-2.



II.4. Diagram of the test bench with deployed sensors (Orlik-Koźdoń, Steidl, 2016)

## THE TEST RESULTS AND ANALYSIS

### In-situ tests

Continuous monitoring and measurement of temperature and humidity in the period of 2014-2015 were carried out in the partition. The results are presented for the selected test period i.e. from February to July 2015 (the series of 4000 measurements). The measuring step was 1 h. Several parameters were recorded, including:

- air external temperature ( $T_e$ )
- air internal temperature ( $T_i$ )
- air humidity on both sides of the partition ( $H_e$  - relative humidity of external air,  $H_i$  - air relative humidity),
- humidity between the layers of the insulating material and internal plaster.

A part of the obtained results was shown in the following figures 1 and 2, 3 (Orlik-Koźdoń, Steidl, 2016).

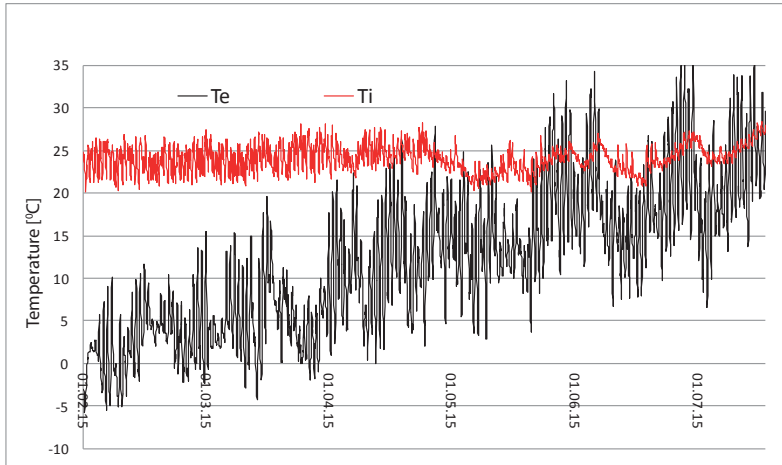


Fig. 1. Changes in time of the temperature in the environments surrounding the partition (Orlik-Koźdoń, Steidl, 2016).

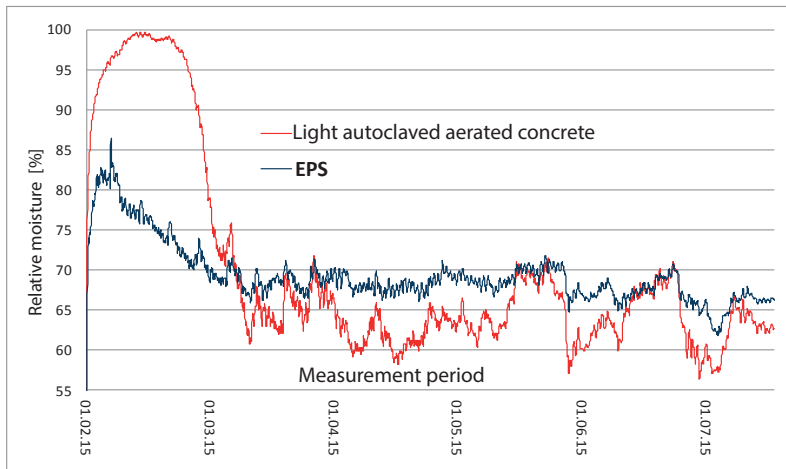


Fig. 2. Changes of moisture on the plane of the contact of the plastered wall and the insulating material (A.-Koźdoń, Steidl, 2016).

Cumulative results for the average values of the measured parts are shown in Fig. 3.

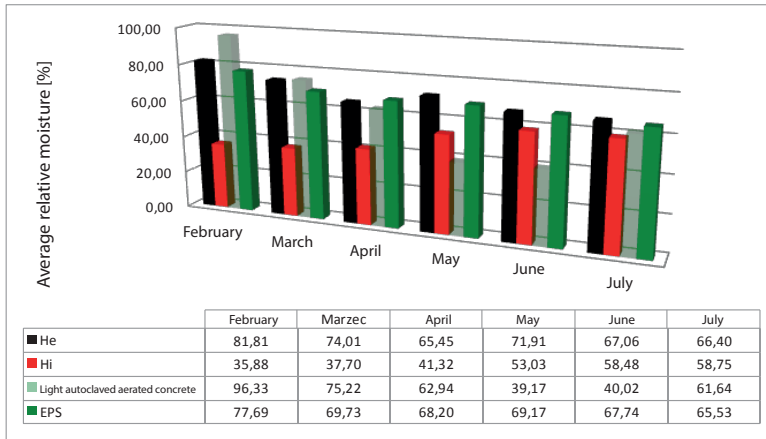


Fig. 3. Average humidity values in the selected months of the measuring period (A.-Koźdoń, Steidl, 2016). ( $H_i$  - relative humidity of internal air,  $H_e$  - relative humidity of external air).

On the basis of the analysis of the results, one can notice significant differences in the behaviour of individual materials of the insulating systems in the structure across the partition. In the field of the thermal parameters, both materials similarly isolate the partition, which is proven by the measurement result of the heat transfer coefficient (see thermal conductivity of both materials). In terms of the temperature distribution in the contact plane of the wall and the insulating material, one can observe similar temperature changes during the measurement period. The occurring differences in the range of 0.5--1 °C fall within the limits of the measuring error. In both cases, the temperature of the tested contact is much lower than the temperature in the room. Based on the temperature distribution of the chart, one can notice also that the impact of low temperatures of the external environment moves into the deeper plane of the partition in the direction of the internal environment. The partition is under large impact of the external environment, it is not able to accumulate heat and quickly cools down. Due to the low thickness of the partition, one can observe the situations in which the temperature approaches the temperature values of the external environment, at the contact between EPS with the wall and the concrete wall. This is a constant trend in the summer. In the winter months, on the basis of the value of the average temperatures, this phenomenon is not observed; however, it is clear that such temperature impacts of the external environment occur. In addition, the value of the average temperature for February is much higher than that which is given to the nearest weather station for this town (-2.3°C)). Therefore, one can conclude that the analysed winter period was much warmer than in other years. This type of the analysis should be carried out in the longer test term, e.g. 3-5 years, and not only to follow the advice of the standard (1 year). One can clearly state the increased temperature on the internal surface, and thus no risk of condensation of the surface - the surface temperature much higher than the dew point temperature (Orlik-Koźdon, Steidl, 2016).

## SIMULATION OF THE BEHAVIOUR OF THE PARTITION INSULATED FROM THE INSIDE

The numerical analysis was used to see the state of the partition material humidity within a specified time period (Künzel et al., 1997, Künzel, 1995). The calculations for both materials (EPS-W\_1 and light cellular concrete-W\_2) were carried out using WUFI 5.3. PRO. This programme allows to carry out the calculations and presentations of the changes occurring in time, humidity changes in each layer of the external partition. The external climate was simulated based on the climate data of the nearest metrological station - Katowice. The internal climate - the calculation options were limited to dry areas with a normal way of life and conditions similar to the common calculation terms i.e. one assumed for the normal conditions the temperature changing in a sinusoidal way from 24°C in the winter and 26°C in the summer, and the relative humidity of air changing from 55% in the winter to 65% in the summer. In all cases, one adopted a dark-coloured top layer of the brick wall (Krause, Orlik-Koźdoń, 2016).

The simulation results are shown as graphs in figures: 4, 5, 6 (Krause, Orlik-Koźdoń, 2016).

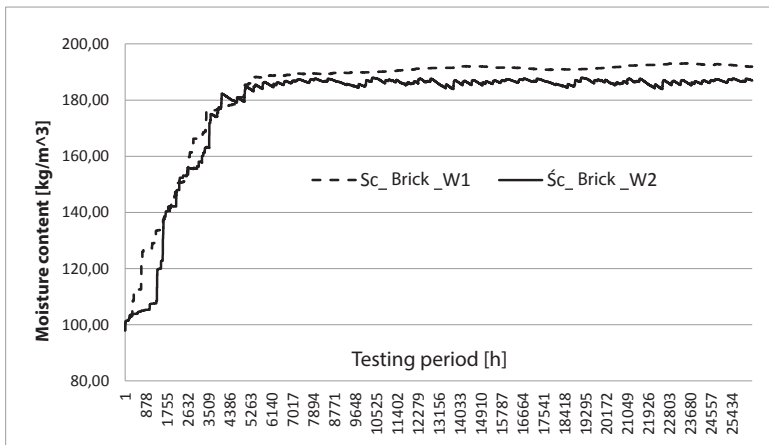


Fig. 4. The humidity content of the brick layer for variant W\_1 and W\_2 (W\_1-expanded polystyrene EPS, W\_2 plate made of light concrete)



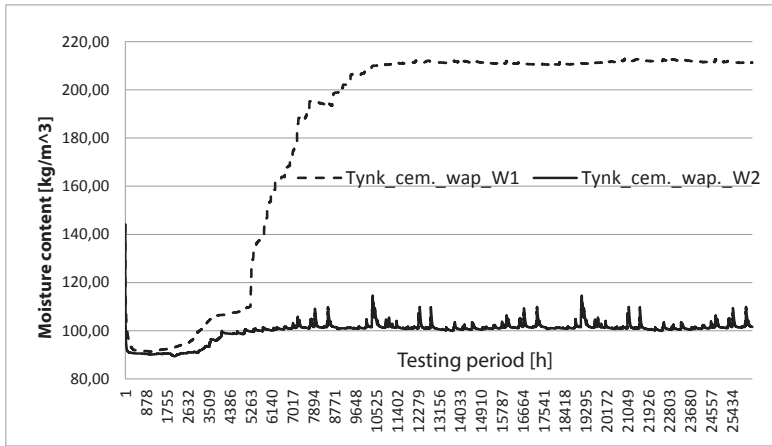


Fig. 5. The humidity content of the plaster (a layer between the brick and the styrofoam/light concrete) (W\_1-expanded polystyrene EPS, W\_2 plate made of light concrete)

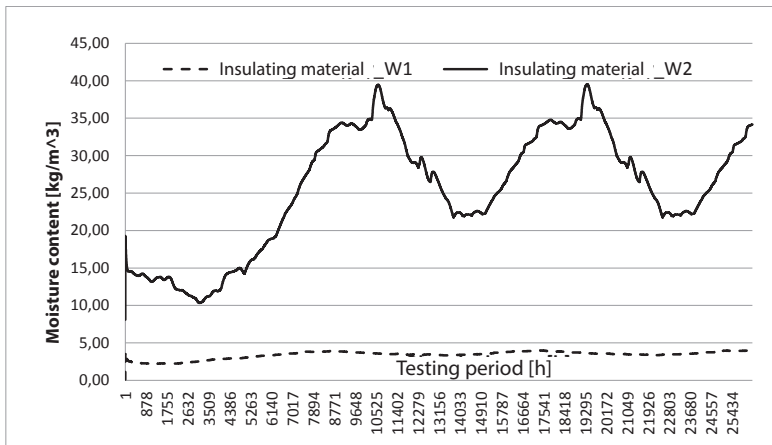


Fig.6. Dampness in a layer of styrofoam W\_1 and light concrete W\_2 (W\_1-expanded polystyrene EPS, W\_2 plate made of light concrete)

**SUMMARY**

The distributions of humidity in planes the partition show its dynamic growth between the insulation layer and the layer of the plastered ceramic wall. Humidity is sometimes higher than the relative humidity of the external environment and in the remaining winter months, i.e. at the level of 80%. In the summer months, in the partition insulated with light concrete cellular, humidity content decreases due to the characteristics of the insulating material, which actively participates in the process of change of humidity of the room. We observe the tend to block the impact of the internal environment on the contact with expanded polystyrene EPS. A high level of humidity on the contact of EPS/wall, equal to the outside air humidity, or sometimes in excess of this value, could be regarded

as worrying. This condition can be considered to be alarming and would require a longer observation, even due to fairly high temperature for this period as the external environment. The simulation results confirmed the general trends of the changes of increased humidity over time. The differences which always occur in this type of the tests between the measurements and the values obtained by the simulation result from several factors include:

- the difference between the simulated external climate and the local climate in which the test was carried out,
- the possible differences between the actual parameters of the materials of each layer of the partition, including: heat conduction coefficients, capillary transport coefficients, sorption and desorption properties of the old brick wall, and parameters adopted in the calculation.

In addition, in the test period, the relative humidity in the room was at ~ 35% in the winter season, which can be regarded as beneficial from the point of balance of humidity in the partition (not necessarily because of the comfort to use the room), but less favourable because of the quality and representativeness of the results obtained.

## REFERENCES

1. Krause P., Orlik-Koźdoń B., Steidl T., Szymanowska-Gwiżdż A.: Analiza stanu wilgotnościowego ścian z cegły z izolacją cieplną od wewnątrz. *Czas. Inż. Łąd. Środ. Archit.* 2016 t. 33 z. 63, nr 4/16, s. 375-382
2. Künzel, H.M., and Kiessl K., 1997. Calculation of Heat and Moisture Transfer in Exposed Building Components. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 40 (1):159–167.
3. Künzel H. M.: *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One and two dimensional calculation using simple parameters*, IRB Verlag, Stuttgart 1995.
4. Orlik-Koźdoń B., Steidl T.: Impact of internal insulation on the hygrothermal performance of brick wall, *Journal of Building Physics*. Sagepub.co.uk/journals.2016 - w druku <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1744259116671322>.
5. Orlik-Koźdoń B., Steidl T.: Docieplanie przegród zewnętrznych od wewnątrz. *Materiały, technologie, projektowanie; Izolacje* 4/2013, str.43-50.
6. Orlik-Koźdoń B. Docieplenia od wewnątrz - metodyka projektowania i rozwiązania materiałowe. *Vademecum, Termoizolacje* 2016, s. 16-19, bibliogr. 13 poz.
7. Materiały firmy Renovario. [www.ecovario.pl](http://www.ecovario.pl)
8. Materiały firmy Knauf. [www.knauf.pl](http://www.knauf.pl)
9. Materiały firmy Xella. [www.ytong-silka.pl](http://www.ytong-silka.pl)
10. Materiały firmy Foamglass. [www.foamglas.de](http://www.foamglas.de)
11. PN-EN ISO 13788:2003. Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów i materiałów budowlanych i elementów budynku - Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności i kondensacji międzywarstwowej - Metody obliczania.

12. PN-EN 12524:2002. Właściwości cieplno-wilgotnościowe materiałów. Stabelaryzowane wartości obliczeniowe.
13. PN EN 15026. Cieplno-wilgotnościowe właściwości użytkowe komponentów budowlanych i elementów budynku. Szacowanie przenoszenia wilgoci za pomocą symulacji komputerowej i zmiennej temperaturze eksploatacji.

# DOCIEPLANIE ŚCIAN ZEWNĘTRZNYCH CEGLANYCH OD WEWNĄTRZ - WYBRANE ZAGADNIENIA CIEPLNO-WILGOTNOŚCIOWE

Bożena Orlik-Kozdoń<sup>1</sup>, Tomasz Steidl<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Bożena.Orlik-Kozdon@polsl.pl

<sup>2</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli, Tomasz.Steidl@polsl.pl

## ABSTRAKT

Artykuł omawia wybrane zagadnienia ocieplenia od strony wewnętrznej ścian ceglanych w budownictwie ogólnym i mieszkaniowym. W artykule Autorzy dokonali przeglądu nowoczesnych materiałów ociepleniowych. Na podstawie modelowania i pomiarów prześledzili działanie dwóch popularnych materiałów izolacyjnych tj. polistyrenu ekspandowanego oraz płyt z lekkiego betonu komórkowego. Celem artykułu jest: ocena zachowania się ściany ceglanej w klimacie lokalnym, ocena zmian wilgotności poszczególnych warstw ściany płaskiej poprzez pomiar temperatury i wilgotności równowagowej w wyznaczonych warstwach muru.

Słowa kluczowe: docieplenie od wewnątrz, zawartość wilgoci, lekki beton komórkowy, polistyren ekspandowany.

## WPROWADZENIE

Tematyka dotycząca dociepleń ścian budynków od strony wewnętrznej jest znana od szeregu lat. Wiele lat temu wykonywano ocieplenia ścian od strony wewnętrznej za pomocą materiałów będących mieszaniną gliny i słomy. Materiały te, oprócz istotnych właściwości termoizolacyjnych pełniły dodatkowo funkcje „regulatora wilgotności” pomieszczeń. Rozwiązania, stosowane wiele lat temu, a bazujące na wykorzystaniu naturalnych materiałów budowlanych stosowane są coraz powszechniej także dziś. Wraz z rozwojem inżynierii materiałowej pojawiają się na rynku budowlanym izolacje termiczne, których do tej pory nie stosowano w ogóle lub takie, które były stosowane sporadycznie. Projektowanie nowych budynków lub modernizacja z poprawą stanu ochrony cieplnej budynków istniejących wiązała się w przeważającej większości z zastosowaniem materiałów termo-

izolacyjnych od strony zewnętrznej. Od początku lat 50-tych XX w., zaczęto wykorzystywać w pojedynczych przypadkach w krajach Europy Zachodniej wełnę drzewną od strony wewnętrznej. Były to pierwsze „współczesne” izolacje termiczne od wewnątrz. W latach 70-tych XX w. pojawiły się nowe wyroby do izolacji cieplnej w postaci płyt gipsowo-kartonowych, scalanych z izolacjami termicznymi (styropian lub wełna mineralna). Szczególny rozwój izolacji cieplnych, stosowanych od wewnątrz zauważamy od lat 90-tych XX w. Aktualnie projektanci dysponują szeregiem zróżnicowanych materiałów termoizolacyjnych, które mogą wykorzystywać w obiektach, gdzie konieczne jest wykonanie izolacji cieplnej od strony wewnętrznej. W artykule Autorzy dokonali przeglądu nowoczesnych materiałów dociepleniowych, oraz wpływu wybranych rozwiązań materiałowych na stan zawilgocenia przegrody. Na podstawie modelowania i pomiarów prześledzili działanie dwóch popularnych materiałów izolacyjnych tj. polistyrenu ekspandowanego oraz płyt z betonu komórkowego. Celem artykułu jest:

- ocena zachowania się ściany ceglanej w warunkach klimatu lokalnego,
- cena zmian wilgotności poszczególnych warstw ściany płaskiej poprzez pomiar temperatury i wilgotności równowagowej w wyznaczonych warstwach muru.

## KONCEPCJE ROZWIĄZAŃ

Stosując rozwiązania dociepleń ścian od strony wewnętrznej mamy w teorii do wyboru trzy główne koncepcje rozwiązań (Orlik-Koźdoń, 2016):

- Ocieplenie od wewnątrz zapobiegające wystąpieniu kondensacji,
- Ocieplenie od wewnątrz minimalizujące wystąpienie kondensacji,
- Ocieplenie od wewnątrz dopuszczające wystąpienie kondensacji z udowodnieniem że powstający w niekorzystnym okresie kondensat, odparuje w ciągu roku obliczeniowego.

W większości przypadków wybór koncepcji docieplenia od wewnątrz będzie determinował rodzaj zastosowanej izolacji termicznej oraz jej właściwości fizycznych w tym zdolności do przyjmowania i oddawania kondensatu przez całą przegrodę.

W przypadku koncepcji ocieplenia od wewnątrz, zapobiegającej wystąpieniu kondensacji, jakakolwiek zmiana warunków mikroklimatu wewnątrz pomieszczeń nie może mieć wpływu na przegrodę budowlaną. Analizy przyrostu wilgoci w ścianach ocieplonych od wewnątrz należy wykonywać ze szczególną starannością z uwzględnieniem zmieniających się warunków eksploatacji. Analizowano wszystkie warstwy przegrody pod kątem możliwego przyrostu wilgotności masowej w zmiennych eksploatacji pomieszczenia wg. PN EN 15026 (Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe komponentów budowlanych i elementów budynku. Szacowanie przenoszenia wilgoci za pomocą symulacji komputerowej i zmiennej temperaturze eksploatacji).

## STOSOWANE ROZWIĄZANIA MATERIAŁOWE W OCIEPLENIACH OD WEWNĄTRZ

Ocieplenie od wewnątrz, zapobiegające wystąpieniu kondensacji, może być zrealizowane w postaci kilku wariantów ociepleń. W praktyce inżynierskiej spotyka się trzy warianty rozwiązań dla powyższej koncepcji. Pierwszym wariantem jest ocieplenie od wewnątrz z zastosowaniem materiału termoizolacyjnego o bardzo wysokim oporze dyfuzyjnym. Przykładem tego typu materiałów jest szkło piankowe czarne. Współczynnik przewodzenia ciepła płyt wynosi  $\lambda=0,04\text{W/mK}$ , stosowane grubości od 4 do 18 cm, współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu=\infty$  (Materiały firmy Foamglas. [www.foamglas.de](http://www.foamglas.de)), a w praktyce  $\mu=100000$ . Kolejnym rozwiązaniem jest przegroda z izolacją termiczną i zastosowaniem paroizolacji od strony wewnętrznej oraz warstwy wykończeniowej w postaci np. płyt gipsowo-kartonowych. Innym wariantem jest stosowanie termoizolacyjnych płyt zespolonych z warstwą zapewniającą wysoki opór dyfuzyjny. Przykładem tego typu rozwiązania jest np. płyta Intherm, składająca się z termoizolacji EPS z dodatkiem grafitu oraz płyty g-k, a także opcjonalnie z paroizolacją, jako warstwą pośrednią. Współczynnik przewodzenia ciepła płyt EPS waha się w zależności od gatunku płyt  $\lambda=0,032 - 0,042\text{ W/mK}$  - , płyt g-k wynosi  $\lambda=0,25\text{ W/mK}$ , stosowane grubości termoizolacji od 4 do 10 cm, współczynnik oporu dyfuzyjnego izolacji cieplnej  $\mu=30-70$ .

Rozwiązania materiałowe dopuszczające wystąpienie kondensacji produkowane są z silikatu wapiennego. Kryształki silikatu tworzą mikroporowaty szkielet, co umożliwia uzyskanie wysokich właściwości kapilaryzacyjnych materiału. W przypadku wytworzenia się wilgoci pod warstwą ocieplenia na ogół nie ma ryzyka wystąpienia zagrzybienia muru i degradacji izolacji. Płyty z silikatu wapiennego, dzięki swojej aktywności kapilarnej pochłaniają wilgoć i rozpraszają ją na całej swojej powierzchni, skąd zostaje ona odparowana. Materiał ten nie traci przy tym swoich właściwości termoizolacyjnych. Współczynnik przewodzenia ciepła płyt wynosi  $\lambda=0,06\text{ W/mK}$ , stosowane grubości najczęściej do 5 cm, współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu=3-6$  (Materiały firmy Renovario. [www.ecovario.pl](http://www.ecovario.pl)).

Innym materiałem termoizolacyjnym dopuszczającym wystąpienie kondensacji są mineralne płyty izolacyjne, wykonane z bardzo lekkiej odmiany betonu komórkowego. Materiał ten posiada zdolność do sorpcji oraz szybkiego wysychania - oddawania wilgoci do powietrza. Cecha ta powoduje iż materiał ten zalecany jest jako izolacja cieplna od wewnątrz, pod warunkiem zastosowania warstw wykończeniowych o niskim oporze dyfuzyjnym. Współczynnik przewodzenia ciepła w stanie suchym,  $\lambda=0,042\text{W/mK}$ . Płyty te charakteryzują się bardzo niskim oporem dyfuzyjnym  $\mu=2$ . Mały opór dyfuzyjny pozwala na swobodne wnikanie pary wodnej w porowatą strukturę płyt. Mocowanie płyty do ściany wykonuje się za pomocą systemowej zaprawy. Zaprawę nanosi się na całą powierzchnię płyt. Grubość warstwy zaprawy klejącej powinna wynosić 8 mm. Powierzchnię płyty pokrywa się w całości warstwą ok. 5 mm zaprawy systemowej w zaprawie zatapia się siatkę z włókna szklanego, zabezpieczającą przed spękaniem. Powierzchnię należy wykończyć mineralnym tynkiem cienkowarstwowym i odpowiednią farbą.

Klasyczne izolacje cieplne, to w przeważającej większości materiały nieprzeźroczyste o niskim współczynniku przewodzenia ciepła. Ich podstawowym zadaniem jest minimalizacja strat ciepła. Jednym z materiałów o niskim współczynniku przewodzenia ciepła jest aerożel. Jest to materiał będący rodzajem sztywnej piany o małej gęstości, składający się w ponad 90 % z powietrza. Resztę stanowi żel tworzący nanostrukturę. Współczynnik przewodzenia ciepła wynosi przeciętnie  $\lambda=0,018\text{W/mK}$ . Izolacje z aerożelem produkowane są również w postaci technicznych izolacji nieprzeźroczystych o współczynniku przewodzenia ciepła  $\lambda=0,013\text{W/mK}$ .



II.1. Zastosowanie izolacji z aerożelu w miejscu pocienienia ściany zewnętrznej (EnergieCluster. Kurs HLWD 2011 Innendämmung mit Aerogel. Materiały szkoleniowe 2011.)

Materiałem termoizolacyjnym, powstałym z połączenia wełny mineralnej z aerożelem jest aerowełna. Współczynnik przewodzenia ciepła materiału wynosi  $\lambda=0,019\text{W/mK}$ , współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu>3$  (Materiały firmy Deutsche Rockwool Mineralwool. [www.Aerowolle.de](http://www.Aerowolle.de)).



II.2. Aerowełna jako izolacja od wewnątrz (Materiały firmy Deutsche Rockwool Mineralwool. [www.Aerowolle.de](http://www.Aerowolle.de))



Tab. 1. Wybrane izolacje od wewnątrz materiały i komponenty (Orlik- Koźdoń, Steidl , 2013).

| Lp  | Materiał                      | Grubość [cm] | $\lambda$ [W/mK] | $\mu$ [ ] |
|-----|-------------------------------|--------------|------------------|-----------|
| 1.  | Silikat wapienny              | 1,5-30       | 0,042-0,07       | 2-6       |
| 2.  | Płyty mineralne               | 1,5-10       | 0,042            | 5-7       |
| 3.  | Mineralny tynk ciepłochronny  | 2-10         | 0,070-0,090      | 7-8       |
| 4.  | Wełna drzewna + tynk gliniany | 4-10         | 0,045            | 5         |
| 5.  | Płyty keramzytowo-gliniane    | do 17 cm     | 0,200            | 5-10      |
| 6.  | Płyta GK+EPS                  | 3,3;4,3      | 0,25/0,04        | 40        |
| 7.  | Płyta GK+XPS                  |              |                  |           |
| 8.  | Szkło piankowe                | 4-18         | 0,040            | $\infty$  |
| 9.  | Wełna mineralna+aerożel       | 1,6-5        | 0,019            | >3        |
| 10. | Folia bombelkowa              | 3            | 0,012            | 50.000    |
| 11. | XPS                           | 0,3-0,9      | 0,030            | 650       |
| 12. | Wełna drzewna                 | 2-10         | 0,040            | 3         |
| 13. | Płyty korkowo-gliniane        | 2-20         | 0,070            | 9-11      |
| 14. | Płyty korkowe                 | 2-10         | 0,040            | 25-30     |
| 15. | Płyty z włókien konopnych     | 3-22         | 0,040            | 1         |
| 16. | Celuloza                      | 6-8          | 0,052            | 2,4       |
| 17. | Pianka rezolowa               | 3-14         | 0,022            | 38        |

Literatura tematu przedstawia przykłady ocieplenia od wewnątrz za pomocą izolacji próżniowej (tzw. modułowy system ocieplenia od wewnątrz). Izolacja ta charakteryzuje się ekstremalnie niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła  $\lambda=0,007$  W/mK, stosowane grubości najczęściej do 3,5 cm, współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu>500.000$ .

Materiałami ekologicznymi stosowanymi do ociepleń od strony wewnętrznej jest np. wełna drzewna oraz termoizolacje z włókien konopnych. Są to materiały cechujące się bardzo dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi oraz niewielkim oporem dyfuzyjnym. Dodatkowo materiały te mają zbliżone cechy do płyt mineralnych lub płyt klimatycznych, dotyczące aktywności kapilarnej. Zestawienie wybranych parametrów cieplno-wilgotnościowych materiałów termoizolacyjnych stosowanych do ociepleń od wewnątrz przedstawiono w tablicy nr 1.

## STANOWISKO BADAWCZE DO POMIARU TEMPERATURY I WILGOTNOŚCI W PRZEGRODZIE OCIEPLONEJ OD WEWNĄTRZ

Autorzy (Krause P. Orlik-Koźdoń B., Steidl T., Szymanowska-Gwiżdż A.) podjęli próbę analizy stanu wilgotnościowego ścian z izolacją cieplną od wewnątrz wykonaną z dwóch

materiałów izolacyjnych o różnym współczynniku oporu dyfuzyjnego. Celem badań jest uzyskanie odpowiedzi na pytania (Krause, Orlik-Koźdoń i in., 2016):

- czy rodzaj materiału izolacyjnego w systemie ociepleń od wewnątrz ścian z cegły wpływa na zawilgocenie warstw przegrody, których i w jakim stopniu?
- jak zastosowany materiał izolacyjny będzie wpływał na proces przepływu wilgoci w ścianie ceglanej i reagował na zmienne warunki ciepłno-wilgotnościowe otaczających środowisk,

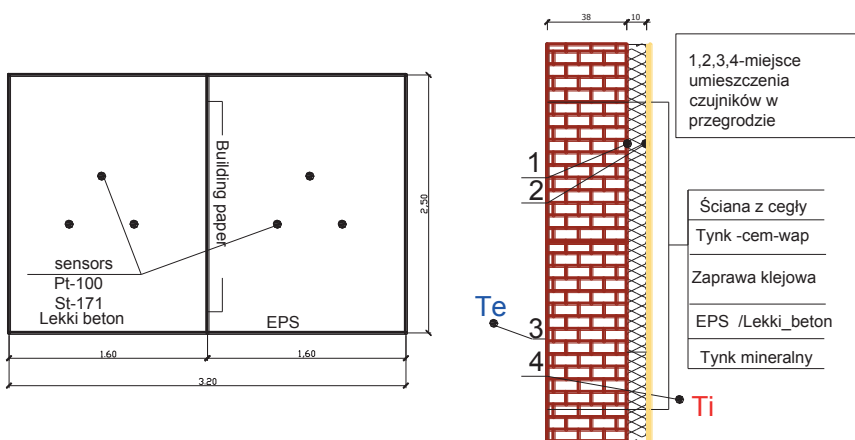
Zakres badań obejmował: badania in-situ, badania modelowe - symulacja przy użyciu programu WUFI.

Badana przegroda, ocieplona od strony wewnętrznej usytuowana jest w budynku zbudowanym w latach trzydziestych XX wieku w technologii tradycyjnej z cegły pełnej. Budynek, zlokalizowany jest w woj. Śląskim w Polsce. Grubość ścian zewnętrznych nośnych wynosi 38.0cm a zewnętrznych osłonowych 25.0cm. Wszystkie ściany są otynkowane obustronnie tynkiem cementowo wapiennym o grubości 1.5cm. Stropy w budynku wykonane jako drewniane - belkowe, ze ślepym pułapem. Badania prowadzone były w pomieszczeniu mieszkalnym połączonym z aneksem kuchennym z wentylacją grawitacyjną. Pomieszczenia w budynku były normalnie eksploatowane podczas prowadzenia badań.

Do ocieplenia przyjęto jedną ze ścian nośnych od strony południowej budynku. Ścianę ocieplono od wewnątrz w dwóch wariantach materiałowych: (W\_1) polistyrenem ekspandowanym EPS o grubości 10cm oraz (W\_2) płyta z betonu lekkiego gęstości 115 kg/m<sup>3</sup> i grubości 10cm. Dane materiałowe przyjęto na podstawie informacji producenta tj. polistyren ekspandowany (styropian) EPS:  $\lambda_D = 0.040$  W/mK, współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu = 45$ ; płyta z betonu lekkiego:  $\lambda_D = 0.042$  W/mK, współczynnik oporu dyfuzyjnego  $\mu = 4$ . Ocieplenie wykonano na 9 m<sup>2</sup> ściany z podziałem na dwie równe części w zależności od wariantu ociepleniowego (wielkość pola pomiarowego ograniczona była istniejącymi wewnętrznymi instalacjami). W warstwach przegrody zastosowano system pomiarowy, pozwalający na rejestrację danych, tj. wilgotności względnej, wilgotności równowagowej (ST-171) i rozkładu temperatury w poszczególnych płaszczyznach przegrody i w pomieszczeniu. Dodatkowa aparatura pomiarowa zainstalowana na budynku pozwala na pomiar wielkości charakteryzujących środowisko zewnętrzne: wilgotność względną i temperaturę powietrza zewnętrznego. Pomiar wszystkich wielkości był ciągły, odbywał się z krokiem czasowym wynoszącym godzinę. Do pomiaru temperatury i wilgotności wykorzystano rejestrator wielokanałowy typu typ MA56902M09TG3, oraz czujniki Pt-100 i ST-171 do pomiaru ciepła i wilgotności. Przed przystąpieniem do pomiaru zmierzono wilgotność muru za pomocą urządzenia Testo 435-2. Średnia wilgotność muru  $\phi = 2.5\%$ .



II.3. Pomiar wilgotności muru i współczynnika przenikania ciepła dla docieplonego muru z wykorzystaniem wielofunkcyjnego urządzenia Testo 435-2.



II.4. Schemat stanowiska badawczego z rozmieszczonymi czujnikami (Orlik-Koźdoń, Steidl, 2016)

## WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Badania in - situ

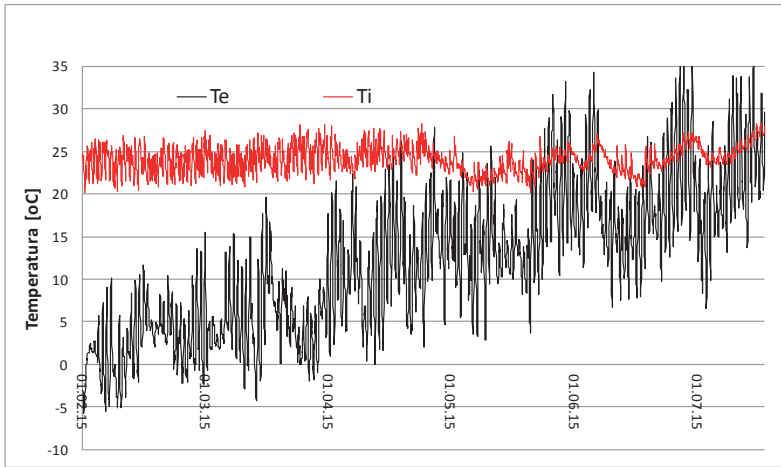
W przegrodzie prowadzono ciągły monitoring i pomiar temperatury i wilgotności w okresie 2014-2015. Wyniki prezentowane są dla wybranego okresu badawczego tj od lutego do lipca 2015 r. (cykl 4000 pomiarów). Krok pomiarowy wynosił 1h. Rejestrowano kilka parametrów w tym:

- temperaturę zewnętrzną powietrza ( $T_e$ ),
- temperaturę wewnętrzną w powietrzu ( $T_i$ ),
- wilgotność powietrza po obu stronach przegrody

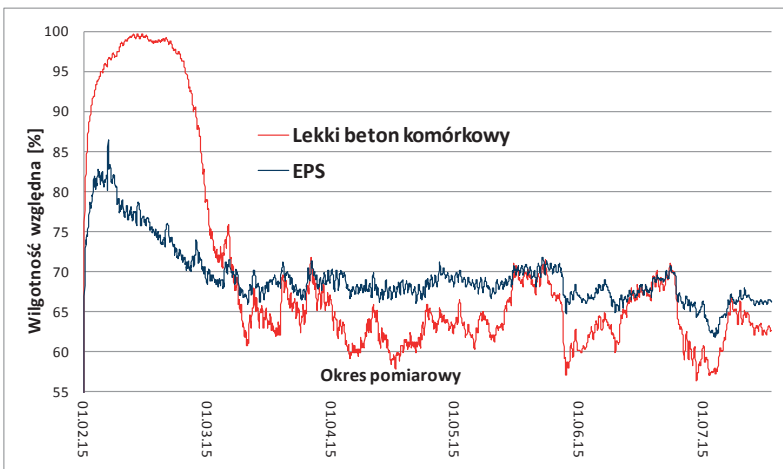
( $H_e$  – wilgotność względna powietrza zewnętrznego,  $H_i$ - Wilgotność względna powietrza wewnętrznego),

- wilgotność między warstwami materiału dociepleniowego, a tynkiem wewnętrznym.

Część uzyskanych wyników pomiarów pokazano na kolejnych rysunkach 1 i 2, 3 (Orlik-Koźdoń, Steidl, 2016).

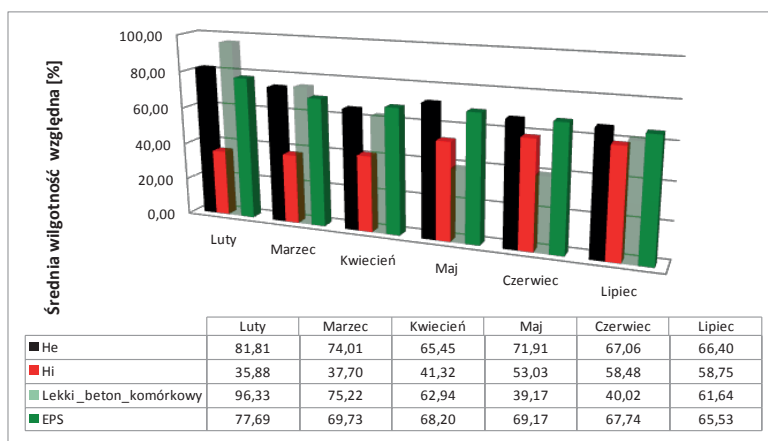


Rys.1. Zmiany w czasie temperatury środowisk otaczających przegrodę (Orlik-Koźdoń, Steidl, 2016).



Rys.2. Zmiany wilgotności na płaszczyźnie styku otynkowanej ściany i materiału izolacyjnego (Orlik-Koźdoń, Steidl, 2016).

Zbiorcze wyniki dla wartości średnich części mierzonych wartości, pokazano na rys.3



Rys.3. Wartości średnie wilgotności w wybranych miesiącach okresu pomiarowego (Orlik-Koźdoń, Steidl, 2016). ( $H_i$  – wilgotność względna powietrza wewnętrznego,  $H_e$  – wilgotność względna powietrza wewnętrznego)

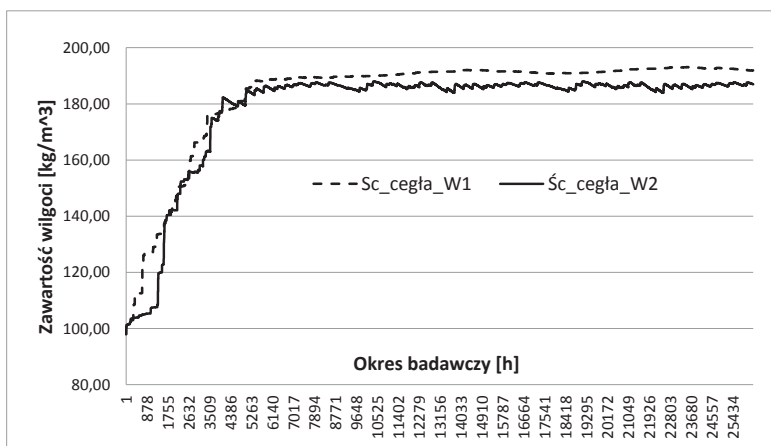
Na podstawie analizy wyników można zauważyć znaczne rozbieżności w zachowaniu się poszczególnych materiałów ociepleniowych w strukturze całej przegrody. W zakresie parametrów cieplnych, oba materiały w podobny sposób izolują przegrodę, o czym świadczyć może wynik pomiaru współczynnika przenikania ciepła (podobna przewodność cieplna obu materiałów). W zakresie rozkładu temperatury w płaszczyźnie styku ściana- materiał izolacyjny w sposób zbliżony obserwujemy zmiany temperatury w trakcie trwania okresu pomiarowego. Pojawiające się różnice w zakresie 0,5–1 °C mieszczą się w granicach błędów pomiarowych. W obu przypadkach temperatura badanego styku jest znacznie niższa od temperatury panującej w pomieszczeniu. Na podstawie wykresu rozkładu temperatur można zauważyć również, że przesunął się wpływ niskich temperatur środowiska zewnętrznego w głębsze płaszczyzny przegrody w kierunku środowiska wewnętrznego. Przegroda jest pod dużym wpływem środowiska zewnętrznego, nie jest w stanie akumulować ciepła i szybko się wychładza. Z uwagi na niewielką grubość przegrody, można obserwować sytuacje, w których temperatura na styku EPS ze ścianą i betonu komórkowego ze ścianą, zbliża się do wartości temperatury środowiska wewnętrznego. Jest to stała tendencja w sezonie letnim. W miesiącach zimowych na podstawie wartości średnich temperatur to zjawisko nie jest obserwowane, jednak z odczytu godzinowego wyraźnie wynika, że takie wpływy temperaturowe środowiska zewnętrznego mają miejsce. Dodać należy, że wartość średnia temperatury dla miesiąca lutego jest znacznie wyższa od tej, która jest podana dla najbliższej stacji meteo dla tej miejscowości (-2,3°C). Stwierdzić zatem można, że analizowany okres zimy był znacznie cieplejszy niż w innych latach. Zdecydowanie analizę tego typu należałoby wykonać w dłuższym okresie badawczym np. 3-5 lat, a nie jedynie stosować się do zaleceń normy (1rok). Jednocześnie można również stwierdzić wzrost temperatury na powierzchni wewnętrznej,

a co za tym idzie brak ryzyka kondensacji powierzchniowej – temperatura powierzchni znacznie wyższa od temperatury punktu rosy (Orlik-Koźdon, Steidl, 2016).

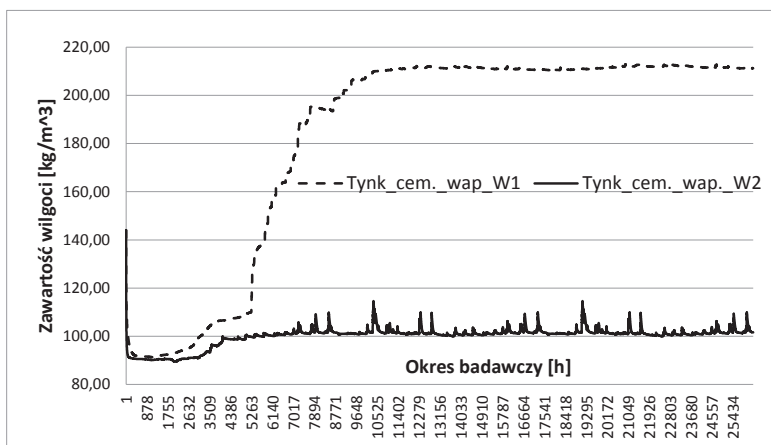
## **SYMULACJA ZACHOWANIA SIĘ PRZEGRODY DOCIEPLONEJ OD WEWNĄTRZ**

Opis procesu transportu ciepła i masy w przegrodzie uwzględniać powinien oddziaływanie klimatu zewnętrznego i mikroklimatu od strony wewnętrznej. Od strony zewnętrznej występują opady atmosferyczne w tym np. zacinający deszcz, mgła itp. Od strony wewnętrznej wpływ na zawilgocenie mają szeroko pojęte warunki eksploatacji pomieszczenia z dwoma głównymi czynnikami tj. wilgotnością i temperaturą powietrza. Oba te czynniki w połączeniu z budową materiałową przegrody wpływają na możliwość występowania kondensacji na wewnętrznej powierzchni przegrody oraz w jej wnętrzu. Aby była możliwość analizowania zmian wilgotności w materiałach przegrody należy wykonać analizę numeryczną zmian tych procesów zachodzących w czasie (Künzel i in., 1997, Künzel, 1995). Obliczenia dla obu materiałów (EPS –W\_1 i lekki beton komórkowy-W\_2) wykonano przy użyciu programu WUFI 5.3. PRO. Program ten pozwala na wykonanie obliczeń i prezentacje, zachodzących w czasie, zmian wilgotności w poszczególnych warstwach przegrody zewnętrznej. W obliczeniach ciepło-wilgotnościowych uwzględniono zależność przewodności cieplnej materiału, oraz współczynnika transporty kapilarnego od jego wilgotności. Ma to szczególne znaczenie w przypadku materiałów przegród zewnętrznych, dla których opór cieplny stanowi istotną część całego oporu cieplnego przegrody. Klimat zewnętrzny symulowano na podstawie danych klimatycznych najbliższej stacji meteorologicznej - Katowice. Klimat wewnętrzny - warianty obliczeń ograniczono do pomieszczeń suchych o normalnym sposobie eksploatacji i warunkach zbliżonych do typowych warunków obliczeniowych tj. założono dla warunków normalnych temperaturę zmieniającą się w sposób sinusoidalny od 24°C w zimie do 26°C w lecie oraz wilgotność względną powietrza zmieniającą się od 55% w okresie zimowym do 65% w okresie letnim. We wszystkich przypadkach przyjęto ciemny kolor wierzchniej warstwy muru ceglanego (Krause, Orlik-Koźdoń i in., 2016).

Wyniki symulacji w postaci wykresów pokazano na rysunkach: 4,5,6 (Krause, Orlik-Koźdoń i in., 2016).

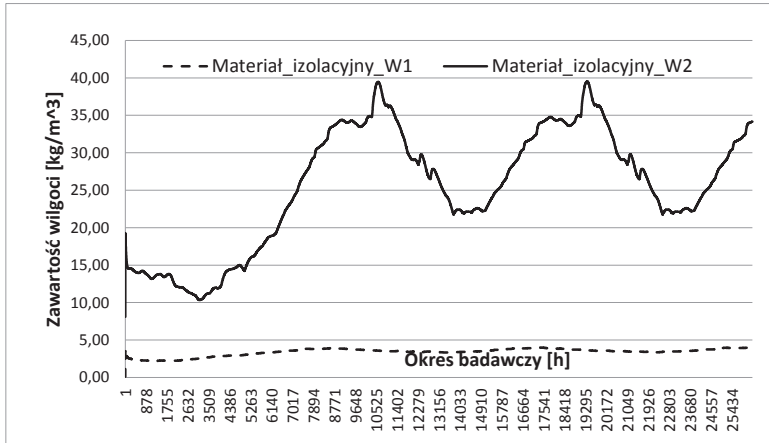


Rys.4. Zawartość wilgoci w warstwie cegły dla wariantu W\_1 i W\_2 (W\_1- polistyrenem ekspandowanym EPS, W\_2 płyta z betonu lekkiego)



Rys.5. Zawartość wilgoci w tynku (warstwa pomiędzy cegłą a styropianem/lekkim betonem komórkowym) (W\_1- polistyrenem ekspandowanym EPS, W\_2 płyta z betonu lekkiego)





Rys.6. Zawilgocenie w warstwie styropianu W\_1 i lekkiego betonu W\_2 (W\_1- polistyrenem ekspandowanym EPS, W\_2 płyta z betonu lekkiego)

## PODSUMOWANIE

Z rozkładów wilgotności w płaszczyznach przegrody zauważa się jej dynamiczny wzrost pomiędzy warstwą ocieplenia a warstwą otynkowanej ściany ceramicznej. Momentami wilgotność jest większa od wilgotności względnej otoczenia zewnętrznego a w pozostałych miesiącach zimowych jest na poziomie 80%. W miesiącach letnich w przegrodzie ocieplonej lekkim betonem komórkowym następuje spadek poziomu wilgotności, co spowodowane jest cechami materiału izolacyjnego, który aktywnie uczestniczy w procesie zmian wilgotności pomieszczenia. Dzięki aktywności kapilarnej materiału pochłania on wilgoć i rozmieszcza ją na całej powierzchni skąd zostaje ona odparowana. Dla styku ściany z polistyrenem ekspandowanym EPS obserwujemy tendencję blokowania wpływu środowiska wewnętrznego. Założeniem tego typu rozwiązania jest ograniczenie wnikania wilgoci w strukturę ściany, i należałoby sądzić, że materiał ten zachowuje się zgodnie z założonym rozwiązaniem. To co można byłoby uznać za niepokojące to duży poziom wilgotności na styku EPS/ ściana, równy wilgotności powietrza zewnętrznego, lub nieraz przekraczający tę wartość. Stan ten można uznać za alarmujący i wymagałby on dłuższej obserwacji pomiarowej, z uwagi chociażby na dość wysokie jak dla tego okresu temperatury środowiska zewnętrznego. Wyniki symulacji, potwierdziły ogólne trendy zmian przyrostów wilgotności w czasie. Różnice jakie zawsze występować będą w tego typu badaniach pomiędzy pomiarami a wartościami uzyskanymi na drodze symulacji wynikają z kilku czynników w tym :

- różnicy pomiędzy symulowanym klimatem zewnętrznym a klimatem lokalnym w którym prowadzone były badania,
- możliwych różnic pomiędzy rzeczywistymi parametrami materiałów poszczególnych warstw przegrody w tym : współczynników przewodzenia ciepła, współczynników transportu kapilarnego, własności sorpcyjnych i desorbcyjnych starego muru ceglanego, a parametrami przyjmowanymi do obliczeń.

Dość należy że w badanych okresie wilgotność względna w pomieszczeniu była na poziomie ~35% sezon zimowy, co można uznać za korzystne z punktu bilansu stanu wilgotnościowego przegrody (niekoniecznie z uwagi na komfort użytkownika pomieszczenia), ale mniej korzystne z uwagi na jakość i reprezentatywność uzyskanych wyników pomiarów.

Docieplenie od strony wewnętrznej, stwarza dla projektanta duże wyzwanie z zakresu wiedzy technicznej zarówno, co do cech technicznych nowych materiałów termoizolacyjnych i technologii ich montażu, oraz właściwości przegród budowlanych wznoszonych w latach minionych, w tym przede wszystkim przegród w budynkach o znaczeniu historycznym. Każdorazowe projektowanie docieplenia od strony wewnętrznej wymaga szczegółowej analizy ciepłno-wilgotnościowej zachowania się nowoprojektowanego uwarstwienia przegrody w czasie w warunkach jej rzeczywistej przyszłej eksploatacji. Analizę taką należy wykonywać na ścianie płaskiej - północnej, północno-zachodniej, oraz w miejscach szczególnie narażonych na oddziaływanie wilgoci np. w miejscu oparcia drewnianych belek stropowych, połączenia ściany zewnętrznej ze ścianą wewnętrzną itp. Zleca się aby analizy przyrostu zawilgocenia poszczególnych warstw przegrody zewnętrznej były wykonywane przy użyciu programów numerycznych w okresie nie krótszym niż 1 rok.

## LITERATURA

1. Krause P., Orlik-Koźdoń B., Steidl T., Szymanowska-Gwiżdż A.: Analiza stanu wilgotnościowego ścian z cegły z izolacją cieplną od wewnątrz. *Czas. Inż. Łąd. Środ. Archit.* 2016 t. 33 z. 63, nr 4/16, s. 375-382
2. Künzle, H.M., and Kiessl K., 1997. Calculation of Heat and Moisture Transfer in Exposed Building Components. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 40 (1):159-167.
3. Künzle H. M.: *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One and two dimensional calculation using simple parameters*, IRB Verlag, Stuttgart 1995.
4. Orlik-Koźdoń B., Steidl T.: Impact of internal insulation on the hygrothermal performance of brick wall, *Journal of Building Physics*. Sagepub.co.uk/journals.2016 - w druku <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1744259116671322>.
5. Orlik-Koźdoń B., Steidl T.: Docieplanie przegród zewnętrznych od wewnątrz. *Materiały, technologie, projektowanie; Izolacje* 4/2013, str.43-50.
6. Orlik-Koźdoń B. Docieplenia od wewnątrz - metodyka projektowania i rozwiązania materiałowe. *Vademecum, Termoizolacje* 2016, s. 16-19, bibliogr. 13 poz.
7. Materiały firmy Renovario. [www.ecovario.pl](http://www.ecovario.pl)
8. Materiały firmy Knauf. [www.knauf.pl](http://www.knauf.pl)
9. Materiały firmy Xella. [www.ytong-silka.pl](http://www.ytong-silka.pl)
10. Materiały firmy Foamglas. [www.foamglas.de](http://www.foamglas.de)

11. PN-EN ISO 13788:2003. Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów i materiałów budowlanych i elementów budynku - Temperatura powierzchni wewnętrznej dla uniknięcia krytycznej wilgotności i kondensacji międzywarstwowej - Metody obliczania.
12. PN-EN 12524:2002. Właściwości ciepłno-wilgotnościowe materiałów. Stabelaryzowane wartości obliczeniowe.
13. PN EN 15026. Ciepłno-wilgotnościowe właściwości użytkowe komponentów budowlanych i elementów budynku. Szacowanie przenoszenia wilgoci za pomocą symulacji komputerowej i zmiennej temperaturze eksploatacji.

# MOLDS IN RESIDENTIAL HUMAN

Jan Antoni Rubin<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Silesian University of Technology, Faculty of Civil Engineering, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, Jan.Antoni.Rubin@polsl.pl

<sup>2</sup> Polish Association of Building Mycologists, Wrocław

## ABSTRACT

Mould fungi are a colloquial phrase of the Sac Fungi, the isolated group of the imperfect fungi together with the class of mucous (Zygomycotina, Ascomycotina, and Deuteromycotina). These fungi are developed on every organic and inorganic substratum in the conditions of strong sogginess. Mould fungi can be developed on materials containing minimum nutrient substances. These fungi live on all kinds of organic substances (mostly cellulose), but also among others glue paints and impurities of the surface caused by organic dusts.

Keywords: sick building syndrome, biotic factors, mold fungi, health hazard.

## SICK BUILDING SYNDROME

In today's world, a number of people suffer from a disease that theoretically has no specific cause. The sufferers experience a number of symptoms resulting from sensitization to certain conditions of the wrong residential or office environment. This type of malaise, as well as the factors that cause it, is called the SBS (sick building syndrome) (Mikoś, 2000). The occurrence of ailments is mainly related to too little fresh air in a room and its poor quality. The sources of air pollution in a room can be living organisms (e.g. by-products of respiration, sweating, domestic and mould fungus, mites, etc.), building materials and interior fittings (e.g. solvents, wood impregnates, compounds emitted by paints and varnishes, asbestos etc.), the ventilation systems and the air conditioning systems (e.g. microorganisms living in non-disinfected ventilation ducts), external air (e.g. chemical and/or air pollution in large urban areas) or self-use of premises (e.g. tobacco smoking) (Rubin, 2007a). This type of factors as a function of time can also include odourless and colourless –radioactive noble gas, Rn-222 radon (Rubin, 2004). The SBS symptoms are: pain and dizziness, syncope and nausea, fatigue symptoms, mucosal irritation, difficulties in breathing, and other such discomforts (Rubin, 2007a). The problem of a "sick building"

and its solution is a very important element in the civilization progress of the modern human world (Collective work, 2001).

## **BIOTIC FACTORS**

The biotic factors, also known as biotic pests of a construction substance, are mainly in the Polish conditions (Rubin, 2013): home and mould fungi, algae and lichens, insects and bacteria, and bryophytes.

Bacteria (Schizomycetae) based on (Zyska 1977; Zyska, 1999) are the smallest living organisms (approx. 1µm). They can develop on organic construction materials such as wood and wood-based materials, etc. - especially in places where strong and permanent humidity is present. Bacteria cause the decomposition of organic compounds with a nature of wet rot, with simultaneous release of odourless substances.

Algae based on (Zyska, 1999) form a large and diversified group of plants that develop in terrestrial and aquatic environments. The basic condition is that these environments are subject to permanent or temporary dampness. Due to the fact that algae are "green" (contain chlorophyll), they have the ability to synthesize organic substances. Algae are able to widen the cracks in the substrate during their growth. Algae produce organic acids that dissolve calcium carbonate.

Fungi based on (Collective work, 2001) are characterized by the absence of chlorophyll, they belong to Thallophyta and, unlike plants, cannot extract carbon dioxide from the air and synthesize organic compounds from it. They eat ready-made organic substances. In the cubature construction, we distinguish the so-called home fungi and mould fungi. Home fungi can cause corrosion due to the ability of acidification of the environment, such as bricks and ceramic hollow blocks, construction mortar and cement concrete. Home fungi take food from decomposed organic matter and use it in a part to build new organic compounds and their cells, and the rest is produce in a form of numerous products of metabolism such as water, carbon dioxide, various organic acids, etc.

Bryophytes based on (Zyska, 1999) are self-sufficient terrestrial plants, forming a transitional group between the chloroplasts and organisms. From the point of view of their threats, bryophytes occur on all kinds of walls and old covers made of so-called cement tiles. Mosses make up turf that holds large amounts of water. In the winter time, this results in the fact that freezing water bursts the substrate on which they live.

Insects based on (Dominik, 1983; Collective work, 2001) is a group of arthropods. In nature, there are over a million species of insects. In the construction, there is the term "technical pests of wood", i.e. insects and their larvae preying on construction wood (so called "dead" wood). Insects cause mechanical devastations. They are caused by cutting of anatomical elements of wood while knocking on sidewalks.

Lichens based on (Zyska, 1999) are the organisms from the kingdom of fungi, which, due to their ability to coexist (so-called symbiosis) with assimilation algae, have gained new life opportunities. Fungi are the dominant organism in lichens. Some species of lichen are found on rocks, as well as on ceramic bricks and on concrete elements. Lichens

contribute to the degradation of the outer surfaces of both contemporary and historic buildings.

## **THE KINGDOM OF FUNGUS - PROTISTA**

Fungi occurring in nature are a widespread group of organisms that form a separate kingdom (Protista) (Jawetz, 1974). The organisms classified in this kingdom are characterized by simple construction. The kingdom of Protista is divided into (idem):

- I. Higher Protista. The cellular structure is similar to the structure of plant and animal cells, called Eukaryota (inter alia algae and fungi).
- II. Lower Protista. It has a simple type of the cell structure, so-called prokaryotic.

Fungi are filamentous, non-photosynthetic microorganisms growing in a form of tangled and branched hybrids, forming so-called mycelium. The eukaryotic type of the cellular construction creates the need to meet the energy and coal needs of "other" organic compounds derived from dead or living matter.

In addition to the mentioned nutrients, another necessary factor for the development of fungi is the appropriate environmental conditions of their life (Collective work, 2001). To take nutrients, fungi generally require the presence of an aquatic environment and therefore their occurrence is limited to damp environments such as host tissues (parasites or symbionts) or moist substrates, soils and walls (saprophytes). Drying of the environment causes the death of fungi as a function of time. Fungi also tend to occupy acidic environments, which can in turn further acidify. The optimal pH of fungi growth is 4÷6. In addition, temperature significantly impact on the development of fungi. They develop at different temperatures. And so: mesophiles– grow within the temp. limits 5 to 40°C; psychrophiles– grow in temp. below 5°C; thermotolerant or thermophilic– grow at above 50°C.

## **CONSTRUCTION AND MOULD FUNGI**

Fungi (Rubin, 2005) - due to morphological, biochemical and physiological characteristics, are dominant organisms in the broadly understood natural environment of human life. These fungi develop basically on all organic and inorganic substrates, under conditions of strong humidity. Unlike home fungi that require large amounts of nutrients, mould fungi can develop on materials with their minimal content. The source of food for these fungi involve all kinds of organic materials.

The occurrence and effective development of moulds on the surfaces and inside the building partitions is determined by a number of factors that can be divided into two main groups (Collective work, 2001; Stawiski, 2002):

- I. Design and technical faults and lack of proper humidity insulation and poor ventilation.
- II. Improper use of rooms; increased internal air humidity due to over-effective "thermal insulation" and excessive window tightness, which impedes the infiltration of outside air into these rooms.

Practically in every cubature building (idem), as a result of the disturbance of ecological balance by the aforementioned factors, fungi populations develop. Depending on the microclimate and the type of substrate, one or two moulds are dominant, corresponding to the enzymatic properties of the organism.

Mould fungi reproduce on the surfaces of the building partitions (II.1.-II.5), they form coloured (e.g. red, black, etc.) mycelium mould. This colouring is caused by the presence of numerous conidia spores that grow on conidia. Moulds are related to the ground via specialized rag, ingrown small depth, i.e. 0.5÷1.0 mm.



II. 1. Mould fungi occur under the carpeted floor; the ceiling over a damp cellar the most often (the author).

The most common fungi in the architectural objects are, based on J. Ważny (Collective work, 2001) the types and species listed in the following table (tab. 1.).

Table 1. The most common moulds in the architectural objects (idem).

| No. | Type                                      | Species                            |
|-----|---|------------------------------------|
| 1.  | Alternaria (Nees) Wiltshire               | alternata, chartarum, humicola     |
| 2.  | Aspergillus Micheli                       | niger, flavus, versicolor          |
| 3.  | Aureobasidium pullulans (de Bary) Arnauld | –                                  |
| 4.  | Chaetomium globosum (Kunze) Fr.           | –                                  |
| 5.  | Cladosporium Link ex Fries                | herbarum, fulvum                   |
| 6.  | Fusarium Link                             | moniliforme, oxysporum             |
| 7.  | Penicillium Link ex Fries                 | brevicompactum, cyclopium, commune |
| 8.  | Stemphylium Wallnoth                      | botryosum                          |
| 9.  | Trichoderma Persoon ex Fries              | viride, koningii                   |
| 10. | Turula Persoon                            | murorum, herbarum                  |

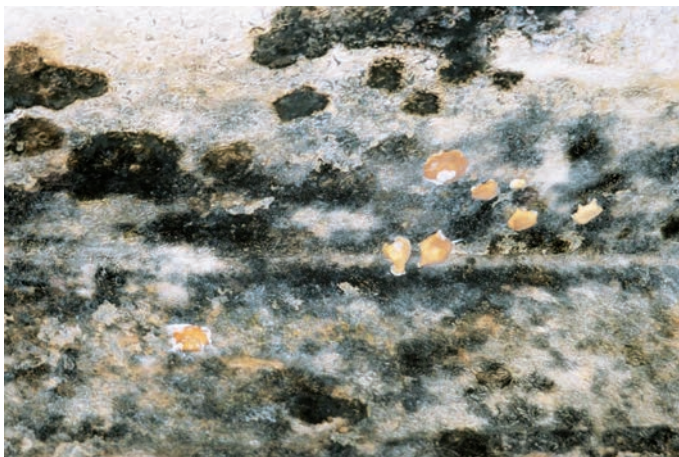




II. 2. Moulds around an electrical socket and skirting board on the ground floor (the author).



II. 3. Moulds on a wall of a room under the ceiling - after "flooding" (the author).



II. 4. Moulds on plaster of s room - after "flooding" (the author).



Il. 5. Dampness and mould in a corner of a room on the ground floor (the author).

The studies carried out in various European countries show (Żakowska, 2002, Żakowska, 2004) that there are no special species of moulds that occupies building walls or various building materials. For example, on the surfaces of paint coatings, common moulds occurring in nature are developed, including mould of *Stachybotrys atra*, which are dangerous to human health due to produced mycotoxins. In turn, mould of *Penicillium chrysogenum* and *Cladosporium herbarum* type can develop at the temperature from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+40^{\circ}\text{C}$  i in varying humidity, hence they occur on cold and damp walls throughout the year (idem).

In-situ tests carried out, inter alia, by the author of this article, allow to state that the most common causes of the emergence of moulds, e.g. in buildings made of so-called large plate (Steidl, 2015) are:

- I. The so-called thermal bridges occurring in the buildings. A thermal bridge is a negative phenomenon occurring in construction consisting in the existence of places in the thermal partition of the building, the thermal conductivity of which is much larger than of the partition. At the bridges and in the vicinity of the bridge, a lower temperature of the internal surface is observed. Its cause involves an incorrect design or faulty execution of details of the building, which leads, inter alia, to mould fungi. Point and linear are the main types of thermal bridges.
- II. In the thermal bridges, one can observe the phenomenon of the so-called dew point, i.e. the temperature, at which the gas condensation process can start at a given gas composition and set pressure. In the case of water vapour in the air, it is the temperature at which water vapour in the air becomes saturated, and below that temperature, it becomes supersaturated and condenses.
- III. The lack of effective ventilation of living spaces leads to excessive internal air humidity.

## RISKS FOR HUMAN HEALTH

The risks for human health posed by mould fungi developing in our residential micro-environment are due to three reasons: they are the basis of inhalation allergens; they produce toxic metabolites - mycotoxins; they emit to the environment a wide spectrum of volatile compounds that are harmful to people staying in it (Żakowska, 2002). The medical literature, inter alia, (Jawetz, 1974; Nicklin, 2000) describes the so-called extrinsic allergic alveolitis. The most common fungal pathogens that cause the EAA involve moulds of *Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Cladosporium* and *Trichosporan* type (Żakowska, 2004). In addition, large amount of fungi found in the human environment have the capacity to produce the already mentioned mycotoxins, which can be divided into (Jawetz, 1974; Nicklin, 2000): Aflatoxins, Ochratoxins & Trichothecins.

Toxins are produced by moulds at the place of mycelium development and are accumulated in the substrate. Mycotoxins are low molecular weight compounds with different chemical structure and strong toxicity. Approximately known 350 species of fungi produce approx. 400 toxic compounds (Żakowska, 2004). The toxic effect on living organisms is wide, and mycotoxins have dermatotoxic, hepatotoxic, carcinogenic, mutagenic, neurotoxic, neurotoxic, teratogenic properties (Jawetz, 1974; Nicklin, 2000). Users of the rooms covered with fungi are exposed to the permanent effects of toxins that enter their body through inhalation, food, skin in case of the aforementioned diseases. The respiratory tract is the most dangerous for human health, because toxins can act on the so-called macrophages in pulmonary tissues, destroying them. Mycosis of the respiratory system increases. In case of ingestion of mycotoxins at high doses, they cause kidney, liver, stomach and blood disorders, they can also cause reproductive disorders (fetal death, birth defects) and rheumatoid arthritis (idem).

## CONCLUSION

The results of the epidemiological tests indicate a strong causal relationship between –the occurrence of mould and the health status of people within their range of influence (Stramski, 1994; Żakowska, 2004). Therefore, it can be said with great probability that mould fungi occupy a significant place in the group of factors negatively impacting on human and animal health (Rubin, 2007b). Therefore, the occurrence of mould infestation of e.g. a residential building, requires to take immediate activities.

## REFERENCES

1. Dominik J., Starzyk J.R., 1983: *Owady niszczące drewno*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa, 1983r.
2. Jawetz E., Melnik J.L., Adelberg E.A., 1974: *Przegląd mikrobiologii lekarskiej*. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich. Warszawa, 1974r.
3. Mikoś J., 2000: *Budownictwo ekologiczne*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2000r.

4. Nicklin J., Graeme-Cook K., Paget T., Killington R., 2000: *Mikrobiologia*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, 2000r.
5. Praca zbiorowa pod redakcją J. Ważnego & J. Karysia, 2001: *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*. Arkady. Warszawa, 2001r.
6. Rubin J.A., 2004: *Zagrożenie radonem*. Kalejdoskop Budowlany № 6, czerwiec 2004r.
7. Rubin J.A., 2005: *Korozja biologiczna w budownictwie*. Kalejdoskop Budowlany № 2, luty 2005r.
8. Rubin J.A., 2007a: *Radon oraz wybrane czynniki biotyczne jako elementy zespołu chorego budynku*. Ochrona przed korozją № 10s/A, 2007r.
9. Rubin J.A., 2013: *Biokorozja wyrobów budowlanych pochodzenia nieorganicznego*. BrukBiznes № 3, marzec 2013r.
10. Rubin J.A., Orszulik K., 2007b: *Wpływ grzybów pleśniowych na zdrowie ludzi*. V Międzynarodowe sympozjum: Architektura i Technika a Zdrowie. Gliwice, 2007r.
11. Stawiski B., 2002: *Nowoczesna stolarka budowlana a fizyka i mykologia budowlanej*. III Warsztaty Mykologiczno – Budowlane. PSMB. Wrocław – Huta Szklana, 2002r.
12. Steidl T., Rubin J.A., 2015: *Izolacyjność cieplna prefabrykatów betonowych*. Beton prefabrykowany, 2015 (wydanie specjalne).
13. Stramski Z., 1994: *Szkodliwy wpływ grzybów domowych i pleśniowych na zdrowie ludzkie oraz przyczyny ich występowania w nowych wielkopłytowych budynkach mieszkalnych*. PZITB Oddział Wrocław. Wrocław, 1994r.
14. Zyska B., 1977: *Mikrobiologiczna korozja materiałów*. Wydawnictwa Naukowe – Techniczne. Warszawa, 1977r.
15. Zyska B., 1999: *Zagrożenia biologiczne w budynku*. Arkady. Warszawa, 1999r.
16. Żakowska Z., Piotrowska M., 2002: *Praktyczna identyfikacja grzybów pleśniowych występujących w budynkach*. III Warsztaty Mykologiczno – Budowlane. PSMB, Wrocław – Huta Szklana, 2002r.
17. Żakowska Z., Piotrowska M., Gutarowska B., 2004: *Grzyby pleśniowe w budynkach – zagrożenia mikrobiologiczne dla ludzi i zwierząt*. IV Warsztaty Mykologiczno – Budowlane. PSMB. Wrocław – Święta Katarzyna, 2004r.

# GRZYBY PLEŚNIOWE W ŚRODOWISKU MIESZKALNYM CZŁOWIEKA

Jan Antoni Rubin<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 5, Jan.Antoni.Rubin@polsl.pl

<sup>2</sup> Polskie Stowarzyszenie Mykologów Budownictwa, Wrocław

## ABSTRAKT

Grzyby pleśniowe to określenie potoczne, a obejmujące grzyby z klasy workowców, z wyodrębnionej grupy grzybów niedoskonałych oraz z klasy pleśniaków (Zygomycotina, Ascomycotina, Deuteromycotina). Grzyby te rozwijają się w zasadzie na wszystkich podłożach organicznych i nieorganicznych w warunkach silnego ich zawilgocenia. Grzyby pleśniowe mogą się rozwijać na materiałach zawierających minimalne ilości substancji odżywczych. Źródłem pożywienia dla omawianych grzybów są wszelkiego rodzaju materiały organiczne (przede wszystkim celulozowe), ale także m.in. farby klejowe oraz zanieczyszczenia powierzchni pyłami organicznymi.

Słowa kluczowe: syndrom chorego budynku, czynniki biotyczne, grzyby pleśniowe, zagrożenie zdrowia.

## SYNDROM CHOREGO BUDYNKU

We współczesnym świecie wielu ludzi cierpi z powodu choroby, która teoretycznie nie ma określonej przyczyny. Cierpiący doświadczają szeregu symptomów wynikających z uwrażliwienia na pewne warunki niewłaściwego środowiska mieszkalnego lub też biurowego. Tego rodzaju złe samopoczucie – jak również czynniki które je wywołują, określa się jako SBS (syndrom chorego budynku – sick building syndrome) (Mikoś, 2000). Wystąpienie przykrych dolegliwości związane jest głównie z zbyt małą ilością świeżego powietrza w pomieszczeniu oraz z jego złą jakością. Źródłami zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniu mogą być organizmy żywe (np. produkty uboczne oddychania, pocenia się, grzyby domowe i pleśniowe, roztocza, itp.), materiały budowlane i elementy wyposażenia wewnątrz (np. rozpuszczalniki, impregnaty drewna, związki emitowane przez farby i lakiery malarskie, azbest, itd.), systemy wentylacji i klimatyzacji (np. mikroorganizmy żyjące w nie dezynfekowanych przewodach wentylacyjnych), powietrze zewnętrzne (np. zanieczysz-

czenia chemiczne i/lub pyłowe powietrza w dużych aglomeracjach miejskich) albo samo użytkowanie pomieszczeń (np. palenie tytoniu) (Rubin, 2007a). Do tego typu czynników w funkcji czasu, można także zaliczyć bezwonny i bezbarwny – promieniotwórczy gaz szlachetny, radon Rn-222 (Rubin, 2004). Objawy SBS, to: bóle i zawroty głowy, omdlenia i mdłości, objawy przemęczenia, podrażnienie błon śluzowych, utrudnione oddychanie i inne tego typu uciążliwe dolegliwości (Rubin, 2007a). Problem „chorego budynku” i jego rozwiązywanie stanowi wielce istotny element w postępie cywilizacyjnym współczesnego świata ludzkiego (Praca zbiorowa, 2001).

## CZYNNIKI BIOTYCZNE

Czynniki biotyczne, zwane także szkodnikami biotycznymi substancji budowlanej, to w warunkach polskich przede wszystkim (Rubin, 2013): grzyby domowe i pleśniowe, glony i porosty, owady oraz bakterie, a także mszaki (głównie mchy).

Bakterie (Schizomycetae) wg (Zyska 1977; Zyska, 1999) są to najmniejsze organizmy żywe (ok. 1µm). Mogą rozwijać się na organicznych materiałach budowlanych, takich jak drewno i materiały drewnopochodne (np. płyty wiórowe oraz sklejki), na tkaninach technicznych i wykładzinach podłogowych, na tekturach technicznych i papach, szczególnie w miejscach ich silnego i stałego zawilgocenia. Bakterie powodują wówczas rozkład związków organicznych o charakterze mokrej zgnilizny, z jednoczesnym wydzielaniem substancji o przykrym zapachu, jak również powierzchnią biokorozję materiałów. Ale co ciekawe, bakterie potrafią skorodować również materiały nieorganiczne.

Glony (Algae) wg (Zyska, 1999) tworzą liczną i urozmaiconą grupę roślin rozwijających się w środowiskach lądowych i wodnych. Podstawowym warunkiem jest, aby środowiska te podlegały stałemu lub okresowemu zawilgoceniu (tzw. aerofity). Ponieważ glony są tzw. organizmami zielonymi (obecność chlorofilu w ich ciele), posiadają zdolność syntezy substancji organicznych. Są znajdowane na elementach kamiennych wbudowanych we współczesne i zabytkowe obiekty budowlane, spotyka się je również na tynkach mineralnych, w miejscach dostępnych dla wody i światła słonecznego. Omawiane glony mogą powodować uszkodzenia mechaniczne murów betonowych, już przez sam fakt ich zasiedlenia. Glony potrafią podczas swego wzrostu poszerzać spękania podłoża na którym bytują, w czym „wspomagają” je mrozy powodujące zamarzanie we wspomnianych spękania wody. Glony wytwarzają również kwasy organiczne, pod wpływem których węglan wapnia - CaCO<sub>3</sub> ulega rozpuszczeniu.

Grzyby (Fungi) wg (Praca zbiorowa, 2001) są to organizmy pośrednie pomiędzy roślinami a zwierzętami. Charakteryzują się brakiem chlorofilu, należą do plechowców (Thallophyta) i w odróżnieniu od roślin nie mogą pobierać dwutlenku węgla CO<sub>2</sub> z powietrza i syntezować z niego związków organicznych. Z tego powodu żywią się gotowymi substancjami organicznymi. W budownictwie kubaturowym wyróżniamy tzw. grzyby domowe oraz grzyby pleśniowe. Grzyby domowe z uwagi na zdolność zakwaszania środowiska potrafią powodować korozję m.in.: murów i ścian, cegły i pustaków ceramicznych, zaprawy budowlanej i betonu cementowego. Grzyby domowe pobierają pokarm z rozkładane-



go drewna (lub innej materii organicznej) i zużytkowują go częściowo na budowę nowych związków organicznych oraz swoich komórek, resztę zaś wydzielają w postaci licznych produktów przemiany swej materii, takich jak: woda, dwutlenek węgla, różnorakie kwasy organiczne, itp. Wspomniane związki chemiczne wydzielane są przez strzępki grzybni do otoczenia – działając nań szkodliwie. Jeśli w zasięgu ich działania znajdzie się mur bądź też ściana wykonana z elementów ceramicznych łączonych zaprawą wapienną, to w obszarze działania grzybów domowych spoiwo wapienne przestaje wystarczająco scalać ziarna kruszywa budowlanego. Wyroby z betonów o matrycy cementowej również ulegają powolnej biodegradacji.

Mszaki (Bryophytina) wg (Zyska, 1999) są to samożywne rośliny lądowe, stanowiące grupę przejściową między plechowcami, a organowcami. Należą niewątpliwie do pionierów świata roślinnego, np. na nagich skalnych powierzchniach – w ich zagłębieniach oraz szczelinach – osiedlają się najpierw glony, następnie zaś mszaki. Z punktu widzenia zagrożenia ze strony tychże roślin, ważne są m.in. mszaki występujące na wszelkiego rodzaju murach i ścianach oraz na starych pokryciach wykonanych z tzw. dachówek cementowych. Mszaki tworzą darnie, które zatrzymują znaczne ilości wody. Skutkuje to w okresie zimowym tym, iż zamarzająca woda rozsadza podłoże na którym one bytują, doprowadzając ostatecznie do jego destrukcji. Zaschnięte i obumarłe oraz zbrylone fragmenty mszaków mogą skutecznie zablokować rynny i rury spustowe. W tym przypadku – podczas obfitych opadów, przelewająca się woda ścieka po ścianach zawilgacając je. Poza tym, mszaki posiadają zdolność do penetrowania niektórych rodzajów kamieni naturalnych swoistymi chwytnikami, przy pomocy których mogą także pobierać wodę z rozpuszczonymi w niej solami mineralnymi. Wiele gatunków mszaków potrafi bytować na podłożu betonowym oraz ceramicznym. W funkcji czasu, prędzej czy później dochodzi do korozji nieorganicznych materiałów budowlanych inicjowanej przez mszaki. Dlatego ich rozwój na obiektach budowlanych jest co najmniej niepożądany i w związku z tym należy je w sposób mechaniczny usuwać.

Owady (Insecta) wg (Dominik, 1983; Praca zbiorowa, 2001) to gromada stawonogów. W przyrodzie występuje ponad milion gatunków owadów. W budownictwie mówimy o tzw. technicznych szkodnikach drewna, czyli o owadach i ich larwach żerujących na drewnie budowlanym (tzw. drewno „martwe”). Drewno dla poszczególnych gatunków owadów może pełnić następujące role: pożywienia i kryjówki, wyłącznie pożywienia, wyłącznie kryjówki, miejsca rozwoju grzybów pełniących rolę pożywienia. Zniszczenia powodowane przez owady mają charakter mechaniczny. Spowodowane są przecinaniem anatomicznych elementów drewna przy wygryzaniu chodników. Dla materiałów budowlanych pochodzenia nieorganicznego wzmiankowane owady nie stanowią bezpośrednio zagrożenia.

Porosty (Lichenes) wg (Zyska, 1999) są to organizmy z królestwa grzybów, które dzięki zdolności współżycia (tzw. symbiozy) z glonami asymilującymi uzyskały nowe możliwości życiowe. W porostach grzyb jest organizmem dominującym. Niektóre gatunki porostów występują na skałach granitowych oraz piaskowcowych, jak również na głazach narzu-



towych, cegle ceramicznej i na elementach betonowych. Porosty, podobnie jak ich pobratymcy glony, przyczyniają się do degradacji zewnętrznych powierzchni tak współczesnych jak i zabytkowych budynków oraz pomników kamiennych. Różne gatunki porostów rosnące na wspomnianym podłożu kamiennym, w funkcji czasu przyczyniają się do jego erozji. W procesie tym biorą udział m.in. takie mechanizmy jak: zdolność porostów do silnej adsorpcji wody (która zamarzając w zimie w szczelinach podłoża rozsadza je); mikro uszkodzenia podłoża, które jest w sposób mechaniczny penetrowane przez plechę porostu; ogromna ilość organicznych kwasów porostowych reagujących z podłożem mineralnym (które doprowadzają per saldo do jego korozji chemicznej).

## **KRÓLESTWO GRZYBÓW – PROTISTA**

Grzyby występujące w przyrodzie są szeroko rozpowszechnioną grupą organizmów, które tworzą oddzielne królestwo (Protista) (Jawetz, 1974). Organizmy zaliczane do tego królestwa cechuje prosta budowa; są to organizmy jedno- lub wielokomórkowe bez zróżnicowania komórkowego. Królestwo Protista jest dzielone na (idem):

- I. Wyższe Protista. Struktura komórkowa podobna jest do struktury komórek roślinnych i zwierzęcych, określana nazwą Eukaryota, czyli posiadające prawdziwe jądro (glony, grzyby, pierwotniaki, śluzowce).
- II. Niższe Protista. Posiada prosty typ budowy komórkowej, tzw. prokariotyczny (Procaryota).

Grzyby są nitkowatymi, nie fotosyntetyzującymi mikroorganizmami rosnącymi w postaci masy splecionych i rozgałęzionych strzępek (hyphate) tworzących tzw. grzybnie (mycelium). Eukariotyczny typ budowy komórkowej stwarza potrzebę zaspokajania zapotrzebowania na energię i węgiel „cudzymi” związkami organicznymi, pochodzącymi z martwej lub żywej materii. Grzyby w zasadzie odżywiają się na trzy sposoby: saprotrofia – pobieranie martwych szczątków organicznych (z drobnoustrojów, roślin lub zwierząt); pasożytnictwo – wykorzystywanie żywych tkanek roślin, bądź też zwierząt (ze szkodą dla gospodarza); symbioza – egzystencja na żywych tkankach (z korzyścią dla gospodarza).

Oprócz wspomnianych substancji pokarmowych, kolejnym niezbędnym czynnikiem potrzebnym do rozwoju grzybów są odpowiednie warunki środowiska ich bytowania (Praca zbiorowa, 2001). Do pobierania substancji odżywczych grzyby wymagają generalnie obecności środowiska wodnego i dlatego ich występowanie jest ograniczone do środowisk wilgotnych, jak np. tkanki gospodarzy (pasożyty lub symbionty) lub też wilgotne substraty oraz gleby i mury (saprofity). Wysychanie środowiska powoduje w funkcji czasu śmierć grzybów. Grzyby mają także skłonność do zajmowania środowisk kwaśnych, które mogą z kolei jeszcze bardziej zakwaszać. Optymalne pH wzrostu grzybów wynosi 4÷6. Także temperatura ma istotny wpływ na rozwój grzybów. Rozwijają się one w różnych temperaturach. I tak: mezofile – rosną w granicach temp. 5÷40°C; psychrofile – rosną w temp. poniżej 5°C; termotolerancyjne lub termofilne – rosną w temp. powyżej 50°C.

Grzyby mogą występować zarówno na powierzchni, jak również we wnętrzu ciała ludzkiego, a także w otaczającym go środowisku mieszkalnym, wliczając w to i kubaturowe obiekty budowlane.

## **BUDOWNICTWO A GRZYBY PLEŚNIOWE**

Grzyby pleśniowe (Rubin, 2005) – ze względu na specyfikę morfologiczną, biochemiczną i fizjologiczną, są organizmami dominującymi w szeroko pojętym naturalnym środowisku bytowania człowieka. Grzyby te rozwijają się w zasadzie na wszystkich podłożach organicznych i nieorganicznych, w warunkach silnego ich zawilgocenia. W odróżnieniu od grzybów domowych, które wymagają dużych ilości substancji pokarmowych, grzyby pleśniowe mogą rozwijać się na materiałach o minimalnej ich zawartości. Źródłem pożywienia dla omawianych grzybów są wszelkiego rodzaju materiały organiczne (przede wszystkim celulozowe, ale nie tylko).

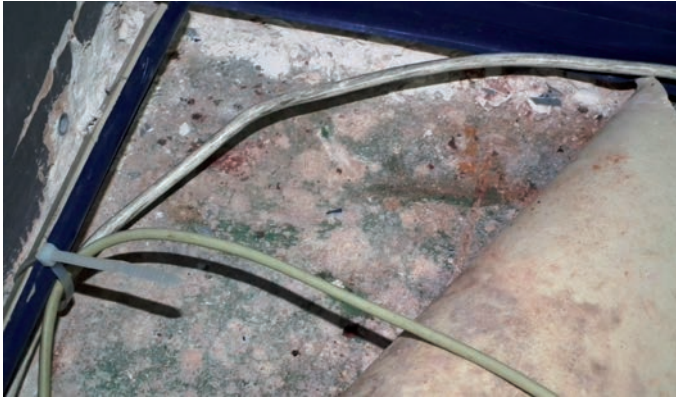
O występowaniu i efektywnym rozwoju grzybów pleśniowych na powierzchniach i wewnątrz przegród budowlanych, decyduje wiele czynników, które można podzielić na dwie zasadnicze grupy (Praca zbiorowa, 2001; Stawiski, 2002):

- I. Wady projektowe i techniczne, jak również brak właściwej izolacji przeciwwilgociowej oraz źle działająca wentylacja.
- II. Niewłaściwa eksploatacja pomieszczeń; podwyższona wilgotność powietrza wewnętrznego na skutek zbyt „skutecznej” termoizolacji; a także nadmierna szczelność okien, która utrudnia infiltrację powietrza zewnętrznego do tychże pomieszczeń.

Praktycznie w każdym obiekcie kubaturowym (idem), na skutek zakłócenia stanu równowagi ekologicznej przez w/w czynniki, dochodzi do rozwoju populacji grzybów. W zależności od mikroklimatu i rodzaju podłoża dominuje jeden lub dwa rodzaje pleśni odpowiadające właściwościom enzymatycznym danego organizmu. Bywają również takie specyficzne przypadki, iż tych rodzajów pleśni jest dużo więcej.

W wielu publikacjach na ten temat, można spotkać się ze stwierdzeniem, iż nowe budownictwo z występującymi wadami technologicznymi stwarza wręcz optymalne warunki dla omawianych mikroorganizmów. I jest to niestety, smutna prawda!

Grzyby pleśniowe rozmnażając się na powierzchniach przegród budowlanych (Il. 1. ÷ Il. 5), tworzą kolorowe (np. czerwone, zielone, czarne, itp.) naloty grzybni. Zabarwienie to spowodowane jest przez obecność licznych zarodników konidialnych, które wyrastają na trzonkach konidialnych. Grzyby pleśniowe są związane z podłożem za pomocą wyspecjalizowanych strzępek, wrastających na niewielką głębokość – rzędu 0,5÷1,0 mm. Strzępki te, to haustoria (ssawki), rizoidy (chwytniki), ewentualnie apresoria (przyłgi).



Il. 1. Grzyby pleśniowe pod wykładziną podłogową; strop nad wilgotną piwnicą (autor).

Do najczęściej występujących grzybów w obiektach kubaturowych należą wg J. Ważnego (Praca zbiorowa, 2001) rodzaje i gatunki wymienione w poniższej tabeli (tab. 1.).

Tab. 1. Grzyby pleśniowe najczęściej występujące w obiektach kubaturowych (idem).

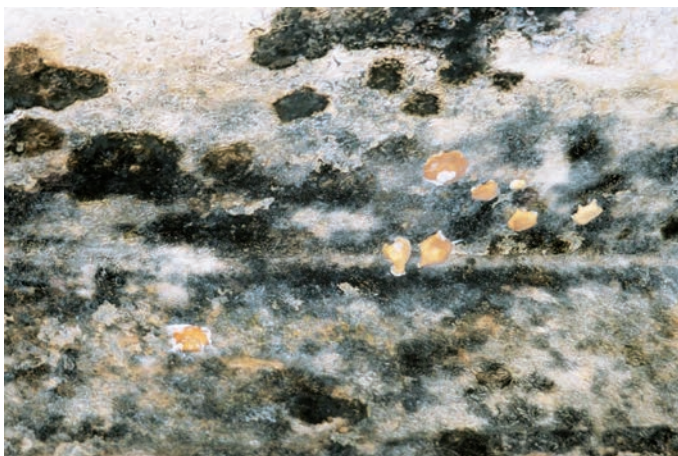
| Lp. | Rodzaj  | Gatunek   |
|-----|---|---|
| 1.  | <i>Alternaria</i> (Nees) Wiltshire              | <i>alternata</i> , <i>chartarum</i> , <i>humicola</i>     |
| 2.  | <i>Aspergillus</i> Micheli                      | <i>niger</i> , <i>flavus</i> , <i>versicolor</i>          |
| 3.  | <i>Aureobasidium pullulans</i> (de Bary) Arnald | –   |
| 4.  | <i>Chaetomium globosum</i> (Kunze) Fr.          | –   |
| 5.  | <i>Cladosporium</i> Link ex Fries               | <i>herbarum</i> , <i>fulvum</i>                           |
| 6.  | <i>Fusarium</i> Link                            | <i>moniliforme</i> , <i>oxysporum</i>                     |
| 7.  | <i>Penicillium</i> Link ex Fries                | <i>brevicompactum</i> , <i>cyclopium</i> , <i>commune</i> |
| 8.  | <i>Stemphylium</i> Wallnoth                     | <i>botryosum</i>  |
| 9.  | <i>Trichoderma</i> Persoon ex Fries             | <i>viride</i> , <i>koningii</i>                           |
| 10. | <i>Turula</i> Persoon                           | <i>murorum</i> , <i>herbarum</i>                          |



Il. 2. Grzyby pleśniowe wokół gniazdka elektrycznego oraz listwy przypodłogowej na parterze (autor).



Il. 3. Grzyby pleśniowe na ścianie pomieszczenia pod sufitem - po „zalaniu” (autor).



Il. 4. Grzyby pleśniowe na tynku pomieszczenia - po „zalaniu” (autor).



Il. 5. Zawilgocenie oraz grzyby pleśniowe w narożu pomieszczenia na parterze (autor).

Z badań przeprowadzonych w różnych krajach europejskich wynika (Żakowska, 2002; Żakowska, 2004), iż nie ma specjalnych gatunków grzybów pleśniowych zasiedlającego przegrody budowlane bądź też różne materiały budowlane. I tak np. na powierzchniach powłok malarskich, tapet oraz płyt kartonowo – gipsowych rozwijają się powszechnie spotykane w przyrodzie gatunki grzybów pleśniowych w tym pleśń z gatunku *Stachybotrys atra*, niebezpieczna dla zdrowia ludzkiego z uwagi na wytwarzane mikotoksyny. Z kolei pleśnie z gatunku *Penicillium chrysogenum* i *Cladosporium herbarum* mogą rozwijać się w temperaturze od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $+40^{\circ}\text{C}$  i w zmiennej wilgotności, stąd występują na zimnych i wilgotnych murach przez cały rok (idem).

Badania *in situ* prowadzone m.in. przez autora niniejszego artykułu pozwalają na stwierdzenie, iż najczęstszymi przyczynami zaistnienia grzybów pleśniowych w tzw. nowoczesnych budynkach mieszkalnych (np. z wielkiej płyty) są (Steidl, 2015):

- I. Występujące w obiektach tzw. mostki termiczne (naroża ścian zewnętrznych oraz wieńce żelbetowe w poziomie stropu). Mostek termiczny lub mostek cieplny, to negatywne zjawisko występujące w budownictwie polegające na istnieniu miejsc w przegrodzie cieplnej budynku, których przewodnictwo cieplne jest znacznie większe niż przegrody. W miejscach mostków oraz w ich pobliżu obserwuje się niższą temperaturę powierzchni wewnętrznej. Jego przyczyną jest błędne zaprojektowanie lub wadliwe wykonanie detali budynku, co prowadzi do powiększonych strat ciepła, zawilgocenia wnętrza i powstawania wykwitów grzybów pleśniowych. Główne typy mostków termicznych, to:
  - a) mostki punktowe – w niewielkim obszarze występuje wyższa przewodność cieplna np. przebicie termoizolacji;
  - b) mostki liniowe – powstają, gdy na pewnym obszarze brakuje termoizolacji lub ma ona zmniejszoną grubość, albo w przypadku jej nieciągłości.
- II. Występowanie w miejscu mostków termicznych zjawiska tzw. punktu rosy – czyli temperatury, w której, przy danym składzie gazu lub mieszaniny gazów i ustalo-

nym ciśnieniu, może rozpocząć się proces skraplania tegoż gazu lub wybranego składnika mieszaniny gazu. Rozpatrywany składnik gazu (np. para wodna) ma w obecnej temperaturze ciśnienie parcjale równe ciśnieniu pary nasyconej tego składnika w temperaturze punktu rosy. W przypadku pary wodnej w powietrzu, jest to temperatura, w której para wodna zawarta w powietrzu staje się nasycona (przy zastanym składzie i ciśnieniu powietrza), a poniżej tej temperatury staje się przesycona i skrapla się lub resublimuje.

- III. Brak bieżącej, efektywnej wentylacji pomieszczeń mieszkalnych, co prowadzi per saldo do nadmiernej wilgotności powietrza wewnętrznego.

## ZAGROŻENIA ZDROWOTNE DLA CZŁOWIEKA

Zagrożenia dla zdrowia, jakie niosą ze sobą grzyby pleśniowe rozwijające się w naszym mikrośrodkowisku mieszkalnym, wynikają z trzech powodów: stanowią one podstawę alergenów inhalacyjnych; wytwarzają toksyczne metabolity – mikotoksyny; wydzielają do otoczenia szerokie spektrum związków lotnych, które są szkodliwe dla ludzi i zwierząt w nim przebywających (Żakowska, 2002).

Wykrywana w szeroko pojętych pomieszczeniach użytkowych typowa mikroflora pleśniowa stanowi dość spore zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt tamże przebywających. I tak np. gatunki rodzaju *Aspergillus* i *Penicillium* uważane są za dominujące we wspomnianym już mikrośrodkowisku mieszkalnym. Należy również w tym miejscu wymienić grzyby rodzaju *Aureobasidium* i *Mucom*, a także *Rhizopus*. Elementem grzybów najsilniej alergizującym są ich zarodniki. Ale również i grzybnia zawiera większość tych samych, charakterystycznych dla danego gatunku alergenów. Jak na dzisiejsze czasy, dokładna znajomość budowy i właściwości alergenów dotyczy stosunkowo niewielkiej liczby gatunków grzybów. Najwięcej wiadomo o alergenach grzybów *Alternaria alternata*, *Cladosporium herbarum*, *Aspergillus fumigatus*, *Saccharomyces cerevisiae* no i oczywiście *Candida albicans*. W literaturze medycznej (Jawetz, 1974; Nicklin, 2000) opisywane jest tzw. alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych (AZPP). Do najczęściej wykrywanych grzybów będących przyczyną powstawania AZPP należą pleśnie z rodzaju *Aspergillus*, *Alternaria*, *Penicillium*, *Cladosporium* i *Trichosporan* (Żakowska, 2004). Kontakt z grzybami pleśniowymi wywołuje również dość często schorzenia o podłożu alergicznym typu: choroby układu oddechowego (anginy, zapalenie oskrzeli i płuc oraz dychawice oskrzelowe), kataru alergicznego (katar sienny), zapalenia spojówek, zmiany skórne. Grzyby mogą atakować również naskórek ludzi i zwierząt, powodując powierzchniowe uszkodzenia, w postaci aft, grzybic, liszai, itp. Mogą również spowodować oportunistyczne grzybice układowe (np. w przebiegu chorób z upośledzeniem odporności organizmu jak AIDS, czy przy długotrwałej antybiotykoterapii o szerokim spektrum działania).



Ponadto wiele spośród grzybów występujących w środowisku mieszkalnym człowieka posiada zdolność do wytwarzania wspomnianych już mikotoksyn, które można podzielić na (Jawetz, 1974; Nicklin, 2000):

- I. Aflatoksyny (grupa silnie toksycznych – rakotwórczych – substancji wytwarzanych przez pleśnie; wytwarzają je głównie szczepy z gatunków *Aspergillus flavus* i *Aspergillus parasiticus*; do tej pory wyodrębniono i określono działanie kilku aflatoksyn oznaczonych jako aflatoksyny B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>; aflatoksyna B<sub>1</sub> – obok wirusa żółtaczkę – jest głównym czynnikiem wywołującym raka wątroby u ludzi i zwierząt wyższych; w badaniach laboratoryjnych na zwierzętach, pozostałości aflatoksyn wykrywano w nerkach, w mięśniach i w wątrobie; badania doświadczalne prowadzone na zwierzętach, dostarczyły licznych dowodów na temat hepatotoksycznych właściwości aflatoksyn).
- II. Ochratoksyny (są metabolitami grzybów pleśniowych należących do rodzajów *Aspergillus*, *Penicillium* i *Trichoderma*; wytwarzanie ochratoksyn przez grzyby z rodzaju *Aspergillus* uwarunkowane jest wysoką wilgotnością i podwyższoną temperaturą otoczenia – powyżej 25°C; natomiast wiele gatunków rodzajów *Penicillium* i *Trichoderma* może produkować ochratoksyny również w niskich temperaturach – około 5°C; pierwotnym objawem ochratoksykozy jest najczęściej choroba nerek).
- III. Trichotecyny (toksyny trichotecynowe należą do blisko spokrewnionych związków chemicznych wytwarzanych przez grzyby pleśniowe z rodzajów *Fusarium*, *Cephalosporium*, *Myrothecium*, *Trichoderma* i *Stachybotrys*; według najnowszych badań są one – obok aflatoksyn – silnymi hepatotoksynami; rozwojowi grzybni i tworzeniu trichotecyn sprzyja bardzo duża wilgotność i pojawianie się owadów roznoszących zarodniki grzybów; objawy działania tej toksyny, mogą być różnorodne – należą do nich biegunki oraz anoreksja wywołana stanami zapalnymi nabłonka jelita cienkiego, a we krwi obwodowej spotyka się leukopenię).

Toksyny są wytwarzane przez pleśnie w miejscu rozwoju grzybni i kumulowane w podłożu. Mikotoksyny są niskocząsteczkowymi związkami o różnej budowie chemicznej i silnym działaniu toksycznym. Dotychczas poznano około 350 gatunków grzybów, które wytwarzają około 400 związków toksycznych (Żakowska, 2004). Oddziaływanie toksyczne na organizmy żywe jest szerokie, a mikotoksyny mają właściwości: dermatotoksyczne (oddziaływanie na skórę); hepatotoksyczne (oddziaływanie na wątrobę); kancerogenne (uszkodzające DNA); mutagenne (powodujące zmiany, mutacje); nefrotoksyczne; neurotoksyczne (oddziaływanie na mózg i nerwy); teratogenne (Jawetz, 1974; Nicklin, 2000). Ponadto mikotoksyny hamują syntezę białek oraz zaburzają aktywność enzymów, a także zmniejszają krzepliwość krwi i osłabiają naturalną odporność przeciwnowotworową, jak również powodują stałe uczucie zmęczenia (chronic fatigue syndrome) (idem). Użytkownicy zagrzybionych pomieszczeń są narażeni na permanentne działanie toksyn, które dostają się do ich organizmu drogą inhalacyjną, pokarmową, poprzez skórę w przypadku zmian chorobowych w/w. Najbardziej niebezpieczną dla zdrowia ludzkiego jest droga oddechowa, gdyż toksyny mogą działać na tzw. makrofagi w tkankach płucnych



niszcząc je. Wzrasta zachorowalność na grzybice narządu oddechowego np. grzybniak płuc. W przypadku dostania się do organizmu mikotoksyn w wysokich dawkach wywołują one choroby nerek, wątroby, żołądka, krwi, mogą również powodować zaburzenia funkcji rozrodczych (obumieranie płodu, powstawanie wad wrodzonych) oraz reumatoidalne zapalenie stawów (idem).

## PODSUMOWANIE

Wyniki badań epidemiologicznych wskazują na niewątpliwą, silną zależność przyczynowo – skutkową pomiędzy występowaniem grzybów pleśniowych, a stanem zdrowia osób przebywających w zasięgu ich oddziaływania (Stramski, 1994; Żakowska, 2004). W związku z tym można stwierdzić z dużą dozą prawdopodobieństwa, iż grzyby pleśniowe zajmują znaczące miejsce w grupie czynników negatywnie oddziałujących na zdrowie ludzi i zwierząt (Rubin, 2007b). Dlatego zaistnienie faktu porażenia pleśniami np. obiektu mieszkalnego, wymaga podjęcia natychmiastowych działań mających na celu ustalenie przyczyny wystąpienia tychże grzybów i zainicjowania szybkiej akcji zaradczej.

## LITERATURA

1. Dominik J., Starzyk J.R., 1983: Owady niszczące drewno. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa, 1983r.
2. Jawetz E., Melnik J.L., Adelberg E.A., 1974: Przegląd mikrobiologii lekarskiej. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich. Warszawa, 1974r.
3. Mikoś J., 2000: Budownictwo ekologiczne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice, 2000r.
4. Nicklin J., Graeme-Cook K., Paget T., Killington R., 2000: Mikrobiologia. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa, 2000r.
5. Praca zbiorowa pod redakcją J. Ważnego & J. Karysia, 2001: Ochrona budynków przed korozją biologiczną. Arkady. Warszawa, 2001r.
6. Rubin J.A., 2004: Zagrożenie radonem. *Kalejdoskop Budowlany* № 6, czerwiec 2004r.
7. Rubin J.A., 2005: Korozja biologiczna w budownictwie. *Kalejdoskop Budowlany* № 2, luty 2005r.
8. Rubin J.A., 2007a: Radon oraz wybrane czynniki biotyczne jako elementy zespołu chorego budynku. *Ochrona przed korozją* № 10s/A, 2007r.
9. Rubin J.A., 2013: Biokorozja wyrobów budowlanych pochodzenia nieorganicznego. *BruckBiznes* № 3, marzec 2013r.
10. Rubin J.A., Orszulik K., 2007b: Wpływ grzybów pleśniowych na zdrowie ludzi. V Międzynarodowe sympozjum: Architektura i Technika a Zdrowie. Gliwice, 2007r.
11. Stawiski B., 2002: Nowoczesna stolarka budowlana a fizyka i mykologia budowli. III Warsztaty Mykologiczno – Budowlane. PSMB. Wrocław – Huta Szklana, 2002r.

12. Steidl T., Rubin J.A., 2015: Izolacyjność cieplna prefabrykatów betonowych. Beton prefabrykowany, 2015 (wydanie specjalne).
13. Stramski Z., 1994: Szkodliwy wpływ grzybów domowych i pleśniowych na zdrowie ludzkie oraz przyczyny ich występowania w nowych wielkopłytowych budynkach mieszkalnych. PZITB Oddział Wrocław. Wrocław, 1994r.
14. Zyska B., 1977: Mikrobiologiczna korozja materiałów. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne. Warszawa, 1977r.
15. Zyska B., 1999: Zagrożenia biologiczne w budynku. Arkady. Warszawa, 1999r.
16. Żakowska Z., Piotrowska M., 2002: Praktyczna identyfikacja grzybów pleśniowych występujących w budynkach. III Warsztaty Mykologiczno – Budowlane. PSMB. Wrocław – Huta Szklana, 2002r.
17. Żakowska Z., Piotrowska M., Gutarowska B., 2004: Grzyby pleśniowe w budynkach – zagrożenia mikrobiologiczne dla ludzi i zwierząt. IV Warsztaty Mykologiczno – Budowlane. PSMB. Wrocław – Święta Katarzyna, 2004r.

# SELECTED PROBLEMS OF FIBER CONCRETE SLABS

## VYBRANÉ PROBLÉMY DESEK Z VLÁKNOBETONU

Martina Smirakova<sup>1</sup>, Pavlina Mateckova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Structures, 17.listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba, e-mail: martina.smirakova@vsb.cz

<sup>2</sup> VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Structures, 17.listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba, e-mail: pavlina.mateckova@vsb.cz

### ABSTRACT

Fiber-reinforced concrete (FRC) is a material which consists of concrete and contains fibrous substances which increase structural strength and cohesion. Therefore FRC is used in ground-floor slabs to control cracks and increasing of bearing capacity. Different types of fibers can be used but steel fibers are used most often. Because FRC is actually used more and more it is necessary to know its real behaviour. There are standards for classic reinforced concrete. But for FRC do not exist some standards and therefore FRC floors often are designed empirically according to experiences from practice. Structures and using of FRC in general are now very modern and interesting topics of research but quality of FRC slab is strongly dependent on correct execution.

In this paper, there will be described several real ground-floor slabs where FRC was used and its frequent failures too. Then it will be presented, what kind and what range of failure arose. This research deals with causes of this failure and therefore technical surveys and laboratory tests of concrete properties and amount of fibers were carried out and their results will be presented in this work. Also the possible solution of problem will be designed, if it does exist.

Keywords: FRC testing, failure, amount of fibers, fiber concrete floors.

### INTRODUCTION

Industrial building with light or heavy traffic needs a quality floor which can withstand the traffic load. Rules apply that the heavier traffic has greater requirements on the floor. Somewhere there is common concrete, enough but heavy traffic needs a floor of very high quality. Industrial concrete floors influence running of production and poor quality or significant failures can cause significant financial loses. Failures of industrial floors are the most often claimed failures in civil engineering. These failures can have different causes but some causes are repeated more often than others. Worldwide, many researches are

performed (Cajka et al. 2014, 2016 and Sorelli et al., 2006) because of the empirical design, which may not always be correct. In this paper three buildings with industrial floors are described and with their help, three most often causes of failures are demonstrated.

## STORAGE HALL AND QUALITY OF EXECUTED SLAB

The industrial floor of this building was designed for storage material and also for heavy traffic with forklift. Slab with thickness 200mm and from concrete FRC C25/30 with  $20\text{kg/m}^3$  were designed for hall by dimension  $30.5 \times 16.5\text{m}$ . Reinforced steel mesh  $\text{Ø}6/100/100\text{mm}$  were designed at the upper surface of floor slab to carry tensile force. Technical survey on this building were provided because after one year of use of this hall a lot of microcracks arose. Crack are illustrated also on the Figure 1.

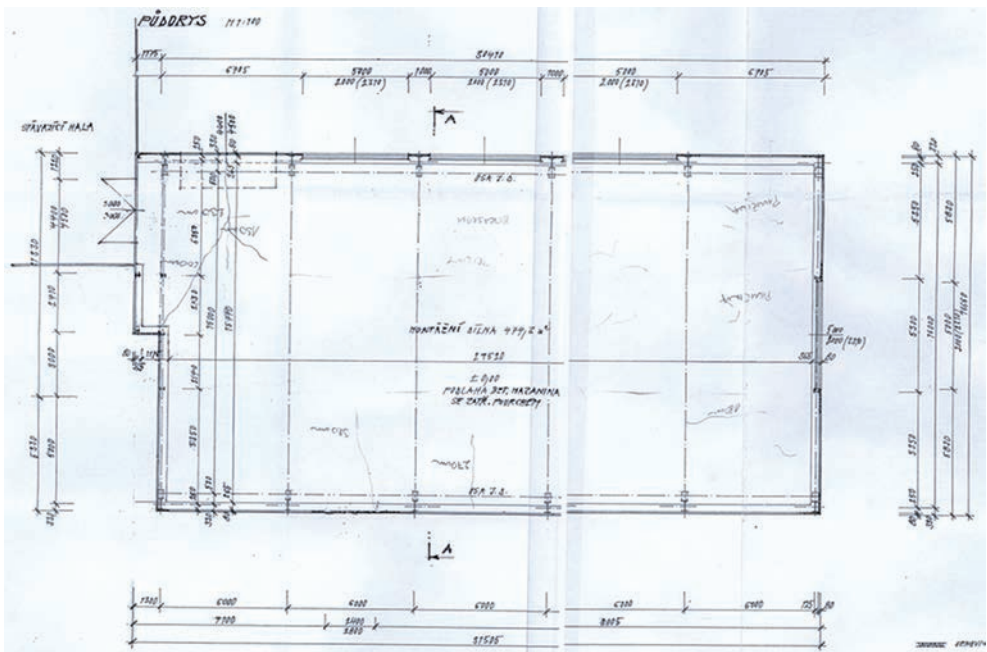


Figure. 1 Basic schema and basic cut of hall

A set of measurement was performed at selected dilatation units (Fig.1 and Fig.2). Compressive strength was tested at four specimens and it was verified that the strength class of concrete C25/30 was observed. Then amount of fibres were controlled. The results from 3 specimens are shown in Table 1. The average value is  $16.3\text{ kg/m}^3$ . On bores there was also thickness of floor slab controlled (see Table 1) and it was found that thickness of slab does not match with the static design.

Tests of subsoil were also performed and these tests have shown that subsoil does not exhibit volume changes which could be the cause of failures of the floor. The influence of subsoil can be excluded. The most probable causes of cracks are deformations associated

with shrinkage and creep of concrete as in the first case. Shrinkage and creep of concrete can be prevented by curing of fresh concrete and other provisions.



Figure. 2 Test specimen from FRC

One of these provisions is just using of steel fibres. The above described slab was designed with the amount of fibres of  $20\text{kg/m}^3$ . But identified the amount of fibres by using magnetic separation in the same way as in first case as it was between  $12.2$  and  $18.5\text{ kg/m}^3$  (see Table 1) and the average value was  $16.3\text{ kg/m}^3$ . At the test there was also placement of upper reinforcement controlled and it was found that reinforcement is rather at the lower surface. That means that the most probably cause of failures is insufficient reinforcement of slab and wrong placement of reinforcing mesh.



LOKALIZACE JÁDROVÝCH VÝVRTŮ:

| VÝVRT | POLOHA |        |
|-------|--------|--------|
|       | X [mm] | Y [mm] |
| 1     | 9500   | 900    |
| 2T    | 9400   | 1350   |
| 3     | 1450   | 14 450 |
| 4     | 2550   | 20 500 |

LEGENDA ZNAČENÍ:

 JÁDROVÝ VÝVRT V KONSTRUKCI DNA/PODLAHY

Figure. 3 Scheme of bores placement

Table 1 Amount of fibres and thickness of specimen

| Number of specimen | Thickness of bore (mm) | Amount of fibres (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1A                 | 190                    | 18.3                                  |
| 2A                 | 192                    | --                                    |
| 3A                 | 182                    | 12.2                                  |
| 4A                 | 160                    | 18.5                                  |

## PRODUCTION HALL AND AMOUNT OF FIBERS

The industrial floor in this building was designed for storage material and also for heavy traffic with forklift. The technical survey was performed at this building in 2010. The subject of this assessment is a FRC concrete floor by dimension of 90.8 x 42.8 x 0.2 m. The building is clad with metal sandwich panels in modular axis on 6m. The floor is created in the designed thickness of 200mm according to the static design. Concrete B30 (C25/30 according to actual standards) with fibers DRAMIX RL 45/50 in amount 20 kg/m<sup>3</sup> was designed. The floor is loaded with traffic, racks and stored material. On the Fig.1 there is shown a ground plan of hall with indicated cracks and bores. On the Fig. 5 there is shown a crack near hall entrance.

One reference section with most of failures was chosen where 15 bores were carried out (Fig.4 and Fig.6).

Among other things, following activities were carried out:

- removing and preparation of test specimens (15 pcs)
- determination of density
- verification of strength of FRC
- destruction of specimens in a jaw crusher
- magnetic separation of fibers from concrete rubble (to verify of fiber amount)
- photodocumentation

Test specimens were tested at the Laboratory of building materials at the Faculty of Civil Engineering VSB TU Ostrava. Specimen of subsoil were also tested and researched but it is not the subject of this paper.

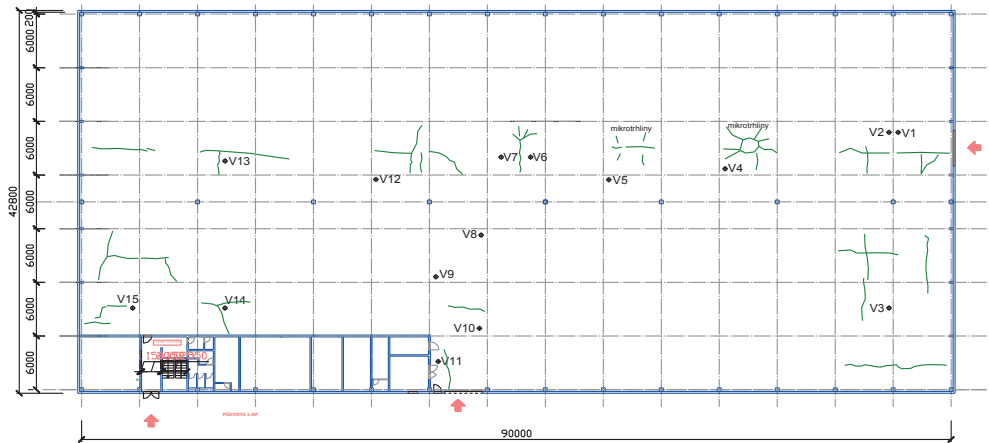


Figure 4 Scheme of hall with marked bores



Figure 5 Cracks near the entrance (V1 and V2)

A set of measurements was performed (Fig.6 and Fig.7). Compressive strength was tested and it was verified that the strength class of concrete C25/30 was observed. Then the amount of fibres was controlled. Test samples were crushed after determining of compressive strength. Magnetic separation was used for separation of steel wires from crushed concrete (see Fig. 8). The weight of wires for each test specimen was calculated on dosage per  $1\text{ m}^3$  concrete mixture. Results from 15 specimens with values of dosage are shown in Table 2. Average value was  $16.84\text{ kg/m}^3$ .





Figure 6 FRC test specimen

Tests of subsoil were also performed and these tests have shown that subsoil does not exhibit volume changes which could cause failures of the floor. The influence of subsoil can be excluded.

The most probable causes of cracks are deformations associated with shrinkage and creep of concrete. Shrinkage and creep of concrete could be very dangerous and could cause great cracks. Shrinkage and also creep of concrete can be prevented by curing of fresh concrete and other provisions (Buchta et al., 2015; Cajka et al., 2016). One of these provisions is just using of steel fibres. The described above slab was designed with an amount of fibres  $20 \text{ kg/m}^3$ . But the identified amount of fibres was between  $6.39$  and  $26.77 \text{ kg/m}^3$  (see Table 2) and the average value was of  $16.84 \text{ kg/m}^3$ . That means that the most probable cause of failure is the insufficient reinforcement of slab.



Figure 7 FRC specimen before test (left) and after test (right)



Figure 8 Determining of amount of fibers

Table 2 Amount of fibres

| Number of specimen | Amount of fibres (kg/m <sup>3</sup> ) | Number of specimen | Amount of fibres (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 1                  | 6.39                                  | 9                  | 17.01                                 |
| 2                  | 14.43                                 | 10                 | 26.05                                 |
| 3                  | 21.34                                 | 11                 | 20.43                                 |
| 4                  | 26.77                                 | 12                 | 9.48                                  |
| 5                  | 25.97                                 | 13                 | 13.09                                 |
| 6                  | 16.92                                 | 14                 | 13.54                                 |
| 7                  | 13.72                                 | 15                 | 15.92                                 |
| 8                  | 11.58                                 |                    |                                       |

## LIGHT STORAGE HALL AND SUBSOIL QUALITY

This is a hall which is intended to storage electronic material and forklift travel. This hall has a dimension of 34,5x25m and ground area of the floor is of about 860m<sup>2</sup>. This hall is built as a light steel structure based on concrete foundation belts and footings. The basic scheme and basic cut is shown on the Figure 9.

The industrial armour floor is comprised from FRC concrete and the designed thickness was of 250mm. Cracks have occurred on this floor (Figures 10 and 11) and therefore the technical survey was executed. Three concrete borehole cores were drilled in predefined points, see Figure 12 and Figure 13. It was quality tested of concrete, also quality tested of slab and quality tested of subsoil. Height differences were also monitored. The biggest height difference was of about 120mm according to the geodetic survey.

The Borehole cores were modified for testing of compressive strength. The results from this testing are shown in Table 3. The strength class of concrete calculated

according to relevant standards is C30/37. Tested samples were crushed, after testing, in a jaw crusher. Then steel fibres were removed from the concrete crush using magnetic separation. The amount of fibre in test sample was then converted to the amount of fibre in 1m<sup>3</sup> of the concrete mixture. The results are shown in Table 4.

It is clear from the test results that compressive strength of concrete used for the industrial floor is in respond to concrete class C30/37 and has an average amount of fibres of about 14,1kg/ m<sup>3</sup>. It approximately responds to the designed values.

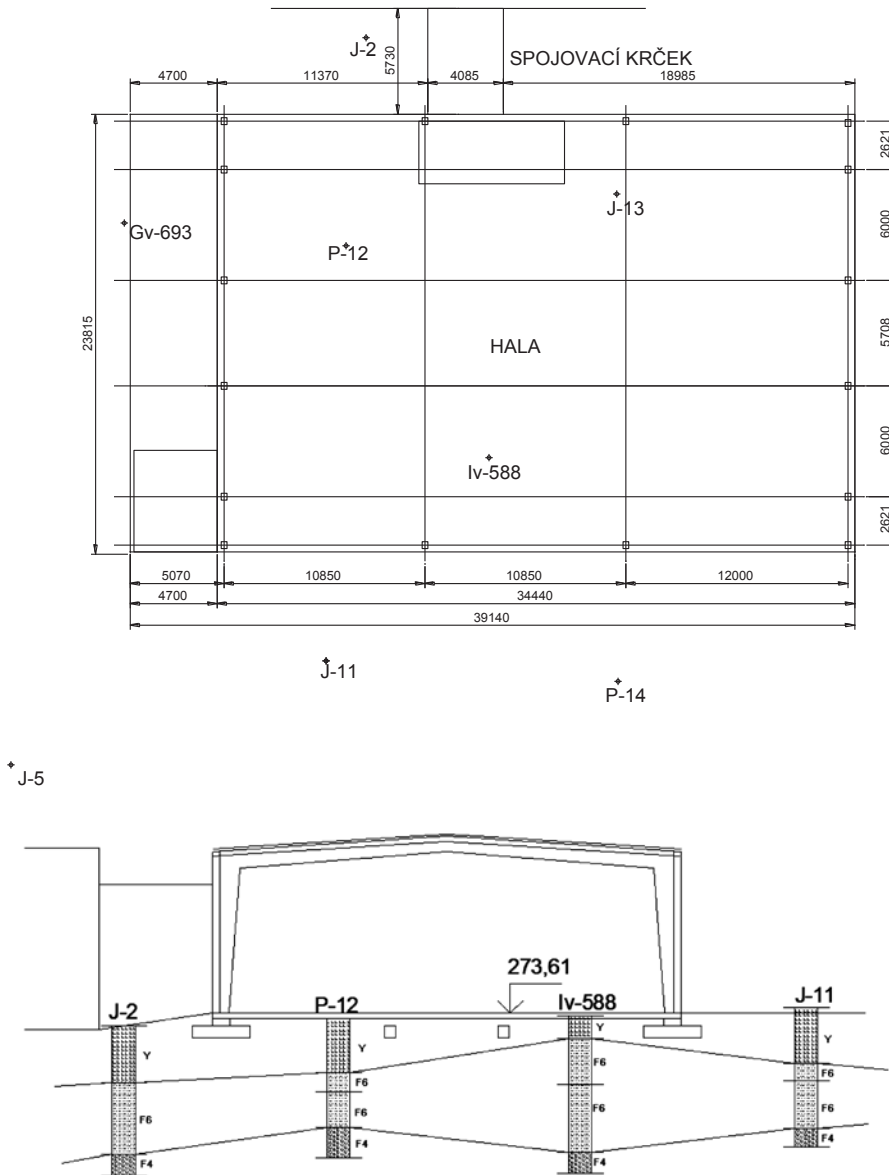


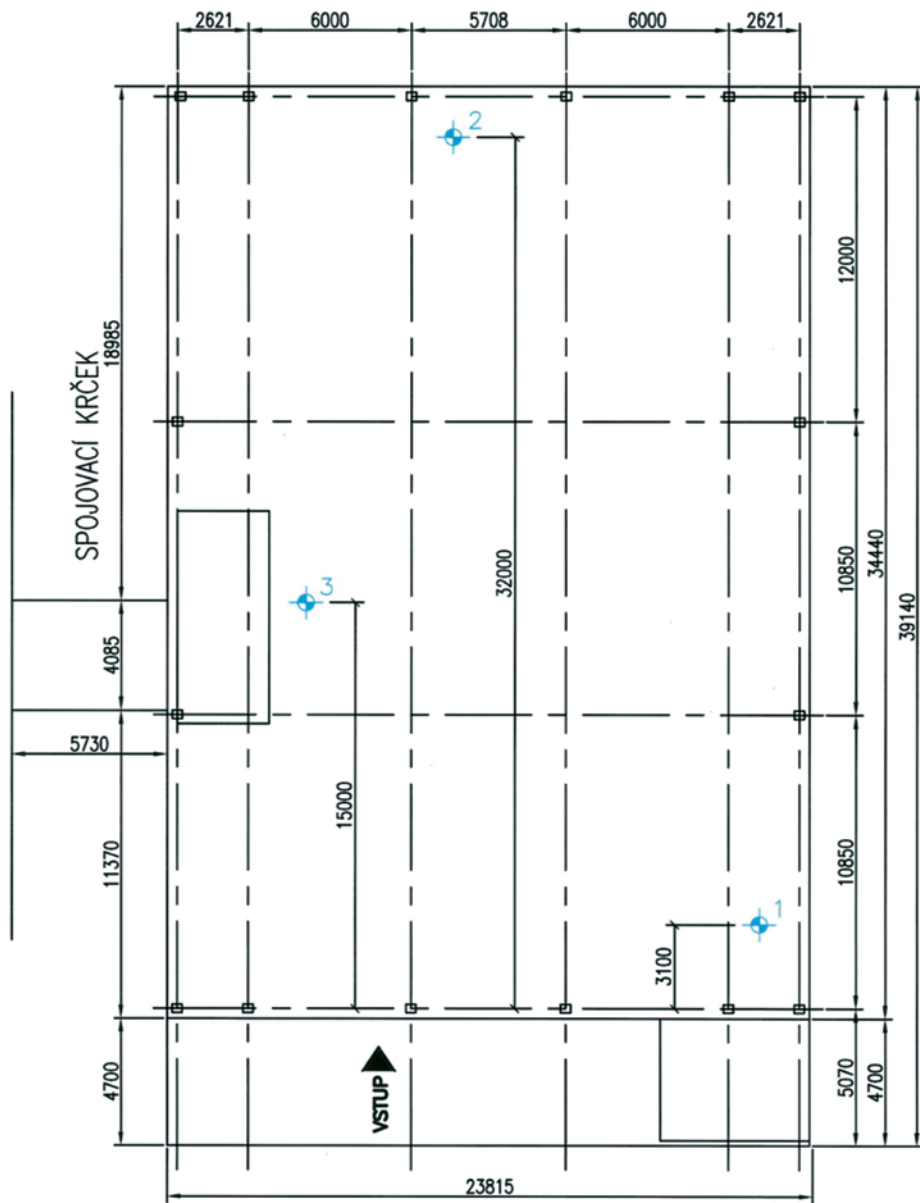
Figure. 9 Basic schema and basic cut of hall



Figure. 10 Cracks on the floor



Figure. 11 Cracks on the floor



 JÁDROVÝ VÝVRT V KONSTRUKCI DNA

Figure. 12 Predefined points to bore drill



Figure. 13 FRC specimen

Tab.3 Title of Example Table

| Borehole number | Diameter [mm] | Height [mm] | Compressive strength | Corrected cylindrical strength [MPa] | Cube strength [MPa] |
|-----------------|---------------|-------------|----------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 1               | 143,2         | 199,5       | 32,18                | 29,93                                | 37,3                |
| 2               | 143,2         | 210,6       | 35,93                | 33,77                                | 42,0                |
| 3               | 143,3         | 180,9       | 48,10                | 43,77                                | 53,9                |

Tab.4 Title of Example Table

| Borehole number | Diameter [mm] | Height [mm] | Amount of fibre in test sample | Amount of fibre in 1m <sup>3</sup> of concrete |
|-----------------|---------------|-------------|--------------------------------|--|
| 1               | 143,2         | 199,5       | 16,5                           | 5,1  |
| 2               | 143,2         | 210,6       | 64,2                           | 19,0   |
| 3               | 143,3         | 180,9       | 53,3                           | 18,3   |

Beside these bores, three soil samples were also taken. The soil samples had a diameter of 150mm and was taken by core drilling without water usage. The microscopic and macroscopic analysis were carried out. This analysis indicates the composition of subsoil – a mixture of white and grey slag, slag conglomerate, ceramics and a mixture of waste material. The analysis also demonstrate that the subsoil contains also minerals which cause volume changes. Unfortunately these changes started but not completed. That means that volume changes and failures will continue and it is impossible to predict the behaviour of the subsoil. The cause of the failure at this construction is mainly the volume of the changes in the subsoil. It is advisable to check the condition of the pipes (water, sewer). In case of failure or leakages it is necessary to repair it as soon as possible to avoid contact of water with the slag. The only solution of problems with this floor is to monitor

other changes and partially repair. The best but also the most complicated solution is the demolition of the entire board, replacement of the subsoil and concreting a new slab.

## CONCLUSION

The most probable causes of cracks, often are deformation associated with creep of concrete or volume changes of subsoil. The shrinkage and creep of concrete could be very dangerous and could cause great cracks. It is clear, from the performed technical survey which very often causes cracks or wrong execution construction and failure to comply with the static design (lower amount of fibres, poor placement of reinforcement and inadequate slab thickness). The only correct solution is the demolition and concreting on the whole slab. Partial measures (for example crack injection) will be only temporary. The same rules apply to concrete floor on the subsoil which has problems with volume changes.

The structures and the usage of FRC in general is now very modern and is a interesting topic of research. But the research of FRC slab is carried out on real buildings shows that the quality of FRC slab is strongly dependent on their correct execution.

## ACKNOWLEDGEMENT

This outcome has been achieved with the financial support of the project GACR No. 16-08937S „State of stress and strain of fibre reinforced composites in interaction with the soil environment“.

## REFERENCES

1. Buchta V., Janulikova M., Fojtik R., Experimental Tests of Reinforced Concrete Foundation Slab. *Procedia Engineering*. 114, 530-537, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.102, 2015.
2. Cajka R., Burkovic K., Buchta V., Foundation slab in interaction with subsoil, *Advanced Materials Research*, Trans Tech Publications, Switzerland, 838-841, 375-380, ISSN (Online) 1662-8985, ISSN (Print) 1022-6680, DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.375, 2014.
3. Cajka R., Comparison of the calculated and experimentally measured values of settlement and stress state of concrete slab on subsoil. *Applied Mechanics and Materials*. 501-504, 867-876, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.501-504.867, 2014.
4. Cajka R., Labudkova J., Fibre concrete foundation slab experiment and fem analysis, *Key Engineering Materials*, Trans Tech Publications, Switzerland, 620, 441-444, ISSN (Online) 1662-9795, DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.627.441, 2014.
5. Cajka R., Labudkova J., Numerical modeling of the subsoil-structure interaction. *Key Engineering Materials*. 691, 333-343, DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.691.333, 2016.



6. Cajka R., Labudkova J., Mynarcik P., Numerical solution of soil - foundation interaction and comparison of results with experimental measurements. *International Journal of GEOMATE*. 11, 2116-2122, 2016.
7. Cajka R., Mynarcik P., Labudkova J., Experimental measurement of soil-prestressed foundation interaction. *International Journal of GEOMATE*. 10, 2101-2108, 2016.
8. Janulikova M., Stara M., Mynarcik P. Sliding joint from traditional asphalt belts, *Advanced Material Research*, Trans tech Publications, Switzerland, 1020, 335-340, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1020.335, 2014.
9. Mynarcik P., Measurement processes and destructive testing of fiber concrete foundation slab pattern, *Advanced Material Research*, Trans Tech Publications, Switzerland, 1020, 221-226, ISSN (Online) 1662-8985, ISSN (Print) 1022-6680, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1020.221, 2014.
10. Mynarcik P., Labudkova J., Koktan J., Experimental and numerical analysis of interaction between subsoil and post-ensioned slab-on-ground, *Jurnal Teknologi*, 78, 23-27, (2016), ISSN 0127-9696, DOI: 10.11113/jt.v78.8530, 2016.
11. Sorelli L. G., Meda A., Plizzari G., A., Steel fiber concrete slabs on ground: a structural matter. *ACI Structural Journal*, 103, 551, 2006.



**4. STIMULATORS AND BARRIERS  
TO THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
OF URBANIZED AREAS**

**STYMULATORY I BARIERY ROZWOJU  
ZRÓWNOWAŻONEGO TERENÓW  
ZURBANIZOWANYCH**

**STIMULÁTORY A PŘEKÁŽKY  
UDRŽITELNÉHO ROZVOJE  
URBANIZOVANÉHO PROSTORU**



# STIMULATING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS USING RENEWABLE ENERGY SOURCES AND RISK MANAGEMENT IN THE POLICY OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ZIELONA GORA

Anna Bazan-Krzywoszańska<sup>1</sup>, Andrzej Łączak<sup>2</sup>,  
Maria Mrówczyńska<sup>3</sup>, Marta Skiba<sup>4</sup>

<sup>1</sup> University of Zielona Góra, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra, A.Bazan@aiu.uz.zgora.pl

<sup>2</sup> State University of Applied Sciences in Sulechów, Institute of Administration and Tourism, Armii Krajowej 51, 66-100 Sulechów, ied@wp.pl

<sup>3</sup> University of Zielona Góra, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra, M.Mrowczynska@ib.uz.zgora.pl

<sup>4</sup> University of Zielona Góra, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering, ul. Licealna 9, 65-417 Zielona Góra, m.skiba@aiu.uz.zgora.pl

## ABSTRACT

Cities participation in the global energy consumption permanently increasing and there is no indication that the trend will change in the nearest futures. Population growth, rising demand for construction services and continuously improve the living standard, with the increase of time spending in buildings, ensure upward trend in energy demand. The common goal of all developed societies is the reducing the amount of energy required to ensure the thermal comfort. It is overarching because of the rising energy cost, such as reducing the carbon emissions. Isolation and control of the ventilation in buildings cannot be the sole source of reduction the level of consumption of heat and energy. According to EU requirements, we also need to increase the amount of consumed energy from natural and renewable sources. This article presents a proposal for stimulating the energy efficiency of buildings with using of RES in local politics on the basis of assessment of investment risk.

Keywords: energy efficiency in buildings, sustainable urban development, investment risk, multi-criteria analysis.

## **THE STIMULATION OF THE INVESTMENT ACTIVITIES AND SELECTED TYPES OF RISKS**

The implementation of the activities to increase energy efficiency and increase the use of renewable energy (green projects) requires not only the involvement of financial resources but also changes in the social mentality through the transfer of knowledge in the use of the eco-innovative technologies and the development of green attitudes. The promotion of the use of low-emission technologies and the production and distribution of renewable energy sources can be achieved through the implementation of the investment projects aiming at improving energy efficiency, e.g. public utility buildings owned or permanently managed by local governments or by analysing the cost-effectiveness of the renewable energy sources, the implementation of low-emission and energy-saving technology, and also by the production and distribution of renewable energy.

The risk analysis is a systematic approach, taking into account the full possible assessment of risk factors, applied in a transparent, comprehensive manner and taking into account the existing uncertainties or lack of knowledge (Aven, 2015; Jajuga, 2007). If we look at investments related to the use of the RES, we can distinguish the following groups of risks: technical risk, economic risk, social risk and political risk.

**Technical risk.** The RES have no universal technology. The used technologies are unique and specific depending on whether it is wind, water, solar or biomass. The investments in the RES are not carried out in Poland on a large scale. Therefore, the acquisition of the technology is relatively expensive. In addition, there are problems with connection to the transmission networks, as operators do not have sufficient transmission capacity for new sources. The technical problems also result in unstable power levels, which can adversely impact on the quality of the energy received, resulting in voltage fluctuations. The distribution and transmission networks in Poland are not adjusted to the connection of high power values. The technical risk of using the RES is related to the specific nature of renewable energy, location, existing infrastructure, operation and adaptation to the existing technology.

**Economic risk.** The economic risk relates to the financing and cost-effectiveness of the projects. The investments in the RES are characterized by a long repayment period and high investment costs. The profitability of the RES projects is very low. The price volatility of electricity is very important. The investors often do not have sufficient resources, which makes it necessary to look for external sources of investment financing - loans, EU funds. Despite the above, the funds are not enough. There is therefore a risk that the investor wishing to develop the RES will not receive capital support in Poland.

**Social risk.** The governments declare their support for the RES investments and systematically promote the need for renewable energy. However, practice shows that the local communities often protest against this type of the investments, guided by various fears, justified and unreasonable. Actually, they often lead to a hold off of the investment.

**Political and legal risk.** It is considered as the largest barrier of the investments in renewable energy. The public authorities should develop stable, transparent and effective

legal frames to support the companies undertaking renewable energy production. The risk arises when the implemented legal basis is inadequate to the development of the market and the renewable energy sector, and when no legislative action is taken, and the relevant laws are not introduced. An additional problem is that there is no clear outline of future legislation. The political instability and the likely change of policy options in the EU institutions further intensify the uncertainty of directions and forms of support for the investments in the RES.

## **TESTS METHODOLOGY**

In the test, the technical risk was identified in several ways. First, as the age of the object, which is related to the durability of the structure and its individual elements. The construction time impacts on the investment risk. The older the building is, the greater the risk is that the cost of carrying out potential repairs to the tested buildings to obtain full technical and functional efficiency will increase. Secondly, the buildings were classified based on the division involving the constructed in the traditional and industrialized technology or partially-industrialized technology. The industrialized technology reduces the investment risk by standardizing the region and country. The buildings constructed in the traditional technology are characterized by a personalized form, which increases the risk of optimal selection of the activities to increase energy efficiency. The price of energy largely depends on the heat source used to heat the building and prepare hot water. In Zielona Góra, the vast majority of multi-family and service buildings are powered by municipal heat and power, which produces combined heat with low market prices. For single-family buildings, gas is a dominant source of heat supply. The technical risk was considered as the technical requirements to ensure compliance with the EU energy efficiency requirements. All new investments will be unlikely to be taken into account in the course of the implementation of all national and EU regulations. The implementation of the public investments carries a low risk of non-compliance with the applicable regulations, as opposed to single-family buildings, where the risk of non-compliance is relatively high. There are currently few effective methods of controlling the individual investments.

The methodology adopted for the test was intended to assess the risk of achieving the purpose, which is to improve the energy efficiency of the urban development and to assess the potential for higher use of renewable energy generated through the use of new technologies.

The identified economic risk is primarily related to the price of energy. Energy prices are relatively stable. Analysts do not predict price increases. Diversification of supplies and sources can give hope for reducing, or at least steadiness in prices. In addition, the possibility of using the EU funds impacts on the local politics. The EU priority is to improve the energy efficiency of multi-family buildings. This is reflected in the support of this type of the investment from the EU funds. The problem, however, is that the resources compared to the needs are definitely too low. Therefore, the risk of not receiving funds is quite large. As a rule, the EU policy does not support single-family buildings in terms of energy



efficiency. Therefore, the risk of not receiving support is very high. The improvement of energy efficiency of public buildings is still supported by the EU policies. However, more emphasis is placed on multi-family buildings. The risk of not receiving funds should be determined as averages. In turn, the support for energy efficiency is one of the EU's top priorities. The entrepreneurs have a number of opportunities to gain the EU support. Therefore, the risk of not receiving the funds is low.

The political and legal risk is connected with the state policy on the investments that promote energy efficiency. It depends on the development of plans and programmes to support the improvement of building efficiency and sustainability. Frequent political changes mean that there is a high risk of destabilization of activities in the areas of support and promotion. The activities related to single-family and production buildings are the least subjected to political changes, where the investors seeking to reduce their operating costs are determined and take measures to improve energy efficiency based on the economic considerations, in fact independent of the state and local government policies. This is not the case with the investments that improve energy efficiency of the public buildings. Co-financing of this type of objects is policy-driven and depends on frequent policy changes causing a high risk.

The risk of the investment in energy efficiency of the buildings and the increase of the RES utilization in the example of Zielona Góra is presented in Table 1, where four groups are presented: technical, economic, social and legal, of the factors impacting on the risk of the investments improving energy efficiency of the buildings in the urban development in Zielona Góra. In this area, one identifies the buildings corresponding to the four groups of the reference buildings, for which the tests of the final energy consumption based on the actual costs were presented in detail (EAM, 2011). The development division is as follows:

- Group 1 - developed area, mostly municipal and cooperatives multi-family buildings of low and medium standard, in the industrial or traditional technology, heat is provided from the urban power plants;
- Group 2 - developed area, mostly single-family buildings, detached and owned, in the traditional technology, where gas and solid fuels are used to generate energy needed to heat and produce hot water;
- Group 3 - developed area, mostly public buildings, provided with combined heat or gas, owned by the municipality of Zielona Góra;
- Group 4 - developed area, mostly with industrial, private and municipal buildings, in the partly-industrialized and traditional technology, provided with gas and solid fuels.

A multicriteria analysis was used to assess the risk in a multi-criterion decision-making process, where the multiple criteria are met, the main purpose of which is to achieve one result on the basis of held information (Heidenman, Hent, 2009). It is worth noting that the investment risk assessment criteria should be representative for the project concerned, sufficiently detailed and should be referred to the relationship between the crite-

ria adopted for the analysis. In order to determine the investment risk to improve energy efficiency of the urban development, the mathematical methods were used as a group of algorithms in the method of the multicriterial comparative analysis. The mathematical methods are based on clear and well-known formulas and are among the most commonly used decision-support methods. In the process of the multicriteria analysis, it is possible to use both measurable and non-measurable qualities that are subject to the quantification process and are ultimately expressed in numerical quantities. In the mathematical methods, it is important to code the measures adopted for the analysis intended to replace the nominal value of the partial measure with the non-numerical value of a specified range (Swabowski, Rain, 2001). At work, the criteria coding was carried out by standardization in accordance with the following formulas:

- when the criterion is a stimulant:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (1)$$

- when the criterion is a destimulant:

$$z_{ij} = (-1) \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (2)$$

where:  $x_{ij}$ -original variant measure  $i$ -based on this criterion  $j$ -this,  $z_{ij}$ -coded measure variant,  $\bar{x}_j$ -average measures analysed variants based on  $j$ -this criterion,  $s_j$ -standard deviation. The standardized criteria values are summarised in table 2. In the next step, the risk assessment of the investment was carried out by calculating the synthetic indicator (table 2), using the formula:

$$J_i = \sum_{j=1}^m z_{ij} \quad (3)$$

After the risk assessment on the basis of the synthetic indicators, it is possible to take activities (reactions) aiming at reducing the impact of the risk on the investment decisions of the scope of energy efficiency and the RES. The risk responses can be as follows (Rudnicki, 2016): risk avoidance, risk control, risk transfer and risk retention. It is worth noting that the main approach of decision makers is an individual concentration on security (risk avoidance) or to use the occasion (risk controlling). In addition, the development of risk transfer instruments should be preceded by an analysis of the characteristics of the risk to which the transfer relates. Such an analysis and manipulation of risk will allow to correctly adjust the instrument for the purpose of which is to serve. The purpose of the design of these instruments is the successful implementation of risk transfer and the same stimulation of increased energy efficiency and the use of energy from the renewable energy sources.

## TEST CONCLUSIONS

The presented tests aimed at assessing the risk of the achievement of the purpose, i.e. the improvement of energy efficiency of the urban development, and the increased use of the renewable energy sources on the example of Zielona Góra, as well as to define possible reactions to the risk. The tests were carried out in the following stages:

- indicating of the reference buildings,
- defining energy efficiency improvement measures to be applied in relation to the reference buildings,
- analysis of the final energy demand reduction, based on the calculations of the thermal insulation and energy audits of the reference buildings,
- estimation of the cost of increased energy efficiency of 1kWh/m<sup>2</sup>rok, in relation to the buildings,
- defining a set of criteria (technical, economic, social and legal) impacting on the risk of the investments to improve energy efficiency,
- risk assessment using the multicriterial analysis method.

The criteria taken into account were assessed in terms of the possibility of the risk, separately for each of the four groups of the buildings. On the basis of the opinion of independent experts and available documentation the following risk assessment were assumed:

- very high – very high probability of the investment risk and its severe effects,
- high - high probability of the investment risk and its severe effects,
- medium - low probability of the investment risk and its effects are less severe,
- low - means the acceptable investment risk.

In order to apply the mathematical methods for the risk assessments of this work in the linguistic form (very high, high, medium and low) were replaced by numeric values, determining the probability of the risk and its possible effects. Then, the criteria coding was carried out in accordance with the formulas (1) and (2), and eventually the synthetic assessment of individual solutions was specified in accordance with (3).

The assumptions to assess the investment risk in depending on the analysed factors for particular groups of the buildings are located in this quarter. The best solution for the actions taken to improve energy efficiency (the lowest investment risk) applies to the buildings category, for which the value of the synthetic assessment is the highest, the highest risk exists for the buildings category, for which the value of the synthetic assessment is the lowest (a selection of this type of the investment is the least beneficial taking into account the criteria in question). As you can see from the data contained in table 4, the most attractive option, with the lowest investment risk to increase energy efficiency is the improvement of efficiency of the buildings as defined in category 2 (single residential), while the highest risk occurs for category 4 of the buildings (industrial buildings).

Table 2. Standardized criteria values for the reference buildings of Zielona Góra

| Criterion  | selection of the reference buildings                                |   |   |  |
|--|---|---|---|--|
|  | multi-family buildings constructed in the pre-fabricated technology | single-family buildings constructed in the traditional technology | buildings of a service function constructed in the traditional technology | buildings on an industrial function constructed in the pre-fabricated technology |
| construction year  | 1.22  | 0.00  | 0.00  | -1.22  |
| construction technology  | 1.20  | 0.24  | -0.24   | -1.20  |
| dominant heat supply source (media)  | 1.12  | -0.84   | 0.56  | -0.84  |
| technical requirements to ensure compliance with the EU energy efficiency requirements | 0.71  | 0.00  | 0.71  | -1.41  |
| differences in energy prices (from fossil sources and from the RES)                    | 1.02  | 0.70  | -0.86   | -0.86  |
| possibility of increasing the use of energy from the RES                               | 0.35  | -1.47   | 0.36  | 0.76   |
| object function  | 0.87  | 0.87  | -0.87   | -0.87  |
| property status  | -0.85   | 1.04  | -0.86   | 0.66   |
| records of the planning documents  | -0.39   | 1.51  | -1.16   | 0.39   |
| Synthetic assessment indicator   | 5.25  | 1.70  | -2.36   | -4.59  |

The strategy documents and the ones presenting the local policy should include tools to stimulate action and control of investment risks. The point risk assessment allows to organize the risks in accordance with their weighting or criteria. On the basis of such assessment, one can develop the hierarchy of the activities taken in order to reduce investment risk. The methods to respond to the risk are as follows: risk acceptance (monitoring of activities), risk minimizing (necessary preventive activities focused firstly on the consequences of the high level, or the likelihood of occurring of risk), risk avoiding, risk transfer or diversification (eliminated at its source or reduced) (Jajuga, 2007). The risk analysis is a systematic approach, taking into account the full possible assessment of risk factors, applied in a transparent, comprehensive manner and taking into account the existing uncertainties or lack of knowledge (Aven, 2015; Jajuga, 2007).

## REFERENCES

1. Aven T., Risk analysis. John Wiley & Sons, 2015.
2. Bazan-Krzywoszańska A., Łączak A., Mrówczyńska M., Skiba M., Economic conditions for the development of energy efficient civil engineering using RES in the policy of cohesion of the European Union (2014–2020). Case study: The town of Zielona Gora, Energy and Buildings 118, 2016 p. 170–180.
3. Chmielewski A., Gumiński R., Pennington J., Radkowski, Szulim P., Aspects of balanced development of RES and distributed micro-cogeneration use In Poland: A case study of  $\mu$ CHP with stiring engine. Renewable and Sustainable Energy Reviews 60, 2016 pp. 930-952.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylecia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE.
7. Energetyczny Audyt Miejski (EAM) dla miasta Zielona Góra, Zadanie badawcze nr 1: Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie. Umowa Nr SP/B/1/91454/10, NCBiR 2010, Zielona Góra 2011.
8. Fabbri K., Building and fuel poverty, an index to measure fuel poverty: An Italian case study, Energy 89, 2015 p. 244-258 (2015).
9. Jajuga K. Teoretyczne podstawy zarządzania ryzykiem, w: K. Jajuga (red.), Zarządzanie Ryzykiem, Wyd. PWN, Warszawa 2007.
10. Rudnicki R., Unikanie, kontrolowanie i transfer ryzyka, [http://www.rudnicki.com.pl/pub/RM\\_06.pdf](http://www.rudnicki.com.pl/pub/RM_06.pdf)
11. Santamouris M., Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change, Solar Energy 128, 2016, p. 61-94.
12. Scarpa F. Tagliafico, L. Exploitation of air Ajman(Dubai) latent heat by means of solar assisted heat pumps operating below the dew point, Applied Thermal Engineering 100, 2016 p. 820-828.
13. Skoczowski T., Bielecki S., Baran Ł., Odnawialne źródła energii – problemy i perspektywy rozwoju w Polsce. Przegląd Elektrotechniczny. March 2016 DOI: 10.15199/48.2016.03.44.
14. Stefanović A., Bojić M., Grodić D., Achieving net zero energy cost house from old thermally non-insulated house using photovoltaic panels, Energy and Buildings 76, 2014 p. 57-63.

15. Szwabowski J., Deszcz J. Metody wielokryterialnej analizy porównawczej. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
16. Teodorescu D, Vartires A., A study of the influence of solar panels coupled with thermal systems for a residential building, by applying methods of evaluation as EN 15316-4-3:2014 and TRANSOL, Energy Procedia 85, 2016 p. 530-538.
17. Tummala A., Velamoti R., Sinha D., Indrāja V., Krishna V. A review on small scale wind turbines, Renewable and Sustainable Energy Reviews 56, 2016 p. 1351 -1371.
18. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej (Dz. U. z 2016 poz. 831).
19. Ustawa z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (Dz. U. z 2013 r. poz. 594 z późn. zm.)
20. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz. U. z 2012 r. poz. 1059 z późn. zm.)





# STYMULOWANIE EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ BUDYNKÓW ORAZ ZARZĄDZANIE RYZYKIEM INWESTOWANIA W OZE W POLITYCE ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU MIAST, NA PRZYKŁADZIE ZIELONEJ GÓRY

Anna Bazan-Krzywoszańska<sup>1</sup>, Andrzej Łączak<sup>2</sup>,  
Maria Mrówczyńska<sup>3</sup>, Marta Skiba<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, 65-417 Zielona Góra, ul. Licealna 9, A.Bazan@aiu.uz.zgora.pl

<sup>2</sup> Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Sulechowie, Instytut Administracji i Turystyki, 66-100 Sulechów, Armii Krajowej 51, ied@wp.pl

<sup>3</sup> Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, 65-417 Zielona Góra, ul. Licealna 9, M.Mrowczynska@ib.uz.zgora.pl

<sup>4</sup> Uniwersytet Zielonogórski, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, 65-417 Zielona Góra, ul. Licealna 9, M.Skiba@aiu.uz.zgora.pl

## ABSTRAKT

Udział miast w globalnym zużyciu energii stale się zwiększa i nic nie wskazuje, że tendencja ta ulegnie zmianie. Wzrost populacji, rosnący popyt na usługi budowlane i stałe podnoszenie poziomu komfortu, przy zwiększaniu czasu spędzanego w budynkach, powoduje trend wzrostowy zapotrzebowania na energię. Obniżenie ilości energii potrzebnej do zapewnienia i utrzymania komfortu termicznego stanowi cel wspólny dla wszystkich rozwiniętych społeczeństw, napędzany zarówno przez rosnące koszty energii, jak i względy środowiskowe, takie jak zmniejszenie emisji dwutlenku węgla. Obniżenie poziomu konsumpcji ciepła i energii nie może być jednak oparte wyłącznie na izolacji lub kontroli wentylacji w budynkach. Zgodnie z wymogami UE, potrzebny jest również wzrost ilości konsumowanej energii ze źródeł naturalnych i odnawialnych. W artykule przedstawiono propozycję stymulowania efektywności energetycznej budynków i wykorzystania OZE w polityce lokalnej na podstawie wykonanej oceny ryzyka inwestycji.

Słowa kluczowe: efektywność energetyczna w budownictwie, zrównoważony rozwój miast, ryzyko inwestycyjne, analiza wielokryterialna.

## ABSTRACT

Cities participation in the global energy consumption permanently increasing and there is no indication that the trend will change in the nearest futures. Population growth, rising demand for construction services and continuously improve the living standard, with the increase of time spending in buildings, ensure upward trend in energy demand. The common goal of all developed societies is the reducing the amount of energy required to ensure the thermal comfort. It is overarching because of the rising energy cost, such as reducing the carbon emissions. Isolation and control of the ventilation in buildings cannot be the sole source of reduction the level of consumption of heat and energy. According to EU requirements, we also need to increase the amount of consumed energy from natural and renewable sources. This article presents a proposal for stimulating the energy efficiency of buildings with using of RES in local politics on the basis of assessment of investment risk.

Keywords: energy efficiency in buildings, sustainable urban development, investment risk, multi-criteria analysis.

## WSTĘP

Ograniczenie zużycia energii cieplnej, elektrycznej i gazowej oraz wzrost wydajności urzędzeń w budynkach jest dziś głównym celem polityki energetycznej na poziomie regionalnym, krajowym i międzynarodowym. Cel ten znajduje także swoje odzwierciedlenie w polityce lokalnej, określającej ramy działań inwestycyjnych. W budownictwie i architekturze rośnie popularność inteligentnych sposobów projektowania i konstruowania bardziej energooszczędnych budynków, jak również zwiększenia komfortu (Fabri, 2015; Santamouris, 2016). W literaturze znane są liczne studia przypadków, które opisują i analizują pojedyncze projekty zwiększania efektywności energetycznej w zależności od warunków środowiskowych, charakterystyki budynku i zastosowanych technologii wspomagających zmniejszanie zużycia energii, kosztów energii i emisji CO<sub>2</sub> w budynkach, również poprzez wykorzystanie aktywnych technologii, takich jak panele fotowoltaiczne (Corcelli et al., 2016, Stefanović et al., 2014), kolektory słoneczne (Teodorescu D., Varties A., 2016), turbiny wiatrowe (Tummała i in., 2016), czy też systemy pomp ciepła (Scarpa, Tagliafico, 2016). Duże korzyści ekonomiczne uzyskiwano przez stosowanie jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej, ogrzewania i chłodzenia w układzie kogeneracji (Chmielewski i in., 2016).

Ekonomiczne przewidywanie oszczędności energii w budownictwie bez możliwości pozyskania środków finansowych z Unii Europejskiej, także w nowej perspektywie 2014-2020, jest bardzo trudne (Bazan-Krzywoszańska et al., 2016). Konieczne wydają się interwencje publiczne w postaci kolorowych certyfikatów, dofinansowań, zwolnień z podatku, promocji i dobrych praktyk zachęcających do efektywniejszego wykorzystywania energii w gospodarstwach domowych. Głównym podmiotem odpowiedzialnym za monitorowanie procesów ograniczenia zapotrzebowania na energię są samorządy miejskie i gminne.

Jedną z możliwych dróg rozwoju budownictwa energooszczędnego jest zróżnicowanie polityki miejskiej oraz uruchomienie programów wspierania budownictwa energoosz-

czędnego. Drugą, jest propagowanie dobrych praktyk i przykładów, na przykład poprzez presję budownictwa niskoenergetycznego w budynkach gminnych i będących siedzibą władz lokalnych. Trzecią, jest wykorzystanie odnawialnych źródeł energii jako środka poprawiającego bezpieczeństwo i bilans energetyczny, a czwartą optymalizacja wydawania środków finansowych na te cele w mieście (Bazan-Krzywoszańska i in., 2016).

Celem artykułu jest ocena ryzyka powstającego przy planowaniu inwestycji związanych z podnoszeniem efektywności energetycznej i wykorzystaniem energii z OZE. Ryzyko inwestycyjne nie zależy tylko od opłacalności ekonomicznej, zależy także od wiedzy, kompetencji inwestorów i wykonawców i istniejącej infrastruktury technicznej.

W dzisiejszej, szybko zmieniającej się rzeczywistości, podejmowanie decyzji wiąże się ze zwiększeniem ryzyka. Brak czasu, ale i zmienność danych powoduje, że trudno jest nadażać z kalkulacją potencjalnego zysku i ewentualnych strat. Sprawność i trafność podejmowanych decyzji wiąże się bezpośrednio z podjęciem ryzyka, często większego, niż pierwotnie zakładano. Szczególnie ważne jest podejmowanie trafionych decyzji ustalających założenia polityki lokalnej, wspierającej działania mające na celu zarządzanie i podnoszenie efektywności energetycznej w budownictwie, zwiększenie produkowanej z OZE energii, przy uwzględnieniu kierunków przyjętej w UE polityki.

## **I ROZDZIAŁ. TEORIA EUROPEJSKA POLITYKA ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU**

Polska, podobnie jak kraje, które dołączyły do Unii Europejskiej w XXI wieku, stoi przed koniecznością dostosowywania polityki rozwoju do wymagań dotyczących zmniejszania produkcji gazów cieplarnianych, głównie przez zmniejszenie eksploatacyjnego zapotrzebowania na ciepło, energię elektryczną, paliwa gazowe (Dyrektywa 2009/29/WE, 2010/31/UE, 2012/27/UE). Zgodnie z art. 9 ust. 3 lit. b dyrektywy 2010/31/UE, opracowano Krajowy plan działań dotyczących efektywności energetycznej dla Polski 2014, który zawiera między innymi pośrednie cele służące poprawie charakterystyki energetycznej nowych budynków na rok 2015, z myślą o przygotowaniu realizacji założeń, aby do dnia 31 grudnia 2020 r. wszystkie nowe budynki były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii; natomiast po dniu 31 grudnia 2018 r. nowe budynki, zajmowane przez władze publiczne oraz będące ich własnością były budynkami o niemal zerowym zużyciu energii.

Na podstawie art. 4 dyrektywy 2012/27/UE w Ministerstwie Infrastruktury i Rozwoju został opracowany dokument: Wspieranie Inwestycji w Modernizację Budynków. Stanowi on załącznik do Krajowego planu działań dotyczącego efektywności energetycznej dla Polski 2014, który opracowano w związku z obowiązkiem przekazywania Komisji Europejskiej sprawozdań z wdrażania dyrektywy 2012/27/UE, a także na podstawie obowiązku nałożonego na ministra do spraw energii w art. 4 ust. 1 - ustawy z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej (Dz. U. z 2016 poz. 831). Dokument ten zawiera m.in. opis planowanych środków dla poprawy efektywności energetycznej, określających działania mające na celu poprawę efektywności energetycznej w poszczególnych sektorach gospodarki, niezbędnych do realizacji krajowego celu, w zakresie oszczędnego gospodarowania

energiją na 2016 r., a także przegląd oszczędności energii finalnej przewidzianej do osiągnięcia w 2020 r.

Wydaje się jednak, że kluczowym źródłem sukcesu będą gminy i miasta realizujące politykę na najniższym szczeblu i wytworzenie narzędzi wsparcia małych i mikroinstalacji jako bodźca do rozwoju OZE. Przepisy dotyczące efektywności energetycznej budynków są skonstruowane w ten sposób, że spełnienie wymagań, mających obowiązywać od 1 stycznia 2021 r. zapewniających osiągnięcie wymaganej wartości wskaźnika zapotrzebowania na energię pierwotną EP za pomocą rozwiązań konwencjonalnych (w tym zastosowanie przegród o lepszej izolacyjności termicznej i odzysku ciepła oraz poprawę efektywności systemu c.o. i c.w.u.) jest związane ze znaczącymi nakładami inwestycyjnymi i ograniczeniami właściwości (funkcjonalności) użytkowej budynku, do której jesteśmy przyzwyczajeni. Jest to celowy zabieg, który ma zachęcić inwestorów do wykorzystania w budynkach alternatywnych źródeł energii, w tym źródeł odnawialnych, pomp ciepła oraz skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła. Skuteczność tego zabiegu będzie zależała, przede wszystkim, od kosztów zastosowanych rozwiązań, a to niesie za sobą pewne ryzyko, które w prezentowanej pracy starano się zidentyfikować, analizując jego czynniki na przykładzie miasta Zielona Góra. Należy podkreślić, że wyznaczony na podstawie analizy wielokryterialnej poziom ryzyka może stanowić podstawę do podjęcia decyzji, mających na celu stymulowanie efektywności energetycznej i wzrost wykorzystania OZE w budynkach.

## **STYMULACJA DZIAŁAŃ INWESTYCYJNYCH I WYBRANE RODZAJE RYZYKA**

Realizacja działań zwiększających efektywność energetyczną i zwiększających wykorzystanie energii z OZE (tzw. zielonych projektów) wymaga nie tylko zaangażowania środków finansowych, ale także zmiany mentalności społecznej poprzez transfer wiedzy w zakresie wykorzystywania ekoinnowacyjnych technologii i kształtowania postaw proekologicznych. Promocja wykorzystania technologii niskoemisyjnych oraz produkcji i dystrybucji OZE może odbywać się poprzez wdrażanie projektów inwestycyjnych zmierzających do podniesienia efektywności energetycznej np.: obiektów użyteczności publicznej będących własnością lub znajdujących się w trwałym zarządzie samorządu lub poprzez opracowanie analiz opłacalności wykorzystania odnawialnych źródeł energii, wdrażanie niskoemisyjnych i energooszczędnych technologii, a także przez produkcję i dystrybucję energii odnawialnej.

Obniżenie ilości energii potrzebnej do zapewnienia i utrzymania komfortu termicznego stanowi cel wspólny dla wszystkich rozwiniętych społeczeństw. Cel ten napędzany jest zarówno przez rosnące koszty energii, jak i poprzez stymulowanie obniżania emisji gazów cieplarnianych ze względów środowiskowych i zdrowotnych. Obecny wzrost poziomu konsumpcji ciepła i energii nie może następować wyłącznie w oparciu o energię ze źródeł kopalnych, potrzebna jest także energia ze źródeł odnawialnych (Saffari i in., 2015).

Analiza ryzyka jest podejściem systematycznym, uwzględniającym możliwie pełną

ocenę czynników wpływających na ryzyko, stosowanym w sposób przejrzysty, kompleksowy i uwzględniającym istniejące niepewności lub brak wiedzy (Aven, 2015; Jajuga, 2007). Jeżeli przyjrzymy się inwestycjom związanym z wykorzystaniem OZE, możemy wyodrębnić następujące grupy ryzyka: ryzyko techniczne, ryzyko ekonomiczne, ryzyko społeczne i ryzyko polityczno - prawne.

Ryzyko techniczne. OZE nie mają uniwersalnej technologii. Stosowane technologie są unikatowe i specyficzne w zależności od tego czy jest to energia wiatrowa, wodna, solarna czy też energia pozyskiwana z biomasy. Inwestycje w OZE nie są prowadzone w Polsce na wielką skalę. W związku z tym pozyskanie technologii jest stosunkowo drogie. Ponadto pojawiają się problemy z przyłączeniem do sieci przesyłowych wynikające z tego, że operatorzy nie mają wystarczających mocy przesyłowych dla nowych źródeł. Problemy techniczne powoduje także niestabilny poziom mocy dostarczanej energii, co może negatywnie wpływać na jakość odbieranej energii, powodując wahania napięcia. Sieci dystrybucyjne i przesyłowe w Polsce nie są dostosowane do przyłączenia dużej wartości mocy. Ryzyko techniczne wykorzystania OZE wiąże się ze specyfiką rodzaju energii odnawialnej, lokalizacją, istniejącą infrastrukturą, eksploatacją oraz dostosowaniem do istniejących rozwiązań technologicznych.

Ryzyko ekonomiczne. Ryzyko ekonomiczne wiąże się z finansowaniem i opłacalnością projektów. Inwestycje w OZE charakteryzują się długim okresem zwrotu oraz wysokimi kosztami inwestycyjnymi. Rentowność projektów OZE jest bardzo niska. Duży wpływ na to ma niestabilność cen energii elektrycznej. Inwestorzy często nie dysponują wystarczającymi środkami, co powoduje konieczność poszukiwania zewnętrznych źródeł finansowania inwestycji - kredyty, fundusze UE. Pomimo to środków tych jest zbyt mało. Istnieje zatem ryzyko, że inwestor, który chce rozwijać OZE nie pozyska w Polsce wsparcia kapitałowego.

Ryzyko społeczne. Rządy państw zgodnie deklarują poparcie dla inwestycji w OZE i systematycznie promują konieczność pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych. Jednakże praktyka pokazuje, że lokalne społeczności często protestują przeciwko tego typu inwestycjom, kierując się różnymi obawami, uzasadnionymi i nieuzasadnionymi. Faktycznie często doprowadzają do wstrzymania inwestycji.

Ryzyko polityczne i prawne. Jest ono najczęściej wskazywane, jako największa bariera dla inwestycji skierowanych na produkcję energii ze źródeł odnawialnych. Władze publiczne powinny wypracować stabilne, przejrzyste i efektywne regulacje prawne, dotyczące wsparcia przedsiębiorstw podejmujących produkcję energii odnawialnej. Ryzyko powstaje wówczas, gdy wprowadzone podstawy prawne mogą okazać się nieadekwatne do stanu rozwoju rynku i sektora energetyki odnawialnej oraz kiedy nie podejmuje się żadnych działań legislacyjnych i nie wprowadza się odpowiednich ustaw. Dodatkowym problemem jest fakt, że brak jest klarownego zarysu kierunku przyszłych legislacji. Niestabilność polityczna i prawdopodobna zmiana opcji politycznych w instytucjach UE jeszcze bardziej potęguje niepewność kierunków i formy wsparcia inwestycji w OZE.

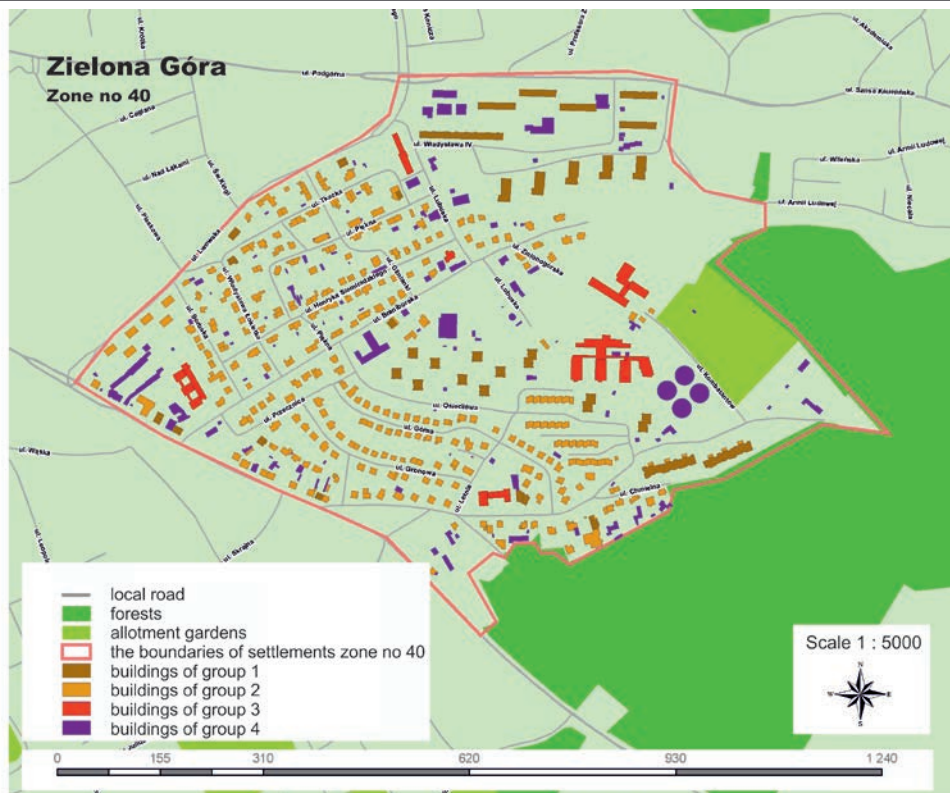
Podstawowym błędem przy planowaniu inwestycji w OZE jest skupianie się głównie na planowaniu rozwiązań technicznych, oraz ocena ryzyka głównie finansowego. Bardzo często w sposób pobieżny rozważeniu podlega analiza ryzyka poza finansowego oraz analiza interesariuszy (niezbędna w celu dobrej analizy ryzyka polityczno-prawnego). OZE jest specyficzną dziedziną inwestycyjną, w której aspekty ekonomiczne stanowią jedynie jeden z czynników, który powinien być brany pod uwagę. Przy analizowaniu projektów OZE bardzo ważne jest dokonanie rzetelnej identyfikacji ryzyka realizacji projektu.

## **II ROZDZIAŁ. STUDIUM PRZYPADKU METODYKA BADAŃ**

W badaniu ryzyko techniczne zostało zidentyfikowane wieloaspektowo. Po pierwsze jako wiek obiektu, który związany jest z trwałością konstrukcji i jego poszczególnych elementów. Czas powstania wpływa na ryzyko inwestycyjne. Im starszy budynek tym większe ryzyko, że koszt przeprowadzenia potencjalnych remontów dla badanych budynków w celu otrzymania pełnej sprawności technicznej i funkcjonalnej wzrośnie. Po drugie, budynki sklasyfikowano przyjmując podział na zrealizowane w technologii tradycyjnej i uprzemysłowionej lub częściowo-uprzemysłowionej. Technologia uprzemysłowiona umożliwia zmniejszenie ryzyka inwestycyjnego, poprzez działania standaryzowane w skali regionu i kraju. Budynki wznoszone w technologii tradycyjnej charakteryzują się zindywidualizowaną formą, co zwiększa ryzyko optymalnego doboru działań podnoszących efektywność energetyczną. Cena energii w dużej mierze zależy od zastosowanego źródła uzyskiwania ciepła niezbędnego do ogrzewania budynku i przygotowywania ciepłej wody. W Zielonej Górze przeważająca część budynków wielorodzinnych i usługowych jest zasilanych w energię przez elektrociepłownię miejską, która produkuje ciepło skojarzone, charakteryzujące się niską ceną rynkową. Dla budynków jednorodzinnych dominującym źródłem zasilania w ciepło jest gaz. Jako ryzyko techniczne potraktowano wymagania techniczne doprowadzenia do zgodności z wymaganiami UE w zakresie efektywności energetycznej. Wszystkie nowe inwestycje obarczone będą niewielkim prawdopodobieństwem, że w toku realizacji nie zostaną uwzględnione wszystkie regulacje krajowe i UE. Realizacja inwestycji publicznych niesie niewielkie ryzyko nieprzestrzegania obowiązujących regulacji. Przeciwnie dzieje się natomiast w przypadku budynków jednorodzinnych, gdzie ryzyko nieprzestrzegania przepisów jest stosunkowo duże. Obecnie jest niewiele skutecznych metod kontroli indywidualnych inwestycji.

Metodologia przyjęta do badań miała na celu ocenę ryzyka osiągnięcia założonego celu, którym jest poprawa efektywności energetycznej zabudowy miejskiej oraz ocenę możliwości większego wykorzystania energii odnawialnej pozyskiwanej dzięki stosowaniu nowych technologii.





Rys. Mapa przedstawia wybrany do badań teren – fragment Zielonej Góry

Zidentyfikowane ryzyko ekonomiczne związane jest przede wszystkim z ceną energii. Ceny energii są stosunkowo stabilne. Analitycy nie przewidują wzrostu cen. Dywersyfikacja dostaw i źródeł może dawać nadzieję na obniżenie, a przynajmniej na stałość cen. Także możliwość wykorzystania funduszy UE wpływa na politykę lokalną. Poprawa efektywności energetycznej budynków wielorodzinnych jest priorytetem UE. Znajduje to odzwierciedlenie we wsparciu tego typu inwestycji z funduszy unijnych. Problemem jest jednak to, że środków w porównaniu do potrzeb jest stanowczo zbyt mało. W związku z tym ryzyko nieotrzymania środków jest dość duże. Polityka unijna w zasadzie nie przewiduje wsparcia budownictwa jednorodzinnego w zakresie efektywności energetycznej. W związku z tym ryzyko niezyskania wsparcia jest bardzo duże. Poprawa efektywności energetycznej budynków użyteczności publicznej nadal jest wspierana w ramach polityki UE. Jednakże większy nacisk jest kładziony na budownictwo mieszkaniowe wielorodzinne. Ryzyko nieotrzymania środków finansowych należy określić jako średnie. Z kolei wsparcie efektywności energetycznej przedsiębiorstw jest jednym z najważniejszych priorytetów UE. Przedsiębiorcy mają wiele możliwości pozyskania wsparcia unijnego. Dlatego też ryzyko niepozyskania środków jest niewielkie.



Ryzyko polityczne i prawne związane jest z polityką państwa w zakresie inwestycji podnoszących efektywność energetyczną. Uzależnione jest od tworzenia planów i programów wspierających poprawę efektywności budynków i stabilnych działań. Częste zmiany polityczne powodują, że istnieje bardzo duże ryzyko destabilizacji działań w zakresie kierunków wsparcia oraz promocji. Najmniej podatne na zmiany polityczne są działania związane z budynkami jednorodzinnymi i produkcyjnymi, gdzie inwestorzy dążąc do obniżenia kosztów użytkowania są zdeterminowani i podejmują działania poprawiające efektywność energetyczną w oparciu o przesłanki ekonomiczne, właściwie niezależnie od prowadzonej przez państwo i władze lokalne polityki. Inaczej jest z inwestycjami podnoszącymi efektywność energetyczną budynków użyteczności publicznej. Współfinansowanie tego typu obiektów jest uzależnione od prowadzonej polityki, a częste zmiany polityczne powodują, że istnieje duże ryzyko.

Ryzyko inwestycji w zakresie efektywności energetycznej budynków oraz zwiększenie wykorzystania OZE na przykładzie miasta Zielona Góra zostało przedstawione w tabeli nr 1, gdzie przedstawiono cztery grupy: techniczne, ekonomiczne, społeczne oraz prawne czynników, wpływających na ryzyko inwestycji poprawiających efektywność energetyczną budynków w zabudowie miejskiej w Zielonej Górze. Na tym obszarze zidentyfikowano budynki odpowiadające czterem grupom budynków referencyjnych, dla których zostały szczegółowo przedstawione badania zużycia energii końcowej na podstawie rzeczywistych kosztów (EAM, 2011). Podział zabudowy, przedstawia się następująco:

- grupa 1 - obszar zabudowany, w przeważającej większości, budynkami wielorodzinnymi spółdzielczymi i komunalnymi, o niskim i średnim standardzie, w technologii uprzemysłowionej lub tradycyjnej, zasilanymi ciepłem z elektrociepłowni miejskiej;
- grupa 2 - obszar zabudowany, w przeważającej większości, budynkami jednorodzinnymi, wolnostojącymi, własnościowymi, w technologii tradycyjnej, gdzie nośnikiem energii potrzebnej do ogrzania i wytworzenia ciepłej wody użytkowej jest gaz i paliwa stałe;
- grupa 3 - obszar zabudowany, w przeważającej większości, budynkami użyteczności publicznej, zasilane ciepłem skojarzonym lub gazem będące własnością gminy Zielona Góra;
- grupa 4 - obszar zabudowany, w przeważającej większości, budynkami charakterze przemysłowym, będącymi własnością prywatną i komunalną, w technologii częściowo-uprzemysłowionej i tradycyjnej, zasilane gazem i paliwem stałym.

Tabela 1. Wybrane czynniki mające wpływ na ryzyko inwestycji poprawiających efektywność energetyczną i wspierających wykorzystanie energii OZE w poszczególnych grupach budynków referencyjnych zlokalizowanych na terenie Zielonej Góry.

| Wybrane czynniki oceny ryzyka inwestycji |  | Ryzyko związane z wprowadzeniem inwestycji mających wpływ na poprawę efektywności energetycznej budynków i wykorzystujących energię z OZE |         |         |        |   |
|--|--|---|---------|---------|--------|---|
|  |  | bardzo wysokie  | wysokie | średnie | niskie |   |
| TECHNICZNE                               | Czas powstania (przed 1945, 1946-1959, 1960 - 1979, 1980-1999, 2000-2016) i uwarunkowania lokalizacji      | 1   | +       |         |        |   |
|  |  | 2   |         | +       |        |   |
|  |  | 3   |         | +       |        |   |
|  |  | 4   |         |         | +      |   |
|  | Technologia (tradycyjna, prefabrykowana, częściowo-prefabrykowana) i uwarunkowania fizjograficzne budynków | 1   | +       |         |        |   |
|  |  | 2   |         | +       |        |   |
|  |  | 3   |         |         |        | + |
|  |  | 4   |         |         | +      |   |
|  | Źródło ciepła (ciepło skojarzone, gaz, paliwa stałe)   | 1   | +       |         |        |   |
|  |  | 2   |         |         | +      |   |
|  |  | 3   |         | +       |        |   |
|  |  | 4   |         |         | +      |   |
|  | Wymagania techniczne doprowadzenia do zgodności z wymaganiami UE w zakresie efektywności energetycznej     | 1   | +       |         |        |   |
|  |  | 2   |         | +       |        |   |
|  |  | 3   | +       |         |        |   |
|  |  | 4   |         |         |        | + |
| EKONOMICZNE                              | Różnice cen energii (ze źródeł kopalnych i z OZE)  | 1   | +       |         |        |   |
|  |  | 2   |         | +       |        |   |
|  |  | 3   |         |         | +      |   |
|  |  | 4   |         |         | +      |   |
|  | Możliwość zwiększenia wykorzystania energii z OZE  | 1   |         | +       |        |   |
|  |  | 2   |         |         | +      |   |
|  |  | 3   |         | +       |        |   |
|  |  | 4   | +       |         |        |   |

| Wybrane czynniki oceny ryzyka inwestycji |   | Ryzyko związane z wprowadzeniem inwestycji mających wpływ na poprawę efektywności energetycznej budynków i wykorzystujących energię z OZE |         |         |        |  |
|--|---|---|---------|---------|--------|--|
|  |   | bardzo wysokie  | wysokie | średnie | niskie |  |
| SPOŁECZNE                                | Funkcja obiektu (mieszkania wielorodzinna, mieszkanie jednorodzinne, usługowa, przemysłowa) i uwarunkowania dla urządzeń wykorzystujących OZE | 1   | +       |         |        |  |
|  |   | 2   | +       |         |        |  |
|  |   | 3   |         |         | +      |  |
|  |   | 4   |         |         | +      |  |
|  | Stan własności (prywatna, spółdzielcza, komunalna)  | 1   |         |         | +      |  |
|  |   | 2   | +       |         |        |  |
|  |   | 3   |         |         | +      |  |
|  |   | 4   |         | +       |        |  |
| POLITYCZNE I PRAWNE                      | Zapisy dokumentów planistycznych i objęte programem wspierającym wzrost efektywności energetycznej i wykorzystania energii z OZE              | 1   |         |         | +      |  |
|  |   | 2   | +       |         |        |  |
|  |   | 3   |         |         | +      |  |
|  |   | 4   |         | +       |        |  |

Dla oceny ryzyka w badaniu zastosowano analizę wielokryterialną, polegającą na wspomaganie procesu decyzyjnego w przypadku dysponowania wieloma kryteriami, której głównym celem jest osiągnięcie na podstawie posiadanych informacji jednego rezultatu (Hejmanowska, Hent, 2009). Warto podkreślić, że przyjęte do oceny ryzyka inwestycyjnego kryteria powinny być reprezentatywne dla danego przedsięwzięcia, odpowiednio szczegółowe oraz powinny mieć określone relacje pomiędzy przyjętymi do analizy kryteriami. W celu określenia ryzyka inwestycji mających na celu podniesienie efektywności energetycznej zabudowy miejskiej, wykorzystano metody matematyczne, stanowiące grupę algorytmów wchodzących w skład metod wielokryterialnej analizy porównawczej. Metody matematyczne bazują na jasnych i znanych formułach oraz należą do najczęściej wykorzystywanych metod wspomagających podejmowanie decyzji. W procesie analizy wielokryterialnej można wykorzystać zarówno cechy mierzalne, jak i niemierzalne, które podlegają procesowi kwantyfikacji, i ostatecznie wyrażone są wielkościami liczbowymi. W metodach matematycznych istotnym elementem jest kodowanie miar przyjętych do analizy, mające na celu zastąpienie mianowanej wartości miary cząstkowej wartością niemianowaną (liczbową) z określonego przedziału (Szwabowski, Deszcz, 2001). W pracy kodowanie kryteriów przeprowadzono przez standaryzację według następujących wzorów:

- gdy kryterium jest stymulantą:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (1)$$

- gdy kryterium jest destymulantą:

$$Z_{ij} = (-1) \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j} \quad (2)$$

gdzie:  $x_{ij}$  - pierwotna miara wariantu  $i$ -tego według kryterium  $j$ -tego,  $z_{ij}$  - kodowana miara wariantu,  $\bar{x}_j$  - średnia miar analizowanych wariantów według  $j$ -tego kryterium,  $s_j$  - odchylenie standardowe. Zestandardyzowane wartości kryteriów zostały zestawione w tabeli 2. W kolejnym kroku dokonano oceny ryzyka inwestycji poprzez obliczenie syntetycznego wskaźnika (tabela 2) za pomocą wzoru:

$$J_i = \sum_{j=1}^m Z_{ij} \quad (3)$$

Po dokonaniu oceny ryzyka na podstawie wskaźników syntetycznych możliwe jest podjęcie określonych działań (reakcji), mających na celu zmniejszenie wpływu ryzyka na podejmowane decyzje inwestycyjne z zakresu zwiększania efektywności energetycznej i OZE. Reakcje dotyczące ryzyka mogą być następujące (Rudnicki, 2016): unikanie ryzyka, kontrolowanie ryzyka, transfer ryzyka oraz retencja ryzyka. Warto podkreślić, że głównym podejściem decydentów jest indywidualnie nastawienie na bezpieczeństwo (unikanie ryzyka) lub nastawienie na wykorzystywanie okazji (kontrolowanie ryzyka). Dodatkowo opracowanie instrumentów transferu ryzyka powinno być poprzedzone analizą cech ryzyka, którego transfer dotyczy. Taka analiza i manipulacja ryzykiem pozwoli na dobre dopasowanie instrumentu do celu jaki ma pełnić. Celem projektowania omawianych instrumentów jest skuteczna realizacja transferu ryzyka i tym samym stymulacja wzrostu efektywności energetycznej i wykorzystania energii z OZE.

## WNIOSKI Z BADAŃ

Prezentowane badania miały na celu ocenę ryzyka osiągnięcia założonego celu, jakim jest poprawa efektywności energetycznej zabudowy miejskiej oraz zwiększenia wykorzystania OZE na przykładzie Zielonej Góry a także zdefiniowanie możliwych reakcji na ryzyko. Badania przeprowadzone były w następujących etapach:

- wskazanie budynków referencyjnych,
- definiowanie środków poprawy efektywności energetycznej, jakie należy zastosować w odniesieniu do budynków referencyjnych,
- analiza działań zmniejszających zapotrzebowanie na energię końcową, na podstawie kosztorysów termomodernizacji i audytów energetycznych budynków referencyjnych,

- oszacowanie kosztów wzrostu efektywności energetycznej o 1kWh/m<sup>2</sup>rok, w odniesieniu do budynków,
- zdefiniowanie zbioru kryteriów (technicznych, ekonomicznych, społecznych i prawnych), wpływających na ryzyko inwestycji mających na celu poprawę efektywności energetycznej,
- ocena ryzyka z zastosowaniem metod analizy wielokryterialnej.

Kryteria, które wzięto pod uwagę zostały ocenione pod względem możliwości wystąpienia ryzyka, osobno dla każdej z czterech grup budynków. Na podstawie opinii niezależnych ekspertów oraz dostępnej dokumentacji przyjęto następujące oceny ryzyka:

- bardzo wysokie – bardzo wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka inwestycji i dotkliwe jego skutki,
- wysokie – wysokie prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka inwestycji i dotkliwe jego skutki,
- średnie - niewielkie prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka inwestycji, a jego skutki są mniej dotkliwe,
- niskie – oznacza możliwe do przyjęcia ryzyko inwestycji.

W celu zastosowania metod matematycznych, na potrzeby niniejszej pracy oceny ryzyka w postaci lingwistycznej (bardzo wysokie, wysokie, średnie i niskie), zostały zastąpione wartościami numerycznymi, określającymi prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka i ewentualne jego skutki. Następnie dokonano kodowania kryteriów według wzorów (1) i (2) oraz ostatecznie wyznaczono ocenę syntetyczną poszczególnych rozwiązań według (3).

Przyjęte założenia pozwoliły na dokonanie oceny ryzyka inwestycyjnego w zależności od analizowanych czynników dla poszczególnych grup budynków zlokalizowanych w omawianym kwartale. Najkorzystniejsze rozwiązanie, dotyczące podjętych działań mających na celu poprawę efektywności energetycznej (najmniejsze ryzyko inwestycji) dotyczy kategorii budynków, dla których wartość oceny syntetycznej jest największa, największe ryzyko istnieje dla kategorii budynków, dla której wartość oceny syntetycznej jest najmniejsza (wybór tego rodzaju inwestycji jest najmniej korzystny biorąc pod uwagę rozpatrywane kryteria). Jak widać z danych zawartych w tabeli 4, najkorzystniejszym rozwiązaniem, charakteryzującym się najmniejszym ryzykiem inwestycji mających na celu zwiększenie efektywności energetycznej, jest poprawa efektywności budynków zdefiniowanych w kategorii 2 (zabudowa mieszkaniowa jednorodzinna), zaś największe ryzyko występuje dla budynków kategorii 4 (zabudowa przemysłowa).

Tabela 2. Zestandaryzowane wartości kryteriów dla budynków referencyjnych miasta Zielona Góra

| Kryterium  | dobór budynków referencyjnych                                 |   |   |  |
|--|---|---|---|--|
|  | budynki wielorodzinne, wykonane w technologii prefabrykowanej | budynki jednorodzinne, wykonane w technologii tradycyjnej | budynki o funkcji usługowej, wykonane w technologii tradycyjnej | budynki o funkcji przemysłowej, wykonane w technologii prefabrykowanej |
| czas powstania   | 1,22  | 0,00  | 0,00  | -1,22  |
| technologia wykonania  | 1,20  | 0,24  | -0,24   | -1,20  |
| dominujące źródło zasilania w ciepło (media)   | 1,12  | -0,84   | 0,56  | -0,84  |
| wymagania techniczne doprowadzenia do zgodności z wymaganiami UE w zakresie efektywności energetycznej | 0,71  | 0,00  | 0,71  | -1,41  |
| różnice cen energii (ze źródeł kopalnych i z OZE)  | 1,02  | 0,70  | -0,86   | -0,86  |
| możliwość zwiększenia wykorzystania energii z OZE  | 0,35  | -1,47   | 0,36  | 0,76   |
| funkcja obiektu  | 0,87  | 0,87  | -0,87   | -0,87  |
| stan własności   | -0,85   | 1,04  | -0,86   | 0,66   |
| zapisy dokumentów planistycznych   | -0,39   | 1,51  | -1,16   | 0,39   |
| Wskaźnik oceny syntetycznej  | 5,25  | 1,70  | -2,36   | -4,59  |

Dokumenty strategiczne i przedstawiające politykę lokalną powinny zawierać narzędzia stymulujące działania i kontrolujące ryzyko inwestycyjne. Punktowa ocena ryzyka umożliwia uporządkowanie rodzajów ryzyka według ich wagi lub kryteriów. Na jej podstawie można dokonać hierarchizacji działań podejmowanych w celu zmniejszenia ryzyka inwestycji. Można wyróżnić następujące sposoby reagowania na ryzyko: akceptacja ryzyka (monitorowanie działań), minimalizacja ryzyka (konieczne działania zapobiegawcze nakierowane w pierwszej kolejności na następstwa o wysokim poziomie, bądź prawdopodobieństwa zmaterializowania się ryzyka), unikanie ryzyka, transfer lub dywersyfikacja ryzyka (wyeliminowane u źródła lub zredukowane) (Jajuga, 2007). Analiza ryzyka jest podejściem systematycznym, uwzględniającym możliwie pełną ocenę czynników

wpływających na ryzyko, stosowanym w sposób przejrzysty i kompleksowy i uwzględniającym istniejące niepewności lub brak wiedzy (Aven, 2015; Jajuga, 2007).

## DYSKUSJA

Poprawa efektywności i bilansu energetycznego oraz udziału energii wytwarzanej z OZE może zostać uwieńczona powodzeniem, gdy do współpracy włączą się gminy i miasta. W oparciu o Prawo energetyczne w zakresie obowiązku wykonania planów energetycznych w gminach, krajowy plan mający na celu zwiększenie liczby budynków o niskim zużyciu energii oraz o ustawę o samorządzie gminnym, jak i ustawę o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym wprowadza się instrumenty polityki energetycznej gmin i miast. Oszczędność energii stanowi podstawę do ubiegania się o uzyskanie świadectwa pochodzenia, a handel kolorowymi certyfikatami stanowi dodatkowe bodźce dla rozwoju OZE i podstawę dla kreowania mechanizmów wsparcia dla małych instalacji i mikroinstalacji. Rozwój infrastruktury energetycznej na szczeblu lokalnym, zwiększa sprawność produkcji energii, łatwość ich eksploatacji oraz stopniowy rozwój energetyki (Skoczowski i in., 2016).

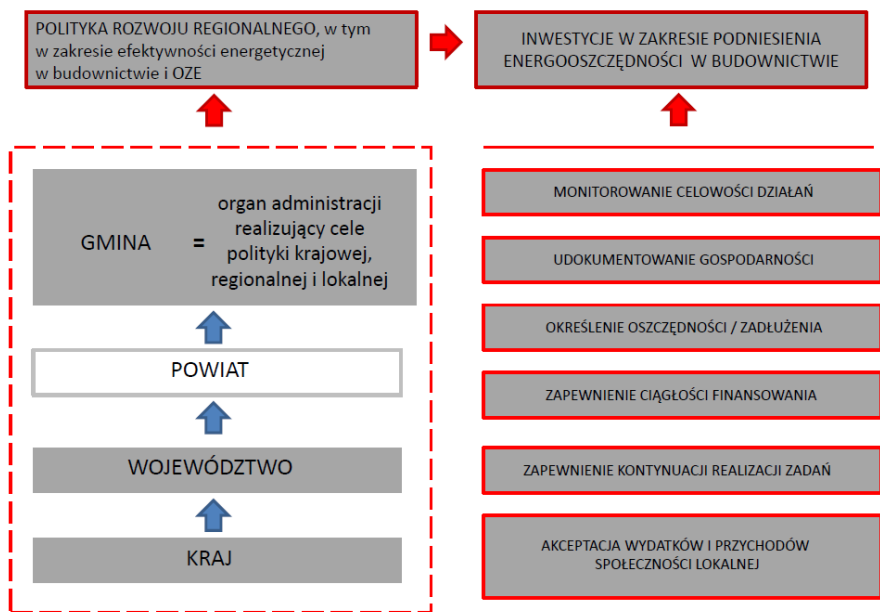
Polityka gminna dotycząca oszczędności energetycznej może stanowić element napędzający rozwój gospodarczy regionów. Zagrożeniem może być natomiast, brak przystosowania sieci energetycznych do współpracy z urządzeniami OZE (elektrownie wiatrowe, biogazownie, energetyka wodna i energetyka słoneczna). Rozwiązaniem mogłaby być wirtualna elektrownia - lokalna energetyka gminna rozproszona oparta na OZE i mikro-sieci (przykładem takiej sieci może być Projekt Kombikraftwerk Kassel z tzw. inteligentną siecią Smart Grid, sterującą podażą energii elektrycznej pochodzącej z 36 różnych źródeł) lub, jak wykazała analiza kanadyjskich gminnych planów energetycznych, polityka i programy energetyki rozproszonej realizowane przez społeczności lokalne (Denis & Parker, 2009). Teoretycznie zarządzanie na poziomie lokalnym jest pożądane, ponieważ realizuje określone cele poprzez poprawę w trzech obszarach efektywności energetycznej, oszczędzania energii i przejścia na odnawialne źródła energii.

## PODSUMOWANIE

W miejskiej polityce planowania przestrzennego w Zielonej Górze brakuje dokumentów strategicznych, wskazujących główne kierunki rozwoju oraz działania, mające na celu podnoszenie wymagań efektywności energetycznej zabudowy i monitorujących osiągnięcie założonych celów. Działania te należy, niezależnie od wymagań warunków technicznych, wynikających z obowiązujących przepisów prawa budowlanego, rozszerzać o zakres wykorzystania OZE i możliwości kreowania mechanizmów wsparcia dla małych instalacji i mikroinstalacji, które bezpośrednio wpływają na rozwój infrastruktury energetycznej na szczeblu lokalnym. Wydaje się, że działania te, głównie ze względów ekonomicznych, należą do grupy wymagającej bezwzględnego wsparcia władz, w każdym możliwym zakresie, w tym wypadku na szczeblu lokalnym, z wykorzystaniem dostępnych funduszy celowych. Zaś minimalizacja strat (kontrola ryzyka inwestycyjnego), jak i ich ewentualnych



następstw, na poziomie jednostek samorządu terytorialnego, opierać się powinna na działaniach prewencyjnych oraz wsparciu działań, mających na celu redukcję kosztów po zaistnieniu ewentualnego zdarzenia, którego nie można było przewidzieć na etapie planowania inwestycji. Zarządzenie ryzykiem inwestycyjnym powinno być monitorowane.



Rys.2. Model działań, mających na celu podniesienia efektywności energetycznej w budownictwie, realizowany na poziomie administracji lokalnej

Dokumenty strategiczne (poziomu lokalnego: Strategia rozwoju miasta Zielona Góra, Założenia do planu zaopatrzenia miasta Zielona Góra w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe - zgodnie z art. 7 ust. 1 pkt 3 Ustawy z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (Dz. U. z 2013 r. poz. 594 z późn. zm. oraz art. 18 ustawy z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz. U. z 2012 r. poz. 1059 z późn. zm.) oraz Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego) - określające długofalowe cele, wymagają sformułowania działań stymulujących oraz kontroli ryzyka inwestycyjnego w celu podniesienia efektywności energetycznej i zwiększenia wykorzystania energii z OZE. Podobnie jak dokumenty poziomu regionalnego: Strategia Energetyczna Województwa Lubuskiego oraz Plan Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Lubuskiego. Mogą to być działania umożliwiające wykorzystanie funduszy celowych jak i działania kontrolujące ryzyko inwestycyjne oraz je transferujące np.: długoterminowe umowy dzierżawy z klauzulą stałych opłat przenoszące ryzyko inflacji z dzierżawcy na właściciela nieruchomości lub odwrotnie, także dzielenie skutków finansowych np.: na uczestników konsorcjum produkującego lub zwiększającego wykorzystanie energii z OZE oraz oddziaływanie prewencyjne jak ubezpieczenie ryzyka.

## LITERATURA

1. Aven T., Risk analysis. John Wiley & Sons, 2015.
2. Bazan-Krzywoszańska A., Łączak A., Mrówczyńska M., Skiba M., Economic conditions for the development of energy efficient civil engineering using RES in the policy of cohesion of the European Union (2014–2020). Case study: The town of Zielona Gora, Energy and Buildings 118, 2016 p. 170–180.
3. Chmielewski A., Gumiński R., Pennington J., Radkowski, Szulim P., Aspects of balanced development of RES and distributed micro-cogeneration use In Poland: A case study of  $\mu$ CHP with stiring engine. Renewable and Sustainable Energy Reviews 60, 2016 pp. 930-952.
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków.
6. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z dnia 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE.
7. Energetyczny Audyt Miejski (EAM) dla miasta Zielona Góra, Zadanie badawcze nr 1: Analiza możliwości i skutków socjoekonomicznych wzrostu efektywności energetycznej w budownictwie. Umowa Nr SP/B/1/91454/10, NCBiR 2010, Zielona Góra 2011.
8. Fabbri K., Building and fuel poverty, an index to measure fuel poverty: An Italian case study, Energy 89, 2015 p. 244-258 (2015).
9. Jajuga K. Teoretyczne podstawy zarządzania ryzykiem, w: K. Jajuga (red.), Zarządzanie Ryzykiem, Wyd. PWN, Warszawa 2007.
10. Rudnicki R., Unikanie, kontrolowanie i transfer ryzyka, [http://www.rudnicki.com.pl/pub/RM\\_06.pdf](http://www.rudnicki.com.pl/pub/RM_06.pdf)
11. Santamouris M., Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change, Solar Energy 128, 2016, p. 61-94.
12. Scarpa F. Tagliafico, L. Exploitation of air Ajman(Dubai) latent heat by means of solar assisted heat pumps operating below the dew point, Applied Thermal Engineering 100, 2016 p. 820-828.
13. Skoczowski T., Bielecki S., Baran Ł., Odnawialne źródła energii – problemy i perspektywy rozwoju w Polsce. Przegląd Elektrotechniczny. March 2016 DOI: 10.15199/48.2016.03.44.
14. Stefanović A., Bojić M., Grodić D., Achieving net zero energy cost house from old thermally non-insulated house using photovoltaic panels, Energy and Buildings 76, 2014 p. 57-63.

15. Szwabowski J., Deszcz J. Metody wielokryterialnej analizy porównawczej. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
16. Teodorescu D, Vartires A., A study of the influence of solar panels coupled with thermal systems for a residential building, by applying methods of evaluation as EN 15316-4-3:2014 and TRANSOL, Energy Procedia 85, 2016 p. 530-538.
17. Tummala A., Velamoti R., Sinha D., Indraja V., Krishna V. A review on small scale wind turbines, Renewable and Sustainable Energy Reviews 56, 2016 p. 1351 -1371.
18. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o efektywności energetycznej (Dz. U. z 2016 poz. 831).
19. Ustawa z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (Dz. U. z 2013 r. poz. 594 z późn. zm.)
20. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (Dz. U. z 2012 r. poz. 1059 z późn. zm.)



# ANALYSIS OF URBAN AREAS SOLAR POTENTIAL ON THE EXAMPLE OF BYDGOSZCZ

Adam Bujarkiewicz<sup>1</sup>, Jacek Sztubecki<sup>2</sup>, Małgorzata Sztubecka<sup>3</sup>

<sup>1</sup> UTP University of Science and Technology Bydgoszcz, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Al.Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, adamb@utp.edu.pl

<sup>2</sup> UTP University of Science and Technology Bydgoszcz, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Al.Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, jaceks@utp.edu.pl

<sup>3</sup> UTP University of Science and Technology Bydgoszcz, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Al.Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, sztubecka@utp.edu.pl

## ABSTRACT

Climate change is a reality and the priority for countries in the world is CO<sub>2</sub> emission reduction. The European Union provides for a reduction in 40% CO<sub>2</sub> emissions by the year 2030. Poland in 2020 should produce 15% of electricity and heat gained from Renewable Energy Sources. For these reasons it is really important to solve problems of the energy-efficient buildings location, it is necessary to access to complete and current information about land development and harshness of the terrain, the arrangement of natural objects, environmental data and cadastral data. Therefore Geographic Information Systems (GIS) could be a useful tool to identify efficient energy urban areas. So GIS tool is an important element in this kind of process and it could relate: determination of the optimum elevation, analysis of insolation, visibility and overshadow analysis, variants visualization of environmental investment location. The purpose of this article is to show the possibility of using digital elevation model and insolation map. This connection could create some map of the solar energy potential, when it would be possible to plan the location of devices and to use solar energy in buildings in urban areas in Bydgoszcz.

Keywords: renewable energy sources, solar energy, GIS, map of solar energy potential.

## INTRODUCTION

The natural energy has been used by a man for a long time; however, the rapid development of civilization and technology caused the decrease in the involvement of energy from the renewable energy sources. The energy-saving and zero-energy construction becomes a new trend, which produces more renewable energy than it consumes within

a year. A growing number of the population in the cities of forces the use of a technology that does not cause a destructive impact on the environment (De Boeck, L., et al., 2016; Kopietz-Unger J, 2011). The Polish potential in the use of the renewable energy sources consists of: the balance of solar energy, wind power, water power, geothermal sources (hot water, hot rocks) and biomass energy (biogas, biofuels) (Redweik P., Catita, Brito M, 2013). In the Polish conditions, different technologies based on the RES can be used on the roofs of the buildings (Fig. 1).

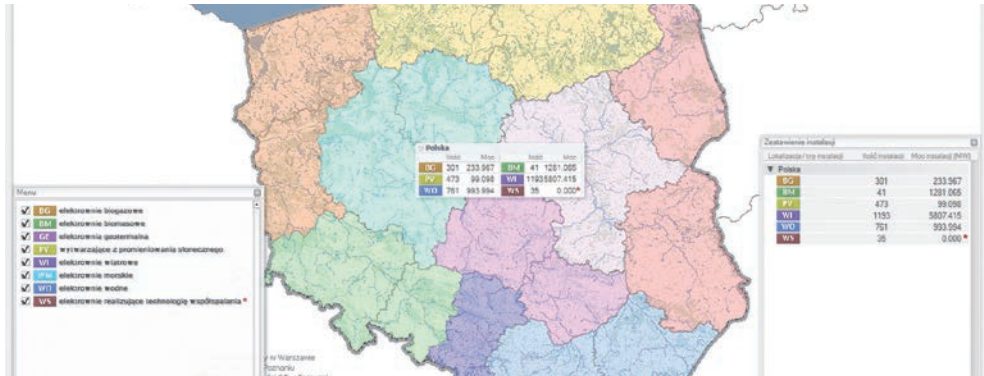


Fig. 1. Renewable energy sources in Poland (<http://www.ure.gov.pl/>)

Legal conditions are regulated by the Act on the renewable energy sources of 20 February 2015 (the Journal of Laws of 2015, item 478, 2365). Its purpose is to guarantee a sustainable economic development while enhancing the energy security and the environment.

Due to the geographical location, the conditions of sun exposure in Poland are regarded as beneficial. The overwhelming majority of the country is covered with sunlight over 1000 kWh/m<sup>2</sup> over a year (Fig. 2).

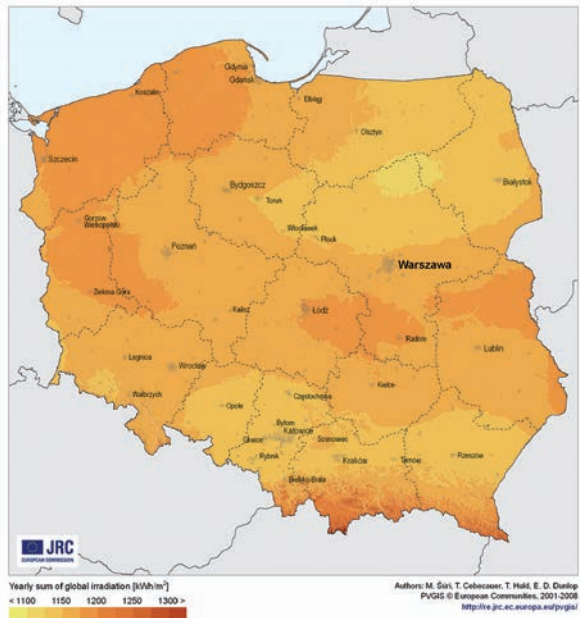


Fig. 2. The sunlight map for Poland ([http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13yoqt\\_en.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13yoqt_en.png))

These are primarily the coastal regions - up to 1137 kWh/m<sup>2</sup> and the south regions (1053 kWh/m<sup>2</sup>). Central Poland has a sunlight value of 1022 kWh/m<sup>2</sup>.

The simplest solar geoportals use the low-resolution climate data. The PVGIS portal is an example of such a geoportal used for Europe and Africa, and since September 2014 also for Asia. The user of this service must not only provide the approximate location of the building he/she is interested in, but also the roof and the type of the photovoltaic cells. As a result, he/she gets approximate information about the amount of energy that can be obtained in the roof area, unfortunately in units that are readable only by professionals ([www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis](http://www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis)).

## **APPLICATION OF GIS IN THE DEVELOPMENT OF SOLAR MAPS**

The space around us is characterized by great diversity and variability over time. The Geographic Information Systems (GIS) is a tool that can be used to effectively plan space (Longley P.A., et al., 2006; Chow A., Fung A.S., Songnian Li, 2014).

One of a number of possible of the use of the GIS involves the spatial analyses to determine the value of solar potential of areas or objects (Mrówczyńska M., Wawer M., 2015). Currently, the most accurate and detailed data on the terrain and its cover are obtained in a mass way by means of the aerial scanning systems and the high resolution photogrammetric and remote sensing studies.

The Light Detection and Ranging, LiDAR, is one of the optical remote sensing methods for the terrain data acquisition. The aviation laser scanning allows to record a cloud of points with known terrain coordinates (X, Y, Z).

In Poland, the LiDAR data have been developed within the National Information System for the Protection of the Country against extraordinary threats (Wężyk P. ed., 2015). They were developed in accordance with LAS 1.2 standard published in 2008 by the ASPRS (the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing).

The dynamic growth of the amount of public geospatial data is based, inter alia, on the provisions of Directive 2007/2/EC of the European Parliament of 14 March 2007 establishing the spacial information infrastructure in the European Community, abbreviated as the INSPIRE Directive. The act of 04.03.2010 on spatial information infrastructure (the Journal of Laws of 2010, No. 76 item 489), abbreviated as IIP Act, is its implementation into Polish law. These documents are the basis for the integration and harmonization of existing and emerging spatial information resources and define the method and extent to share them.

The databases and cartographic products containing the most spatial data useful for the analysis of the solar potential of the areas include:

- the database of topographic objects (BDOT10k) and the database of general geographic objects (BDOO) - available for free, to be downloaded or via the internet spatial data service in a raster form of Web Map Service (WMS) and published on the internet portal ([geoportal.gov.pl](http://geoportal.gov.pl)),
- the orthophotomaps with pixel resolution of 0.1-0.5 m,



- the numerical altitude data: numerical terrain models and numerical terrain covering models. The numerical data models developed in a number of standards or the measurement data in the ASCII or LiDAR files can be obtained in Surveying and Cartographic Documentation Centre for a fee,
- the state records of borders and area of territorial units,
- the registration data for lands, buildings and premises, kept by the District Geodetic and Cartographic Documentation Centres,
- the climate database for Poland, developed by the Institute of Meteorology and Water Management and published by the Ministry of Infrastructure and Construction.

## **ANALYSIS OF SOLAR POTENTIAL FOR THE FRAGMENT OF BYDGOSZCZ**

In the urban areas, due to a limited access to free undeveloped terrains, roofs or façades of the buildings are the only areas for solar photovoltaic systems (Redweik P., Catita C., Brito M., 2013). Therefore, the solar potential maps are developed for roof surfaces the most often. They are often referred to as a solar catastrophe. In cities, however, there are significant differences in the intensity of the development, the buildings have roofs of different designs and shapes.

In the analysis of the solar potential for the fragment of Bydgoszcz, three areas were compared, characterized by a different structure of development and location within the city. These are:

- a fragment of a single-family houses settlement, located on the periphery of the city,
- a fragment of multi-family houses settlement, and
- a fragment of the city centre with historically shaped downtown buildings (compact buildings).

The LiDAR measurement data recorded in the LAS format files corresponding to 1:1250 scale sheets and covering areas of 0.5 x 0.5 km were used for the analysis. Clouds of land coverage points for selected areas were characterized by an average density of 12 pts/m<sup>2</sup> and a mean height error of 0.1 m (Fig. 3).

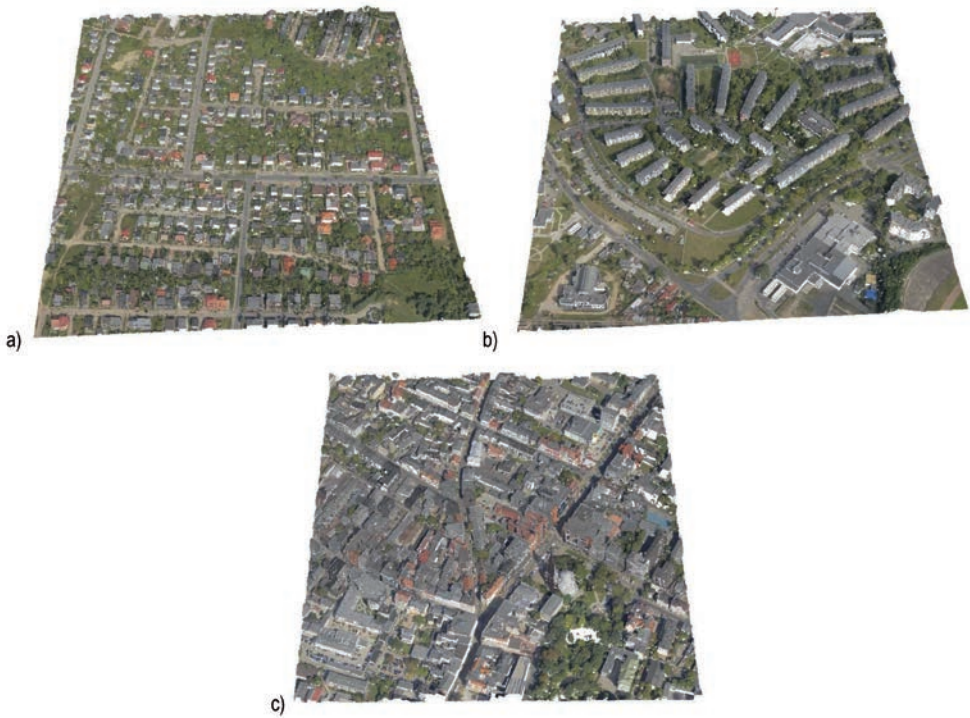


Fig. 3. The LiDAR measurement data presented as a point cloud in real RGB colours for a fragment of a single-family houses settlement (a), multi-family houses settlement (b) and the city centre (c) in Bydgoszcz

The calculations of the solar energy potential were carried out using ESRI's ArcGIS tools, using the methodology described in a number of publications (Mrówczyńska M., Wawer M., 2015, Redweik P., Catita C., Brito M., 2013). Fig. 4 shows the numerical terrain coverage models for the analysed areas, generated from the LAS cloud points.

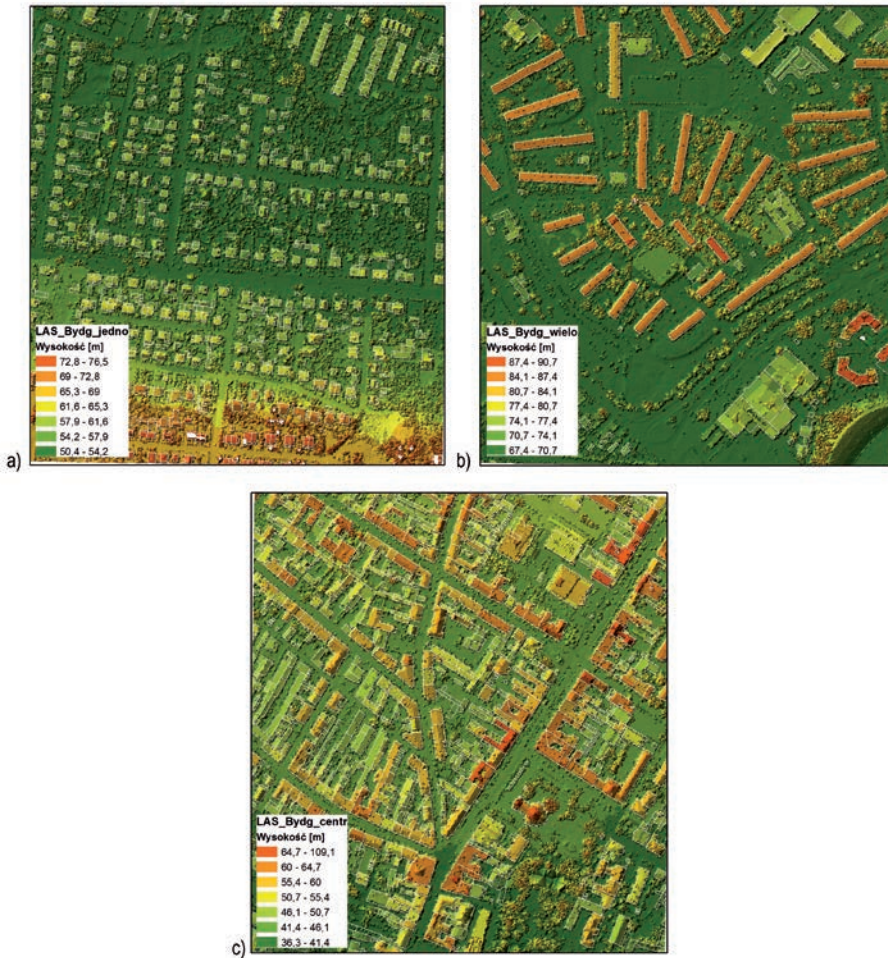


Fig. 4. The numerical model of terrain cover and the buildings contours for a fragment of single-family houses settlement (a), multi-family houses settlement (b) and the city centre (c) in Bydgoszcz

During the sunshine calculations, the geographic latitude of the tested area was taken into account, the uniform values of radiation scattering from all directions of the sky, the average atmospheric diffusion index of 0.3 and the transmittance index of 0.5 were assumed. For each area, year-round calculations with a monthly interval were carried out. The calculation result for each of the tested areas was recorded in a form of four rasters (Fig. 5):

- direct radiation time [h],
- scattered radiation [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ],
- direct radiation [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ],
- global radiation [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ].



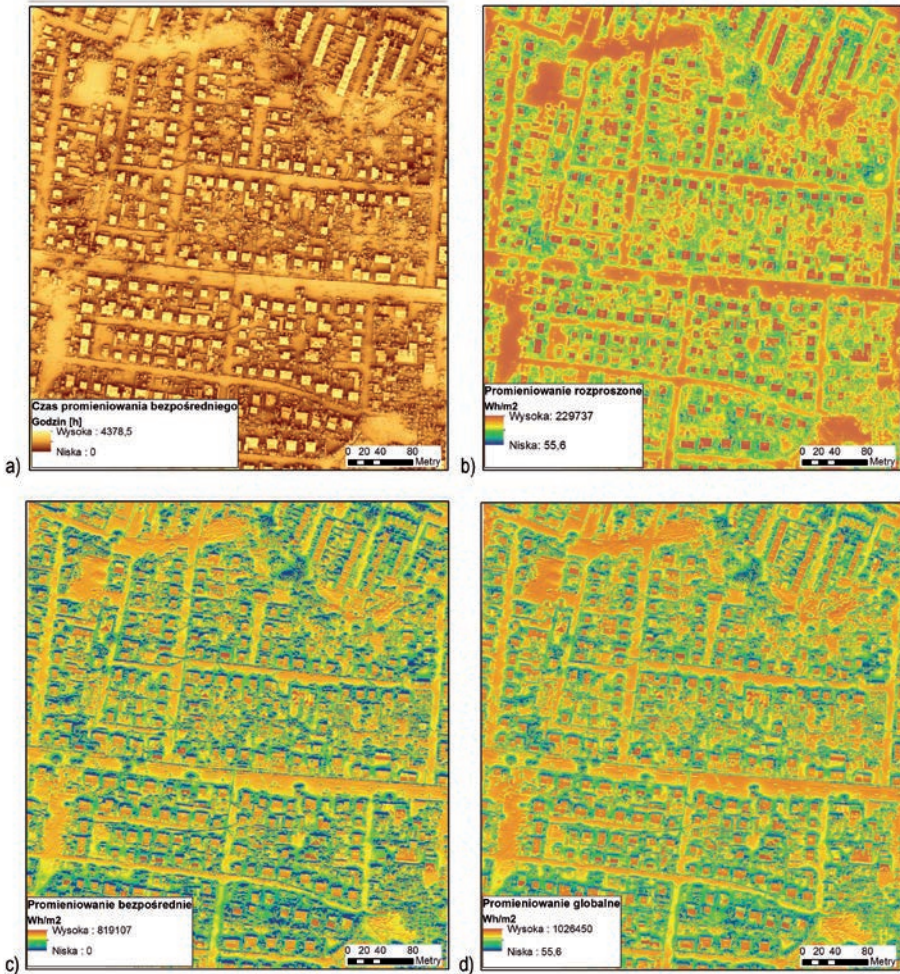


Fig. 5. The result of the solar calculations in the area of single-family houses settlement in Bydgoszcz: a) direct radiation time [h], b) scattered radiation [Wh/m<sup>2</sup>], c) direct radiation [Wh/m<sup>2</sup>], d) global radiation [Wh/m<sup>2</sup>].

The global radiation is taken into account for determining the solar potential, the sum of direct and diffused radiation. The presentation of the solar potential of the developed area is ultimately reduced to the definition of the global radiation on the roofs of buildings. For this reason, the fragment of rays of sunlight on the outlines of the buildings should be separated. The result of such spatial analysis is presented in Figure 6.



Fig. 6. The global radiation values for the roofs of the buildings on fragments of the analysed areas: a) single-family houses settlement, b) multi-family houses settlement, c) city centre.

Due to the fact that the images presented above can be unreadable to the ordinary recipient of the information - the owner of the property, the solar potential of the roofs is most often presented as the average value for the whole roof surface in a form of the average global radiation (Fig. 7).



Fig. 7. The solar potential of the roofs of the buildings in Wh/m<sup>2</sup> in Bydgoszcz: a) in single-family houses settlement; b) in multi-family houses settlement; c) in the city centre

In the urban areas, there are the areas of varied intensity and nature of the development. By assuming that the solar panels are fixed anywhere parallel to the roof, one can compare the amount of solar energy generated in the districts with varying intensity of the development. The comparative calculations were carried out for three equal areas corresponding to the range of the LiDAR measurement data sheets in 1:1250 scale: the first is a single-family house, the second is in the area of multi-family houses settlement consisting of 4- and 5-stories, and the third in the city centre with compact townhouses. Table 1 summarizes the radiation values of the roof surfaces in these areas.



Table 1. Summary of the results of the calculations of the solar potential for the analysed areas

|   | Single-family houses | Multi-family houses | Downtown buildings |
|---|----------------------|---------------------|--------------------|
| Total radiation for all roof surfaces [kWh]   | 32 101 602           | 34 145 692          | 81 289 925         |
| Total roof surfaces [m <sup>2</sup> ]         | 44 356               | 43 878              | 123 014            |
| Average solar radiation [kWh/m <sup>2</sup> ] | 689                  | 725                 | 569                |

As a result of the analysis, it was determined that the sum of the roof areas for single and multi-family buildings is similar (the difference is no more than 1%), i.e. the building density is similar. The difference between the average annual solar radiation calculated for the roofs of the buildings in these areas is 30 kWh/m<sup>2</sup>.

The total amount of radiation falling on all roofs in a multi-family and single-family settlements differs by 6 percent in favour of multi-family houses. It can be stated that considering similar densities of the buildings in both areas, more favourable conditions for obtaining solar energy are present in multi-family houses. This is mainly due to the difference in height of the building and the shape of the roofs. On the other hand, for an area located in the city centre, with predominantly compact townhouses, the total roof area is three times larger than the rest, and the total radiation value for all roof surfaces is approx. 2.3 times higher. The average solar radiation for one roof is considerably lower than in single-family and multi-family houses. The interesting summary results were achieved only with such roofs the potential of which is higher than 800 kWh/m<sup>2</sup> (table 2).

Table 2. Summary of the calculation results on the analysed areas for the roofs with the average solar potential above 800 kWh/m<sup>2</sup>

|   | Single-family houses | Multi-family houses | Downtown buildings |
|---|----------------------|---------------------|--------------------|
| Total radiation for all roof surfaces [kWh]   | 6 334 269            | 14 376 943          | 7 942 064          |
| Total roof surfaces [m <sup>2</sup> ]         | 7 732                | 17 487              | 9 679              |
| Average solar radiation [kWh/m <sup>2</sup> ] | 824                  | 825                 | 822                |

If we compare only the roofs with a sufficiently high average solar potential above 800 kWh/m<sup>2</sup> (table 2), this urban development is less favourable for the generation of energy from the photovoltaic cells than multi-family houses. However, it is more advantageous than single-family houses. This is mainly due to the difference in intensity of the development in these areas. The average solar radiation for the roofs with high solar potential is approximately 822 to 825 kWh/m<sup>2</sup> during a year.



## CONCLUSION

The tests on the assessment of the solar potential in the annual cycle for selected fragments of Bydgoszcz showed the usefulness of the GIS in such studies. The analysis showed that the acquisition of solar energy in the urban space is very strongly dependent on the nature and intensity of the development. The areas of multi-family houses with high buildings and relatively low density of the buildings are the most advantageous in this respect. High intensity areas have very large roof areas where the photovoltaic cells can be installed, but their average solar potential is lower than in less developed buildings. Noteworthy here is also the shape of the roofs characteristic of the historical buildings in the city centre.

**Acknowledgments:** This research is supported by the project: "The implementation of the second stage of the Regional Center of Innovation" co-financed by the European Regional Development Fund under the Regional Operational Program Kujawsko-Pomorskie 2007-2013.

## REFERENCES

1. Brito, M.C., Gomes, N., Santos, T., Tenedorio, J.A., Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data. *Solar Energy* 86, 2012, p. 283–288.
2. Choi, Y., Rayl, J., Tammineedi, C., Brownson, J. R. S., PV Analyst: Coupling ArcGIS with TRNSYS to assess distributed photovoltaic potential in urban areas. *Solar Energy*, 85, 2011, p. 2924–2939
3. Chow A., Fung A. S., Songnian Li, GIS Modeling of Solar Neighborhood Potential at a Fine Spatiotemporal Resolution, *Buildings* 2014, 4, p. 195-206.
4. De Boeck, L., Van Asch, S., De Bruecker, P., & Audenaert, A., Comparison of support policies for residential photovoltaic systems in the major EU markets through investment profitability, *Renewable Energy*, 87, 2016, p. 42–53.
5. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)
6. Freitas S., Catita C., Redweik P., Brito M.C., Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, 2015, p. 915–931.
7. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
8. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13yoft\\_pl.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13yoft_pl.png)
9. <http://www.ure.gov.pl/>
10. Kopietz-Unger J., Rozwój miast i regionów w kierunku budownictwa zeroenergetycznego, 2011, <http://izrlir.com/wp-content/uploads/2011/10/dr-hab.-inz.-Janina-Kopietz-Unger-Strategia-zarządzania-energia-w-miastach-i-gminach-Energetyczny-Audyt-Miejski-EAM.pdf>

11. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W., GIS. Teoria i praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2006, Warszawa.
12. Mrówczyńska M., Wawer M., Attempt to prepare a solar cadastre for the town of Zielona Góra, *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, t. XXXII, z. 62 (4/15), 2015, p. 321-333.
13. Redweik P., Catita C., Brito M., Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape, *Solar Energy* 97, 2013, p. 332–341.
14. Praca zbiorowa pod red. Wężyk P.: ISOK. Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystaniem produktów LIDAR, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 2015, Warszawa.
15. Ustawa z dnia 4.03.2010 o infrastrukturze informacji przestrzennej (Dz.U. 2010 nr 76 poz. 489)
16. Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 roku (Dz. U. z 2015 r. poz. 478, 2365)

# ANALIZA POTENCJAŁU SOLARNEGO OBSZARÓW ZURBANIZOWANYCH NA PRZYKŁADZIE MIASTA BYDGOSZCZY

Adam Bujarkiewicz<sup>1</sup>, Jacek Sztubecki<sup>2</sup>, Małgorzata Sztubecka<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al.Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, adamb@utp.edu.pl

<sup>2</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al.Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, jaceksz@utp.edu.pl

<sup>3</sup> Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Al.Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, sztubecka@utp.edu.pl

## ABSTRAKT

Priorytetem dla państw na świecie jest redukcja emisji CO<sub>2</sub>. Unia Europejska przewiduje redukcję emisji CO<sub>2</sub> do 2050 roku o 80–90% co wiąże się również ze zmianą konwencjonalnych źródeł energii na te, które wykorzystują źródła odnawialne. Polska w 2020 r. powinna produkować już 15% energii elektrycznej i ciepła pozyskanych z Odnawialnych Źródeł Energii. Rozwiązując problemy lokalizacyjne dla budownictwa energooszczędnego, niezbędny jest dostęp do pełnej i aktualnej informacji o zagospodarowaniu i ukształtowaniu terenu, rozmieszczeniu obiektów przyrodniczych, danych środowiskowych oraz danych ewidencyjnych. Narzędziem umożliwiającym szybki dostęp do zbiorów informacji o terenie są systemy informacji geograficznej. Celem artykułu jest analiza możliwości zastosowania numerycznego modelu terenu oraz map potencjału solarnego przy planowaniu lokalizacji urządzeń wykorzystujących energię słoneczną w budownictwie jedno i wielorodzinnym na przykładzie miasta Bydgoszcz. Narzędzia GIS stanowią tu istotny element w procesie związanym z wyznaczaniem optymalnej wysokości zabudowy, analizą nasłonecznienia, analizą widoczności i przesłaniania obiektów, wizualizacją wariantów środowiskowych lokalizacji inwestycji.

Słowa kluczowe: odnawialne źródła energii, energia słoneczna, GIS, mapa potencjału solarnego.

## ABSTRACT

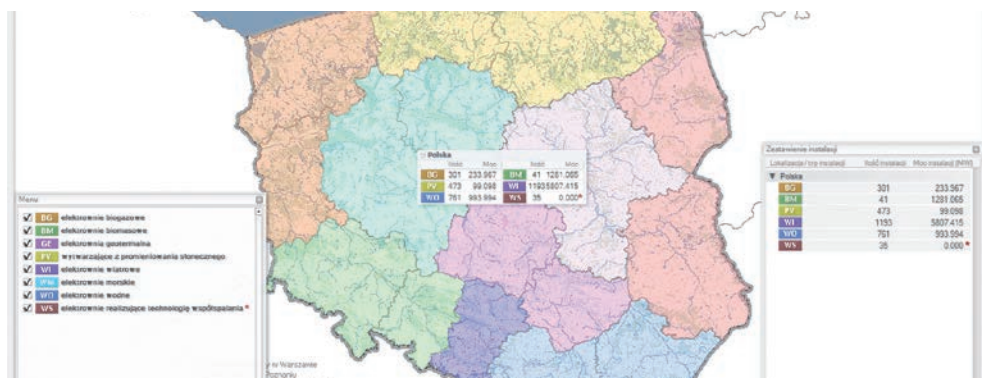
Climate change is a reality and the priority for countries in the world is CO<sub>2</sub> emission reduction. the European Union provides for a reduction in 40% CO<sub>2</sub> emissions by same 2030. Poland in 2020 should produce 15% of electricity and heat gained from Renewable

Energy Sources. For this reasons it is really important to solve problems of the energy-efficient buildings location, it is necessary to access to complete and current information about land development and harshness of the terrain, the arrangement of natural objects, environmental data and cadastral data. Therefore Geographic Information Systems (GIS) could be a useful tool to identify efficient energy urban areas. So GIS tool is an important element in this kind of process and it could relate: determination of the optimum elevation, analysis of insolation, visibility and overshadow analysis, variants visualization of environmental investment location. The purpose of this article is to show the possibility of using digital elevation model and insolation map. This connection could create some map of the solar energy potential, when it would be possible to plan the location of devices and to use solar energy in buildings in urban areas in Bydgoszcz.

Keywords: renewable energy sources, solar energy, GIS, map of solar energy potential

## WPROWADZENIE

Od dawna człowiek wykorzystywał energię naturalną, jednak szybki rozwój cywilizacyjny i technologiczny spowodował zmniejszenie się udziału energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Potrzeba ochrony środowiska naturalnego i kończące się zapasy paliw konwencjonalnych stały się bodźcem do wprowadzania nowoczesnych technologii wykorzystujących naturalne zasoby energetyczne Ziemi i Słońca oraz grawitacyjnego oddziaływania planet. Znaczna część energii jest zużywana w miastach, dlatego też stosowanie urządzeń wykorzystujących energię odnawialną staje się coraz powszechniejsze. Również ma na to wpływ poprawa rozwiązań technologicznych, powodując zmniejszenie kosztów, co sprawia, że zastosowanie takich instalacji spotyka się z coraz większym zainteresowaniem społeczeństwa. Nowym trendem staje się budownictwo energooszczędne i zeroenergetyczne, które w ciągu roku, wytwarza więcej energii z odnawialnych źródeł niż zużywa. Rosnąca liczba ludności w miastach wymusza zastosowanie technologii, która nie powoduje destrukcyjnego wpływu na środowisko (De Boeck, L., i in., 2016; Kopietz-Unger J., 2011). Na potencjał Polski w wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii składa się: bilans energii słonecznej, energii wiatrowej, energii wodnej, ze źródeł geotermicznych (gorąca woda, gorące skały) oraz energii biomasy (biogaz, biopaliwa). W warunkach polskich, na dachach budynków można rozważyć wykorzystanie następujących technologii opartych na OZE: ogniów fotowoltaicznych (PV) do produkcji energii elektrycznej, kolektorów słonecznych do podgrzewania ciepłej wody użytkowej i ogrzewania (ST) oraz siłowni wiatrowej do produkcji energii elektrycznej (Rys. 1).

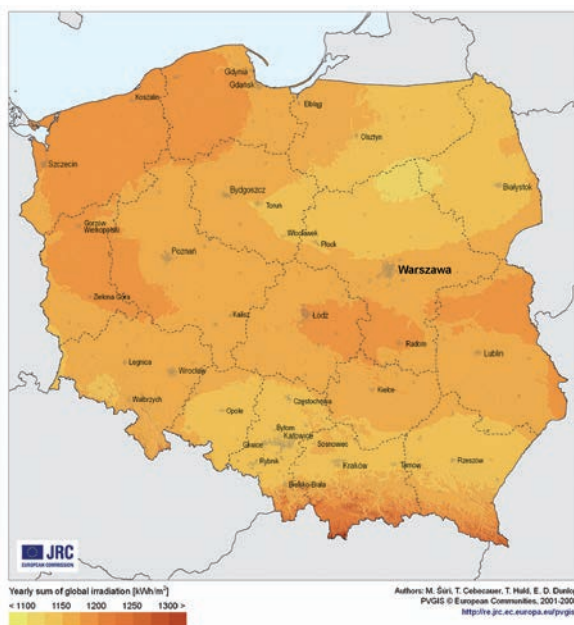


Rys. 1. Odnawialne źródła energii w Polsce (<http://www.ure.gov.pl/>)

Uwarunkowania prawne reguluje ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 roku (Dz. U. z 2015 r. poz. 478, 2365). Jej celem jest zagwarantowanie trwałego rozwoju gospodarki przy jednoczesnym zwiększeniu bezpieczeństwa energetycznego i ochrony środowiska.

Energia słoneczna jest dla Ziemi pierwotnym źródłem mocy, atrakcyjnym pod względem braku efektów ubocznych, szkodliwych emisji czy zubożenia naturalnych zasobów w trakcie jej wykorzystywania. Można jej użyć do produkcji energii elektrycznej oraz ciepłej wody poprzez zastosowanie odpowiednich systemów pozyskiwania i akumulowania (Redweik P., Catita C., Brito M., 2013).

Ze względu na położenie geograficzne warunki nasłonecznienia w Polsce są oceniane jako dobre. Zdecydowana większość kraju ma nasłonecznienie ponad 1000 kWh/m<sup>2</sup> w skali roku (Rys. 2).



Rys. 2. Mapa nasłonecznienia dla obszaru Polski ([http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13yopt\\_pl.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13yopt_pl.png))

Są to przede wszystkim regiony nadmorskie - do 1137 kWh/m<sup>2</sup> i południowe (1053 kWh/m<sup>2</sup>). Środkowa Polska ma wartości nasłonecznienia rzędu 1022 kWh/m<sup>2</sup>.

Najprostsze słoneczne geoportale wykorzystują niskorozdzielcze dane klimatyczne. Przykładem takiego geoportalu jest portal PVGIS stworzony dla Europy i Afryki, a od września 2014 również dla Azji. Użytkownik tego serwisu musi nie tylko podać przybliżoną lokalizację interesującego go budynku, ale również spadek i ekspozycję dachu oraz typ ogniw fotowoltaicznych. W wyniku otrzymuje przybliżoną informację o ilości energii możliwej do pozyskania na obszarze dachu, niestety w jednostkach, które czytelne są tylko dla fachowców ([www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis](http://www.re.jrc.ec.europa.eu/pvgis)).

## **ZASTOSOWANIE GIS W OPRACOWANIU MAP SOLARNYCH**

Otoczająca nas przestrzeń charakteryzuje się bardzo dużą różnorodnością i zmiennością w czasie. Narzędziem pozwalającym skutecznie planować przestrzeń są Geographic Information Systems (GIS), które pozwalają na wizualizację oraz analizę danych przestrzennych. Technologia GIS dysponuje narzędziami pozwalającymi na wykonywanie złożonych analiz, ważnych z punktu widzenia planowanej inwestycji. Pozwalają na wszechstronną analizę środowiska przyrodniczego (analiza nachylenia terenu, analiza zagrożeń erozyjnych i powodziowych itp.) czy przestrzeni zurbanizowanej (analiza własności gruntów i użytkowania terenów, analiza widoczności i nasłonecznienia) (Longley P. A., i in., 2006; Chow A., Fung A. S., Songnian Li, 2014).

Jednym z wielu możliwych zastosowań systemów GIS są analizy przestrzenne, mające na celu określenie wartości potencjału solarnego obszarów lub obiektów. Do przeprowadzenia wielokryterialnej analizy niezbędne są odpowiednie zbiory danych przestrzennych charakteryzujących badany obszar. Należą do nich: dane przestrzenne o budynkach i budowlach, zawierające także informacje o konstrukcji i kształcie dachu, dane o ukształtowaniu terenu (numeryczne modele terenu) oraz pokryciu terenu (numeryczne modele pokrycia terenu) oraz dane meteorologiczne charakteryzujące średnie wartości nasłonecznienia, zachmurzenia i zamglenia (Mrówczyńska M., Wawer M., 2015). Obecnie najdokładniejsze i najbardziej szczegółowe dane o ukształtowaniu terenu i jego pokryciu pozyskiwane są w masowy sposób za pomocą lotniczych systemów skanujących oraz wysokorozdzielczych opracowań fotogrametrycznych i teledetekcyjnych.

Jedną z optycznych metod teledetekcyjnych pozyskania danych terenowych jest technologia Light Detection and Ranging, w skrócie LiDAR. Poprzez zastosowanie lotniczego skanowania laserowego, pozwala ona na rejestrowanie chmury punktów o znanych współrzędnych terenowych (X,Y,Z).

W Polsce dane LiDAR opracowane zostały w ramach projektu ISOK – Informatyczny System Osłony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami (Wężyk P. red., 2015). Przygotowane zostały zgodnie ze standardem LAS 1.2 opublikowanym w 2008 roku przez ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing). W plikach wynikowych oprócz współrzędnych zawarte są także m.in. informacje o klasie danego punktu oraz o intensywności odbicia w trzech zakresach widzialnej części promieniowania elektroma-

gnetycznego, odpowiadających barwom niebieskiej, zielonej i czerwonej (wartości RGB), pozyskanych ze zdjęć lotniczych. Gęstość zarejestrowanych punktów wynosi od 4 do 12 pkt/m<sup>2</sup> (w zależności od intensywności zabudowy terenu), a błąd średni wysokości nie przekracza 0.2 m. Wszystkie dane opracowane zostały w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych „1992” i odniesione do wysokości normalnych „Kronsztadt 86”, podzielone na arkusze w skali 1:1250 i 1:2500. Numeryczne dane wysokościowe dostępne są także w postaci użytkowej NMT i NMPT w popularnych formatach ESRI TIN, Intergraph TTN i GRD, ASCII i in. (Wężyk P. red., 2015).

Dostęp do w/w danych nie stanowi obecnie większego problemu. Dynamiczny wzrost ilości ogólnodostępnych danych geoprzestrzennych wynika między innymi z postanowień Dyrektywy 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego z dnia 14.03.2007 ustanawiającej infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej, w skrócie określanej jako Dyrektywa INSPIRE. Jej implementacją do prawa polskiego jest ustawa z dnia 4.03.2010 o infrastrukturze informacji przestrzennej (Dz.U. 2010 nr 76 poz. 489), w skrócie nazywana ustawą IIP. Dokumenty te stanowią podstawę dla integracji i harmonizacji istniejących i nowo powstających zasobów informacji przestrzennej oraz określają sposób i zakres ich udostępniania. Część danych państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego, zgromadzonych przez Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjno-Kartograficznej (CODGiK) dostępna jest bezpłatnie on-line lub na zamówienie, a za pozostałe pobierane są opłaty. Docelowo zdecydowana większość informacji objętych ustawą IIP i wytwarzanych ze środków państwa będzie bezpłatna.

Do produktów bazodanowych i kartograficznych, zawierających najwięcej danych przestrzennych przydatnych w analizie potencjału solarnego obszarów, zaliczyć można także:

- bazę danych obiektów topograficznych (BDOT10k) oraz bazę danych obiektów ogólnogeograficznych (BDOO) – dostępnych bezpłatnie do pobrania lub poprzez internetowy serwis danych przestrzennych w postaci rastrowej Web Map Service (WMS) oraz publikowanych na portalu internetowym (geoportal.gov.pl),
- ortofotomapy o rozdzielczościach terenowych piksela 0,1-0,5 m, zgromadzone w CODGiK i dostępne za pośrednictwem portalu mapowego geoportal.gov.pl lub serwisu WMS,
- numeryczne dane wysokościowe: numeryczne modele terenu (NMT) oraz numeryczne modele pokrycia terenu (NMPT), udostępniane w postaci serwisów WMS lub (WFS) oraz publikowane w portalach internetowych. Dane modeli numerycznych opracowane w wielu standardach bądź dane pomiarowe w plikach ASCII lub LiDAR można w CODGiK uzyskać odpłatnie, według stawek określonych w Ustawie z 5 czerwca 2014 r. Prawo geodezyjne i kartograficzne,
- państwowe rejestry granic i powierzchni jednostek terytorialnych,
- dane ewidencyjne dotyczące gruntów, budynków i lokali, prowadzone przez Powiatowe Ośrodki Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej; dane te udostępniane są w postaci usług WMS oraz częściowo za pomocą usługi WFS,



- bazy danych klimatycznych dla obszaru Polski, opracowane przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej i publikowane przez Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa jako „Typowe lata meteorologiczne i statystyczne dane klimatyczne dla obszaru Polski do obliczeń energetycznych budynków”.

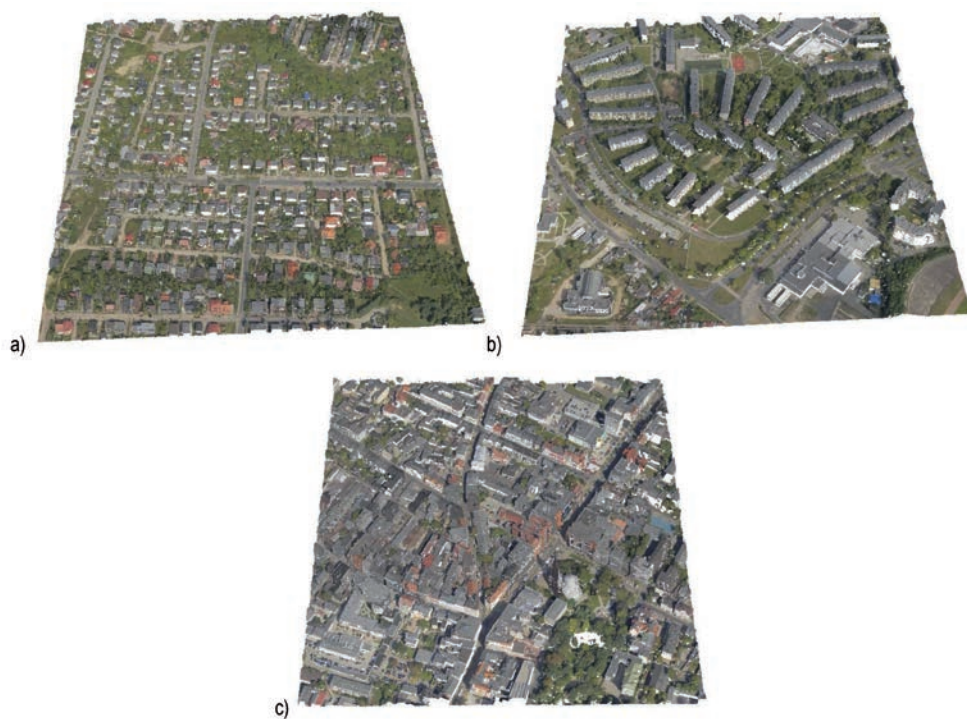
## **ANALIZA POTENCJAŁU SOLARNEGO DLA FRAGMENTU BYDGOSZCZY**

Na obszarach zurbanizowanych, z uwagi na ograniczony dostęp do wolnych, niezabudowanych powierzchni terenu, jedynymi powierzchniami dla instalacji ogniw fotowoltaicznych są dachy budynków lub ich elewacje (Redweik P., Catita C., Brito M., 2013). Dlatego mapy potencjału solarnego tworzone są najczęściej dla powierzchni dachów. Określa się je często katastrem solarnym. W miastach występują jednak istotne różnicowania intensywności zabudowy, budynki posiadają dachy o odmiennych konstrukcjach i kształcie. Ponadto w zależności od okresu budowy i położenia w obrębie miasta, na terenach zurbanizowanych bardzo zróżnicowana jest charakterystyka otoczenia wpływająca na zacięnianie budynków i rozpraszanie promieniowania słonecznego.

W analizie potencjału solarnego dla fragmentu Bydgoszczy dokonano porównania trzech obszarów, charakteryzujących się odmienną strukturą zabudowy i położeniem w obrębie miasta. Są to:

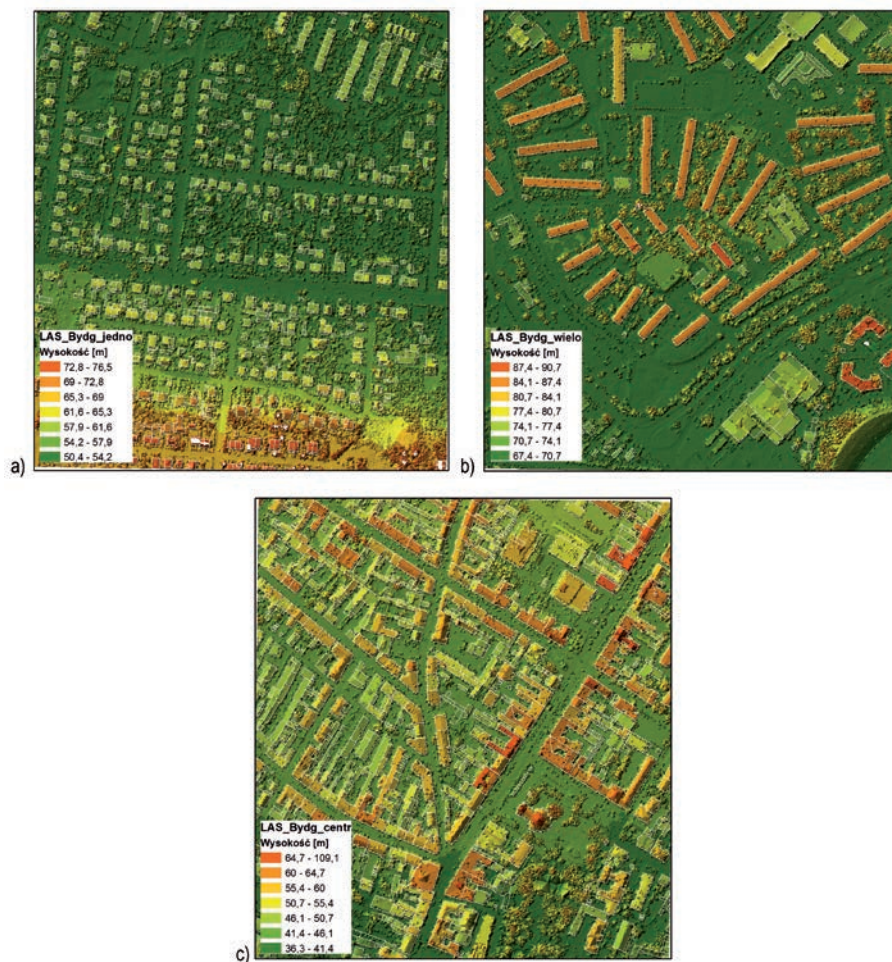
- fragment osiedla domów jednorodzinnych, położonego na peryferiach miasta,
- fragment osiedla domów wielorodzinnych oraz
- fragment centrum miasta z historycznie ukształtowaną zabudową śródmiejską (zabudowa zwarta).

Do analizy wykorzystano dane pomiarowe LiDAR zapisane w plikach o formacie LAS, odpowiadających arkuszom w skali 1:1250 i obejmujących obszary ok. 0,5 x 0,5 km. Chmury punktów pokrycia terenu dla wybranych obszarów charakteryzowały się średnią gęstości 12 pkt/m<sup>2</sup> i średnim błędem wysokości 0,1 m (Rys. 3).



Rys. 3. Dane pomiarowe LiDAR prezentowane w postaci chmury punktów w barwach rzeczywistych RGB, dla fragmentu osiedla domów jednorodzinnych (a), osiedla domów wielorodzinnych (b) oraz centrum miasta (c) w Bydgoszczy

Obliczenia potencjału solarnego sporządzono z wykorzystaniem narzędzi pakietu ArcGIS firmy ESRI, stosując metodykę opisaną w wielu publikacjach (Mrówczyńska M., Wawer M., 2015, Redweik P., Catita C., Brito M., 2013). Na rys. 4 przedstawione zostały numeryczne modele pokrycia terenu (NMPT) dla analizowanych obszarów, wygenerowane na podstawie chmur punktów LAS.

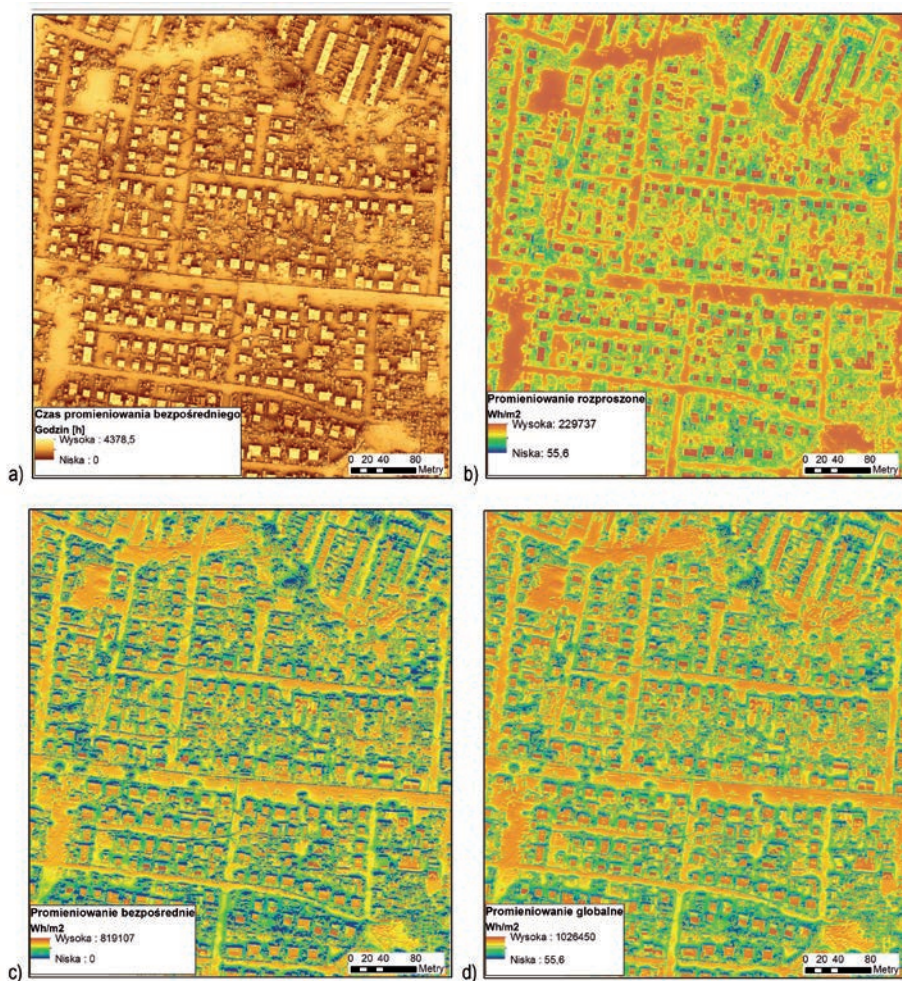


Rys. 4. Numeryczny model pokrycia terenu (model TIN) oraz obrysy budynków dla fragmentu osiedla domów jednorodzinnych (a), osiedla domów wielorodzinnych (b) oraz centrum miasta (c) w Bydgoszczy

W trakcie obliczeń nasłonecznienia uwzględniono właściwą dla badanego obszaru szerokość geograficzną, przyjęto jednolite wartości rozproszenia promieniowania ze wszystkich kierunków nieba, średni wskaźnik dyfuzji atmosferycznej na poziomie 0,3 oraz wskaźnik transmisyjności równy 0,5. Dla każdego obszaru przeprowadzone zostały obliczenia w okresie całorocznym z interwałem miesięcznym. Wynik obliczeń dla każdego z badanych obszarów zapisany został w postaci czterech rastrów (rys. 5):

- czas promieniowania bezpośredniego [h],
- promieniowanie rozproszone [ $\text{Wh/m}^2$ ],
- promieniowanie bezpośrednie [ $\text{Wh/m}^2$ ],
- promieniowanie globalne [ $\text{Wh/m}^2$ ].





Rys. 5. Wynik obliczeń nasłonecznienia na terenie osiedla domów jednorodzinnych w Bydgoszczy: a) czas promieniowania bezpośredniego [h], b) promieniowanie rozproszone [Wh/m<sup>2</sup>], c) promieniowanie bezpośrednie [Wh/m<sup>2</sup>], d) promieniowanie globalne [Wh/m<sup>2</sup>].

Dla określenia potencjału solarnego uwzględnia się promieniowanie globalne, będące sumą promieniowania bezpośredniego i rozproszonego. Prezentacja potencjału solarne-go obszaru zabudowanego sprowadza się ostatecznie do określenia, jakie występuje globalne promieniowanie na dachach budynków. W tym celu należy przeprowadzić wydzielenie fragmentów rastra nasłonecznienia znajdujących się na obrysach budynków. Wynik takiej analizy przestrzennej prezentuje rysunek 6.



Rys. 6. Wartości promieniowania globalnego dla dachów budynków na fragmentach analizowanych obszarów: a) osiedla budownictwa jednorodzinnego, b) osiedla wielorodzinnego, c) centrum miasta

Ponieważ prezentowane powyżej obrazy mogą być nieczytelne dla zwykłego odbiorcy informacji – właściciela nieruchomości, potencjał solarny dachów prezentuje się najczęściej jako uśredniona wartość dla całej powierzchni dachu w postaci średniego promieniowania globalnego. Na rysunku 7 zaprezentowano wynik statystyki strefowej danych solarnych, prezentujący wartości uśrednione dla powierzchni całych dachów na osiedlu domów jednorodzinnych, osiedlu domów wielorodzinnych i w centrum miasta.





Rys. 7. Potencjał solarne dachów budynków w Wh/m<sup>2</sup> w Bydgoszczy: a) na osiedlu domów jednorodzinnych; b) na osiedlu budownictwa wielorodzinnego; c) w centrum miasta

Na terenach zurbanizowanych występują obszary o zróżnicowanej intensywności i charakterze zabudowy. Przyjmując założenie, że panele solarne mocowane są wszędzie równoległe do połaci dachu, można wykonać porównanie ilości pozyskanej energii słonecznej w dzielnicach o różnej intensywności zabudowy. Obliczenia porównawcze przeprowadzono dla trzech równych obszarów odpowiadających zasięgom arkuszy danych pomiarowych LiDAR w skali 1:1250: jeden wydzielony na osiedlu domów jednorodzinnych, drugi na terenie osiedla budynków wielorodzinnych 4 i 5 kondygnacyjnych oraz trzeci w centrum miasta ze zwartą zabudową kamieniczną. W tabeli 1 przedstawiono zbiorcze wartości promieniowania docierającego do powierzchni dachów na tych obszarach.

Tab. 1. Zestawienie wyników obliczeń potencjału solarnego dla analizowanych obszarów

|  | Zabudowa<br>jednorodzinna | Zabudowa<br>wielorodzinna | Zabudowa<br>śródmiejska |
|--|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Suma promieniowania dla<br>powierzchni wszystkich dachów [kWh] | 32 101 602                | 34 145 692                | 81 289 925              |
| Suma powierzchni dachów [m <sup>2</sup> ]                      | 44 356                    | 43 878                    | 123 014                 |
| Średnie promieniowanie słoneczne<br>[kWh/m <sup>2</sup> ]      | 689                       | 725                       | 569                     |

W wyniku przeprowadzonej analizy ustalono, że sumy powierzchni dachów dla obszarów z zabudową jednorodzinna i wielorodzinna są zbliżone (różnica nie większa niż 1%), czyli gęstość zabudowy jest podobna. Natomiast różnica między średnim rocznym promieniowaniem słonecznym obliczonym dla dachów budynków na tych obszarach wynosi 30 kWh/m<sup>2</sup>.

Sumaryczna ilość promieniowania przypadającego na wszystkie dachy w dzielnicy domów wielorodzinnych i jednorodzinnych różni się o 6 procent na korzyść budownictwa wielorodzinnego. Można zatem stwierdzić, że przy zbliżonej gęstości zabudowy obu obszarów, korzystniejsze warunki do pozyskiwania energii słonecznej występują w zabudowie wielorodzinnej. Jest to spowodowane głównie różnicą wysokości zabudowy (brak przeszkód w postaci drzew na osiedlach wielorodzinnych) oraz kształtu dachów – w budownictwie wielorodzinnym najczęściej są to dachy płaskie. Natomiast dla obszaru zlokalizowanego w centrum miasta, z przeważającą zabudową zwartą kamieniczną, suma powierzchni dachów jest trzykrotnie większa niż w pozostałych, a sumaryczna wartość promieniowania dla powierzchni wszystkich dachów jest około 2,3 razy większa. Średnie promieniowanie słoneczne dla jednego dachu jest za to zdecydowanie niższe niż w zabudowie jednorodzinnej i wielorodzinnej. Ciekawy wynik podsumowania osiągnięto uwzględniając tylko takie dachy, których potencjał jest wyższy niż 800 kWh/m<sup>2</sup> (tabela 2). Założenie to uczyniono przyjmując, że inwestycja dla jednego budynku staje się opłacalna, jeżeli panele solarne instalowane są na dachach o odpowiednio wysokim potencjale solarnym.



Tab. 2. Zestawienie wyników obliczeń na analizowanych obszarach dla dachów o średnim potencjale solarnym powyżej 800 kWh/m<sup>2</sup>

|   | Zabudowa jednorodzinna | Zabudowa wielorodzinna | Zabudowa śródmiejska |
|---|------------------------|------------------------|----------------------|
| Suma promieniowania dla powierzchni wszystkich dachów [kWh] | 6 334 269              | 14 376 943             | 7 942 064            |
| Suma powierzchni dachów [m <sup>2</sup> ]                   | 7 732                  | 17 487                 | 9 679                |
| Średnie promieniowanie słoneczne [kWh/m <sup>2</sup> ]      | 824                    | 825                    | 822                  |

Jeżeli w porównaniu obszarów uwzględnimy tylko dachy o odpowiednio wysokim średnim potencjale solarnym powyżej 800 kWh/m<sup>2</sup> (tabela 2), to zabudowa śródmiejska okazuje się mniej korzystna do pozyskania energii z ogniw fotowoltaicznych niż zabudowa mieszkalna wielorodzinna. Jest jednak korzystniejsza od zabudowy jednorodzinnej. Jest to spowodowane przede wszystkim różnicą w intensywności zabudowy na tych obszarach. Średnie promieniowanie słoneczne dla dachów o wysokim potencjale solarnym jest na zbliżonym poziomie od 822 do 825 kWh/m<sup>2</sup> w ciągu roku.

## PODSUMOWANIE

Badania dotyczące oceny potencjału słonecznego w cyklu rocznym dla wybranych fragmentów Bydgoszczy pokazały przydatność techniki GIS w takich opracowaniach. Przeprowadzona analiza wykazała, że pozyskiwanie energii solarnej w przestrzeni miejskiej bardzo silnie uzależnione jest od charakteru i intensywności zabudowy. Najkorzystniej pod tym względem prezentują się obszary zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej, z wysokimi budynkami i względnie niską gęstością zabudowy. Obszary o dużej intensywności zabudowy posiadają bardzo dużą powierzchnię dachów, na których można instalować ogniwa fotowoltaiczne, ale ich średni potencjał solarny jest niższy niż w zabudowie o mniejszej intensywności zabudowy. Nie bez znaczenia jest tu również kształt dachów charakterystyczny dla historycznej zabudowy śródmiejskiej.

## ACKNOWLEDGMENTS

Badania przeprowadzono z zastosowaniem aparatury wspartej finansowo w ramach projektu: „Realizacja II etapu Regionalnego Centrum Innowacyjności” współfinansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Kujawsko-Pomorskiego na lata 2007-2013.

## LITERATURA

1. Brito, M.C., Gomes, N., Santos, T., Tenedorio, J.A., Photovoltaic potential in a Lisbon suburb using LiDAR data. *Solar Energy* 86, 2012, p. 283–288.
2. Choi, Y., Rayl, J., Tammineedi, C., Brownson, J. R. S., PV Analyst: Coupling ArcGIS with TRNSYS to assess distributed photovoltaic potential in urban areas. *Solar Energy*, 85, 2011, p. 2924–2939.
3. Chow A., Fung A. S., Songnian Li., GIS Modeling of Solar Neighborhood Potential at a Fine Spatiotemporal Resolution, *Buildings* 2014, 4, p. 195-206.
4. De Boeck, L., Van Asch, S., De Bruecker, P., & Audenaert, A., Comparison of support policies for residential photovoltaic systems in the major EU markets through investment profitability, *Renewable Energy*, 87, 2016, p. 42–53.
5. Directive 2007/2/EC of the european parliament and of the council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE).
6. Freitas S., Catita C., Redweik P., Brito M.C., Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, 2015, p. 915–931.
7. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
8. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13yopt\\_pl.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/g13yopt_pl.png)
9. <http://www.ure.gov.pl/>
10. Kopietz-Unger J., Rozwój miast i regionów w kierunku budownictwa zeroenergetycznego, 2011, <http://izrlir.com/wp-content/uploads/2011/10/dr-hab.-inz.-Janina-Kopietz-Unger-Strategia-zarzadzania-energia-w-miastach-i-gminach-Energetyczny-Audyty-Miejski-EAM.pdf>
11. Longley P. A., Goodchild M. F., Maguire D. J., Rhind D. W., GIS. Teoria i praktyka, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2006, Warszawa.
12. Mrówczyńska M., Wawer M., Attempt to prepare a solar cadastre for the town of Zielona Góra, *Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture*, t. XXXII, z. 62 (4/15), 2015, p. 321-333.
13. Redweik P., Catita C., Brito M., Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape, *Solar Energy* 97, 2013, p. 332–341.
14. Praca zbiorowa pod red. Wężyk P.: ISOK. Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystaniem produktów LIDAR, Główny Urząd Geodezji i Kartografii, 2015, Warszawa.
15. Ustawa z dnia 4.03.2010 o infrastrukturze informacji przestrzennej (Dz.U. 2010 nr 76 poz. 489).
16. Ustawa o odnawialnych źródłach energii z dnia 20 lutego 2015 roku (Dz. U. z 2015 r. poz. 478, 2365).

# **NOISE BARRIERS AS AN ELEMENT OF MODERN ENVIRONMENTAL SOLUTIONS**

## **DROGOWE EKRANY AKUSTYCZNE JAKO ELEMENT NOWOCZESNYCH ROZWIĄZAŃ PROŚRODOWISKOWYCH**

Agata Dalach<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Architektury (student 1. stopnia), agata.dalach@gmail.com

### **ABSTRAKT**

Po sprecyzowaniu negatywnych skutków oddziaływania hałasu oraz wyznaczeniu dopuszczalnej wartości jego poziomu w środowisku, ekrany akustyczne stały się nieodłącznym elementem wielu powstających inwestycji drogowych. Przepisy wymuszają ich umieszczanie także w istniejącej zabudowie, często w miejscach nieprzystosowanych do wysokiego natężenia ruchu pojazdów. Duże powierzchnie ekranów umieszczonych wzdłuż ulic stają się elementem architektoniczno-urbanistycznym, oczekującym również funkcji pozaakustycznych. Obecnie badane są nowe rozwiązania, mające na celu zarówno uczynienie ekranów akustycznych bardziej przyjaznymi dla środowiska, jak i wykorzystanie ich powierzchni w innych celach, np. jako ogniwa fotowoltaiczne zasilające różne urządzenia służące miastu i mieszkańcom. W pracy dokonano przeglądu istniejących rozwiązań oraz przedstawiono propozycje bazujące na rozwiązaniach wykorzystywanych na elewacjach budynków.

Słowa kluczowe: ekrany akustyczne, elewacje, architektura krajobrazu.

### **ABSTRACT**

After specifying the negative effects of noise exposure and determining the permissible levels of noise pollution, noise barriers have become an inseparable element of many upcoming road investments. Existing laws necessitate placing sound barriers among existing buildings, often in places unadapted to high intensity traffic. Large areas of barriers placed along streets become part of urban development as well as architecture and are also expected to offer non-acoustic functions. Currently, new solutions are being researched. Their aim is to both make noise barriers more environment-friendly and to use their surface area for other purposes, e.g. for powering various urban utilities, such as street

lights etc. In this paper a review of existing solutions was presented and selected examples based on solutions used on building elevations were introduced.

Keywords: noise barriers, elevations, landscape architecture

## WPROWADZENIE

Powszechnie znane są negatywne skutki oddziaływania hałasu na człowieka oraz środowisko. Szczególnie groźne dla człowieka jest długotrwałe narażenie na hałas. Wśród objawów wymienia się zmęczenie, ból głowy, zaburzenia snu, objawy nerwicowe. W biurach, szkołach i domach hałas powodujący zakłócenie mowy stanowi główne źródło rozdrażnienia. Już przy poziomie tła akustycznego wynoszącym 65 dB SPL (ang. Sound Pressure Level) konwersacja wymaga większego wysiłku włożonego w mowę. Kilkuletnie narażenie na działanie hałasu o poziomie ciśnienia akustycznego w zakresie 85-90 dB SPL stwarza bardzo duże ryzyko nieodwracalnego uszkodzenia słuchu. Innym zagrożeniem spowodowanym ekspozycją na hałas jest stres, gdyż występowanie głośnych dźwięków wpływa na autonomiczny układ nerwowy [23]. Podczas snu człowiek nie może być narażony na hałas o poziomie większym niż 45 dB SPL, jeśli ma mu to zapewnić regenerację i odpoczynek. Stała ekspozycja na hałas o poziomie 65 dB SPL przyczynia się już do różnorodnych stanów chorobowych [24].

Z tego powodu zaczęto wprowadzać normy oraz programy mające ograniczać emisję hałasu, zwłaszcza w terenach przeznaczonych do pełnienia funkcji mieszkalnej oraz rekreacyjnej.

Pierwsze kompleksowe działania mające na celu walkę z hałasem w Unii Europejskiej zostały podjęte w roku 1993, w ramach Piątego Programu Działań na Rzecz Środowiska (ang. 5th EAP – Environmental Action Programme), zatytułowanego „W kierunku zrównoważonego rozwoju” (ang. Towards Sustainability). Stwierdzono wtedy, że hałas powodujący zagrożenie dla zdrowia i jakości życia jest jedną z głównych uciążliwości cywilizacyjnych. Następnie Komisja Europejska przyjęła tzw. zieloną księgę w sprawie przyszłej polityki dotyczącej hałasu w roku 1996, gdzie określono możliwości poprawy sytuacji w trzech obszarach:

- w pierwszej kolejności należy przeanalizować sytuację oraz zebrać i porównać dane dla poszczególnych państw członkowskich i różnych źródeł hałasu,
- po drugie, informacje powinny trafić do opinii publicznej,
- po trzecie, ograniczenie hałasu powinno stać się częścią zintegrowanej strategii, prowadzącej do poprawy jakości życia [12].

Temat został ponownie podjęty w roku 2010 (6th EAP). Umocniono wtedy koncepcję wprowadzenia dyrektywy mającej na celu ograniczenie hałasu w środowisku – END (ang. Environmental Noise Directive). Dyrektywa zaproponowała sposoby realizacji ustalonego celu:

- ocenę narażenia na hałas poprzez sporządzenie map hałasu, za pomocą wspólnych metod dla wszystkich państw członkowskich,
- upewnienie się, że wiedza na temat hałasu oraz jego konsekwencji jest publicznie dostępna,
- podjęcie działania przez państwa członkowskie, w oparciu o analizę map hałasu, szczególnie w tych obszarach, gdzie oddziaływanie hałasu może wpływać negatywnie na zdrowie mieszkańców [12].

W Polsce dopuszczalne normy hałasu określa rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Dokument wprowadził zmiany w rozporządzeniu z dnia 14 czerwca 2007 r. [15, 16]. Do tego czasu wyjątkowo restrykcyjne wymagania doprowadziły do umieszczenia przy polskich drogach dużej ilości ekranów akustycznych, z czego, w ocenie Najwyższej Izby Kontroli, wielu zbędnych [24].

Ekran akustyczny, jako powszechna forma ochrony przed hałasem, stał się nieodłącznym elementem krajobrazu zarówno miejskiego, jak i pozamiejskiego. Ponieważ nie da się wyeliminować ich dalszego powstawania, należy podjąć starania, aby z jednej strony możliwie szeroko wprowadzić element ekologii w ich projektowanie i realizację, zaś z drugiej wzbogacić ekrany o dodatkowe funkcje, w szczególności prośrodowiskowe, np. produkcję energii elektrycznej do zasilania urządzeń użytecznych dla miasta i mieszkańców.

W architekturze tworzone są technologie ekologiczne do zastosowania na fasadach budynków. Niektóre z nich nadają się do wykorzystania także na powierzchni ekranów akustycznych.

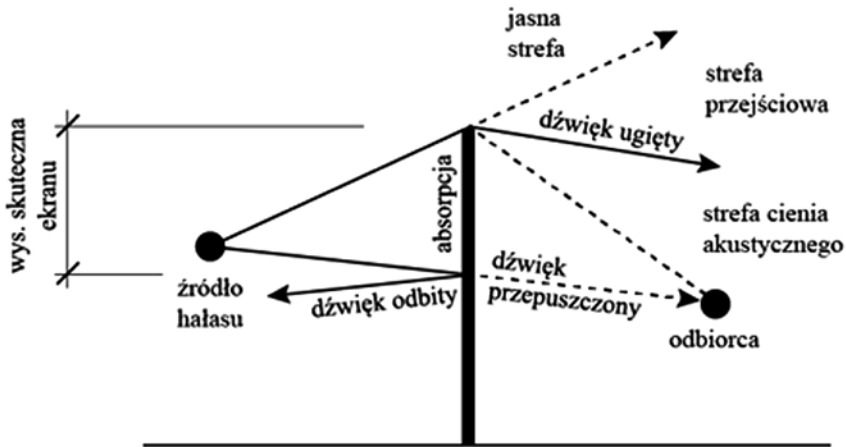
## **EKRANY AKUSTYCZNE – DZIAŁANIE ORAZ OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA**

Jest wiele rodzajów ekranów akustycznych, które można wyróżnić ze względu na zastosowany materiał, formę architektoniczną (w tym wysokość, kształt i nachylenie) oraz sposób umieszczenia. W ramach niniejszej pracy za najważniejsze kryterium podziału przyjęto sposób działania ekranu. To od niego, w największym stopniu zależy, jakie rozwiązania prośrodowiskowe mogą zostać zastosowane. Ekran można podzielić na:

- odbijające (ang. reflective),
- pochłaniające (ang. absorptive),
- reaktywne (ang. reactive) [9].

Ekran odbijający ma lżejszą konstrukcję, a ich poszczególne płyty mogą być wykonane z materiałów przepuszczających światło, np. płyt poliwęglanowych. Zastosowanie przezroczystości jest istotną cechą, zapewniającą widoczność oraz redukującą wpływ

wizualny ekranu na otoczenie. Ekran pochłaniające fale akustyczne zawierają materiał porowaty, absorbujący hałas. Może stanowić on powierzchnię ekranu lub znajdować się w jego wnętrzu (np. wełna mineralna). Od strony źródła hałasu warstwa wierzchnia jest perforowana [9]. Ekran reaktywne wyposażone są w układ elektroniczny z mikrofonami i głośnikami, wysyłającymi przeciwfale do otoczenia [10].



Rys. 1. Schemat działania ekranu akustycznego, przedstawiający dyfrakcję, przepuszczanie, odbicie i absorpcję hałasu [8].

Działanie ekranu akustycznego polega na trzech właściwościach: odbijaniu dźwięku, jego pochłanianiu oraz dyfrakcji, czyli zwiększeniu drogi fali akustycznej poprzez jej ugięcie na krawędziach ekranu. Stopień ugięcia fali jest proporcjonalny do częstotliwości, co oznacza, że większa jest skuteczność ekranów dla fal o wyższych częstotliwościach [8]. Tłumienie natomiast zależy głównie od masy materiału.

Przestrzeń znajdująca się po przeciwnej stronie niż źródło hałasu i objęta ochroną ekranu znajduje się w obszarze tzw. cienia akustycznego [11]. Ochrona przed hałasem jest zapewniona tylko w sytuacji, kiedy obiekt jej wymagający znajduje się w tym obszarze.

Efekt działania ekranów akustycznych zależy od:

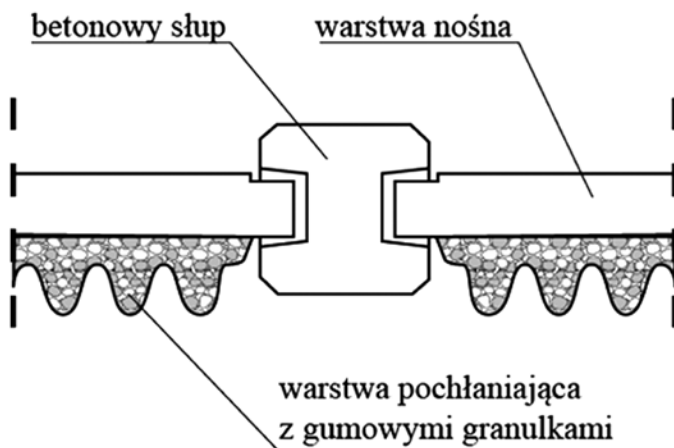
- wysokości skutecznej ekranu (odl. pomiędzy górną krawędzią ekranu a punktem przecięcia ekranu i linii poprowadzonej pomiędzy źródłem hałasu a odbiorcą),
- odległości między ekranem a źródłem hałasu oraz pomiędzy ekranem a odbiorcą hałasu – im mniejsze, tym lepiej,
- długości ekranu,
- grubości ekranu,
- zastosowanych materiałów,
- kształtu i nachylenia [3].

Przy zastosowaniu odpowiednich wymiarów oraz odległości ekranu, wybór materiału jest kwestią drugorzędną, dlatego dobrym rozwiązaniem może być np. wybór surowców pochodzących z recyklingu lub zaopatrzenie ekranu w dodatkową funkcję.

## PRZYKŁADY EKRAŃÓW TWORZONYCH W SPOSÓB PRZYJAZNY ŚRODOWISKU

Obecnie stosowane są już ekrany akustyczne wyprodukowane z użyciem odpadów. Jednym z przykładów są ekrany RUCONBAR. Ich część absorbująca hałas wykonana jest z recyklingu zużytych opon (w 40%) i betonu. Projekt ten został uznany i współfinansowany przez unijny program ramowy na rzecz konkurencyjności i innowacji CIP Eco-Innovation Initiative.

Do wyprodukowania jednego kilometra ekranu akustycznego o wysokości 3 m trzeba wykorzystać około 46,4 tony, czyli ok. 7800 zużytych opon. Dzięki temu do wytworzenia ekranów RUCONBAR wykorzystane jest mniej surowców nieodnawialnych oraz zmniejszona jest emisja gazów cieplarnianych [1]. Ekrany RUCONBAR zostały po raz pierwszy wykorzystane do ochrony przed hałasem ogrodu zoologicznego w Zagrzebiu w Chorwacji. Przed instalacją ekranów przetestowano i porównano trzy różne kształty powierzchni absorbującej: płaski, falowany i trapezoidalny. Najlepiej sprawdził się ekran o powierzchni falowanej [2].



Rys. 2. Przekrój przez ekran RUCONBAR [1].

Gumowo-betonowe ekrany RUCONBAR są dobrym rozwiązaniem, standaryzowanym i certyfikowanym. Poza Chorwacją potencjalny rynek dla nich to nowe kraje Unii Europejskiej oraz państwa sąsiadujące, ze względu na występującą w tych krajach dużą liczbę zużytych opon oraz nisko rozwiniętą infrastrukturę. Szacuje się, że na tym rynku, z przyczyn ekonomicznych, ekrany RUCONBAR będą stanowić około 50% instalacji przeciwhałasowych [17].

Innym przykładem ekranów wykorzystujących surowce wtórne są ekrany PlastRex, produkowane przez estońską firmę Rexest Grupp OÜ. Według informacji producenta, oprócz dobrej izolacji akustycznej, posiadają one cechy takie, jak: wodoodporność, odporność na promieniowanie UV, korozję, zniszczenia mechaniczne, wandalizm, a ich przewidywany

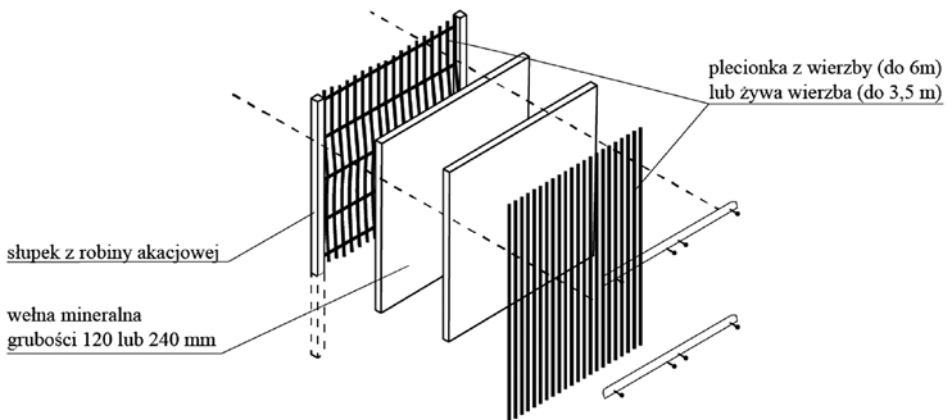


okres działania określa się na 50 lat [13]. Dodatkowymi cechami są łatwość montażu oraz niskie koszty utrzymania. Ekrany te, przede wszystkim, są produktem ekologicznym. W ich wytwarzaniu wykorzystuje się materiał pochodzący ze zużytych plastikowych opakowań produktów spożywczych. Ekrany PlastRex składają się z niskiej i wysokiej gęstości polietylenu, polistyrenu i polipropylenu.

Plastikowe ekrany zostały zastosowane w 2013 r. przy autostradzie E263, pomiędzy Tallinnem a Tartu, na odcinku Kose-Aruvalla. Ponad dwa kilometry ekranów PlastRex, ważące w sumie ok. 240 ton, producent porównał do 12 milionów plastikowych reklamówek lub 48 milionów opakowań po jogurtach [13].

Niewątpliwie ekranami stworzonymi w sposób przyjazny dla środowiska są ekrany składające się głównie z zieleni zaopatrzonej w odpowiedni element konstrukcyjny. Na rynku dostępnych jest kilka rozwiązań takich ekranów, wśród których warto wymienić kanadyjski system „The Living Wall”. Ramy, wykonane z ocynkowanej stali oraz drewna o wysokiej wytrzymałości, stają się szkieletem, po którym wspinają się krzewy wierzby. Ekran osiąga wysokość do 3,5 m oraz wymagają odpowiedniego utrzymania, w tym przycinania. Producent oferuje również drugi typ ekranu, utworzony z gałęzi wierzby o dużej średnicy. Wymagają one mniej pracy przy utrzymywaniu, a ich wysokość może wynieść do 6 m. Gotowy ekran składa się z dwóch ram, między którymi umieszczone są płyty wełny mineralnej.

Oprócz wartości akustycznych oraz estetycznych, ekrany wykonane z żywej wierzby posiadają pozytywne cechy zieleni miejskiej. Zachodzą w nich procesy fotosyntezy, zieleni filtruje zanieczyszczenia oraz stabilizuje grunt. Z broszury producenta wynika, że wszystkie materiały wykorzystane do produkcji ekranów mogą być ponownie przetwarzane, a okres życia ekranu wynosi 3-40 lat [21].



Rys. 3. Ekran The Living Wall [21].

## PRZYKŁADY EKRAŃÓW ZAWIERAJĄCYCH DODATKOWE FUNKCJE PROŚRODOWISKOWE

Ekranu akustyczne dzięki swojej dużej powierzchni i częstemu występowaniu na otwartym terenie mogą być wyposażone w ogniwa fotowoltaiczne. Największą tego typu inwestycją jest linia ekranów akustycznych na autostradzie A92 w pobliżu Monachium w Niemczech. Przy 1200 metrach długości stanowi ona powierzchnię 6000 metrów kwadratowych umieszczoną na wale ziemnym. Ekranu nachylone są pod kątem 35 stopni i stanowią ochronę przed hałasem z autostrady oraz z pobliskiego lotniska. Takie wykorzystanie ekranów akustycznych ma również swoje ograniczenia związane z ogniwami fotowoltaicznymi, zawierającymi trudne w recyklingu metale ciężkie, takie jak kadm [9].

W holenderskim mieście 's-Hertogenbosch firma developerska Heijmans latem 2015 r. rozpoczęła test nowoczesnych ekranów akustycznych o nazwie Solar Noise Barriers (SONOB). Składają się one głównie z paneli LSC (ang. luminescent solar concentrated), opracowanych na Uniwersytecie Technicznym w Eindhoven przez Michaela Debije. Jest to półprzezroczysty, kolorowy materiał, który zbiera energię słoneczną i koncentruje ją we wnętrzu każdej płyty, skąd przenoszona jest do tradycyjnego ogniwa. Dzięki swoim walorom estetycznym tworzą one zdecydowanie pozytywny element krajobrazu miejskiego. Innymi ich zaletami jest niski koszt budowy, wytrzymałość, dowolność koloru, a także to, że zbierają energię także w bardziej pochmurne dni [19].

Aby w pełni wykorzystać możliwości ekranów akustycznych do wbudowania w nie paneli słonecznych, trzeba wykorzystać całą ich powierzchnię. Tego typu rozwiązania są już dostępne, jednak często są one drogie, nieekonomiczne i niezbyt wytrzymałe. Ekranu SONOB są proponowane jako produkt łatwy do umieszczenia na pionowej ścianie ekranu akustycznego i stosunkowo tani [18]. W testach badane są dwa ekrany o wymiarach 5x4,5 m, sprawdzana jest także ich odporność na zniszczenia przez wandalu. Pierwsze wyniki pomiarów wskazują, że 1 km ekranów SONOB będzie w stanie zasilić około 50 gospodarstw domowych [19].

Innym przyszłościowym zastosowaniem ekranów akustycznych może być redukcja zanieczyszczeń z powietrza. Ponieważ stawiane są one głównie wokół dróg, znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie koncentracji zanieczyszczeń, jakimi są spaliny samochodowe. Duże miasta, np. Londyn, wprowadzają politykę prośrodowiskową, polegającą na zwalnianiu z podatków od samochodów elektrycznych i hybrydowych, jednak powietrze zanieczyszczone spalinami wciąż stanowi duży problem.

Ekranu akustyczne ze względu na swoją formę wpływają na jakość otaczającego je powietrza, zwiększając jego rozptył na boki oraz powodując turbulencje rozrzedzające zanieczyszczenia.

W Holandii wprowadzono Program Innowacyjny Jakości Powietrza (ang. Innovation Programme Air Quality – IPL), zawierający sześć sposobów walki z zanieczyszczeniem powietrza, w tym poprzez zastosowanie ekranów akustycznych. Przetestowano cienkie, przezroczyste ekrany o wysokości 7 metrów oraz 4 metrów (określony jako ekran referencyjny). W maju 2007 r. IPL zorganizowało konkurs na zaprojektowanie ekranów aku-

stycznych redukujących zanieczyszczenie powietrza. Wiele projektów realizujących wyznaczone zadanie zostało przetestowanych zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i w środowisku zewnętrznym. Siedem analizowanych rozwiązań poddano badaniom, ustalającym ich wpływ na występowanie w ich otoczeniu tlenu azotu oraz zanieczyszczeń pyłami. Badane ekrany nie wykazały jednak znaczącej poprawy jakości powietrza w ich otoczeniu w stosunku do działania ekranu referencyjnego. Do podobnych wniosków doprowadziły próby pokrycia powierzchni ekranów dwutlenkiem tytanu. Według wcześniejszych badań, powłoki takie miałyby przekształcać tlenki azotu w nieszkodliwe azotany, spłukiwane przez deszcz. Wszystkie ekrany testowano na długości 100 metrów, ekrany umieszczono pionowo w odległości 8 metrów od drogi. Badanie przeprowadzono wzdłuż drogi A28, w miejscowości Putten. Badanie udowodniło, że obecność ekranu pozytywnie wpływa na jakość powietrza, natomiast taka dodatkowa funkcja nie koliduje z przeznaczeniem ekranu do ochrony przed hałasem [4, 22].

Podobny program powstał w Austrii. SPAS (ang. Sound and Particle Absorbing System) miał na celu wyeliminowanie szkodliwych gazów i pyłów za pomocą filtra, którym postanowiono uczynić ekrany akustyczne. Wykonane testy potwierdziły skuteczność badanego rozwiązania. Zaproponowane ekrany redukowały hałas o ok. 7 dB SPL, zaś zanieczyszczenia o 15-30%. W badaniu wzięto także pod uwagę możliwość recyklingu zużytego filtra. Za pomocą programów komputerowych wyliczono optymalne umieszczenie ekranów tak, aby natężenie przepływu powietrza przechodzącego przez filtr było jak największe. Filtry, umieszczone w aluminiowych ramach, miały być łatwo wymienne, niestety analiza kosztów wykazała, że ich czyszczenie będzie nieekonomiczne w stosunku do kosztu umieszczenia nowych.

Zaprojektowany filtr został zastosowany na odcinku 564 metrów ekranów akustycznych w mieście Klagenfurt. Został on przymocowany do istniejących już ekranów. Przeprowadzone testy potwierdziły sukces ekranów SPAS [7].

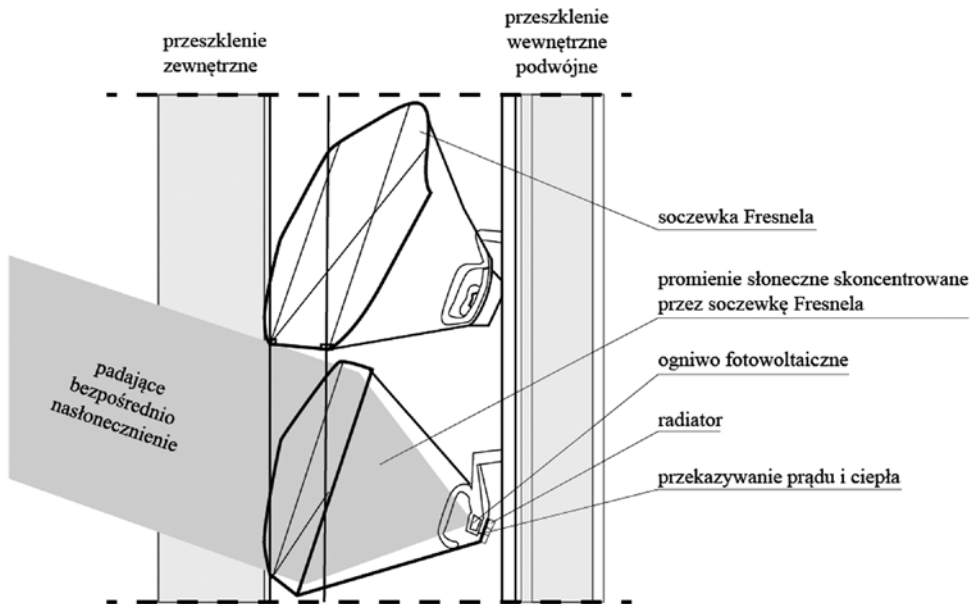
## **FUNKCJE PROŚRODOWISKOWE ZAPROJEKTOWANE DLA ELEWACJI, MOŻLIWE DO WYKORZYSTANIA NA EKRANACH AKUSTYCZNYCH**

W ciągu ostatnich lat zaprojektowano wiele innowacyjnych projektów elewacji budynków, wykorzystujących zarówno nowoczesne technologie, jak i nowości dostępne na rynku materiałów budowlanych. Nie wszystkie z nich wpływają swoją funkcją na budynek, do którego przynależą. Część z nich skupia się na wniesieniu pozytywnego oddziaływania do środowiska, zaś budynek jest tylko elementem konstrukcyjnym. Tego typu projekty mogłyby, po odpowiednim przekształceniu, zostać wykorzystane na elewacjach ekranów akustycznych.

Firma IBA z Hamburga wraz z biurem architektonicznym Splitterwerk stworzyła inteligentny system fasadowy, produkujący energię pochodzenia biologicznego. Szklane panele wypełnione są cieczą, będącą środowiskiem życia alg, które jako biomasa tworzą naturalny bioreaktor. Także ich kolor zmienia się wraz z rozwojem. Elewacja została zastosowana w domu pasywnym w Hamburgu i tworzona w taki sposób energia przeznaczona

jest na oświetlenie budynku. W przypadku drogowych ekranów akustycznych podobnym zastosowaniem mogłoby być wykorzystanie energii w lampach ulicznych [20].

Oprócz wielu popularnych systemów paneli fotowoltaicznych, na rynku pojawiają się nowe systemy tego typu, o zmodyfikowanym działaniu. Jednym z nich jest system fasadowy IC – (ang. Integrated Concentrating), przeznaczony do umieszczenia na szklanych elewacjach lub zadaszeniach atriów. Moduły koncentratora montowane są bardzo dokładnie na mechanizmie śledzącym. System składa się z soczewek skupiających światło na ogniwach fotowoltaicznych o wysokiej sprawności, umieszczonych pomiędzy dwiema warstwami przeszklenia. Pozostała moc przesyłana jest za pośrednictwem płynu chłodzącego w celu podgrzania ciepłej wody użytkowej [5].



Rys 4. System fasadowy Integrated Concentrating [5].

Elewacja IC nie wymaga wielu prac przy konserwacji i jest atrakcyjna wizualnie [5]. Niewątpliwą zaletą jest także jej transparentność, dzięki czemu mogłaby zostać zastosowana na przezroczystych ekranach akustycznych. Obecnie system testowany jest przez firmę HeliOptix w Centrum Doskonałości w dziedzinie Środowiska w Syracuse w stanie Nowy Jork (SyracuseCoE) [6].

Inteligentna fasada prosolve370e, niemieckiej firmy elegant embellishments Ltd., została zaprojektowana w taki sposób, aby pochłaniać zanieczyszczenia z powietrza. Moduły z lekkich płyt z kształtowanych termicznie tworzyw sztucznych, pokryte bardzo drobnym dwutlenkiem tytanu ( $\text{TiO}_2$ ), aktywując się pod wpływem światła dziennego, zaczynają neutralizować szkodliwe tlenki azotu i lotne związki organiczne. Powłoka posiada również właściwości samoczyszczące oraz bakteriobójcze. Produktem działania elewacji

są nieszkodliwe ilości dwutlenku węgla oraz woda. Dzięki modułowości systemu mógłby znaleźć on zastosowanie na ekranach akustycznych o dowolnym kształcie.

Zrealizowanym przykładem umieszczenia elewacji prosolve370e jest budynek szpitala Torre de Especialidades w Meksyku. Sfinansowana ze środków Ministerstwa Zdrowia elewacja jest częścią inwestycji mającej na celu zwiększenie ochrony zdrowia w mieście. Według przedstawionych wyników badań, zastosowanie 2500 metrów kwadratowych elewacji zmniejszyło zanieczyszczenie o równowartość wytwarzaną przez około 1000 samochodów dziennie [14].

## PODSUMOWANIE

Konieczność zapewnienia ochrony przed hałasem przyczynia się do powstawania ekranów akustycznych wokół ulic. Ściany tych barier powinny być na tyle wysokie, aby ująć w cieniu akustycznym wszystkie obiekty wymagające ciszy. Powierzchnie ciągów ekranów mogą wynosić tysiące metrów kwadratowych, dzięki czemu mogą stać się przedmiotem działań prośrodowiskowych.

Obecnie testowane są rozwiązania mogące przyczynić się do zmniejszenia szkodliwości produkcji ekranów, jak i do wyposażenia istniejących lub nowo projektowanych obiektów w systemy o dodatkowej funkcji ekologicznej. Ponieważ są to technologie ostatnich lat, potrzeba więcej czasu, aby potwierdzić ich rzeczywistą skuteczność oraz ekonomiczną opłacalność.

## LITERATURA

1. Absorptive concrete noise protection barriers RUCONBAR, [online], [dostęp: 05.01.2016], <[http://www.ruconbar.com/rcnb/wp-content/uploads/2014/06/RUCONBAR\\_brochure\\_A4\\_EN\\_web.pdf](http://www.ruconbar.com/rcnb/wp-content/uploads/2014/06/RUCONBAR_brochure_A4_EN_web.pdf)>.
2. Ahac Saša et al., Conference Paper Croatian Experience in Road Traffic Noise Management - Concrete Noise Barriers [online], International Scientific Conference, [dostęp: 03.01.2016], <[https://www.researchgate.net/publication/247160912\\_Croatian\\_Experience\\_in\\_Road\\_Traffic\\_Noise\\_Management\\_-\\_Concrete\\_Noise\\_Barriers](https://www.researchgate.net/publication/247160912_Croatian_Experience_in_Road_Traffic_Noise_Management_-_Concrete_Noise_Barriers)>.
3. Bendtsen Hans, Danish Road Institute—Road Directorate, Noise Barrier Design: Danish and Some European Examples, 2009-2010.
4. Dutch Air Quality Innovation Programme concluded [online], Innovatie Programma Luchtkwaliteit [online], [dostęp: 10.09.2016], <[http://laqm.defra.gov.uk/documents/Dutch\\_Air\\_Quality\\_Innovation\\_Programme.pdf](http://laqm.defra.gov.uk/documents/Dutch_Air_Quality_Innovation_Programme.pdf)>.
5. Dyson Anna H. et al., Integrated Concentrating (IC) Solar Façade System [online], [dostęp: 10.09.2016], <[http://www1.eere.energy.gov/solar/review\\_meeting/pdfs/sys\\_9\\_dyson\\_renselaer.pdf](http://www1.eere.energy.gov/solar/review_meeting/pdfs/sys_9_dyson_renselaer.pdf)>.
6. Green Jetson, Testing a New Dynamic Solar Facade [online], [dostęp: 11.09.2016], <<http://www.jetsongreen.com/2010/03/testing-a-new-dynamic-solar-facade.html>>.

7. Hafner Wolfgang, SPAS – Sound and Particle Absorbing System [online], [dostęp: 08.09.2016], <[http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects /index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n\\_proj\\_id=3064&docType=PDF/](http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects /index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3064&docType=PDF/)>.
8. Knauer Harvey S. et al., FHWA Highway Noise Barrier Design Handbook, U.S. Department of Transportation, 2000.
9. Kotzen Benz, English Colin, Environmental Noise Barriers: A Guide to Their Acoustic and Visual Design, Londyn i Nowy Jork, 1999, Taylor & Francis, ISBN 0-203-93138-6.
10. Kragh Jørgen, Pigasse Gilles, Optimised Noise Barriers, Danish Road Institute, report 194 – 2011, 2011, Vejdirektoratet, ISBN 978-87-92094-77-3.
11. Kucharski Radosław J., Podstawy stosowania ekranów akustycznych w środowisku [online], [dostęp: 10.10.2015], <<http://www.ios.edu.pl/pol/pliki/EkranSynt.pdf>>.
12. Noise in Europe 2014 [online], Dania, European Environment Agency, 2014, ISBN: 978-92-9213-505-8 [dostęp: 2.11.2015], <[http://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014/at\\_download/file](http://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014/at_download/file)>.
13. PlastRex. Environmentally Friendly Noise Barriers [online], [dostęp: 8.09.2016], <<https://plastrex.eu/wp-content/uploads/2015/03/PlastRex-Noise-Barriers-ENG.pdf>>.
14. prosolve370e [online], [dostęp: 11.09.2016], <<http://www.prosolve370e.com/>>.
15. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, [online], [dostęp: 10.10.2015], <<http://isap.sejm.gov.pl/Download?id=WDU20071200826&type=2>>.
16. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, [online], [dostęp: 10.10.2015], <<http://isap.sejm.gov.pl/Download;jsessionid=F5AE3652F8BB044ED5E7BCCC4DC827AF?id=WDU20120001109&type=2>>.
17. Rubberised Concrete Noise Barriers (RUCONBAR), [online], [dostęp: 05.01.2016], <<https://ec.europa.eu/environment/eco-innovation/projects/en/projects/ruconbar>>.
18. Solar Noise Barriers (SONOB), [online], [dostęp: 03.01.2016], <<http://heijmans.nl/nl/solar-noise-barriers-sonob/>>.
19. Start of test with solar energy generating noise barriers alongside highway, [online], [dostęp: 03.01.2016], <<http://phys.org/news/2015-06-solar-energy-noise-barriers-highway.html>>.
20. The Clever Treefrog 10 [online], [dostęp: 11.09.2016], <<http://algae-architecture.com/?p=142>>.
21. The Living Wall, an ecological sound barrier solution inc. [online], [dostęp: 08.09.2016], <[http://thelivingwall.holz-scholbeck.de/brochures/brochure\\_ENGLISH.pdf](http://thelivingwall.holz-scholbeck.de/brochures/brochure_ENGLISH.pdf)>.
22. Toepassingsadvies schermen. Het advies t.a.v. de toepassing van (geluids)schermen ter verbetering van de luchtkwaliteit langs snelwegen, [online], [dostęp: 12.09.2016], <<https://www.hoevelakenbereikbaar.nl/www2/ MilieuZaken/luchtkwaliteit/Toepassingsadvies-schermen%20IPL-1b.pdf>>.

23. World Health Organisation (1980) Environmental Health Criteria, 12, Noise [online], WHO, Geneva [dostęp: 2.11.2015], <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc012.htm>>.
24. Zasadność budowy ekranów akustycznych i przepustów (przejść dla zwierząt) na autostradzie A2 i innych wybranych odcinkach dróg [online], Najwyższa Izba Kontroli, 2013, [dostęp: 10.10.2015], <<https://www.nik.gov.pl/plik/id,6707,vp,8519.pdf>>.



# **ATRIUM AS AN ELEMENT OF CONVERTED ARCHITECTURAL STRUCTURES**

## **ATRIUM JAKO ELEMENT PRZETWORZONYCH STRUKTUR ARCHITEKTONICZNYCH**

Jarosław Figaszewski<sup>1</sup>, Beata Kuc-Słuszniać<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Instytut Architektury, Racibórz, ul. Słowackiego 55, jarosław.figaszewski@pwsz.raciborz.edu.pl

<sup>2</sup> Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Instytut Architektury, Racibórz, ul. Słowackiego 55, beata.kuc@pwsz.raciborz.edu.pl

### **ABSTRAKT**

Przekształcenie budynku zmierzające do przystosowania istniejącej struktury do zmieniających potrzeb jej kontekstu: społecznego, gospodarczego czy przestrzennego jest procesem dobrze znanym w historii architektury i budownictwa. Na szeroką skalę działania przekształceniowe istniejących obiektów zostały zapoczątkowane w Europie Zachodniej, w latach 70. XX wieku, w związku z procesem odnowy miast. Współcześnie realia ekonomiczne i ekologiczne, a także argumenty kulturowo-estetyczne mają znaczący wpływ na proces przekształceń budynków. W artykule zaprezentowano wybrane przykłady przekształceń architektoniczno-przestrzennych istniejących budynków z wykorzystaniem atrium jako istotnego elementu rewitalizacji zabudowy w aspekcie zrównoważonego rozwoju.

Słowa kluczowe: przekształcenie budynku, atrium, rozwiązania energooszczędne.

### **ABSTRACT**

Converting a building to adapt an existing structure to the changing needs of its social, economic or spatial context is a well-known process in the history of architecture and construction. On a large scale, the conversion of existing buildings began in Western Europe in the 1970s in connection with the process of urban renewal. Nowadays, economic and ecological realities, as well as cultural and aesthetic arguments, have a significant impact on the process of buildings conversion. The article presents selected examples of architectural and spatial transformations of existing buildings, using atrium as an essential element of revitalisation of buildings, in the aspect of sustainable development.

Keywords: building conversion, atrium, energy efficient solutions

## **WPROWADZENIE**

Postęp techniki i nauki, a także narastająca presja rynku prowadzą do skracania okresu przydatności eksploatacyjnej budynku, pogłębiając tym samym różnicę z okresem jego trwałości fizycznej. Przywrócenie wartości eksploatacyjnej obiektu poprzez uzyskanie sprawności funkcjonalnej, technicznej i estetycznej wymaga przeprowadzenia interwencji architektonicznych. Skala możliwych przekształceń budynków jest szeroka. Obejmuje modernizację obudowy, wprowadzenie nowego podziału wnętrza, nowej konstrukcji, pozostawienie wartościowej ze względów estetycznych skorupy i wypełnienie jej nową przestrzenią użytkową, zmianę uformowania przestrzennego wskutek rozbudowy lub nadbudowy, obudowanie starego budynku nową strukturą.

## **PROBLEMATYKA ENERGOOSZCZĘDNOŚCI W PROCESIE PRZEKSZTAŁCEŃ OBIEKTÓW**

Konieczność dostosowania istniejących układów architektonicznych do współczesnych wymogów użytkowych stwarza możliwość użycia nowych technik i technologii budowania podczas interwencji architektonicznej. Współcześnie przewartościowanie myśli na temat projektowania, zmierzającego do kształtowania środowiska zabudowanego w harmonii z naturą, powoduje wzrost znaczenia rozwiązań energooszczędnych i proekologicznych w architekturze. Zakres ich zastosowania powinien obejmować nie tylko nowo projektowane budynki, ale również istniejące obiekty, które podlegają procesom modernizacji, regeneracji, a zwłaszcza rewitalizacji. W świetle dzisiaj obowiązujących standardów były one już w momencie powstania obciążeniem dla środowiska. Dlatego, myśląc o przedłużeniu okresu przydatności eksploatacyjnej budynku, warto zmienić jego dotychczasowe relacje ze środowiskiem. Wiąże się to z kompleksowym podejściem do strategii ogrzewania, chłodzenia i oświetlenia dziennego, z racjonalnym gospodarowaniem energią, wodą, materiałem i powietrzem. Wobec ograniczeń, jakie stwarza istniejąca materia, rezultat działań w dużym stopniu zależy od świadomości projektanta i jego umiejętności korzystania z narzędzi, jakie oferuje budownictwo energooszczędne i proekologiczne [3].

## **UWARUNKOWANIA DOBORU ENERGOOSZCZĘDNYCH ROZWIĄZAŃ**

Dobór systemów pozyskujących energię ze źródeł odnawialnych dla potrzeb rewitalizowanych obiektów powinien być każdorazowo rozpatrzony z osobna. W każdym przypadku inna jest bowiem ich przydatność. Zakres i rodzaj użytych rozwiązań zależy od następujących uwarunkowań:

- urbanistycznych – W budynkach poddanych rewitalizacji decyzja o ich usytuowaniu została dawno podjęta. Do rozpatrzenia pozostaje możliwość wprowadzenia korekty urbanistycznej istniejącej zabudowy (wyburzenia lub rozbudowy) dla poprawy warunków oświetleniowych i efektów energetycznych;
- klimatycznych – Cechy miejscowego klimatu (nasłonecznienie, temperatura, wilgotność, wiatry) mają zasadniczy wpływ na celowość stosowania poszczególnych rozwiązań systemowych;

- fizjograficznych – Rzeźba terenu i rodzaj podłoża mogą wzmacniać lub osłabiać efekty energetyczne;
- przekształcalności obiektów – Zastosowanie rozwiązań systemowych uzależnione jest od stopnia planowanej ingerencji architektonicznej, co wiąże się z wartością użytkową, techniczną i kulturową obiektu [2];
- Wartość użytkowa określa przydatność istniejącej struktury dla przyszłej funkcji;
- Wartość techniczna wyraża stopień zużycia substancji budowlanej i dezaktualizacji standardu technicznego. Większe zużycie wymaga większej ingerencji i zwiększa zakres zastosowań energooszczędnych rozwiązań systemowych;
- Wartość kulturowa dotyczy treści ideowych i wzrasta z wiekiem budynku. W przypadku obiektów zabytkowych rygorystyczne przepisy mogą poważnie zawęzić zakres użycia energooszczędnych rozwiązań systemowych;
- funkcjonalnych obiektu – Przeznaczenie budynku warunkuje rodzaj zastosowanych rozwiązań systemowych;
- ekonomicznych – Generalnie wszystkie systemy energooszczędne powodują zwiększenie nakładów inwestycyjnych i obniżenie kosztów eksploatacyjnych, ale istnieją spore różnice w tej materii.

## ZRÓŻNICOWANIE ROZWIĄZAŃ SYSTEMOWYCH

Rozwiązania energooszczędne wykorzystywane przy rewitalizacji istniejących obiektów mogą mieć charakter techniczno-materiałowy lub/i przestrzenny. Zaliczane są one do komponentów energetyki słonecznej, wchodzących w skład systemów biernych i aktywnych. Podczas interwencji architektonicznej mogą znaleźć zastosowanie przeszklone perforacje przegród, dodatkowe zewnętrzne powłoki, szklane dachy, modyfikacje ścian kolektorowych oraz izolacje transparentne. W użyciu są także kolektory słoneczne i ogniwa fotowoltaiczne, addytywne i zintegrowane, których współczesny asortyment pozwala na uzyskanie pożądanych efektów estetycznych.

Oprócz środków techniczno-materiałowych wprowadzane są komponenty przestrzenne, obejmujące różnego typu formy atrialne. Wnoszą one bogactwo wartości, które mają zróżnicowany charakter: funkcjonalny, kompozycyjny, estetyczny i utylitarny. Są źródłem wymiernych korzyści uzyskanych bez konieczności zaangażowania techniki podczas eksploatacji budynku. Wiążą się z poprawą warunków oświetleniowych i mikroklimatu wnętrza oraz pozyskaniem energii z promieniowania słonecznego. Mają znaczący udział w eksponowaniu problemów energetycznych w bryle budynku.

## ATRIUM JAKO KOMPONENT PRZEKSZTAŁCONYCH OBIEKTÓW

Współczesne atrium daleko odbiega od klasycznych form. Przekrycie wydzielonej przestrzeni pozwala na bardziej elastyczne podejście do kwestii umiejscowienia go w strukturze budynku. Możliwe stały się lokalizacje obrzeżne, wcześniej trudne do określenia bez całościowej osłony. Diametralnie zmienia to wyobrażenie przestrzeni atrialnej, której dotychczasowe ramy tworzyły różne obudowane powierzchnie użytkowe. W niektórych

przypadkach nie jest już ona otaczana, lecz sama otacza, kreując strefę pośrednią między wnętrzem a zewnątrz budynku [1]. Współczesne koncepcje przestrzeni atrialnej dają zatem wiele możliwości w procesie przekształceń obiektów.

Analiza zrealizowanych rozwiązań dostarcza przykładów różnego sposobu podejścia do interwencji architektonicznej, korzystającej z atrium jako znaczącego elementu przetworzonej kompozycji przestrzennej. Polegają one na:

- zaadaptowaniu istniejących podwórek i dziedzińców przez przekrycie ich materiałami przeziernymi,
- wypełnieniu luk między obiektami kubaturowymi,
- powiązaniu rozproszonej zabudowy;
- dodaniu przeszklonych kubatur w celu zwielokrotnienia planów,
- stosowaniu przeszklonych nadbudów,
- wygenerowaniu atrium w strukturze przekształconego budynku.

Najbardziej zachowawczym działaniem jest przekrycie szkłem dziedzińca lub wnętrza kwartału, wskutek czego powstaje wewnętrzne kryte atrium. Historyczna oprawa architektoniczna wydzielonej przestrzeni uzupełniona jest zwykle delikatną strukturą przekrycia. Jego geometria jest uzależniona od rzutu przekrytej przestrzeni oraz od tektoniki brył okalających, dzięki czemu zadanie to może być nie lada wyzwaniem dla projektanta. Przekryte wnętrze atrium zyskuje na znaczeniu, ponieważ w przeciwieństwie do pierwotnych założeń wykorzystywane jest przez cały rok, niezależnie od warunków atmosferycznych. Staje się przez to głównym ośrodkiem zdarzeń – w tym miejscu następuje integracja i rozdział klienteli, pracowników, interesantów i gości. Przykładem tego typu działania są: Museum für Hamburgische Geschichte w Hamburgu, British Museum w Londynie i Smithsonian Institution w Waszyngtonie.



Fot. 1 Wewnętrzne atrium British Museum w Londynie, arch. Norman Foster. Źródło: en.wikipedia.org, foto: M. Chohan



Fot. 2 Smithsonian's Art Gallery w Waszyngtonie, arch. Norman Foster. Źródło: s4.hubimg.com

Nieco inne efekty wizualne i funkcjonalne można uzyskać przez przeszklenie i zagospodarowanie wyartykułowanych w bryle przestrzeni typu cour d'honneur. Charaktery-

zują się one otwarciem na otoczenie, mogą występować pojedynczo lub być zwielokrotnione w zabudowie grzebieniowej. W następstwie wprowadzenia całościowej osłony dla tych przestrzeni powstają zatoki atrialne, które pozwalają osiągnąć większą zwartość zabudowy. Zmienia to stosunek powierzchni przegród zewnętrznych do kubatury obiektu, co w ostatecznym rozrachunku wpływa korzystnie na bilans cieplny budynku. Muzeum Żydowskie w Berlinie dostarcza interesującego przykładu przeszklonej przestrzeni typu cour d'honneur. Atrium było kolejnym etapem rozbudowy tego obiektu. Jego wyrazista struktura przekrycia, jakże odmienna od poprzednio prezentowanych rozwiązań, koresponduje z pierwszym etapem rozbudowy i pomimo swej agresywności nie wchodzi w konflikt z artykulacją ścian budynku.



Fot. 3 II etap rozbudowy Jüdisches Museum w Berlinie. Przeszklone cour d'honneur. Arch. Daniel Libeskind. Źródło: [www.daniel-libeskind.com](http://www.daniel-libeskind.com)



Fot. 4 Wnętrze atrium Muzeum Żydowskiego w Berlinie, arch. Daniel Libeskind. Źródło: [www.core.form-ula.com](http://www.core.form-ula.com)

Dostosowanie istniejących układów architektonicznych do współczesnych zaleceń użytkowych często wymaga uzupełnienia historycznej tkanki o nowe elementy. W zestawieniu starych hal z nową kubaturą mogą pomóc łączniki atrialne. Wypełniają one lukę między obiektami kubaturowymi, a ich przezierność i neutralność pozwalają utrzymać dystans i osłabić kontrast między zróżnicowanymi formalnie segmentami. Pełnią one funkcję holu wejściowego i miejsca wypoczynku. Podobne zadanie, choć na większą skalę, mają do spełnienia przeszklone pасаże, wiążąc stary obiekt z nową częścią. Przy rozległych założeniach i rozproszonej zabudowie stają się elementem porządkującym kompozycję przetworzonego układu architektonicznego. Ze względu na linearny charakter stanowią one kręgosłup komunikacyjny. Jako przykład może posłużyć Textorial Park w Łodzi.





Fot. 5 Kulturspeicher (Spichlerz kultury) w Würzburger, arch. Brückner & Brückner Architekten. Źródło: [www.baunetz.de](http://www.baunetz.de)



Fot. 6 Wyodrębnienie starej i nowej materii, arch. Brückner & Brückner Architekten. Źródło: *IndustrieBAU* 1/2008

W przypadku budynków uformowanych pierwotnie zgodnie z pragmatyzmem dawnych epok w postaci prostokreślnych ceglanych brył, proces adaptacji może polegać na dodaniu obrzeżnych przestrzeni atrialnych, aby przylegały one do zastanych fasad. Stara obudowa otrzymuje w ten sposób dodatkowe plany i zyskuje na lekkości. Atria nie zakłócają odbioru starej materii, lecz ją dowartościowują, tworząc nową jakość. Skala interwencji architektonicznej jest czytelna. Zasada ta stała się podstawą koncepcji przebudowy m.in. obiektów portowych w niemieckiej miejscowości Würzburger, której celem było miejskie centrum kultury, określane mianem spichlerza kultury. Powstałe w ten sposób szklane segmenty zarezerwowane są dla funkcji towarzyszących, np. restauracji, natomiast zasadnicze powierzchnie ekspozycyjne, muzealne mieszczą się w starej strukturze [6].



Fot. 7 Corso – Office Center w Karlinie, arch. Ricardo Boufill. Foto: K. Kawka



Fot. 8 Wnętrze atrium Corso, arch. Ricardo Boufill. Źródło: [www.metrostav.cz](http://www.metrostav.cz)

Przekształcenia budynków o niskiej wartości technicznej i użytkowej, a wysokiej wartości artystycznej lub historycznej skłaniają projektantów do pozostawienia obudowy i wymiany konstrukcji. Często zachowane są tylko zewnętrzne ściany, a budynek otrzymuje nowe przekrycie lub nadbudowę. Ingerencja w wewnętrzną strukturę daje sposobność do wygenerowania we wnętrzu obiektu przestrzeni atrialnej, której pierwotnie tam nie było. Z takiej szansy skorzystano przy zaadaptowaniu XIX-wiecznej hali przemysłowej na centrum administracyjne Corso w Karlinie na przedmieściach Pragi. Wskutek wygenerowania wewnętrznego atrium strefa wejściowa budynku pozyskała walor reprezentacyjności, a wnętrze stało się bardziej atrakcyjne. Wysoki standard wydzielonej przestrzeni publicznej ma kształtować wizerunek świata biznesu [4].



Fot. 9 Kopia Reichstagu w Berlinie, arch. Norman Foster, fot. Beata Kuc-Słusznik



Fot. 10 Wnętrze przeszklonej kopuły Reichstagu w Berlinie, arch. Norman Foster, fot. Beata Kuc-Słusznik

Przebudowa Reichstagu w Berlinie jest przykładem zastosowania przeszklonej nadbudowy – szklarni, która przybrała formę kopuły. Kopuła poza walorami estetycznymi pełni ważną rolę w systemie wentylacji i zarządzania energią w obiekcie, a także stanowi przekrycie i doświetlenie znajdującej się w budynku sali plenarnej. Umieszczona wewnątrz kopuły ażurowa przesłona, przemieszczając się wraz z rytmem dnia, chroni wnętrze przed przegrzaniem i olśnieniem w okresie letnim. W okresie zimowym przesłona jest natomiast odsuwana, aby we wnętrzu w maksymalnym stopniu wykorzystać promieniowanie słoneczne. Ranga obiektu, charakter przekształceń i czas, w którym ich dokonano, powodują, że budynek Reichstagu staje się nie tylko symbolem powrotu centralnych władz do Berlina, ale również manifestacją wartości ekologicznych w architekturze.





Fot. 10 Centrum handlowe Plaza w Suwałkach,  
foto: J. Figaszewski



Fot. 11 Wnętrze centrum handlowego  
Plaza w Suwałkach, foto: J. Figaszewski

Spektakularnym przykładem działań włączenia starej substancji budowlanej w nowopowstające budynki jest utworzenie atrium w strukturze przekształconego założenia. W ostatnich latach działanie to występuje często w odniesieniu do budowanych w centrach miast obiektów komercyjnych, głównie centr handlowych. Zintegrowanie nowej struktury atrium ze strukturą historycznego budynku/-ów daje możliwość zarówno wprowadzenia nowego programu funkcjonalnego, jak i wyartykułowania historycznej zabudowy.

## PODSUMOWANIE

Atrium jako element przetworzonych struktur architektonicznych jest jedną z atrakcyjniejszych metod przywracania do ponownego użytkowania obiektów, których dotychczasowa funkcja uległa dewaluacji. Realizacja różnorodnych form atrium w odniesieniu do przekształcanej architektury pozwala na nieszablonowe myślenie o starych budynkach mających wartość historyczno-kulturową. Atria przyczyniają się do kształtowania nowego wyrazu formalnego starego obiektu oraz wprowadzają nową jakość w istniejącą strukturę przestrzeni otaczającej. Z jednej strony jest to działanie o charakterze ekonomicznym. Połączenie starego z nowym wiąże się z określonymi działaniami, które podobnie jak w przypadku każdej interwencji budowlanej są możliwe do oszacowania. Ponieważ zastany budynek był wcześniej użytkowany, spełniał szereg wymagań wynikających z przepisów budowlanych, przeciwpożarowych, sanitarnych, itp., więc ponowne przystosowanie go do współczesnych celów, w wielu przypadkach, wydaje się być znacznie tańsze od wyburzenia i zbudowania na jego miejscu nowego obiektu.

Z drugiej strony atria zharmonizowane z istniejącymi strukturami architektonicznymi stają się ważnym komponentem koncepcji energetycznej budynku, która ma na celu zapewnienie odpowiedniego mikroklimatu wnętrza starego-nowego budynku przy maksymalnym ograniczeniu zużycia energii.

## LITERATURA

1. Celadyn W., Przegrody przeszklone w architekturze, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2004.
2. Figaszewski J.; Atrium jako narzędzie pozyskiwania energii promieniowania słonecznego, referat wygłoszony podczas seminarium pt. Optymalne gospodarowanie energią w budownictwie i gospodarce komunalnej, Gliwice 28.01.2008.
3. Gasidło K.; Problemy przekształceń terenów przemysłowych, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Architektura”, z. 37, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
4. Koukolik J.; Promena industrialni architektury v Karlne, w: forum 4/2001.
5. Mikoś-Rytel W.; O zrównoważonej architekturze ekologicznej i zarysie jej teorii, „Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Architektura”, z. 41, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
6. Rackwitz J.; Modernes Bauen mit regionaler Prägung, w: industrieBAU 1/08.



# IMPROVING AN EMOTIVE EXPERIENCE IN THE STREET

Luis Pinto<sup>1</sup>, Artur Modlinski<sup>2</sup>, Antonio Polainas<sup>3</sup>

<sup>1</sup> CITAD Research Center, Lusitana University of Lisbon and University of Beira Interior, Department of Architecture, Covilha, Portugal, [moreirapinto.arq@clix.pt](mailto:moreirapinto.arq@clix.pt)

<sup>2</sup> Faculty of International and Political Studies, International, Department International Marketing and Retailing, Łódź University, Poland

<sup>3</sup> RTP (Public Portuguese Television) and Teacher at Social Communication School, Lisbon, Portugal

## ABSTRACT

In recent decades, many of the activities of our society change its structure and expand its borders. It was necessary to go beyond the border and seek new solutions to the demands of a "new world".

Architecture has always been the result of the delicate balance between art and science.

With this study we intend to clarify the meaning of the immaterial value of the street. Architects are now using a different methodology to conceiving projects. They work between atmospheres and emotions. Art meaning is not a conscious perception, but addresses the intuitive apprehension. We could say that perception leads to the expression and the expression is essential for the perception. One "sees" and "interprets"; the other "represents".

In this research paper, we address the issue about the immaterial value of the street, that it is a visual experience that subconsciously affects individual's functions and emotions. We are talking about shape, colour, light, and shadow. For some people the colour assumes a prominent role, balancing, signal, interpretive emotion associated to the shape and texture. For others it takes on the role of exaggeration, excess, so its absence or colour uniformity are assumed as principal as the form and that is the immaterial role of the street. It is the way how we feel happy or sad.

A place reveals itself on its streets, from pedestrians strolling during lunch time, to performers entertaining tourists on sidewalks, to the bustle of local markets, and more.

The street will improve an emotive experience across multiple contexts and interaction moments.

Is it possible to have a building or a street or a city, that can make you happy, sad, or even angry?

Keywords:

## INTRODUCTION

Over the years, the street has been understood as a place where buildings just line up, with shopping centers and various businesses taking place.

People walk in the street, day by day, all days of the week, but they usually do not stop to look around and try to understand how happy they could feel, just because they are walking in the street.

Architecture shape, in our opinion, could improve people mood. The colours of the buildings, the more or less aggressive shapes of the buildings, and their function could improve the individual mood.

The aesthetical interpretation of the space is something very particular and individual. The way how we see or interpret the street depends directly on our individual culture.

There are also intangible values (Cabral, 2011), associated directly with the cultural value of a particular detail of a set or a reading space, as a whole, indivisible, in that if you remove a single point of that set, it will lose in full, preventing their reading.

## SHAPE PERCEPTION

In the field of perception the shapes of the objects and everything that surrounds us directly interact with how we understand and recognize the space.

In our case we assume that the visual qualities of the space dominate, how the perception identifies the street and how it understands the street inside a space that becomes a place, due to the physical nature of the built environment.

Some researchers and architects studied the characteristics of the built space at the perception level, reaching very different conclusions, but as a whole indicating that all of our senses are going directly to influence the way how we live and interpret the street.

Individual livings and culture of each one will connote the result of individual experience of each one.

But in reality to conceive a "perfect" space is almost an impossible assignment and very subjective. It will be an experience to be lived between an aesthetic and functional way.

It becomes even more difficult to project the "perfect" street because of the circumstance that architects usually do not construct a prototype outside the computer, on a real scale which are almost always limited by the legislation and budgets, which are often short, and that are going to limit the creative process, too.

Architecture and the form takes, both outwardly and inwardly, a direct impact on the people mood. We can always say that this is one of the main reasons of architecture, in addition with the empirical function.

Not always we interpret the street as it seems to us, but rather as we feel it, constructing somehow, a way that allows us to act and behave, think and reflect while we pass down the street. But it will be not necessarily causal. What it means is that architecture may not have a direct connection with our mood, because it depends of the way how we understand the world. Making it too difficult to transform or summarize this interpretation as the reading of the street space in a measurable way.

This is a complex and subjective process, and to happen may be only after a long time. Anyway, almost no one can remain indifferent to a building, with regard of its shape colour, and texture.

But the various buildings in the space of one street are interpreted by perception as a global whole, where each building is essential for complete reading of space.

It is such a comfortable way, which often we pass by one street and we do not realize about the buildings. Often they are so well integrated in the street that we do not see them.

But when a building is hereby amended as regards the shape or even only in the colour, at the same time we feel an unconscious desire in observing and interpreting it. Often there appears criticism, because of lack of habit, which with the passage of time becomes perfectly acceptable, or even due to personal reference as regards to choose of some aesthetic criteria.

## THE SHAPE

1923 Kandinsky has researched the aesthetic quality of the three primary shapes, square, triangle and circle, and linked them to the three primary colours, magenta, yellow, and blue, respectively.

For Kandinsky these primary shapes are not limited to associate and interpreted by colour but also by motion stimuli, which are only possible to be interpreted with a very high specificity, because when we associate the colour and the shape, we are increasing the aesthetic interest on these forms.

Thereby the yellow triangle is associated with dynamism, the square magenta is associated with a more static image form, and the blue circle is associated with serenity and a feeling of calm, when we look this way. Alan Wolf, physicist, has proposed to imagine life in a space about three dimensions, but to take into account at the same time the fractal structure of the natural world. With this, the way to interpret the street and its space achieves a three-dimensional proportion divided into perception stimuli.

These theories arise at the height of the Art Nouveau, where the world was discovering a set of emotions and modernist tendencies led by Bauhaus, and many people and scholars, in subsequent years, contesting all of them.

On the other hand, the memories of nature brought to the forms of architecture, demonstrated some concern about the importance of the Natural World and their relationship with the Construction World.

There was an emotional tendency and apparent happiness about the result of the architectural forms of Art Nouveau and maybe we can say it would be "Happy Art".

Today's construction examples are many, from organic to minimalistic style, with strong and abstract shapes that improve the expression of the facades and of the street as a whole.

The architectural shapes are the vehicle for the understanding and that, almost always, are the key to knowledge, perception of emotions that are transmitted by the architecture, which are mirrored in the set of buildings from a street.

The objects of architecture and urban planning are often tarred with ideologies and are the means to interpret and know the world or the historical moment.

The art in architecture is a vehicle of persuasion that will influence the individual taste and link the shape to an artistic moment or the artistic movement of a particular time or season.

Today the way we see and interact with the space is understood in a more free form, where sensory experiences are now part of the concept and the project.

What we observe provokes feelings, which are interpreted in accordance with our way of life and cultural wealth.

As regards the origin of the shapes and if we accept Kandinsky methodology, where the three primary shapes are square, triangle and circle, then we can say that these are the original shapes, which will give result in all other forms more abstract.

Through the juxtaposition of the primary forms we reached all the other forms. This is just a way of understanding the origin of shapes, such as the point is the origin of the line.

We could try to define perception as the process of organizing, interpreting, and selectively extracting sensory information. The perception leads to the expression. The expression is essential for the perception. One "sees" and "it interprets", the other "represents".

The message lives in the expression of the idea. That is why it seems that Frank Lloyd Wright developed a system, where with the primary shapes and after rotating, those geometric forms will appear in new shapes, more or less abstract. Wright believed that geometry had cosmic meaning, connecting man to the cosmos. With this romantic point of view, architecture could improve the harmony between the Man and the world (Alofsin, 1993, pp. 4–5). It will be the origin of an infinite amount of combinations of shapes.

## **AESTHETIC EXPERIENCE**

The aesthetic experience may be defined as the moment in which the subject establishes a relation with the object. In this relation the body and all senses are connected. And that experience is aesthetic and unique, which is original, particular, of a sole individual, and constitutes a moment of a relation. There must be a relation between the subject and the object so that and aesthetic experience comes to life, leaded by time and sense (Eco,1987). There must be a dialog between the subject and the object. We may consider architecture as a future perception based on past perceptions. It represents the aesthetic capacity of revealing the architect's creativity, which does not have to be an aesthetic fracture.

With this study, we intend to clarify the meaning of the immaterial value of the street. Architects are now using a different methodology to conceiving projects. They work between atmospheres and emotions. Art meaning, is not a conscious perception, but addresses the intuitive apprehension. We could say, that perception leads to the expression, and the expression is essential for the perception. One "sees" and "it interprets", the other "represents".



In this research paper, we address the issue about the immaterial value of the street, that it is a visual experience that subconsciously affects individual's functions and emotions. We are talking about shape, colour, light and shadow. For some people the colour assumes a prominent role, balancing, signal, interpretive emotion associated to the shape and texture. For others it takes on the role of exaggeration, excess, so its absence or colour uniformity are assumed as principal as the form, and that it is the immaterial role of the street. It is the way how we feel happy or sad, when we walk on the street.

The Happy Street it is the way how we see the Street and it is an individual aesthetical experience, a creative, intuitive, and emotional approach, where people could find a simple and fast way to shape an experience and interact with them in real life. It is like a street with music or with colours. It could be a good solution to improve the aesthetic feeling and happiness to the people, who visit the street.

The street will improve an emotive experience across multiple contexts and interaction moments. This greatly impacts people satisfaction and place loyalty. People feel happiness.

We may say that a place reveals itself on its streets, memories, and pedestrians, and all of these items are directly connected with the shape and the colour of architecture.

The emotion that space gives to man comes from a set of emotions and meanings. On the one hand, they are part of their genesis interpretive, but on the other hand, they are induced by individual socio-cultural characteristics.

In the architecture the application of colour will increase the aesthetic interest of the observer.

Colours are connected with different states of happiness sensations.

Frank Lloyd Wright explains that "The Architect must be a prophet, a prophet in the true sense of the term; if he can't see at least ten years ahead don't call him an architect" (Wines 2000, 193-194). It means that the architect must project thinking on the future. The architectural object and its interpretation have evolved in one direction, in that for the most creative architects can lead them to different plastically shapes from those that we had been getting used to since a long time. According to Bruno Zevi, the representation process of architecture has always faced limits imposed by the used tools (Zevi 1989, 00-33). Architects must understand and use all the tools associated at new technologies in a way to be applied during the projecting process. With all of these information and by the research of new tools, it will be possible to project new shapes and new layouts for the interior and exterior of the house.

## **HAPPY STREETS**

The street will improve an emotive experience across multiple contexts and interaction moments. Happy Street is a creative, intuitive and emotional approach, where people could find a simple and fast way to shape an experience and interact with them in real life. The use of a formal colour in a street will bring you a certain emotion from your past experiences, because colour is a visual experience that subconsciously affects individual's functions and emotions.

Colours are playing the vital role in the creative perception process as far as they can have the impact on the final impressions of people towards the architecture, in such way that people do not think about colours, but they interact directly with the buildings and with the street itself. They understand the spirit of the place, the memory of the past, and the heritage. The street could be more dynamic, just because of the use of colours.

It will input emotion in the expression process of understanding space and shape.

Empathy will appear, when we feel emotion and it is defined by Worringer in the man's relationship principles and the outside world as "sentimental projection."

Scientist's hypothesized that the colour interacts with people's hormonal systems to change their moods.

Colour is a visual experience that subconsciously affects individual's functions and emotions.

Colour has always been applied in architecture since the Palaeolithic until today. In the Palaeolithic paintings were made through pigments obtained directly from nature. In the Ancient Egypt colour was used in architectural spaces associated with the cult of dead people and private houses from people with higher economic power. In the Greek time it appeared in prestigious buildings with good quality materials like marble, creating chromatic contrasts and murals. During the Gothic it was applied especially in large stained glass windows with intense and bright colours. In the Baroque colour was assumed as having a prominent role, introducing the fantasy, fascination, and premeditated exaggeration. Today the colour assumes a prominent role, balancing, signal, interpretive emotion associated to the shape and texture. For other it takes on the role of exaggeration, excess, so its absence or colour uniformity are considered as principal as the form.

Architecture suggests a mood to us, which we may be too internally troubled to be able to take up.

It could be compared to the weather: A fine day can substantially change our state of mind and people may be willing to make great sacrifices to be nearer a sunny climate.

If we could say that "Happy" in architecture could be something with a beautiful Layout or Shape, according to the individual culture of a person, we will find in our past that other architects tried to define, what it means "beautiful".

For example, Vitruvius and later Palladio believed that people and society would be enriched by following the ideals of symmetry and proportion. Later the theory of *Einfühlung* or Empathy from its origin had numerous interpretations since Theodor Lipps (1903), Johannes Volkelt (1905) among others.

The *Einfühlung* act presupposes "the general perceptive activity, which is not arbitrary but necessarily linked to the object". Empathy is defined by Worringer in the man's relationship principles and the outside world as "sentimental projection".

During our research we found several different architects, who use the colour, as a part of the construction process. In our opinion Souto Mora uses neoplastic language, where colour and texture make you feel emotions. Tomás Taveira applies the colour as an element of fascination, causing sensations. The colour is a constant in the work of this

architect. It is treated as a construction element, such as brick or cement. The colour is associated to the form, often provocative. It stimulates the senses. Causes the individual aesthetic opinion. It is an ally of Pop Art in many of his works. You cannot be indifferent. For Barragán colour shows the character of the space. The emotion necessary to beauty implies the presence of light and colour. The colour and light are responsible for the transformation of spaces. For Siza Vieira colours take advantage of achromatic surfaces. Purity of monochrome leads us to the understanding of shape through the shadows, light, and clean textures. White, as a mixture of all colours, is pushed to the limit in his work.

We may also think about the “Favelas” in Brazil and how many colours they use to paint their houses. There the popular culture joins the musicality of rhythms and textures of the facades. It causes reactions of various stimuli and passes the message: “We’re here!”.

The other option to the use of colours in a street is to apply them in buildings and big drawings with different subjects. Sometimes it is about more political subjects, but other times more artistic subjects. With the use of the perspective drawings and colours with the application of elements of the involving area around the place, we will have a sensation of virtual reality.

The observer has an aesthetic opinion.

Walk in the street will be exciting and people should feel more and more happy, because colours interact directly with our mood.

## THE MEANING OF COLOURS

Scientist’s hypothesized that the colour interacts with people’s hormonal systems to change their moods.

Colour is a visual experience that subconsciously affects individual’s functions and emotions.

When we look at certain colours, the colours will bring you a certain emotion from your past experiences.

Colour always has been applied since the Palaeolithic until today, for example: during the Palaeolithic, was made through pigments obtained directly from nature. In the Ancient Egypt, colours were used in architectural spaces associated with the cult of dead people and private houses from people with higher economic power. In Greece, the use of colours was applied in prestigious buildings with good quality materials like marble, creating chromatic contrasts, and murals. In the Gothic was applied especially in large stained glass windows, with intense and bright colours. During the Baroque Period Assumed a prominent role, introduced the fantasy, fascination and exaggeration premeditated.

Nowadays, the colour assumes a prominent role, balancing, signal, interpretive emotion associated to the shape and texture. For other takes on the role of exaggeration, excess, so its absence or colour uniformity are assumed as principal than the form.

For Barragán colour shows the character of the space. Siza Vieira takes advantage of a chromatic surfaces.

We can say, research the VIA Architecture School Blog, that usually the Blue brings a calming feeling of serenity, but dark blue can evoke feelings of sadness. Yellow is a “happy” colour that lightens your mood and can help you feel more carefree. Red is the colour of passion and can evoke intense feelings like love or anger. Orange encourages an enthusiastic mood. Green evokes a feeling of the outdoors and can help alleviate stress. Purple can also bring out a passionate mood. Black is a very powerful colour. Gray colours can add a subtle elegance. White evokes a mode of cleanliness and calm.

We have done a research in the street and asked some questions to people, who walked there about the meaning of some colours for their mood..

We have done this research to 200 people from several countries in Lisbon downtown.

We were in Rua Augusta (Augusta Street), which is one of the most wealthy and tourist streets of Lisbon. That is why we looked there for several people from other countries and we invited them to our research.

We made five questions ( Fig. 1 ) to people from 18 until 70 years old, both male and female.

The questions were:

1. Can colours make us feel happy or sad?
2. Could a street with colours in the buildings mean a “Happy Street”?
3. Do you agree that the red is the most happy colour?
4. Is the green colour the most positive colour for you?
5. Could colours help you to understand better the space and the shape of a building?

### **I. Resume of the answers about the meaning of colours. Research done in Lisbon downtown between 20 January and 20 February, 2016. Source: Luis Pinto, 2016.**

We can conclude that the use of colours will change our mood, according the opinion of 83 percent of people. However 35 percent do not know or do not have any opinion.

About the idea that a street with colours on the buildings is a “happy street”, we can conclude that for 44 percent of the interviewed people it is, but for almost the same percentage(41 percent) it is not. It depends on the individual opinion about the meaning of the colours.

About the use of red colour and the meaning of happy colour we found that 40 percent of people do not agree that the red colour means happiness and only 32,5 percent agree with that opinion. At the same time the majority of people (60 percent) agree that the green colour is the most positive colour.

For the last question about whether colours could help to understand better the space and the shape of a building, 50 percent agree and 22,5 percent do not agree.

Most good and bad things become less good and bad over time as we adapt to them.

That’s why colours are so important in the architecture layout. Because, Colours can make us feel happy or sad... they can make us feel hungry or relaxed.

It's important to understand the psychological effects colours might have on an average person, when that person walk in a street.

What has been revealed it is that the architecture is becoming "equal" throughout the world, because of globalization...

The use of colour will input emotion in the expression process of understanding space and shape.

Sometimes the shape could be miss understood, because of the use of colour.

## **THE MOOD IN ARCHITECTURE**

Architecture suggests a mood to us, which we may be too internally troubled to be able to take up.

Could be compared to the weather: a fine day can substantially change our state of mind -- and people may be willing to make great sacrifices to be nearer a sunny climate.

When we are in a bad mood, though, we can feel bad for several hours. We could say that moods are like feelings but less emotional.

In the past, for example, with Vitruvius, and later with Palladio, believed that people and society would be enriched by following the ideals of symmetry and proportion. And because of that, people should accept that it means something was beautiful.

We could say that the mood is directly connected with some kind of symbolism, that interact with perception and results in feelings and emotions.

Buildings, their construction and layout, send a message to the viewer. That message will be understood according the size and position, revealing subtitle messages.

People that are not familiar with some kind of cultures might not understand the message of the street. However as a result of their history and individual culture they will have an interpretation provided from some abstract shapes, like decoration of facades, windows, and their melody, materials, colors, etc.

Nowadays, with the globalization and the technological expansion, we are in front of a new social way of living and interpretation of a space.

The way how we understand the world and the street is much more interactive, virtual, and systematic. Buildings can play a role in the experience of real time situations, improving the self-curiosity to understand the street and improving its aesthetical interpretation.

Today we can say that architecture could affect our emotions, because sometimes we really like it, and other times because we do not understand and do not like it.

The street could be something like chaotic, but at the same time very well organized.

Beauty has a huge role to play in altering our mood. When we call a chair or a house beautiful, really what we are saying is that we like the way of life it is suggesting to us. It has an attitude and we are attracted and feel happy.

The intangible value of the street, consists of simple elements such as colours, textures, rhythms, and architectural design.

These elements are interpreted in accordance with the individual culture of those who walk in the street.

But in the beginning of last century the *Einfühlung* theory appears. This theory act presupposes “the general perceptive activity, which is not arbitrary but necessarily linked to the object”.

Empathy was defined by Worringer in the man’s relationship principles and the outside world, as “sentimental projection.” Giedion explains the concept of rationalism as “a new plastic sensibility: a new development of spatial rhythms and a new faculty of perceiving the play of volumes in space” (Giedion 1958, 93). Later Gregory said that the empathy theory “is that the observer identifies himself with parts of the figure . . . and that he becomes emotionally involved so that his vision is distorted rather as emotion might distort an intellectual judgment” (Gregory 1966, 144).

With the amount of decorative and finishing materials that exist on the market, including innovations in shape and function, their application inside and outside the building, architects are forced to specialize in specific areas, both at the level of the architecture and that of ambience, such as the facade architecture. For example, if we compare current architecture with what it will be in the near future, a style of artistic painting, the result would be that of “Abstract Expressionism.” Abstract Expressionism is a landmark in the general trend of art history. Its revolutionary style revises our view of everything before and after. There must be a relation between the subject and the object so that the aesthetic experience comes to life, led by time and sense. As originally posited by Umberto Eco, there must be a dialog between the subject and the object (Eco 1989).

Improving an emotive experience in the street, after our research, means that our mood and feelings, could be better or worse because of the shape, color volume, and texture of one building of the street, or from all streets. Those buildings are the meaning of the message and will help to translate the idea about the recognition of the place.

## **CONCLUSION**

Architecture has always been the result of keeping the balance between art and science.

With the use of colours in architecture the observer will have an aesthetic opinion.

We perceive things based on our expectations and knowledge about the world.

Most good and bad things become less good and bad over time as we adapt to them. That is why colours are so important in the architecture layout. They can make us feel happy or sad, hungry or relaxed. It is important to understand the psychological effects colours might have on an average person, when that person walk in a street.

Colours can be subjective – what might one person make feel happy, can another person make feel irritated, depending on the viewers’ past experiences or cultural differences.

We should find the musicality of facades with the use of colours. They cover the buildings and at the same time give music to the perception.

What has been revealed is that the architecture is becoming “equal” throughout the world, because of globalization.

The use of colour will input emotion in the expression process of understanding space and shape.

Sometimes the shape could be misunderstood, because of the use of colours, which cover the buildings and at the same time give music to the perception.

The aesthetics signification of happiness is the immaterial value of the street.

The intangible value of the street consists of simple elements, such as colours, textures, rhythms, and architectural design.

These elements are interpreted in accordance with the individual culture of those who walk in the street.

Colours can be subjective – what might make one person feel happy can make another person feel irritated depending on the viewers' past experiences or cultural differences.

The intangible value of the street is directly associated with beauty, satisfaction or happiness criteria.

Architecture is a visual art and the street represents that visualization of art and emotions.

The aesthetic signification of happiness is the immaterial value of the street.

After this research paper we can conclude that the aesthetic signification of happiness is the immaterial value of the street. Moreover the intangible value of the street, consists of simple elements such as: colours, textures, rhythms and architectural design.

The intangible value of the street, is directly associated with beautiful, satisfaction or happiness criteria.

## LITERATURE

1. ALEXANDER, C. *The Timeless Way of Building*. Oxford University Press. 1979
2. ALEXANDER, C., Silverstein, M., Angel, S., Ishikawa, S. and Abrams, D. *The Oregon Experiment*. Oxford University Press. 1975
3. ALEXANDER, C., Ishikawa, S., Silverstein, M., Jacobson, M., Fiksdahl-King, I. and Angel, S. *A Pattern Language*. Oxford University Press. 1977
4. ALOFSIN, Anthony, *Frank Lloyd Wright: The Lost Years, 1910–1922: A Study of Influence*. Chicago: University of Chicago Press. pp. 4–5, 1993,
5. ARACE, M. 'Don't Pave the Cowpaths'. Available at <http://mikeomatic.net/?p=59>. 2006
6. BACHELARD, G. *The Poetics of Space*. Orion Press. 1964
7. BALLARD, J.G. *High Rise*. Jonathan Cape. 1975
8. BIÇAKÇI AB. Branding the city through culture: Istanbul, European Capital of Culture. *International Journal of Human Sciences*, Vol. 9, No.1: 993-1004. 2010
9. ECO, Umberto, *Obra Aberta*, tradução de João Rodrigo Narciso Furtado, Difel Editorial Lda, Lisboa.5; Berg. 1987
10. <http://www.via-architecture.com/how-design-can-affect-your-mood/>



11. GIEDION, S. *Architecture You and Me: The Diary of a Development*. Cambridge Mass.: Harvard University Press.1958
12. GREGORY, R. L. *Eye and Brain: The Psychology of Seeing*. New York: McGraw-Hill Book Company. 1966.
13. KEARNEY, R. *The wake of imagination: Ideas of creativity in Western culture*. London: Hutchinson.1988
14. MCKENZIE, S. *Social Sustainability: Towards Some Definitions*. Magill: Hawke Research Institute, 2004.
15. POPPER, K. *The Logic of Scientific Discovery (2nd Ed.)*. London, UK: Routledge
16. pp.33-45. 2002
17. Pinto,Luís, *Desenho Percepção e Forma*. Lisboa. Edições Colibri. 2011
18. RAPOPORT, R., R. Rapoport. *Work and Family in Contemporary Society*. United States of America: American Sociological Association, 1965.
19. ROBERTS, K. *Leisure in Contemporary Society*. United Kingdom: Biddles, 2006.
20. SCHILDT, G., Alvar Aalto. *Obra completa: arquitectura, arte y diseño*, Barcelona, Gustavo Gili.1996
21. WEBER, M. *The interpretive understanding of social action*. In M. Brodbeck (Ed.), *Readings in the philosophy of the social sciences* (pp. 2033). New York: MacMillan. 1968
22. WINES, JAMES. *Green Architecture*. Tachen. 2000.
23. Zevi, Bruno. *To Know to See the Architecture*. Dinalivros. 1989

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

This work is funded by National Funds through FCT - Foundation for Science and Technology under the Project UID / AUR / 04026/2013 and also to CITAD - Research Centre for Territory, Architecture and Design.

# INNOVATIVE UTILITARIANISM AS THE MAIN FEATURE OF THE PRESENT ARCHITECTURE DEVELOPMENT

Jacek Walenty Włodarczyk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> State University of Applied Sciences in Racibórz, Institute of Architecture, ul. Słowackiego 55, 47-400 Racibórz, jw.wlodarczyk@gmail.com

## ABSTRACT

The sources of energy generating the so called renewable or green energy are very popular today. Their future is connected with the increasing demands and the further improvement along with the constant pressure of the economic factor. Moreover, the strong influence of these new technologies on the environment exists between these two aspects/poles, which are guaranteeing their survival. It refers to the aesthetical values of the surrounding cityscape and public space. Here, architecture as the art of building and urban planning concerning environment/nature may be included into the process of the space creation. It will show this way its utilitarian value as a discipline/field of art.

This necessity results from the menaces for our self-feeling and health. The new technologies are namely indeed useful. Nevertheless they are introducing the mentioned menaces into the human urban space.

The main threats/oppressiveness resulting from the application of these technologies for the environment are: noise (windmills and all mechanical facilities connected with the production of the wind energy), polluted air (biotechnologies using the biomass), decrease of the aesthetical values of the cityscape and landscape (the little perfect montage as well as forms of the solar installations).

The same way, the architectural interiors are losing its human character in consequence of introducing robots. Therefore, in the first instance, the neglected city areas and the abandoned, revitalized, revalorized buildings, as well as the urban and rural spaces should be dedicated for these innovative technologies.

Concluding, we can assume that the renewable energy sources and their effect – the new technologies – will be the impulse for the sustainable development of the environment. It will happen thanks to the transformation of the destroyed urban tissue by the application of these technologies. The authenticity of this thesis is confirmed by many realized projects.

Key words: architecture, urban planning, renewable energy sources, innovative technologies.

## INTRODUCTION

The term "Utilitarianism" does not refer here its meaning as a philosophical doctrine and is considered in the general sense as a pursuit of a practical purpose. In the current discussion about the future of our surrounding environment, it involves the use of new technologies in the field of architecture, in the urban area and the urban landscape as well as in the furnishing of newly designed and revamped buildings.

Referring to the analogy from the period of the introduction of such materials as iron, reinforced concrete, as well as the rich supply of chemical materials that contributed to the flourishing of architecture and urban planning, one can argue that new technologies of the future energy-based construction will also allow to flourish of the widely understood contemporary architectural creativity. The problem emerges: how to use the new technologies optimally in terms of architectural values of the constructed environment so that, when practically applied in the architectural creativity, it has become an impulse for its development.

Adding to it, it is worth noting that among the new technologies described as friendly and based on the so-called green energy, no mention is made of nuclear energy, but the sun, wind, water, biomass and geothermal energy are mentioned.

The use of these individual sources of energy creates a very rich array of proposals depending on geographical location and climatic zones. Sunlight can be seen as advantageous climate, however, there are areas on the globe where protection against sunlight is a very important function of the buildings. One should also mention the parts of the continents where it is difficult to get a drop of water.

The following presentation of examples is an attempt to show the works of architectural and urban implementing scientific and technical innovations in the area of the renewable energy sources (RES) of the real possibilities of success in this field.

## EXAMPLES OF SOLUTIONS

### 1. MISSED OPPORTUNITIES

By introducing the practical application of technological innovations as initiators and inspirational architects, it is also important to note that the temptation to seek new formal solutions is sometimes more pronounced than the achievement of work excellence aimed at applying the innovative RES techniques. These efforts could be described as missed opportunities.

This category of creative effects could include the concepts of caring for the façade formation in a form of a dead screen - a flat lining of the building, a plastic accent without the ambition of reaching for the technological innovation (Modern Museum Malmo - the museum of modern art, built on the site of a former power plant in Malmo, Uffelen Ch., 2011 p. 68,69,71). In urban terms; a complex of new buildings (House Benois in St. Petersburg, idem p. 290.291) using the decoration of the façade in the style associating with the "humanization of block of flats". On the scale of the landscape, this has often been and still

is the opposite, the contrasting activities that do not take into account the spatial order, landscape-devastating wind power plants and energy networks such as from 80s of the last century in Australia (Wines J., 2008, p. 66).

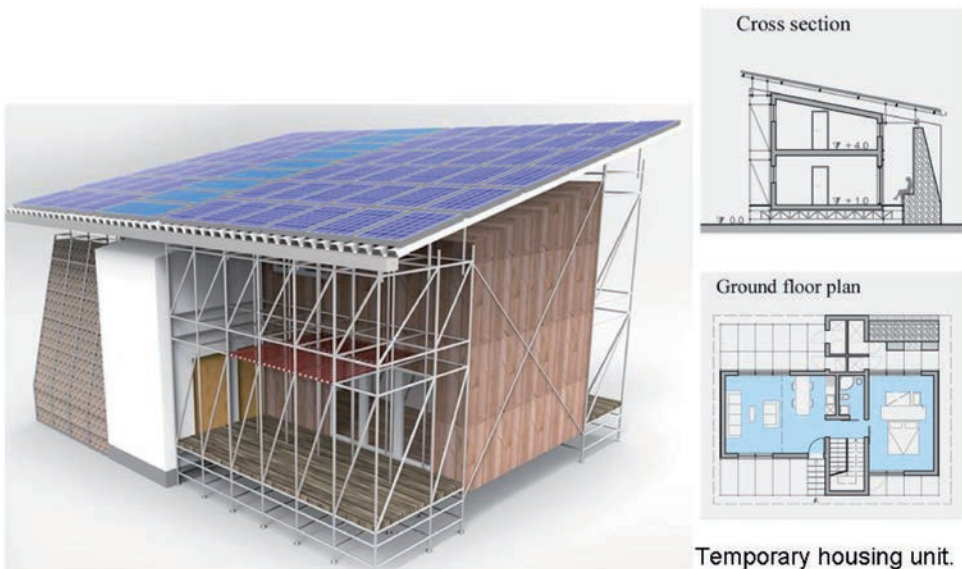
Interior design also provides a number of examples of revitalization of the buildings the arrangements of which are far from the achievements in the field of new technologies. There is a unique but only formalistic décor for a new hotel-conference function of former Manufaktura in Łódź (Uffelen Ch. 2011, p. 109).

## 2. INSPIRATIONS

The need to discover the perfection of architecture inherent in the technological innovation is an unintended but still value of the above examples, provoked by them. This can be traced by observing the essential fields of architects, so the examples of architecture, urban planning, landscape architecture and interior designs.

## ARCHITECTURE

The architecture builds its value on the connection with the technical enhancements, the creativity, the organic part of the new technologies. One can find here a significant part of the cubic capacity of the residential buildings heating systems with centrally located heat silo-storage. These include single-family residential buildings with integrated multi-layer heating tanks with a volume of up to 15 m<sup>3</sup>. In moderately sized buildings, especially in emergency situations, an easy-to-follow pattern can also involve the proposal of a roof in a form of a photovoltaic plate separated by the diffusion from the parallel building plate (A „mine” for the sustainable buildings regeneration, Pescara, Italy, Il.1).



Temporary housing unit.

Il.1. Photovoltaic plates in emergency residential building (De Gregorio, 2014, p. 266)

For larger multi-family buildings in the downtown one can offer modernization, i.e. the development of south-facing and surfaces of the sections of façades or frequently occurring details such as balcony balustrades (Multi-Storey Building, Delft, Netherlands, Hermansdoerfer J., 2005, p. 75). For new public building, one can much more easily demonstrate the qualities inherent in new technologies in the field of colour and light effects. It is important to the media wall rich of colours to be powered from a self-sufficient energy system. "Zero energy media Wall" is the first in China photovoltaic system integrated into the façade with a glass curtain wall (Green Pix, Beijing, Feireiss K., 2009, p. 44).

A procedural difficulty is the use of new technologies in the world of antique objects. However, a number of the widely accepted uses of these technologies demonstrates that they are not a threat to the values of the cultural heritage (Kirchendaecher, Plauen, Dresden-Lobtau, Deutschland, Hermansdorfer J., 2005 p.54), Touristeninformation in Kirchenruine, Ales, Frankreich, idem p.84).

In this group of the solutions, the most mature implementation of new technologies, including the RES, are those that derive their creative ideas from the nature of these technical solutions.

A very convincing example here is the building of a city bath with a rooftop swimming pool (The Hot Thermae, Bath, UK, Uffelen Ch. 2011 p. 336), residential structures in the urban development that harness their solar life and the associated aerodynamics of the surrounding space ("Casablancaflats" and Tremli-Siedlung, Zurich, Schweiz, Pfammatter U., 2012 p. 183).

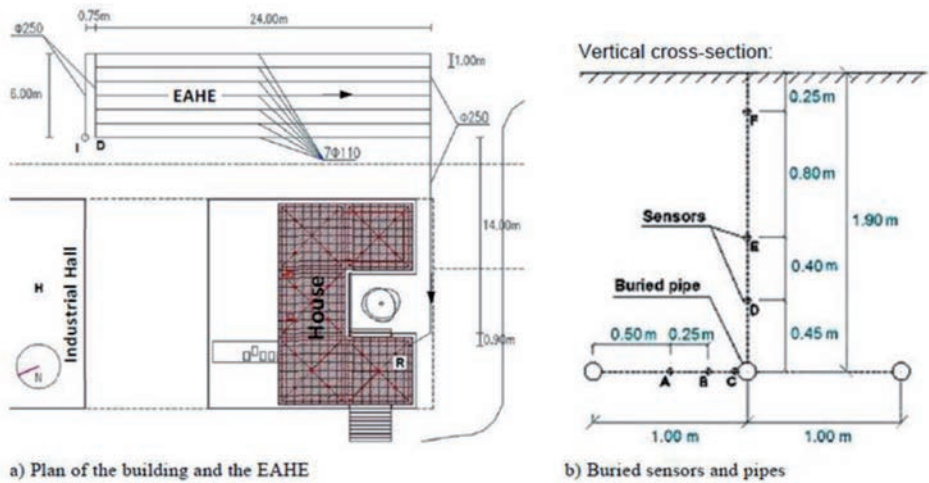
The pavilion exhibited by the United Kingdom at the 2010 Schengen Expo is the contemporary crown for the symbiosis of the architectural creativity and the technical achievements. This 20 m tall building was made up of 60.000 optical bars of 7.5 m in length. During the day they led the daylight into the interior, at night they were a light illumination. When it is windy, the building moved to create a "glow" of lightly waving hair (UK Pavilion At the 2010 Shanghai Expo, Belhoefer K., 2011 p. 152,153).

## **URBANISM**

The importance of implementations in the scope of using RES and new technical achievements in the urban scale is proportional to the area they concern. The solutions in the field of energy policy are directed to include the revitalization programmes of large sections of cities - urban districts. The first and foremost are the districts from the 70-80s of the past century, the significant number of which and flat roofs in the buildings, at their appropriate height (above the crowns of surrounding trees) are a very convenient spatial situation for the solar devices.

A deeper analysis of the urban environment causes us to distinguish two main applications of new technologies related to the renewable energy sources. Namely, one can distinguish between terrestrial, easily perceivable and underground constructed environment, the existence of which is mostly associated with the urban infrastructure. The underground part of the cities is seen due to the need of the surface which it generates. It involves the local heat-

ing and cooling systems that use the temperature of the ground to a suitable depth, in their balances (II. 2 Modelling and Performance Analysis of an Earth-Toair Heat Exchange - EAHE, Coimbra, Portugal) .



II. 2. A model showing the exchange of heat in the EAHE ground-air system; a) the EAHE plot plan, b) the vertical cross-section of the plot area: sensors and pipes (Costa J.J. 2014, p. 113)

There is also a significant demand for the area of the biogas production systems. The terrestrial transport infrastructure is the widest field on which one can demonstrate the potential for using RES, especially solar energy. The roofs of the communication buildings are used the most often, e.g. photovoltaic elements on the glass roof of the central railway station in Berlin (II.3) or canopies commonly constructed above parking spaces (Carparks, Potenza, Italien, Hermansdorfer, 2005 p. 118).



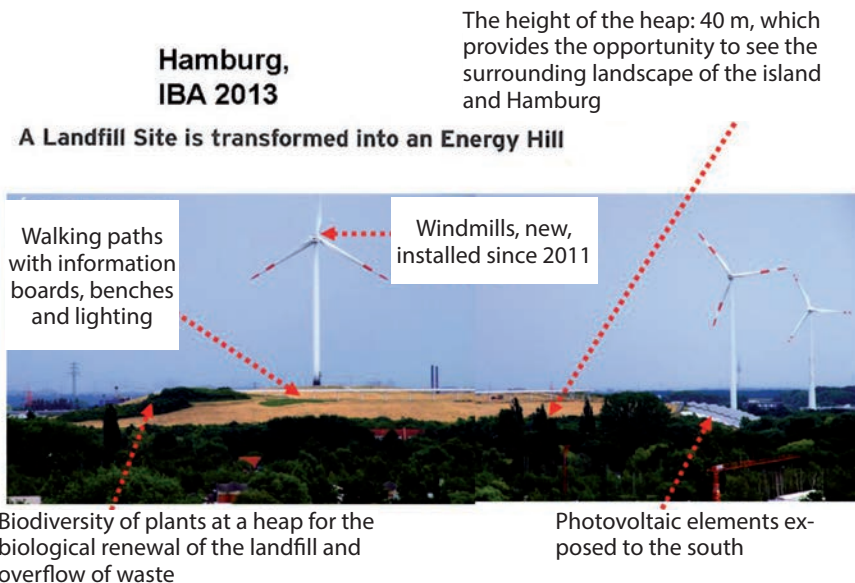
II.3. Photovoltaic components installed on the glass roof of the central railway station in Berlin. (photo Anna M. Włodarczyk, 2014)



The excellence of new technologies consists, inter alia, of their multifunctional usability. An example involves solar photovoltaic panels operating as acoustic screens on motorways (Kombinierte Schallschutzwand Freising, Deutschland, p. 22).

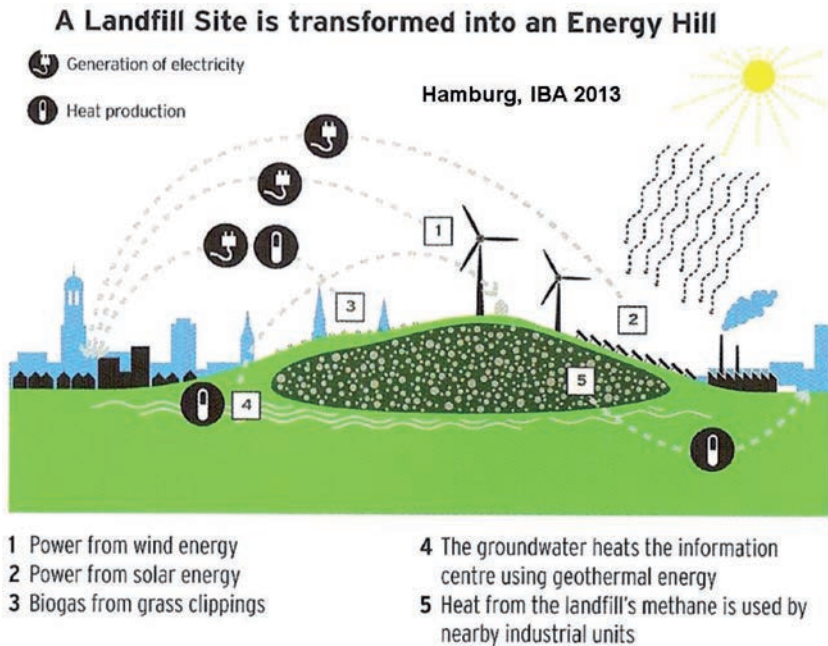
However, new cities demonstrate the most inspirational innovation of new technologies. This occurs especially in extreme climates where sunlight and shade are not treated as incidental events (Nasdar-City Innenstadt, Dannenberg M., 2012 p.146).

Considering the usefulness of the introduction of utilitarian value in shaping spatial order, it should be noted that the implementation of new technologies and the RES in the programmes and projects related to the revitalization of degraded brownfield sites are presented the fullest way. The Hamburg IBA 2013 project in the form of a Waste Landfill converted into Energy Hill can be a symbol of such activities on the European scale. As a result, electricity is generated there (windmills and solar photovoltaic elements exposed from the south side installed since 2011), produces heat (geothermal and methane from the landfill of existing waste), and biogas (from the fermentation of mown grass). The height of the heap reaches 40 m, which provides the opportunity to see the surrounding landscape of the island and Hamburg. A network of paths and lighting system allow to discover the biodiversity of the plant cover used for the renewal of this landfill (Hamburg IBA 2013, A Landfill Site is transformed into an Energy Hill, Internationale Bauausstellung Hamburg, 2012 p. 159).



Il. 4. Landfill of waste converted into "Energy Hill" - view. (Author's development in accordance with IBA prospectus, Hamburg, 2013)





II. 5. Landfill of waste converted into "Energy Hill" - cross-section. IBA Folder. Hamburg 2013 (1-wind, 2-solar energy, 3-biomass energy, 4-geothermal energy, 5-methane generated from the heaps of waste, used by the adjacent industry).

(Author's development in accordance with IBA prospectus, Hamburg, 2013)

The inclusion of new technologies in the revitalization of degraded brownfield sites (former copper refineries) in Inujima Island, Japan, is equally ambitious. This area was converted into the New Museum of Art. The "life" programme of this object is based on a cycle of continuous processes, controlled by the natural activity of the local environment. According to the authors, the idea of the project is to express symbiosis with the environment, its decline and development. Two essential air conditioning systems are the cooling system through the earth and heat from the sun. Individual functional parts of the programme are: Earth Gallery, Sun Gallery, Energy Hall and Chimney Hall - the remaining parts of the former refinery adjacent to the chimney. Earth Gallery is a land-based steel structure that is supposed to keep the climate of the "earth warmth". Solar Gallery is a part of the former refinery with a glass roof that is pervaded by the warmth of the sun's rays. Energy Hall keeps the same temperature and humidity throughout the year. This is regulated by the opening of windows and corridor doors to Earth and Solar Galleries. In addition, the interior finishing materials are available: cedar wood with low heat capacity and, in contrast, granite from local decks operating on this island.

As a result, the air moves over the floor along the corridor by creating the effect of natural convection (New Museum of Art, Inujima, Japan, k. Feireiss 2009 p. 128-130).

To sum up, this part of the adorable urban planning aspect in the use of new technologies and “green energy” refer to the sketch of “towers - wind mills” by Richard Roger of the 90s of the last century. This urban vision of the cities for a small planet also strongly emphasises the use of wind and the sun in the landscape of the cities as a source of energy (Richard Rogers: *Skizze zu einem „Windmuhlenturm“*, *Cities for small planet*, Pfammatter U. 2012 p. 218).

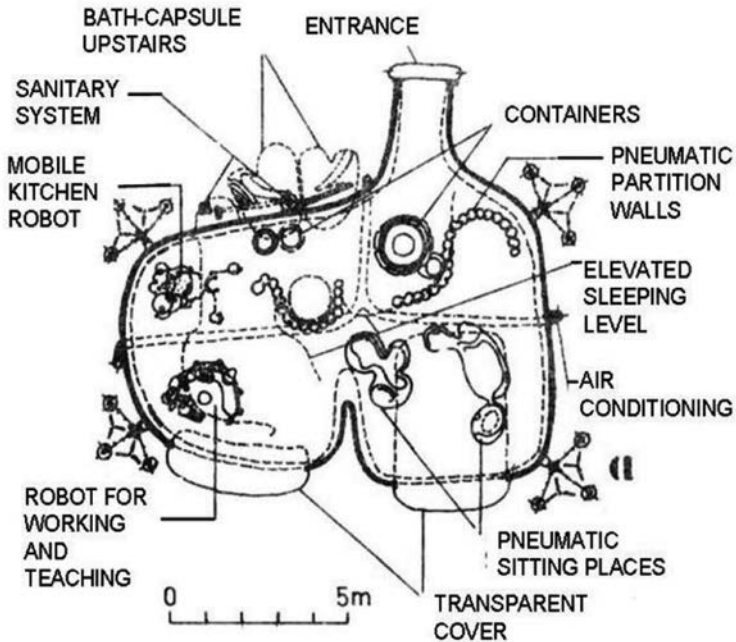
## **LANDSCAPE**

Observation in the landscape of elements of new technologies using the sun, wind, water, biomass or geothermal is related to their scale and view ability. Geothermal pools incorporate into the landscape the most naturally (Geothermal in the landscape, Dannenberg M. 2012, p.127), but the aggressive pressure of high wind systems is the most noticeable in the landscape, especially because empty spaces are needed for their optimum efficiency to eliminate the lowest elements of the development in the surrounding space.

In spite of the large areas they occupy, due to the horizontal adhesion of their photovoltaic fields to the terrain, solar power plants do not pose a threat to this lack of aforementioned wide viewing accessibility (they can only be observed from an aircraft window, a railcar moving on an embankment or a tourist cable car) (Anda-sol 1 und 2 in Sued-Spanien, idem p.33), (Solarkraftwerk Waldpolenz bei Leipzig, idem p.57). Tower power plants are the only exception, but they create only single height accents in the landscape (Solar-turm-kraftwerke im Solucar Solar Park, idem p.37), (Grossie Solarturmanlage Deutschlands in Jilich, idem).

## **INTERIOR ARCHITECTURE**

The renewable energy sources can also be used in the technical innovations in a form of equipment and products for the interior of the buildings. The above mentioned UK Pavilion at Expo 2010 exposes the scale of these opportunities. In reference to the pragmatism in the architectural art, it is impossible not to mention the flexible arrangement of the interiors in a form of the futuristic interior of the “living pod” from the end of the last century (Il. 6.).



Il. 6. "Living pod", an example of the use of new technologies in the interiors. (own development of the author based on David Green Living Pod with mobile and flexible arrangement, Bauen + Wohnen p.174).

Currently expected robots find a growing use in bioengineering. In addition, in the architecture of the residential interiors, especially in senior residential buildings, the works on the use of robots to care for seniors are very advanced.

## CONCLUSION

The above examples show that new green technologies based on green energy inspire creators and contribute to the development of the architectural and urban art. Reflecting on the optimal use of this creative impulse, apart from pointing out the solution of the designs, we encounter certain difficulties, as well. Apart from the traditional limitation of formal excellence without the use of new technologies, they include:

- climatic conditions; the greater part of Europe, including Poland, lies in a cool climate with a relatively short summer and a yearly sunshine much lower than the sun at the equator, posing a high demand for the solar equipment,
- maintenance requirements,
- nuisance to the environment resulting from the use of green energy; smells in the case of biomass, biogas, unauthorized photovoltaic effects on residential buildings, noise and disturbance in the landscape caused by windmills, necessary felling of trees in the case of solar panels in low buildings, etc.

These are the conditions that need to be taken into account in the further broadening of the inclusion of new technologies in the process of shaping the environment around us.

On the one hand, the global model of the solutions helps us, e.g. for common, universal single-family residential buildings (Australian House of the Future, Wines J. 2008, p.168), on the other, the forecasts of the growth of green energy use encouraging us. For example, wind energy from 3% in 2015 to 26% in 2030 in the world's second largest Chinese economy.

There are also improvements in the field of management in the use of the RES. An example includes the world's largest 77-hectare solar field built in Arnstein, on the north from the city of Würzburg in Germany. It has 1500 autonomous solar power plants ranging from 7 to 10 kilowatts. The ability to distribute all 1500 units between private investors is the innovative solution here. These mini-plants can be purchased for a relatively affordable price of 14.400 Euro.

In the European situation, it is also important to note that the largest part of the construction market (over 50%) covers the economic activity in the field of rehabilitation, modernization, reconstruction and extension of the existing buildings. This is an important indication for the direction of the development and deployment of the technological innovations and green energy.

## REFERENCES

1. Bauen + Wohnen, 1967, Nr. 5
2. Bolhofer K., Ehmann S., Klanten R., My Green City, Gestalten Verlag GmbH, Berlin 2011.
3. Costa J.J., Santos P., Sousa M.A., Modeling and Performance Analysis of an EARTH-TO-AIR Heat Exchanger, 40th IAHS World Congress on Housing, Funchal, Portugal December 16-19, 2014.
4. Dannenberg M., Hafner M., Kitzing S., Energien der Zukunft, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 2012.
5. De Gregorio S., Forlani M.C., The Selective Demolition. A "Mine" for the Sustainable Buildings Regeneration, 40th IAHS World Congress on Housing, Funchal, Portugal, December 16-19, 2014
6. Feireiss K., L., Architecture of Change 2, Sustainability and Humanity in the Built
7. Environment, Gestalten Verlag GmbH, Berlin 2009.
8. Hermannsdoerfer J., Rub Ch., Solar design, jovis Verlag GmbH, Berlin 2005.
9. Internationale Bauausstellung Hamburg. Towards a New City. A Guide to the Elbe Islands and the Projects of the IBA Hamburg. Klartext Verlag, Essen 2012.
10. IBA, Hamburg, 2013, prospekt
11. Pfammatter U., Bauen im Kultur und Klimawandel. Green traditions – clean future. Hochschulverlag AG an der ETH Zuerich, Zuerich 2012.
12. Uffelen Ch., Re-Use Architecture, Braun-Publishing AG, Berlin 2011.
13. Wines J., Gruene Architektur, Taschen GmbH, Koeln 2008.

# INNOVATIVE UTILITARIANISM AS THE MAIN FEATURE OF THE PRESENT ARCHITECTURE DEVELOPMENT

## INNOWACYJNY UTYLITARYZM JAKO GŁÓWNA CECHA ROZWOJU WSPÓŁCZESNEJ ARCHITEKTURY

Jacek Walenty Włodarczyk<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instytut Architektury Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Raciborzu jw.wlodarczyk@gmail.com

### ABSTRAKT

Źródła energii wytwarzające tak zwaną odnawialną lub zieloną energię są dzisiaj bardzo rozpowszechnione. Ich przyszłość wiąże się z rosnącymi wymaganiami i dalszym udoskonalaniem przy ciągłej presji czynnika ekonomicznego. Między tymi dwoma biegunami warunkującymi ich przetrwanie należy także zauważyć szerokie oddziaływanie tych nowych technologii na środowisko. Chodzi o wartości estetyczne otaczającego nas miejskiego krajobrazu i przestrzeni otwartej. I tutaj architektura w znaczeniu zabudowy i urbanistyka traktująca szerzej o środowisku może się włączyć w proces tworzenia przestrzeni, wykazując jako dziedzina sztuki swój użyteczny walor.

Ta potrzeba wynika z zagrożeń dla naszego samopoczucia i zdrowia, które niewątpliwie pożyteczne innowacje techniczne wprowadzają w otaczającą nas życiową przestrzeń.

Główne uciążliwości wynikające ze stosowania tych technologii dla środowiska to: hałas (wiatraki i wszystkie urządzenia mechaniczne związane z przetwarzaniem energii), zanieczyszczone powietrze (biotechnologie, wykorzystujące biomasę), obniżenie wartości estetycznej krajobrazu miejskiego i otwartego (mało doskonały montaż i formy instalacji solarnych). Również wewnątrz w wyniku wprowadzania robotów tracą swój humanitarny charakter. Dlatego miejscem wskazanym dla tych innowacyjnych technologii powinny być w pierwszej kolejności zdegradowane obszary miejskie i wymarłe, rewitalizowane i rewaloryzowane budynki, obszary miejskie i siedliska wiejskie.

W rezultacie można przyjąć, że odnawialne źródła energii i w ich efekcie powstające nowe technologie poprzez transformację zniszczonych obiektów i obszarów będą impulsem do zrównoważonego rozwoju naszego środowiska. Wiarygodność tej tezy potwierdzają liczne zrealizowane przykłady.

Słowa kluczowe: architektura, urbanistyka, odnawialne źródła energii, innowacyjne technologie.

## ABSTRACT

The sources of energy generating the so called renewable or green energy are very popular today. Their future is connected with the increasing demands and the further improvement along with the constant pressure of the economic factor. Moreover, the strong influence of these new technologies on the environment exists between these two aspects/poles, which are guaranteeing their survival. It refers to the aesthetical values of the surrounding cityscape and public space. Here, architecture as the art of building and urban planning concerning environment/nature may be included into the process of the space creation. It will show this way its utilitarian value as a discipline/field of art.

This necessity results from the menaces for our self-feeling and health. The new technologies are namely indeed useful. Nevertheless they are introducing the mentioned menaces into the human urban space.

The main threats/oppressiveness resulting from the application of these technologies for the environment are: noise (windmills and all mechanical facilities connected with the production of the wind energy), polluted air (biotechnologies using the biomass), decrease of the aesthetical values of the cityscape and landscape (the little perfect montage as well as forms of the solar installations).

The same way, the architectural interiors are losing its human character in consequence of introducing robots. Therefore, in the first instance, the neglected city areas and the abandoned, revitalized, revalorized buildings, as well as the urban and rural spaces should be dedicated for these innovative technologies.

Concluding, we can assume that the renewable energy sources and their effect – the new technologies – will be the impulse for the sustainable development of the environment. It will happen thanks to the transformation of the destroyed urban tissue by the application of these technologies. The authenticity of this thesis is confirmed by many realized projects.

Key words: architecture, urban planning, renewable energy sources, innovative technologies.

## WPROWADZENIE

Sięgnięcie do hasła "Utylitaryzm" nie stanowi tutaj nawiązania do znaczenia tego terminu jako doktryny filozoficznej a rozpatrywane jest w znaczeniu ogólnym, jako dążenie do osiągnięcia celu praktycznego. W aktualnej dyskusji na temat przyszłości otaczającego nas środowiska zbudowanego wiąże się to z zastosowaniem nowych technologii w twórczości na polu architektury, w obszarze urbanistycznym i krajobrazie miast a także wyposażenia wnętrz nowoprojektowanych i rewaloryzowanych budowli.

Nawiązując do analogii z okresu wprowadzenia do budownictwa takich materiałów jak: żelazo, żelbet, jak również bogatej oferty materiałów chemicznych, które przyczyniły się do rozkwitu architektury i urbanistyki można postawić tezę, że nowe technologie w budownictwie oparte na energii przyszłości przyczynią się również do rozkwitu szeroko rozumianej współczesnej twórczości architektonicznej. Wyłania się stąd problem: jak optymalnie w aspekcie walorów architektonicznych środowiska zbudowanego wykorzy-

stać nowe technologie aby mając praktyczne zastosowanie w twórczości architektonicznej stały się impulsem do jego rozwoju.

Dodać by jeszcze warto uwagę, że wśród nowych technologii określanych jako przyjaznych człowiekowi i opartych na tak zwanej zielonej energii nie wspomina się o energii jądrowej, natomiast wymienia się: słońce, wiatr, wodę, biomasę i geotermię.

Wykorzystanie tych poszczególnych źródeł energii tworzy bardzo bogaty wachlarz propozycji w zależności od położenia geograficznego i stref klimatycznych. Nasłonecznienie może być postrzegane jako korzystna cecha klimatu, są jednak obszary na kuli ziemskiej gdzie ochrona przed promieniami słonecznymi jest bardzo istotną funkcją budynków. Wspomnieć też należy o częściach kontynentów na których trudno o kroplę wody.

Poniższa prezentacja przykładów jest próbą pokazania twórczości architektoniczno-urbanistycznej wdrażającej innowacje naukowo-techniczne z obszaru odnawialnych źródeł energii (OZE) świadczących o realnych możliwościach osiągnięcia sukcesu na tym polu.

## **PRZYKŁADY ROZWIĄZAŃ**

### **1. STRACONE SZANSE**

Przystępując do przedstawienia praktycznego zastosowania nowości technologicznych jako inicjujących i inspirujących twórców architektury trzeba zauważyć również, że pokusy do poszukiwania nowych rozwiązań formalnych są czasami wyraźniejsze aniżeli osiągnięcie doskonałości dzieła ukierunkowanej na stosowanie innowacyjnych technik związanych z OZE. Te wysiłki można by określić jako stracone szanse.

Do tej grupy efektów twórczych można by zaliczyć koncepcje ograniczające się do troski o formowanie elewacji w postaci martwego ekranu - płaskiej okładziny budynku, akcentu plastycznego bez ambicji sięgania do innowacji technologicznych (Modern Museum Malmo- muzeum sztuki nowoczesnej, zbudowane na terenie dawnej elektrowni w Malmo, Uffelen Ch., 2011 s.68,69,71). W ujęciu urbanistycznym; zespołu nowych budynków (House Benois w St. Petersburgu, idem s. 290,291) wykorzystującego dekorację elewacji w stylu kojarzącym się z „humanizacją blokowisk”. W skali krajobrazu były to i często pojawiają się nadal przeciwnie, kontrastujące działania nie uwzględniające ładu przestrzennego, dewastujące krajobraz elektrownie wiatrowe i sieci energetyczne jak np. z lat 80-tych ubiegłego stulecia w Australii (Wines J., 2008, s. 66).

Architektura wewnątrz także dostarcza wiele przykładów rewitalizacji budynków których aranżacje są dalekie od osiągnięć w dziedzinie nowych technologii. Pojawia się unikalny lecz jedynie formalistyczny wystrój dla nowej hotelowo-konferencyjnej funkcji dawnej Manufaktury w Łodzi (Uffelen Ch. 2011, s. 109).

### **2. INSPIRACJE**

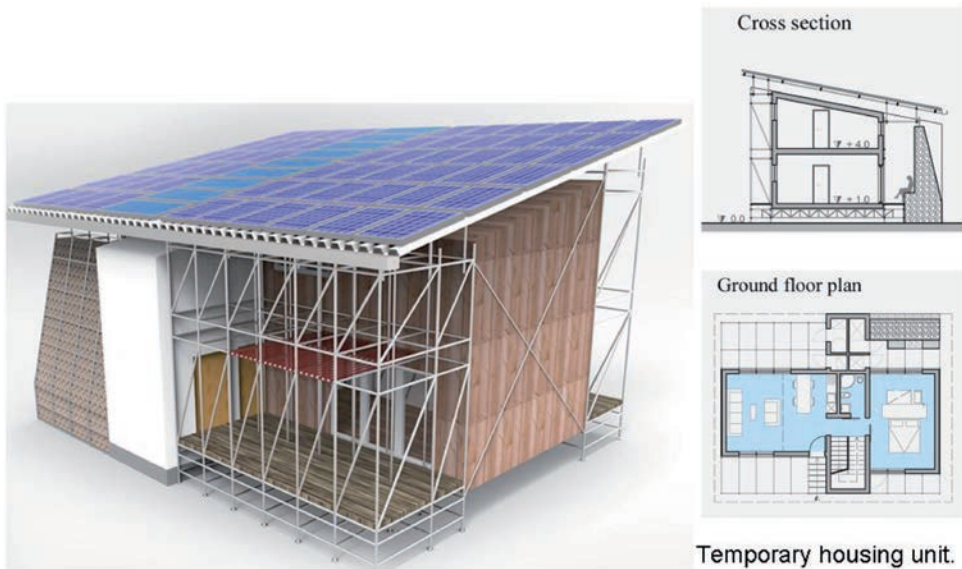
Pewną niezamierzoną a jednak wartością wyżej omówionych przykładów jest sprowokowana nimi potrzeba odkrywania doskonałości architektury tkwiącej w nowościach technologicznych. Można to prześledzić obserwując zasadnicze pola działalności archi-



tektów a więc przykłady z zakresu architektury, urbanistyki, architektury krajobrazu i wnętrz.

## ARCHITEKTURA

Architektura budująca swoją wartość na powiązaniu z udoskonaleniami technicznymi, to taka twórczość, której organiczną częścią są nowe technologie. Można tu wymienić stanowiące znaczą część kubatur budynków mieszkalnych systemy grzewcze z centralnie zlokalizowanym silosem-magazynem ciepła. Wpisują się w to budynki mieszkalne jednorodzinne ze zintegrowanymi, kilkuwarstwowymi zbiornikami grzewczymi o kubaturze sięgającej 15 m<sup>3</sup>. W budynkach o umiarkowanej skali, szczególnie w sytuacji awaryjnej, łatwym do naśladowania wzorem może również być zaproponowanie dachu w postaci płyty fotowoltaicznej oddzielonej przewiewem od równoległej płyty stropodachu (A „mine” for the sustainable buildings regeneration, Pescara, Italy, Il.1).



Temporary housing unit.

Il.1. Płyty fotowoltaiczne w mieszkalnictwie awaryjnym (De Gregorio 2014, s. 266).

Na znacznie większych kubaturach w budynkach w śródmiejskiej zabudowie wielorodzinnej oferować można w ramach zabiegów modernizacyjnych zabudowę połączoną z ekspozycją i powierzchniami znaczących fragmentów elewacji lub wielokrotnie występujących detali jak np. balustrady balkonów (Multy-Storey Building, Delft, Netherlands, Hermansdoerfer J., 2005 s.75). Dla nowych obiektów użyteczności publicznej można znacznie swobodniej demonstrować walory tkwiące w możliwościach nowych technologii w zakresie efektów kolorystycznych i świetlnych. Istotne jest aby taka ściana medialna o bogatej kolorystyce zasilana była samowystarczającym systemem energetycznym. „Zero energy media Wall” to pierwszy w Chinach fotowol-

taiczny system zintegrowany z elewacyjną szklaną ścianą kurtynową (Green Pix, Pekin, Feireiss K., 2009 s.44).

Pewnym proceduralnym utrudnieniem jest stosowanie nowych technologii w świecie obiektów zabytkowych. Jednak wiele szeroko akceptowanych zastosowań tych technologii świadczy o tym, że nie są one zagrożeniem dla wartości dziedzictwa kulturowego (Kirchendaecher, Plauen, Dresden-Lobtau, Deutschland, Hermansdorfer J., 2005 s.54), Touristeninformation in Kirchenruine, Ales, Frankreich, idem s.84).

W tej grupie rozwiązań, za najbardziej dojrzałe wdrażające nowe technologie a w tym OZE to te, które swoją ideę twórczą wywodzą z natury tych technicznych rozwiązań.

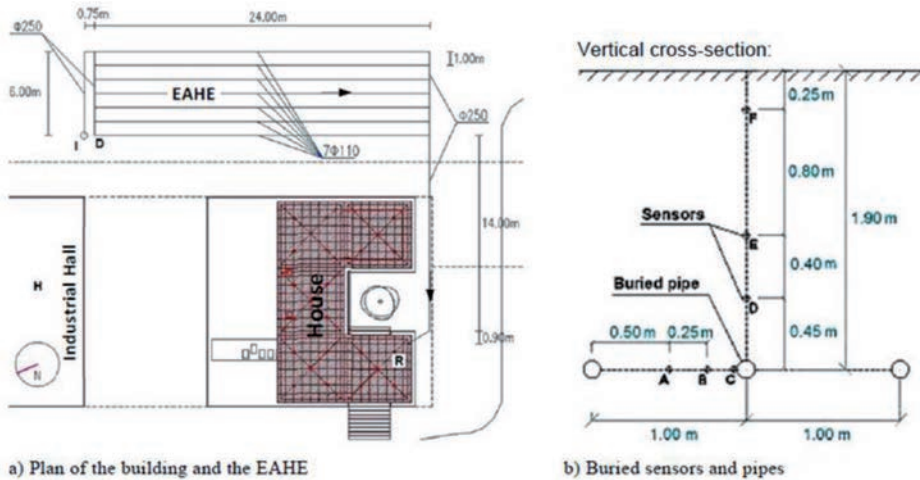
Bardzo przekonującym przykładem jest tutaj budynek łaźni miejskiej z basenem na dachu (The Hot Thermae, Bath, UK, Uffelen Ch. 2011 s.336), struktury mieszkalne w zabudowie miejskiej, które wprzęgają w swój życiowy proces oddziaływanie promieni słonecznych i związaną z tym aerodynamikę otaczającej przestrzeni („Casablancaflats” i Tremli-Siedlung, Zurich, Schweiz, Pfammatter U., 2012 s. 183).

Koronnym współcześnie dla symbiozy twórczości architektonicznej i osiągnięć technicznych jest pawilon wystawiony przez Wielką Brytanię na targach w Schanghaju w 2010 r. Obiekt ten o wysokości 20 m uformowany był z 60 000 optycznych prętów o 7.5 m długości włókien. W ciągu dnia przewodziły one światło dzienne do wnętrza, nocą stanowiły iluminację świetlną. W czasie wiatru budynek poruszał się tworząc „optykę” delikatnie falujących włosów (UK Pavilion At the 2010 Shanghai Expo, Belhoefer K., 2011 s. 152,153).

## URBANISTYKA

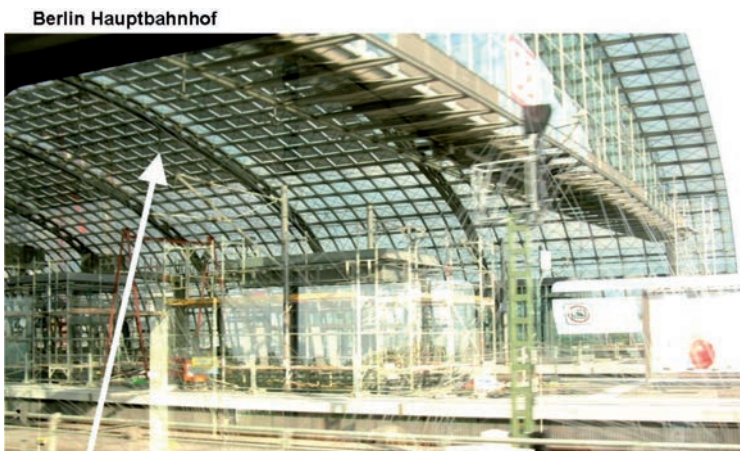
Znaczenie wdrożeń z zakresu wykorzystania OZE i nowych osiągnięć technicznych w skali urbanistycznej jest proporcjonalne do obszaru, którego dotyczy. Rozwiązania w dziedzinie polityki energetycznej sterują w kierunku obejmowania programami rewaloryzacyjnymi dużych fragmentów miast – dzielnic miejskich. Narzucającymi się w pierwszej kolejności są tutaj osiedla z lat 70-80-tych ubiegłego stulecia, których znacząca liczebność i płaskie ukształtowanie dachów w budynkach, przy odpowiedniej ich wysokości (powyżej koron otaczających drzew) są bardzo dogodną sytuacją przestrzenną dla instalowania urządzeń słonecznych.

Głębsza analiza środowiska urbanistycznego skłania nas do rozróżnienia dwóch zasadniczych obszarów zastosowań nowych technologii związanych z OZE. Mianowicie można rozróżnić naziemne, łatwo spostrzegalne i podziemne środowisko zbudowane, którego istnienie najczęściej kojarzy nam się z infrastrukturą urbanistyczną. Ta podziemna część miast jest do zauważenia ze względu na potrzeby powierzchniowe, które generuje. Należą do tego lokalne systemy ogrzewania i chłodzenia wykorzystujące w swoich bilansach temperaturę ziemi na odpowiedniej głębokości (Il. 2 Modelling and Performance Analysis of an Earth-Toair Heat Exchange - EAHE, Coimbra, Portugal).



Il. 2. Model przedstawiający wymianę ciepła w systemie ziemia-powietrze EAHE, a) plan działki EAHE, b) przekrój pionowy przez teren działki: podziemne czujniki (sensors) i rury (pipes) (Costa J.J. 2014, s. 113)

Również znaczne zapotrzebowanie na teren cechuje systemy produkujące biogaz. Naziemna infrastruktura transportowa jest najszerszym polem na którym demonstrować można możliwości wykorzystania OZE w szczególności energii słonecznej. Najczęściej wykorzystywane do tego są dachy obiektów komunikacyjnych, jak np. elementy fotowoltaiczne na szklanym zadaszeniu dworca głównego w Berlinie (Il.3) lub zadaszenia powszechnie występujących miejsc do parkowania (Carports, Potenza, Italien, Hermansdorfer, 2005 s. 118).

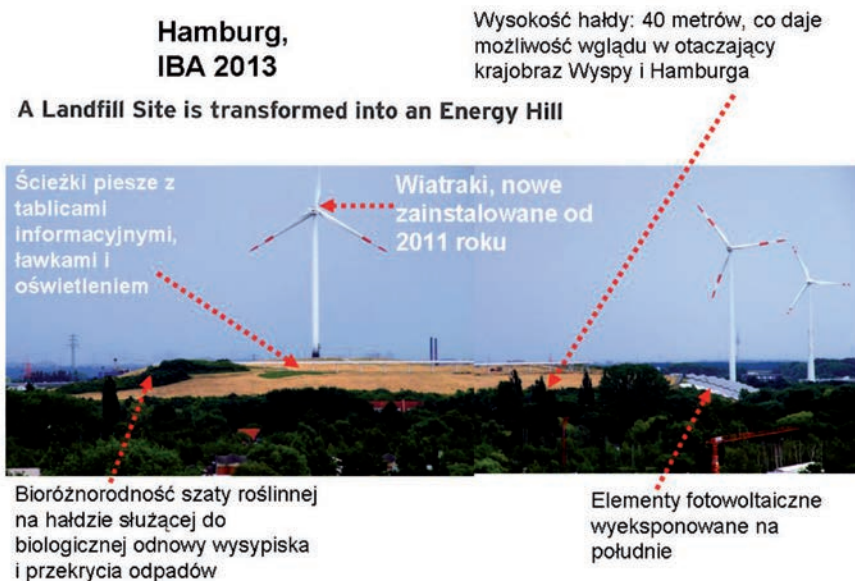


Il.3. Elementy fotowoltaiczne montowane na szklanym zadaszeniu dworca głównego w Berlinie. (fot. Anna M. Włodarczyk, 2014)

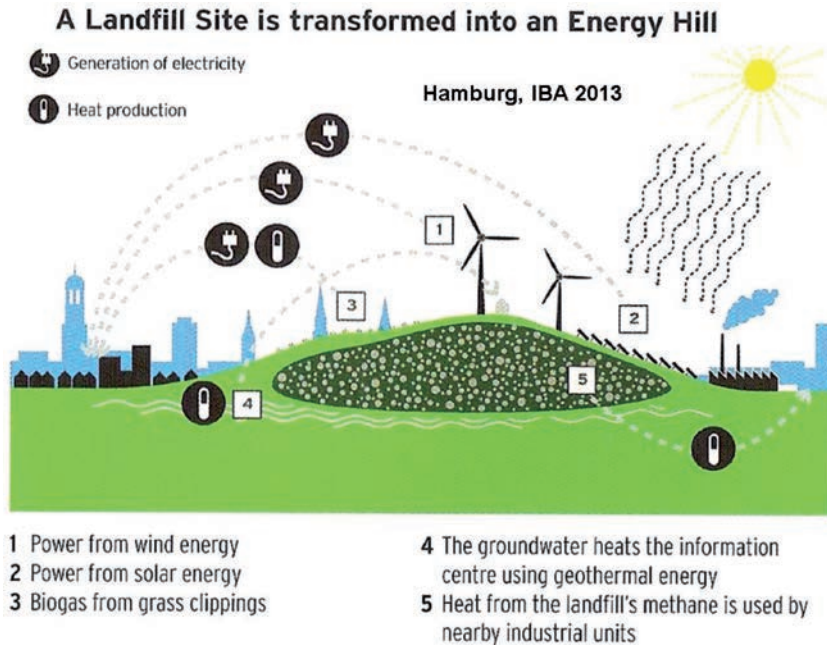
Dośkonłość nowych technologii polega m.in. na ich wielofunkcyjnej użyteczności. Przykładem mogą być przetwarzające energię słoneczną panele fotowoltaiczne służące jednocześnie jako ekrany akustyczne na poboczach autostrad (Kombinierte Schallschutzwand Freising, Deutschland, idem s.22).

Najbardziej jednak inspiracyjną innowacyjność nowych technologii demonstrują nowe miasta. Szczególnie w ekstremalnych warunkach klimatycznych, gdzie światło słoneczne i cień nie są traktowane jako przypadkowe zdarzenie (Nasdar-City Innenstadt, Dannenberg M., 2012 s.146).

Mając na uwadze wydobyty we wstępie walor utylityzmu w kształtowaniu ładu przestrzennego podkreślić należy, że najpełniej prezentują się wdrożenia nowych technologii i OZE w programach i projektach związanych z rewitalizacją zdegradowanych terenów poprzemysłowych. Symbolem takich działań w skali europejskiej może być projekt Hamburg IBA 2013 w postaci Składowiska Odpadów przekształconego w Górę Energetyczną. W efekcie generuje się tam elektryczność (zainstalowane od 2011 r., wiatrak i wyeksponowane od strony południowej elementy fotowoltaiczne), produkuje ciepło (geotermia i wykorzystanie metanu ze składowiska istniejących tam odpadów), i biogaz (z fermentacji koszonej trawy). Wysokość hałdy sięga 40 m. co daje możliwość wglądu w otaczający krajobraz wyspy i Hamburga. Sieć ścieżek i instalacja oświetleniowa pozwalają na poznanie bioróżnorodności szaty roślinnej użytej do odnowy tego wysypiska (Hamburg IBA 2013, A Landfill Site is transformed into an Energy Hill, Internationale Bauausstellung Hamburg, 2012 s. 159).



Il. 4. Składowisko odpadów przekształcone w „Górę Energetyczną”- widok. (Opracowanie autora wg prospektu IBA, Hamburg, 2013)



Il. 5. Składowisko odpadów przekształcone w „Górę Energetyczną”- przekrój. Folder IBA. Hamburg 2013 (1 – energia wiatru, 2 – energia słoneczna, 3 - energia biomasy, 4 – geotermia, 5 – metan wygenerowany z hałdy odpadów, wykorzystywany przez sąsiadujący przemysł). (Opracowanie autora wg prospektu IBA, Hamburg, 2013)

Równie ambitnym symbolem jest włączenie nowych technologii w rewitalizację zdegradowanych terenów poprzemysłowych (dawnej rafinerii miedzi) na wyspie Inujima w Japonii. Teren ten przekształcono w Nowe Muzeum Sztuki. Program „życia” tego obiektu opiera się na cyklu procesów trwających nieprzerwanie, sterowanych naturalną aktywnością lokalnego środowiska. Zdaniem autorów idea projektu ma wyrażać symbiozę ze środowiskiem, z jego upadkiem i rozwojem. Dwa zasadnicze systemy klimatyzacyjne to system chłodzenia przez Ziemię i grzania dzięki promieniom słonecznym. Poszczególne części programu funkcjonalnego to: Galeria ziemna (Earth Galery), Galeria słoneczna (Sun Galery), Hol energetyczny (Energy Hall) i Hol kominowy, przylegający do komina pozostałości po dawnej rafinerii (Chimney Hall). Galerię ziemną stanowi pokryta ziemią konstrukcja stalowa, która ma zachowywać klimat „ciepła ziemi”. Galeria słoneczna jest częścią dawnej rafinerii z przeszklonym dachem, do której przenika tą drogą ciepło promieni słonecznych. Energy Hall utrzymuje tę samą temperaturę i wilgotność powietrza przez cały rok. Regulowane to jest poprzez otwieranie okien i drzwi korytarzowych do galerii ziemnej i słonecznej. Ponadto mają na to wpływ materiały wykończeniowe wewnątrz: drewno cedrowe o małej pojemności ciepła i w kontraście do tego granit z lokalnych pokładów eksploatowanych na tej wyspie.



W rezultacie powietrze przemieszcza się nad posadzką wzdłuż korytarza tworząc efekt naturalnej konwekcji (New Museum of Art., Inujima, Japan, Feireiss K. 2009 s.128-130).

Podsumowując tę część ujmującą urbanistyczny aspekt w wykorzystaniu nowych technologii i „zielonej energii” warto nawiązać do szkicu „wież - wiatrowych młynów” Richard’a Rogers’a z lat 90-tych ubiegłego stulecia. Ta urbanistyczna wizja miast dla małych planet również mocno akcentuje wykorzystanie w krajobrazie miast przyszłości wiatru i słońca jako źródeł energii (Richard Rogers: Skizze zu einem „Windmuhlenturm”, Cities for small planet, Pfammatter U. 2012 s. 218).

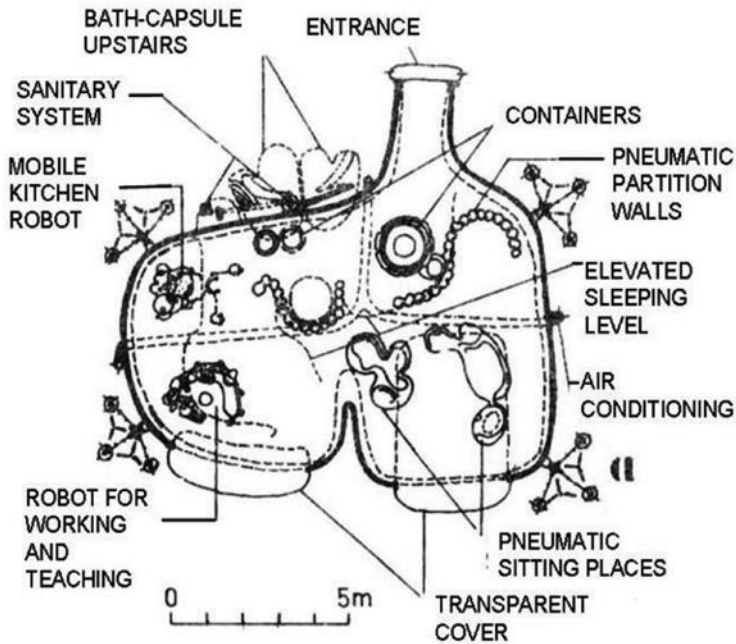
## **KRAJOBRAZ**

Spostrzeganie w krajobrazie elementów nowych technologii wykorzystujących Słońce, wiatr, wodę, biomasę lub geotermię wiąże się z ich skalą i dostępnością widokową. Najbardziej naturalnie wkomponowują się w krajobraz baseny geotermalne (Geotermia w krajobrazie, Dannenberg M. 2012 s.127), natomiast najbardziej zauważalna jest w krajobrazie agresywna presja wysokich instalacji związanych z energią wiatrową szczególnie dlatego, że dla ich optymalnej wydajności niezbędne są puste przestrzenie eliminujące nawet najniższe elementy zagospodarowania w otaczającej je przestrzeni.

Elektrownie słoneczne, pomimo znacznych powierzchni, które zajmują, ze względu na poziome przyleganie ich pól fotowoltaicznych do terenu, nie tworzą tego zagrożenia wobec braku wyżej wspomnianej szerokiej dostępności widokowej (możemy je obserwować tylko z okien samolotu, wagonu kolejowego poruszającego się torami na nasypie lub z turystycznej kolejki linowej), (Anda-sol 1 und 2 in Sued-Spanien, idem s.33), (Solarkraftwerk Waldpolenz bei Leipzig, idem s.57). Wyjątek stanowią tu elektrownie wieżowe, tworzą jednak one w krajobrazie tylko pojedyncze akcenty wysokościowe (Solarturmkraftwerke im Solucar Solar Park, idem s.37), (Grossie Solarturmanlage Deutschlands in Jilich, idem).

## **ARCHITEKTURA WNĘTRZ**

Odnawialne źródła energii mogą być również wykorzystywane w nowościach technicznych w postaci wyposażenia i wyrobów dotyczących wnętrza obiektów budowlanych. Wspomniany wyżej pawilon UK na Expo 2010 uwiidacznia skalę tych możliwości. Nawiązując do pragmatyzmu w sztuce architektonicznej nie sposób nie wspomnieć o elastycznej aranżacji wnętrza w postaci futurystycznego wnętrza „Żywego kokonu” z końca ubiegłego stulecia (Il. 6.).



Il. 6. "Żywy kokon", przykład wykorzystania nowych technologii we wnętrzach.

(opracowanie autora wg David Green Living Pod with mobile and flexible arrangement, Bauen + Wohnen s.174).

Współcześnie przewidywane wtedy roboty znajdują rosnące zastosowanie w dziedzinie bioinżynierii. Także w architekturze wnętrz mieszkalnych, a szczególnie w odniesieniu do mieszkalnictwa senioralnego prace nad wykorzystaniem robotów do opieki i pielęgnacji seniorów są bardzo zaawansowane.

## PODSUMOWANIE

Opisane wyżej przykłady pokazują, że oparte na zielonej energii nowe technologie inspirują twórców i przyczyniają się do rozwoju sztuki architektonicznej i urbanistycznej. Zastanawiając się nad optymalnym wykorzystaniem tego twórczego impulsu oprócz wskazujących drogę rozwiązania wzorów spotykamy także określone utrudnienia. Poza tradycyjnym ograniczaniem się do formalnej doskonałości bez wykorzystywania nowych technologii należą do nich:

- uwarunkowania klimatyczne; większa część Europy w tym Polska leży w obszarze chłodnego klimatu, o stosunkowo krótkim lecie i rocznym nasłonecznieniu znacznie niższym niż nasłonecznienia na równiku, stawia to odpowiednio wysokie wymagania dla urządzeń wykorzystujących energię słoneczną,
- wymagania konserwatorskie,



- uciążliwości dla otoczenia wynikające ze stosowania zielonej energii; zapachy w przypadku biomasy, biogazu, niesprawdzone oddziaływanie fotowoltaiki na budynkach mieszkalnych, szum i zakłócenia w krajobrazie spowodowane wiatrakami, niezbędna wycinka drzew w przypadku stosowania paneli solarnych w niskiej zabudowie itp.

Są to uwarunkowania, które wymagają uwzględnienia w dalszym coraz szerszym włączaniu nowych technologii do procesu kształtowania otaczającego nas środowiska zbudowanego.

Z jednej strony pomagają nam w tym światowe wzory rozwiązań np. dla powszechnej, uniwersalnej jednorodzinnej zabudowy mieszkaniowej (Australian House of the Future, Wines J. 2008 s.168), z drugiej dopingujące nas prognozy wzrostu wykorzystania zielonej energii. I tak np. energii wiatrowej z 3% w roku 2015 do 26% w roku 2030 w drugiej co do wielkości w skali świata chińskiej gospodarce.

Zauważalne są też udoskonalenia na polu zarządzania w wykorzystaniu OZE. Przykładem może być największe na świecie 77 hektarowe pole solarne zbudowane w Arnstein na północ od miasta Würzburg w Niemczech. Mieści ono 1500 autonomicznych elektrowni słonecznych osiągających od 7 do 10 kilowatów. Nowatorskim jest tutaj rozwiązanie polegające na możliwości rozdysponowania całości tych 1500 jednostek pomiędzy prywatnych inwestorów. Te minielektrownie można nabywać za stosunkowo dostępną cenę 14 400 Euro.

W sytuacji europejskiej trzeba również zwrócić uwagę na fakt, że największą częścią rynku budowlanego (ponad 50%) jest aktywność gospodarcza na polu rehabilitacji, modernizacji, przebudowy i rozbudowy istniejących obiektów budowlanych. Jest to ważna wskazówka dla kierunku rozwoju i wdrażania nowości technologicznych i zielonej energii.

## LITERATURA

1. Bauen + Wohnen, 1967, Nr. 5
2. Bolhofer K., Ehmann S., Klanten R., *My Green City*, Gestalten Verlag GmbH, Berlin 2011.
3. Costa J.J., Santos P., Sousa M.A., *Modeling and Performance Analysis of an EARTH-TO-AIR Heat Exchanger*, 40th IAHS World Congress on Housing, Funchal, Portugal December 16-19, 2014.
4. Dannenberg M., Hafner M., Kitzing S., *Energien der Zukunft*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt 2012.
5. De Gregorio S., Forlani M.C., *The Selective Demolition. A "Mine" for the Sustainable Buildings Regeneration*, 40th IAHS World Congress on Housing, Funchal, Portugal, December 16-19, 2014
6. Feireiss K., L., *Architecture of Change 2, Sustainability and Humanity in the Built*
7. *Environment*, Gestalten Verlag GmbH, Berlin 2009.
8. Hermannsdoerfer J., Rub Ch., *Solardesign*, jovis Verlag GmbH, Berlin 2005.

9. Internationale Bauausstellung Hamburg. *Towards a New City. A Guide to the Elbe Islands and the Projects of the IBA Hamburg*. Klartext Verlag, Essen 2012.
10. IBA, Hamburg, 2013, prospekt
11. Pfammatter U., *Bauen im Kultur und Klimawandel. Green traditions – clean future*. Hochschulverlag AG an der ETH Zuerich, Zuerich 2012.
12. Uffelen Ch., *Re-Use Architecture*, Braun-Publishing AG, Berlin 2011.
13. Wines J., *Gruene Architektur*, Taschen GmbH, Koeln 2008.

# RENEWABLE ENERGY SOURCES AND PREVIOUSLY USED LAND

Barbara Vojvodíková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> VŠB- Technical university of Ostrava, Faculty of civil engineering, L. Poděště 1875/. Ostrava – Poruba, 708 00 barbara.vojvodikova@vsb.cz

## ABSTRACT

Sources of renewal energy are often connecting with area – the agricultural land which is affected by the use for solar energy equipment, or for production of the biomass. This process leads to the destruction or degradation of soil. On one side there is a really positive affect on the environment by the use of renewal energy sources and on the other hand we can see a really negative impact on one of the key natural sources. This negative feeling can be reduced when carefully choosing the place or sites. One really positive way is to be focused on lands which were degraded by the previous use and cannot find yet any useful use. This article will show a few examples of how previously land can be used as a place of production power from renewal sources. It shows also several cases from Germany and shows one proposal idea from the Czech Republic. At the end some related problems are mentioned.

Keywords: renewable sources, brownfields, sustainable development.

## INTRODUCTION

The production of energy from renewable sources is now one of the major trends in the area of sustainable development. Although it is a major step to reduce the various adverse effects of other conventional energy sources, for their implemenation a space is necessary - land that must be occupied.

Soil is one of the fundamental components of the environment. It also presents one of the cornerstones of sustainable development. As stated by Fagan (2002), the soil is basically omnipresent and so we often forget its existence, its uniqueness and its difficulty to be revived. Still, it is inherently associated with our existence and its use is an integral part of the history of all mankind. In the history, and especially today, as mentioned by Ademola et al. (2008) land use is a continuous process of relationships among natural (biophysical) and human (social) subsystems. Land use practically combines the social

and biophysical environment. It is therefore necessary to realize that if we change one of the aspects, we change the other one as well. Therefore, this article focuses on the options which are related to the utilization of the brownfields areas for production of energy from renewable sources, or the possibility of biomass production at those locations. To understand the problem better, it is necessary to devote part of this introduction for information about the uniqueness of the land-agricultural land, for example and societal loss when we will use it, for example for photovoltaic power plant.

If we would like to rate, in a regional or global scale how significant is the possible impact of the loss of agricultural land (the difference in state before and after the investment), according to (Marcotullio, et al 2008) we can ask ourselves the question how much of the natural environment (not only land air and water, but) we need to survive. These questions are then linked to primary agricultural production and changes in the population. In 1972 the members of the Club of Rome spoke about the Limits of growth, today they have already been using the term Bankrupt nature (The Club of Rome, 2012).

As an illustration of the disparity between resources and needs (despite the improvement of technology and technological processes), it may be noted, as stated in Hurta (2014), the acreage of cultivated land has increased for 11 years by 2.6%, while the population of the earth during the same period increased by 14.2%. The Food and Agriculture Organization of the United Nations estimates that the acreage of cultivated land will not be increasing further, on the contrary, the land is used and will be used for purposes other than the production of food (residential homes, industrial parks, athletic fields, urban greenery, amusement parks, coal mining, oil, gas, sand, minerals, roads, railways, etc.) (Hurta, 2014).

From the perspective of sustainability, it is appropriate to consider the indicator of the Ecological Footprint, which can be understood as the ability of natural resources such as soil or water, which were used for production (both agricultural and industrial), to absorb wastes coming from this production. As Marcotullio (2008) quotes, in 2002, the ability of the biosphere to reduce harmful effects produced by humans per year was assessed to a period of 1.2 years. It is obvious that the whole society is heading into a trap in the form of the inability of the natural environment to respond to our interventions.

In the Czech Republic, it is stated that the extent of built-up and other areas are increased year by year (2010-2011) by 1 656 ha (0.2%), from the year 2000 in total by about 24 162 ha (3%). Built-up and other areas held in 2011 in the Czech Republic cca 834.2 thousands hectares, which represents 10.6% of the Czech Republic's territory. The population between 2000 and 2011 increased by 2.3%. It is therefore a situation where the built-up area is increasing faster than the population and so grows also the ratio of the built-up area per capita. (Czech Geodetical and Cadastral Institute, 2012). Reducing the amount of claiming agricultural land for building is therefore becoming an inevitable task.

Decrease of the arable land for further urban development has become an essential objective. The document Thematic Strategy for Soil Protection (International Year of Soils 2015) , published by the European Commission in 2006, can be used for initiation of the

process. The mentioned document aims to define a common and comprehensive approach, focusing on the preservation of soil functions, based on the following principles:

Preventing further soil degradation and preserving its functions by acting on soil use and management patterns, when soil is used and its functions are exploited and by taking action at source, when soil acts as a sink/receptor of the effects of human activities or environmental phenomena.

Restoring degraded soils to a level of functionality consistent at least with current and intended use, thus also considering the cost implications of the restoration of soil.

The problem of the land reuse is the main issue of the CircUse project. In the CircUse project publication (Preuss et al., 2011)] it is explained that the circular flow land use management strategy primarily and systematically seeks to exploit the potential to develop existing building sites and reuse derelict land. It focuses solely on internal development (recycling abandoned sites, higher density development, infill development, multiple use, etc.).

On one hand, we need and we want to limit the production of energy from coal consuming power plants and replace it with energy from renewable energy sources, and on the other hand, for these activities we have to often claim the agricultural land and essentially destroy or significantly degrade an important natural resource.

## **WHAT BROWNFIELDS ARE**

Brownfields are inherently associated with changes that are happening in society as a whole. Human settlements are undergoing various transformations throughout their entire existence. Mostly, they are appearing in urban areas sites and for various reasons have lost their function. The reason behind the appearance of the deprived, abandoned and overall useless sites in towns can be found often in structural changes (Ferber, Grimsky, 2002, Votoček, 2011, Petrikova, 2011), that changed a prosperous factory into a non living jumble of buildings, turned lively railway stations with crowds of people passing through into hollow emptiness. For such places the term brownfield has become common. This is not a new term – used only in the last 5-10 years as mentioned by (Klusacek et al., 2015) the change in perception of brownfields happened in the Czech Republic in the period of years between 2000 and 2005. In addition to many definitions available (Ferber, Grimsky 2002), we encounter, for example, an explanation of what is a brownfield in the 1999's A Guidebook for Brownfields Property Owner, where owners ask themselves and answer two questions „Is my land idle, vacant, or less productive than it ought to be?“ and „Are concerns about environmental contamination contributing to be problem?“

Brownfields, as we are currently perceiving them are a relic of the changes in the economy and in the society in the last 40 years. As stated by Ferber (2006), the roots of the industrial Brownfields in Western Europe are from the 1970s. Such brownfields are often referred to as the first generation of brownfields. Dolezalova (2015) mentions that their existence is at first associated with unemployment, and is accompanied by many rapid changes in the society. These first generation brownfields tend to be larger areas, often in residential areas of cities.

Brownfield is a term, which has been associated with industrial cities and municipalities for several decades, as it is pointed out by e.g. Ferber (2006), with structural changes, such as decrease in production in traditional manufactures, or in mining, etc. However, there are many more causes of these changes, including the whole range of economic-political transformations.

In the past several authors e.g. Bergat – Jackson. et al. (2011) observed that the European legislation, in effect did not contain any unambiguous definition of brownfields. However, many countries use their own modified definitions in planning and development documents. Most of these definitions are more or less based on one of the first official definitions. This definition of brownfields was conceived within the framework of a European working group CLARINET (Ferber, Grimsky, 2002), and these same authors used the definition, when preparing outputs of the CABERNET network.

Brownfield sites are defined as an area affected by past use or the past use of neighbouring lands, which are abandoned and unused (or underused), have actual or potential problems with contamination, can be usually found in urban areas, but most of all, brownfield sites are sites, which require intervention in order to be effectively used again.

Brownfields cannot be considered merely as a problem associated with the surrounding land, but as (Ferber, Tomerius, 2003) or (Vojvodikova, Zamarský, 2014 ) point out, it is necessary to consider many different phenomena extending beyond the boundaries of the affected area.

These sites offer great potential, as, on a relatively small area, there are several smaller premises, which present right now a burden, but which are nevertheless well located and ready to perform a new function, which would otherwise be assigned to sites built on greenfield land (i.e. outside the municipality, on agricultural land).

How many Brownfields are in the territory of the Czech Republic is not entirely clear and conclusive as stated for example by (Frantál et al. 2013). Problems with incompatible and incomplete databases of brownfields is mentioned by Novosák et al. 2013). For example (Marsickova, 2012) mentions about it, with relation to the National Database of Brownfield Regeneration that there are 494 sites for all the regions of the Czech Republic. While only in the brownfield database of the South Moravian region, there are 362 sites mentioned, including 124 in the regional capital - Brno. Only such sites were added to the database having the area of a minimum size of 1 or having built-up an area of over 500 square meters as mentioned by (Frantál, B. et al. 2013).

The expertise estimates therefore of approximately, from 10000 to 20000 sites that might be called brownfields. Not all are suitable to be used for the production of electricity from renewable sources, but at least some of them are.

## **POSSIBLE NEW USE - RENEWABLE SOURCES OF ENERGY**

For many years there is a discussion about the question, what is the possible use of brownfields. One of the possible utilizations of a brownfield area is for production or for preparation of the production of energy from renewable sources. Such use of Brownfield

brings indisputable advantages. The first advantage is the regeneration of the brownfield as such with all the positives that this change brings to the brownfields surroundings, for the municipality and also for the wider area. The second advantage, which is, as it is suggested in the opening paragraph, very important prevention of the greenfields claiming. For example, when we place photovoltaic power plants on the brownfield site and not to the landscape we can talk about the significant reduction of negative influence on the landscape. Impact on the landscape can be quite significant and constitutes a specific atypical enclave in the landscape matrix, as we can see, for example, in Figure 1.



Figure.1., Plant for using solar energy near Slusovice – Czech Republic, Vojvodikova, 2015

Practically it is possible to divide the use of brownfield sites of renewable sources of energy to:

- permanent - especially when it is about the building of the equipment,
- temporary – if we are talking about e.g. the cultivation of biomass.

For the first category, this means the construction of the photovoltaic power plant or using this site as a place for a wind power plant. In this article we will address only the examples of use of solar energy. Walter, Seifried, D, (2010) mentions one of the first brownfield to greenfield redevelopments, the Leipziger Solar Power Plant, was installed upon 49 acres of a former lignite mine site in Espenhain, Germany. Investment was realised in 2004.

A similar investment is also Borna Solar Plant, installed at a cost of \$28 million on the site of a factory that had produced lignite briquettes. It is a significant effect from the point of impact to the soil. The power station is located on 22 hectares with production of 3.4 MW (Buchsbaum, 2015). See Fig. 2.





Figure.2 Locality of the current Borna Solar Plant during and after construction(Buchsbaum, 2015).

This example is included here mainly because it is, first of all, about utilization of a brownfield. More often we meet this device built on the heaps. (see example Photovoltaic Energy Plant) The second reason is the use of the premises as the plant and not just as the now standard add-on for the new construction. We can see a lot of such examples on brownfields. For example, in Figure 3.



Figure.3 The new construction on site Ewald in the Herten - on the roof of the new object photovoltaic panels are placed, Vojvodikova, 2011

An example of building photovoltaic power plants mainly on the grounds of the heap is Photovoltaic Energy Plant Mellin, Sulzbach, the projects are targeted to actively facilitate the change from fossil energy sources to renewable energy sources. The first construction phase of a photovoltaic energy plant on the site of the Mellin coal yard was initiated in August 2012, and it was already completed in September 2012, with a partial

output of 3.542 MWp (megawatt peak) on a sub-area of approximately 7 hectares. The second construction phase was completed on the photovoltaic energy plant on the Melin coal yard site in mid-2013. (Krumm, 2013).

Biomass – it is growing as one of the appropriate ways to use brownfield sites.

The biomass cultivation is another possible way of brownfields usage. This can be made a permanent usage, or it may be a so-called temporary use.

Permanent usage contributes to the greening of the site and so it is possible to grow plants. For temporary use, a variety of plants can be used, and those may also contribute to the phytoremediation. As stated by Mosey et al., (2007) the minimum extend for efficient use of site for biomass production is 2 ha.

An example of the biomass cultivation is the former mine of Hugo Bergwerk in Gelsenkirchen. In Figure 4 you can see the site's state in 2003. On the site of the former Hugo Bergwerk in Gelsenkirchen-Buer, is developing the Hugo Biomassepark. It is a large-scale, short rotation forestry plantation in a European megalopolis setting on a former mining site in the Ruhr metropolitan area. A park-like area of approximately 22 hectares with emerging fast growing crops (Timmerhaus, 2013).



Figure 4. The site of Hugo mine in Gelsenkirchen in 2003, Vojvodikova, 2003

Figure 5 shows the offer presented on the website of the site's owner, it shows how the site will be used for the cultivation of fast-growing tree species. This green area will be appropriately incorporated into the existing green area.

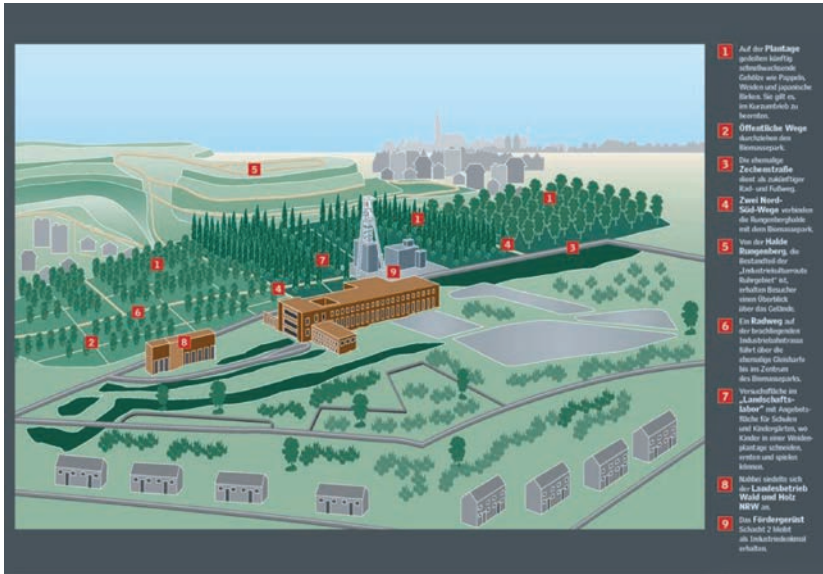


Figure 5 The offer of the site's use for the biomass cultivation (Timmerhaus, 2013)

Similar offers – rather in the form of ideas, appear in the Czech Republic.

For example, in 2013, a workshop was held in Ostrava by VŠB Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering with focus on the use of the former chemical factory in Ostrava Hrušov. The site's status can be seen in Fig. 6.



Figure.6 The former chemical factory in Ostrava Hrušov, Vojvodíková, 2013

The students prepared few offer ideas, one of them really counts with the green planting in the whole complex. The best is then to plant fast-growing species. (see Fig. 7). Students, however, did not take the degree of contamination of the site into account and the question was whether it might be better to use herbs rather than trees. However, the owner of the site is rather sceptical to this type of usage and is looking for an investor for the construction of a new industrial use.

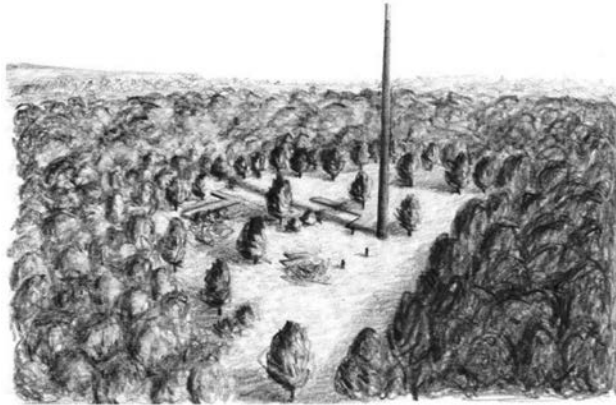


Figure 7 Student's offer 2013

## CONCLUSIONS

Brownfields can be perceived today more as potential for further development. In the past few years the negative image of these places has been improved and they are once again becoming an integral part of the planning and part of the sustainable development of the territory.

For usage of the energy from the renewable energy sources are suitable previously used areas either as a location for photovoltaic power plants, where just protecting greenfields before claiming for construction is an important criteria, so the very beneficial use can be considered as the use for the biomass cultivation. The big advantage is just changing the ugly, abandoned or broken area with the ruins, and also by the low prices of real estate into the area which is green, and the real estate prices are likely to grow afterwards. A special chapter to mention is the biomass cultivation, with gives the possibility of using plants, accumulating possible contamination. This type of use is of course linked to specific problems, mainly in the volume of biomass production, when plants are often growing limited by present contaminants.

Though the environmental effect is obvious, it is necessary not to forget even the economic effects. Despite all the positives mentioned, for the investor, the reuse of brownfield without stimulation is difficult and often inefficient. It is therefore necessary to deal with support of such options of the reuse.

## ACKNOWLEDGEMENT

The article was supported by a specific university research by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic No. SP2016 / 29 Creation of a system for market analysis of industrial enterprises.

## REFERENCES

1. Ademola ,K., Braimoh, A.K., Vlek , P. L.G. Impact of Land Use on Soil Resources In *Braimoh, A.K.,Vlek, P.L.G Land Use and Soil Resources* ISBN-978-1-4020-6777-8 e-, Springer Science+Business Media B.V. 2008.
2. Bergatt Jckson J., Vojvodíková, B., Herman, G. Moving towards sustainable urban and rural development skills. In *Sustainable Development of regions. Praha : České vysoké učení technické v Praze, s. 21-25 , 2007*
3. Buchsbaum, L. (2015) Turning Brownfields into Greenfields: From Coal to Clean Energy[online] Available at: <http://www.powermag.com/turning-brownfields-greenfields-coal-clean-energy/?pagenum=1> [Accessed 10 September 2016].
4. Czech Geodetical and Cadastral Institute, Český úřad zeměměřičský a katastrální. Summary statements of land fond cadastre data of the Czech Republic. 1st ed. Praha, pp 38, 2013
5. Fagan, B. M ., The little Ice Age, How Climate Made History 1300-1850, Basic Books, pp 30-32, 2002.
6. Ferber, U. et al. Sustainable brownfield regeneration: CABERNET network report. Nottingham: University of Nottingham, , pp 134, 2006.
7. Ferber, U. , S. Tomerius , "Brownfield Redevelopment: Strategies and Approaches in Europe and the United States, in *OECD, Private Finance and Economic Development: City and Regional Investment*, 2003.
8. Ferber, U. , Grimski, D. Brownfields and redevelopment of urban areas. A report from the contaminated land rehabilitation network for environmental technologies. Vienna: Federal Environment Agency Austria, ,pp 145, 2002
9. Frantál, B., Kunc, J., Nováková, E., Klusáček, P., Martinát, S., Osman, R., Location matters! Exploring brownfields regeneration in a spatial context (case study of the South Moravian Region, Czech Republic). *Moravian Geographical Reports, Vol. 21, No. 2, p. 5–19* 2013.
10. Hurta, J., Modul 10: Nové světy, mořské dno, deštné pralesy – nova naděje. (New worlds, seabed, rainforests - a new hope) Projekt poznej tajemství vědy MŠMT. pp 16, 2014.
11. International Year of Soils 2015. Scoping Study for DG ENV, Report, Final Report, Office for Official Publications of the European Communities, 2014.
12. Klusáček, P., Krejčí, T.,Kunc, J., Martinát, S., Nováková, E. : The post-industrial landscape in relation to local self-government in the Czech Republic. *Moravian Geographical Reports, 2011 Vol. 19, No. 4, pp. 18-28, 2011.*



13. Krumm,R, (2013) Photovoltaic Energy Plant Mellin, Sulzbach, [online] Available at: <http://www.rag-montan-immobilien.de/referenzprojekte/erneuerbare-energien/photovoltaikanlage-mellin/?L=1> [Accessed 10 September 2016].
14. Marcotullio, P.J, Braimoh,A.K, Onishi, T., The Impact of Urbanization on Soils In *Braimoh, A.K.,Vlek, P.L.G Land Use and Soil Resources* ISBN-978-1-4020-6777-8 e-, Springer Science+Business Media B.V. 2008.
15. Maršíčková K., Brownfields v jednotlivých krajích ČR (Brownfields in Czech´s regions) Bakalářská práce 2014 Katedra strukturální politiky EU a rozvoje venkova Fakulta ekonomická Českých Budějovicích 2012
16. Mosey, G., Heimiller, D., Dahle,D., Vimmerstedt, L., Brady-Sabeff, L.Converting Limbo Lands to Energy-Generating Stations: Renewable Energy Technologies onUnderused, Formerly Contaminated Sites National Renewable Energy Laboratory 1617 Cole Blvd. Golden, CO 80401 EPA/600/R-08/023, 2007.
17. Novosák J., Hájek, O., Nekolová J. a Bednář P., The Spatial Pattern Of Brownfields And Characteristics Of Redeveloped Sites In The Ostrava Metropolitan Area (Czech Republic). Moravian Geographical Reports [online]. 2013, vol. 21, iss. 2, s. 36-45. ISSN 1210-8812. Available at <http://www.degruyter.com/view/j/mgr.2013.21.issue-2/mgr-2013-0009/mgr-2013-0009.xml>. [Accessed 10 September 2016].
18. Petříková, D., *Klasifikácia a hodnotenie možností regenerácie brownfieldov, (Classification and evaluation of brownfields regeneration)* Urbanita , Bratislava p.10-13, ISSN 0139-5912, 2011
19. Preuss, T., Verbuecheln, M.; Ferber, U., 02/2011. Circular Flow Land Use Management Strategy Task Nr. 2.4.3. Berlin, s.n. 2011
20. Timmerhaus,H (2013) Biomassepark Hugo, Gelsenkirchen [online] Available at: <http://www.rag-montan-immobilien.de/referenzprojekte/umwelt/biomassepark-hugo/?L=1> [Accessed 10 September 2016].
21. The Club of Rome (2012). *Bankrupting Nature, Denying our Planetary Boundaries* [online] Available at: <http://www.clubofrome.org/?p=5366> [Accessed 10 September 2016].
22. Vojvodikova, B., Zamarský, V., Brownfields: a liability or a potential?. *Entrepreneurship Studies*, 2014, roč. 1, č. 1, s. 20-29. 2014
23. Votoček, J., Řešení problematiky brownfields (Solutions for brownfields,) dissertation, MS, Ostrava 2011.
24. Witzel, W., Seifried, D, , *Renewable Energy – The Facts* Authors Routledge, ISBN 9781849711593, 2010





## SUMMARY

With respect to the assessment of energy resources, PL-CZ's development strategy is to use renewable energy resources rather than fossil fuels. Local plans for energy and climate together with the need for widespread energy savings, energy efficiency, and energy efficient infrastructure (defined by national standards and regulations in accordance with the EU) have contributed directly to the creation of this book.

The intention is to present a concept and real vision that integrates eco-energy with ecology and innovative energy technologies with low-energy construction. Both the study and articles are enriched with experience and examples of new RES technologies and their implementation. As the project develops, all the partners for future projects will share this knowledge. Thanks to the results of cooperation in the publication, this knowledge will also be consolidated and made available to a wide range of stakeholders. Current issues confirm the need for further initiatives of this kind because they will increase interest in new, unconventional energy sources and technologies for energy generation and the construction of renewable energy sources.

Similarity of problems related to Renewable Energy Sources in all industrialized countries made team of researchers on the initiative of the Mayor of Racibórz, Mirosław Lenk to organize together with Racibórz City Council and State University of Applied Sciences in Racibórz international conference RES and ways of addressing this problem.

I sincerely thank the reviewers of this book and especially Professor Ewa Stachura and Professor Jack Włodarczyk for their interest in this publication and constructive comments.

And thanks also must go to the active involvement of the architects of PWSZ in Racibórz, who initiated cooperation of the PL-CZ border Universities of the VSB in Ostrava. This will enable further scientific and research projects including this publication. It marks the beginning of the cooperation of many institutions for Renewable Energy Sources.

Joanna Sokołowska Moskwiak  
(PhD architect)



PŘEKRAČUJEME HRANICE  
PRZEKACZAMY GRANICE  
2014—2020



EVROPSKÁ UNIE / UNIA EUROPEJSKA  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO



Egzemplarz bezpłatny

ISBN: 978-83-64423-53-6



Projekt „Edukacja i promocja w zakresie OZE na pograniczu polsko-czeskim” jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz z budżetu państwa RP  
**PRZEKACZAMY GRANICE**