

STRUCTURE AND ENVIRONMENT

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND ENERGY

No. 4/2015 vol. 7 PL ISSN 2081-1500 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents

structure

KATARZYNA KUBICKA, URSZULA RADOŃ

THE ASSESSMENT OF FIRE SAFETY OF STEEL STRUCTURAL ROOF	155
---	------------

EWA STĘPIEŃ

RESEARCH PROBLEMS THAT OCCUR DURING THE ANALYSIS OF THE WORK OF FRP-STRENGTHENED TIMBER BEAMS UNDER SUSTAINED LOADS	159
--	------------

PAWEŁ RAJCA

THE INFLUENCE OF REGIONALISM ON THE SHAPING OF SOLID STRUCTURE OF THE SHRINE OF ST. JOSEPH – THE PATRON SAINT OF FAMILY IN KIELCE	165
--	------------

ELŻBIETA PIOTROWICZ

REINFORCING OF HISTORICAL CEILING BEAMS IN THE SHEAR ZONE	173
--	------------

ANNA SŁOŃ, URSZULA PAWLAK

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPUTATIONAL METHODS FE AND FD ON THE EXAMPLE OF THE MEMBRANE SURFACE STRUCTURE	178
---	------------

environment

ANATOLIY PAVLENKO

THE TEMPERATURE DISTRIBUTION OF THE MATERIALS IN THE CONVECTIVE HEAT TRANSFER	185
--	------------

EDYTA NARTOWSKA, TOMASZ KOZŁOWSKI, MARTA KOLANKOWSKA

APPLICATION OF ¹H-NMR RELAXOMETRY TO THE DETERMINATION OF THE WATER CONTENT IN CLAY SOILS	189
---	------------

MAREK TELEJKO

INDOOR AIR QUALITY IN COMPUTER LABS	194
--	------------

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT	199
--	------------

THE REVIEW PROCESS	200
---------------------------------	------------

EDITORIAL BOARD

Main Editor Jerzy Z. Piotrowski
Editor Radosław Zaborek
Secretary of the Editorial Board Łukasz Orman
Sectional Editor STRUCTURE Marek Iwański
Sectional Editor ENVIRONMENT Lidia Dąbek

SCIENTIFIC BOARD

STRUCTURE

Chairmanship Jerzy Wawrzeńczyk

Tomasz Arciszewski (USA), Lesław Brunarski, Go Iwahana (Japan), Zbigniew Kowal, Jozef Melcer (Slovakia),
Michail V. Nemchinov (Russia), Victor Proskuriakow, Zbigniew Rusin, Bohdan Rymaszewski, Wacław Seruga,
Małgorzata Wilczkiewicz (USA)

ENVIRONMENT

Chairmanship Tomasz Kozłowski

Satoshi Akagawa (Japan), Elżbieta Bezak-Mazur, Dorota Chwieduk, Graham Herbertson (Scotland), Andrzej Kapłon,
Andrzej Kulickowski, Janusz Łomotowski, Paweł Purgał, Leszek Radziszewski, Mark Bomberg (Canada), Maria Żygadło

Photos on the cover Shrine of St. Joseph — The Patron Saint of Family in Kielce — author Paweł Rajca

www.sae.tu.kielce.pl

sae@tu.kielce.pl

The quarterly printed issues of Structure and Environment are their original versions

The Journal published by the Kielce University of Technology

PL ISSN 2081-1500

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2015

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7
tel. 41 34 24 581
www.wydawnictwo.tu.kielce.pl



Kielce University of Technology
2015



structure
structure

KATARZYNA KUBICKA¹

URSZULA RADON²

Kielce University of Technology

¹e-mail: ksuckert@tu.kielce.pl

²e-mail: zmbur@tu.kielce.pl

THE ASSESSMENT OF FIRE SAFETY OF STEEL STRUCTURAL ROOF

Abstract

The paper provides a fire analysis of steel structural roof. The analysis was carried in accordance with the Eurocode. The fire impact on the structure was evaluated with respect to three criteria: bearing capacity, temperature and time. To carry out the numerical analysis, the Robot system was used.

Keywords: steel structures, structural roofs, fire safety

1. Introduction

In the paper, the fire performance of a steel structural roof, also called a lattice mattress, was analyzed. Such roofs have many advantages, high stiffness being a major one. It makes it possible to reduce middle supports, or eliminate them completely, and thus to obtain free space. Arbitrary spacing of supports is also possible due to advantageous load distribution in lattice mattress. Another advantage of steel structural roofs is the possibility of making, to a large extent, connections standardized. Additionally, it is possible to assembly whole roof slopes and to prefabricate roof components in the factory or at the construction site. The other method offers an advantage in transport, because the lattice mattress can be transported in basic grillage units, including flat or spatial repetitive segments, bars and nodes [1].

Structural roofs should be used for the span of 18-60 (100 m). The roof slenderness, which is span to structural height ratio, should be of the order of 10-25 [2].

2. The steel properties at elevated temperature

Steel is a widely used material in construction because of its advantageous properties, mainly mechanical ones. Steel, however, has some drawbacks. The major, most serious one is steel extremely low resistance to high temperatures. Steel substantial vulnerability to fire temperatures results from the fact that the properties of the material significantly deteriorate with an increase in temperature.

2.1. The mechanical properties of steel at elevated temperatures

The most important mechanical properties of steel include the following: elastic modulus, yield stress and coefficient of thermal expansion. Figure 1 shows curves developed by various researches to describe changes in steel mechanical properties with an increase in temperature [3].

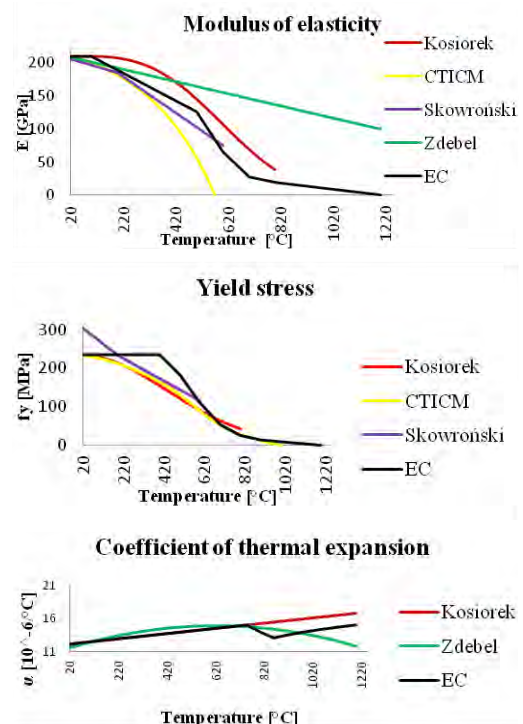


Fig. 1. The mechanical properties of steel at elevated temperature

2.2. The thermal properties of steel at elevated temperatures

The most important thermal properties of steel are specific heat and a thermal conductivity coefficient. Curves in Figure 2 show changes in those parameters with a temperature increase [3].

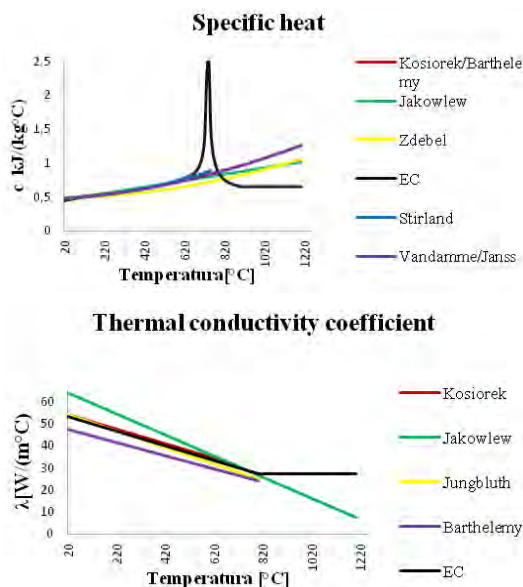


Fig. 2. The thermal properties of steel at elevated temperature

3. Fire analysis of steel structural cover

The structural roof shown in Figure 3 was subjected to the fire analysis.

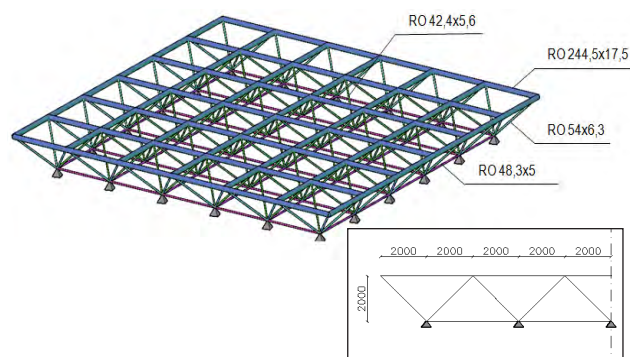


Fig. 3. The geometry of the analyzed structural roof

Bars were designed to be made of S235 steel. The load included the following: the structure dead load, reinforced concrete plate 10 cm in thickness, finishing layers (1.5 kN/m³) and glass 8 mm in thickness, covering the structure side walls. The 1st wind zone and 2nd snow zone were assumed [3, 4].

The analysis was carried out using the Robot system. Initially, calculations were made for usual structure performance conditions, without taking into

account fire impact. In Figure 4, the highest strained bars (81-88%) were marked with a thick line.

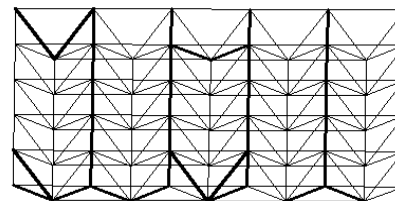


Fig. 4. The strain on structural roof bars without accounting for fire impact

Then, the fire analysis of unprotected structure according to [6, 7] was performed. It was assumed that the whole structure was affected by fire spreading from the bottom. The calculations were made for three areas permitted by the Eurocode: time, temperature and bearing capacity.

Fire analysis results are shown in Figure 5. Bars denoted with thick lines exceed the safety condition. Dashed line shows the elements that exceeded, to the largest extent, the conditions corresponding to a given area (time, temperature, bearing capacity).

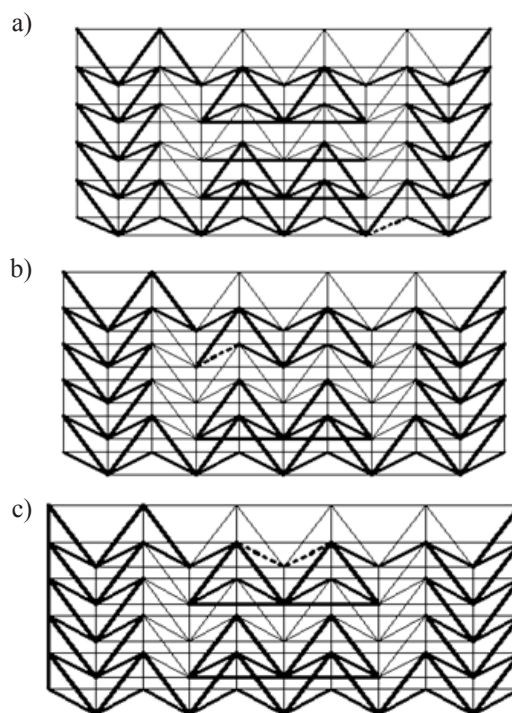


Fig. 5. The results of fire analysis with reference to: a) temperature, b) bearing capacity, c) time

The next step was to select the fireproofing insulation. The use of vermiculite cement, 5 mm in thickness, provides the analyzed structure with R15 class fire resistance. Increasing thickness of insulation to 1 cm ensures R30 class.

4. Conclusions

The analysis presented in the paper confirms that steel is extremely sensitive to high temperatures. This fact makes it necessary to carry out fire analysis for the structures made of steel. Fire of steel buildings not only leads to substantial material losses, but it also poses a serious hazard to human life and health. The Eurocode proposes algorithms that make it possible to perform analysis of steel structure under fire conditions. However, the example presented in the paper shows that methods compliant with the code, which rely on the bearing capacity, temperature and time produce different results. Consequently, none of them can be considered fully safe. The problem posed in the paper indicates it is necessary to develop a standardized method of fire analysis of steel structures which would be capable of producing reliable and unambiguous results.

References

- [1] Kurzawa Z.: *Stalowe konstrukcje prętowe. Cz. II: Struktury przestrzenne, przekrycia cięgnowe, maszty i wieże*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań, 2011.
- [2] Kowal Z.: *Wybrane działy z konstrukcji metalowych. Cz.3. Zbiorniki, płyty faldowe i warstwowe, struktury prętowe, budynki wysokie*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław, 1979.
- [3] Matheja M.: *Uplastycznienie konstrukcji stalowych w czasie pożaru*. Gliwice, 1999.
- [4] PN-EN 1991-1-4 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję. Część 1-4: Oddziaływania ogólne: Oddziaływania wiatru.
- [5] PN-EN 1991-1-3 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję. Część 1-3: Oddziaływania ogólne: Obciążenie śniegiem.
- [6] PN-EN 1991-1-2 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję. Część 1-2: Oddziaływania ogólne: Oddziaływania na konstrukcję w warunkach pożaru.
- [7] PN-EN 1993-1-2 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne: Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe

Katarzyna Kubicka
Urszula Radoń

Ocena trwałości pożarowej stalowego przekrycia strukturalnego

1. Wstęp

W niniejszym opracowaniu przeanalizowano zachowanie się stalowego przekrycia strukturalnego, zwanego również materacem kratowym, poddanego działaniu pożaru. Przekrycia tego typu mają szereg zalet. Najważniejszą wydaje się ich duża sztywność, co umożliwia ograniczenie lub całkowite wyeliminowanie podpór pośrednich, a tym samym uzyskanie swobodnej przestrzeni. Dowolne rozmieszczanie podpór jest możliwe również dzięki korzystnemu rozkładowi obciążeń w materacu kratowym. Kolejną zaletą struktur stalowych jest możliwość znacznej unifikacji połączeń. Możliwy jest również montaż całych połaci dachów oraz prefabrykacja elementów przekryć w wytwórni lub na placu budowy. Ten drugi sposób jest bardzo korzystny ze względu na transport, materac kratowy może być transportowany w jednostkach podstawowych rusztu, którymi mogą być płaskie lub przestrzenne segmenty powtarzalne, a także pręty i węzły [1].

Przekrycia strukturalne powinny być stosowane dla rozpiętości 18-60 (100 m). Smukłość przekrycia, czyli stosunek rozpiętości do wysokości konstrukcyjnej, powinna być rzędu 10-25 [2].

2. Właściwości stali w podwyższonych temperaturach

Stal jest materiałem chętnie wykorzystywanym w budownictwie ze względu na szereg korzystnych właściwości, przede wszystkim mechanicznych. Jednak nie jest to materiał pozbawiony wad. Jedną z największych, jeśli nie największą, jest wyjątkowo niska odporność na działanie wysokich temperatur. Tym co czyni stal wyjątkowo podatną na działanie temperatur pożarowych są jej właściwości, które ulegają znacznemu pogorszeniu wraz ze wzrostem temperatury

2.1. Właściwości mechaniczne stali w podwyższonych temperaturach

Do najważniejszych właściwości mechanicznych stali należy moduł sprężystości, granica plastyczności oraz współczynnik rozszerzalności termicznej.

Rysunek 1 przedstawia krzywe opracowane przez różnych naukowców opisujące zmiany wspomnianych właściwości mechanicznych wraz ze wzrostem temperatury [3].

2.2. Właściwości termiczne stali w podwyższonych temperaturach

Najistotniejsze właściwości termiczne stali to ciepło właściwe i współczynnik przewodnictwa cieplnego. Krzywe na rysunku 2 przedstawiają zmianę tych parametrów wraz ze wzrostem temperatury [3].

3. Analiza pożarowa stalowego przekrycia strukturalnego

Analizie pożarowej poddano stalowe przekrycie strukturalne przedstawione na rysunku 3. Pręty zostały zaprojektowane ze stali S235. Jako obciążenie przyjęto ciężar własny konstrukcji, płytę żelbetową o grubości 10 cm, warstwy wykończeniowe ($1,5 \text{ kN/m}^3$) oraz szkło wypełniające boczne ścianki struktury o grubości 8 mm. Założono 1 strefę wiatrową i 2 śniegową [3, 4].

Cała analiza przebiegała z wykorzystaniem systemu Robot. Początkowo przeprowadzono obliczenia dla normalnej sytuacji projektowej, bez uwzględniania wpływu pożaru. Na rysunku 4. pogrubioną linią zostały zaznaczone najbardziej wyężone pręty (81-88%).

Następnie przeprowadzono analizę pożarową nieosłoniętej konstrukcji, według [6, 7] przyjmując, że cała struktura została objęta działaniem pożaru od spodniej strony. Obliczenia zostały wykonane w trzech dziedzinach dopuszczalnych przez Eurokod: czasu, temperatury i nośności.

Na rysunku 5 zostały przedstawione wyniki analizy pożarowej. Pogrubione pręty przekraczają warunek bezpieczeństwa. Linią przerywaną zostały zaznaczone elementy, które w największym stopniu przekroczyły warunki odpowiadające danej dziedzinie (czasu, temperatury, nośności).

Kolejnym krokiem analizy było dobranie izolacji ogniochronnej. Zastosowanie cementu wermikulitowego o grubości 5 mm zapewnia analizowanej konstrukcji klasę odporności ogniowej R15, natomiast zwiększenie grubości izolacji do 1 cm zapewnia klasę R30.

4. Wnioski

Przedstawiona analiza potwierdza, że stal jest materiałem wyjątkowo podatnym na działanie wysokich temperatur. Fakt ten powoduje konieczność przeprowadzania analiz pożarowych konstrukcji wykonanych ze stali. Pożar stalowych budynków przyczynia się nie tylko do znacznych strat materialnych, ale przede wszystkim stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. Eurokod proponuje algorytmy, umożliwiające przeprowadzenie analiz konstrukcji stalowych w warunkach pożaru. Przykład przedstawiony w pracy wykazuje jednak, że dopuszczalne normowo metody: nośności, temperatury i czasu dają różne wyniki, w związku z czym żadnej z nich nie można uznać za w pełni bezpieczną. Wspomniany problem generuje potrzebę opracowania ujednoliconej metody analizy pożarowej konstrukcji stalowych, dającej wiarygodne i jednoznaczne wyniki.

RESEARCH PROBLEMS THAT OCCUR DURING THE ANALYSIS OF THE WORK OF FRP-STRENGTHENED TIMBER BEAMS UNDER SUSTAINED LOADS

Abstract

This paper deals with the issues relating to the study of FRP-strengthened timber beams subjected to sustained loads. A special focus was given to the variation in deformability characteristics of these materials and to the resulting processes that occur in the work of the strengthened beams. Aims and objectives of these studies were also presented together with the issues resulting from the requirement to maintain appropriate test conditions. The paper is a theoretical analysis of the problem, conducted prior to the start of preliminary studies.

Keywords: timber, FRP (Fibre Reinforced Polymers/Plastics), sustained loads, timber beam strengthening, creep

1. Introduction

Timber is a unique material, which in many aspects outperforms other construction materials. It is the oldest building material used by man. Its high attractiveness is associated with its structure providing advantages unmatched by other materials. These include a very high strength-to-weight ratio, anisotropy, low heat conduction and easy handling. The limitations due to its biological origin include high hygroscopic property leading to shrinkage phenomena, swelling and cracking. Humidity variations cause changes in mechanical properties of the timber and its rheological properties contribute to creep even at room temperature. Nevertheless, timber is a renewable material and a number of materials can be used to strengthen it and improve the strength and stiffness of structures made of timber elements [1, 2].

In recent years there has been considerable research into the use of modern fibre reinforced composites, that is, plastics reinforced with various fibres. The most frequently used composites include:

- CFRP – Carbon Fibre Reinforced Plastic,
- GFRP – Glass Fibre Reinforced Plastic,
- AFRP – Aramid Fibre Reinforced Plastic [3, 4].

The growing interest in these composites results primarily from their good elastic and strength parameters and light weight. The elastic properties

of the FRP (Fibre Reinforced Polymer/Plastic) are comparable to those of steel but their strength is several times higher.

They have high fatigue strength, a very high tensile strength (both short- and long term tensile strength), a very high value of ultimate strains, resilience to corrosion, electromagnetic neutrality and they are easy to assemble [5]. Unlike steel, the composites do not have a plastic range of their response to loads – the state preceding the failure is not signalled, with rupture taking place rapidly upon exceeding the ultimate strain value. In addition, the composite with fibres are sensitive to temperature.

Timber elements are reinforced with FRPs in the form of strips or mats made with carbon, glass or aramid fibres adhered to the surfaces under the highest stress [6]. Other timber beam reinforcement methods include adhering the strips in-between individual lamellae of glulam timber or placing them in the grooves cut in the solid timber beams. Fibre plastic composites for timber strengthening are selected to account for securing worn out elements, increasing the load carrying capacity and limiting deflections as well as reinforcing the damaged parts of the beams. To ensure the desirable behaviour of the timber element, proper composites are chosen depending on the type of damage and its localization.

2. Problems encountered while analysing the work of FRP-strengthened timber beams under sustained loads

The investigations of the possible application of fibre plastic composites to strengthening timber structures started at late sixties and early seventies [7-12]. In Poland, the studies and testing were carried out in several research centres: Silesian, Szczecin, Wrocław, Poznań and Kielce universities of technology [13-16]. The result from the tests indicated a considerable increase in the load carrying capacity and stiffness of the CFRP-strengthened timber elements, with deflection values and stress levels significantly reduced. The laboratory tests [14] of the CFRP-strengthened timber beams under bending showed a 15-28% increase in load carrying capacity relative to the non-strengthened beams. The conclusions reported in [15] suggest that the strengthening of timber ceilings/floors with carbon fibre strips has a beneficial effect on the decrease in deflection. The result report 20% higher load carrying capacity when strips of lower modulus of elasticity were used and about 45% higher load carrying capacity when strips of higher modulus of elasticity ($E = 300 \text{ GPa}$) were applied.

Testing and investigations have contributed to increased application of fibre plastic composites to timber reinforcement both at the production stage and for renovation and repairs. The literature reporting the behaviour of reinforced timber structures under sustained load or under different temperature and moisture conditions is scarce. The so far reported studies relate primarily to FRP-strengthened timber elements subjected to short-term loads. Therefore the benefits of investigating the behaviour of the strengthened timber elements under sustained loads should be analysed and the encountered problems should be taken into account.

The analysis of the reinforced timber beams subjected to sustained loads aims at developing the method for preventing the effects of creep deflection, considering how it affects the performance and aesthetics of the structure [7]. Observation of the changes in deflection during the tests is essential and should include determining the time after which the deflection stabilizes. Also the differences between the deformation characteristics of both materials should be paid attention to. The result of combining two different materials into one compatible composite depends on the similarity of their physical and mechanical parameters and comparability of their deformation characteristics. These characteristics include:

- creep coefficient φ ,
- Poisson's ratio ν ,
- modulus of elasticity E ,
- shear modulus G ,
- moisture related deformability α_w ,
- thermal expansion coefficient α_t .

Large differences in these parameters for the timber and fibre plastic composites may lead to undesirable distribution of internal forces in the resultant structure when under short-term load, and their redistribution when under sustained load. Additional stress associated with temperature-moisture related deformation can also occur. Another serious problem lies in the fact that the deformation parameters of timber and fibre composites as anisotropic materials are varied depending on the fibre direction. For example, the elasticity modulus of carbon or glass mats and strips are 6 to 25 times higher than those of timber along the fibres and 200 – 600 times higher in transverse direction. The creep ratios of timber and composites are comparable along the fibres and about 4 – 10 times different in value in transverse direction [6]. The analysis of creep in FRP-strengthened timber beams is the key element of sustainable load testing.

Creep is the time-dependent deflection of the material subjected to sustained load. For example, FRP rods show a considerable susceptibility to creep, and the intensity of this process increases with the level of long-term load, high temperatures, and UV radiation or humidity variations. Carbon fibres are most resistant to creep effect, with moderate resistance of aramid fibres and very low resistance of glass fibres. According to the result reported in [17], stresses in CFRP, AFRP and GFRP rods subjected to long-term loads (the tests results extrapolated for the period of 500 000 h), at the moment of failure were 93, 47 and 23% their short-term tensile strength, respectively [18].

Timber is a material with complex rheological properties. For that reason, the selection of the proper rheological model for describing the behaviour of the reinforced element under plastic deformation is a very important issue. The authors of [7] draw attention to possible occurrence of local redistribution of stresses in the cross-section, especially at the points where composite beams are joined. Stress relaxation and globally growing deformation levels are a major problem here. Also, under long-term loads applied to elements in bending, the stresses between the adherents will redistribute. The effect of the adhesive-bonded joint creep on the deformation of the composite beam

should be considered as well. Literature-reported functions of increasing strain over time (creep laws) for adhesive-bonded joints, which quantitatively define the size of the deformation, are based on the assumption of a uniform stress status, which in this case is an unacceptable simplification [19].

Testing time is another problem. The tests of the FRP-strengthened beams under sustained loads are time-consuming. To investigate the creep phenomenon, the temperature and moisture conditions have to be maintained at the same level, which is hardly possible. The investigations conducted by J. Jasieńko indicate that a minor moisture effect manifested itself in irregular deflection rates [20]. The tests for the strengthened beams under sustained loads should be carried out concurrently for different reinforcement systems and FRP materials. Conducting tests one after another varying the reinforcement methods and using different FRP mats or strips makes the test results incomparable due to the differences in temperature and moisture conditions.

3. Conclusion

Reinforcing timber structures with FRP materials is undoubtedly an effective method for improving the strength and stiffness of the timber and decreasing rheological deflection rate. Acknowledging the strengthening possibilities offered by the composites, the focus should be put on the specificity of timber-composite interaction, especially under sustained loads, and on variable moisture conditions. Analysis of basic rheological processes is the key point in studying multi-material beam working under long-term loads. Positive results of laboratory tests, even when the same temperature and moisture conditions are maintained, have to be carefully verified before practical application of the FRP-strengthened timber, as the knowledge of their in-service behaviour is still insufficient.

References

- [1] Krzysik F.: *Nauka o drewnie (Wood Science)*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa, 1978.
- [2] Łapka M.: *Wpływ efektu skali na mechanikę zniszczenia drewna konstrukcyjnego*, Rozprawa doktorska (*The impact of scale on mechanics of construction wood damage*), Doctoral dissertation. Politechnika Opolska, 2013.
- [3] Jasieńko J., Pietraszek P., Nowak T.: *Taśmy CFRP we wzmocnianiu elementów konstrukcyjnych drewna (CFRP tapes in the reinforcement of structural wood elements)*. VI Scientific Conf.: Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych, Międzyzdroje 2004, pp. 309-322.
- [4] Brol J.: *Wzmocnianie elementów drewnianych taśmami lub matami z włókien (The reinforcement of wood elements with fibre tapes or mats)*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Budownictwo, z.93, Gliwice 2001.
- [5] Derkowski W., Zych T.: *Nowoczesne materiały kompozytowe do wzmocniania konstrukcji budowlanych (Modern composites for building construction reinforcement)*. Czasopismo Techniczne, 14-B (2004), Kraków 2004, pp. 15-25.
- [6] Mielczarek Z., Orłowicz R.: *Uwagi do stosowania kompozytów włóknistych w konstrukcjach drewnianych (Remarks to the use of fibre composites in wood constructions)*. VI Scientific Conf.: Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych, Międzyzdroje 2004, pp. 333-344.
- [7] Jasieńko J.: *Połączenia klejowe i inżynierskie w naprawie, konserwacji i wzmocnianiu zabytkowych konstrukcji drewnianych (Adhesive and engineer joints in reconstruction and preservation of wooden heritage structure)*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2003.
- [8] Lis Z., Rapp P.: *Badania belek drewnianych wzmocnionych taśmami w włókien węglowych (Tests on timber beams reinforced with carbon fibre tapes)*. Inżynieria i Budownictwo, R.58, 7 (2002), pp. 390-392.
- [9] Kulisz W.J., Nakaszidze B.W.: *Stan naprężeń klejonych belek drewnianych zbrojonych taśmami z włókien szklanych (State of stress of GFRP reinforced glued timber beams)*. Zeszyty naukowe „Stiełoplastobetonnyje konstrukcji”. ISiA, Mińsk 1972.
- [10] Luggin W.F., Bergmeister K.: *Vorspannung mit karbonfaserverstärkten kunststoffen in konstruktiven Holzbau*. Bautechnik, 8 (2001), pp. 556-570.
- [11] Mielczarek Z., Belczyński I.: *Zastosowanie laminatu poliestrowo-szklanego do wzmocnienia belek ze sklejk (Application of polyester-glass laminates to glulam beams strengthening)*. Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej, 27, 1974.
- [12] Mielczarek Z., Mickiewicz D.: *Wzmocnianie belek drewnianych nakładkami poliestrowymi zbrojonymi włóknem szklanym (Reinforcing timber beams using GFRP plater)*. Inżynieria i Budownictwo, 12, 1973.
- [13] Brol J.: *Analiza doświadczalno-teoretyczna wzmocniania konstrukcji drewnianych kompozytami polimerowo-węglowymi (Experimental – theoretical analysis: construction reinforcement with polymer-carbon composites)*. Doctoral dissertation, Gliwice 2005.
- [14] Brol J.: *Skuteczność wzmocniania belek drewnianych taśmami CFRP (Effectiveness of timber beams reinforcement with tapes)*. VII Scientific Conf.: Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin – Międzyzdroje, 12 – 13 maja 2006, pp. 91-98.
- [15] Brol J.: *Wzmocnianie stropów drewnianych taśmami z włókien węglowych (Wood ceiling reinforcement with carbon fibre tapes)*. Inżynieria i Budownictwo, 12, 1973.

- with carbon fibre tapes). VI Scientific Conf.: Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych. Szczecin – Międzyzdroje, 27 – 29 maja 2004, pp. 301-308.
- [16] Nowak T.: *Analiza pracy statycznej zginanych belek drewnianych wzmocnianych przy użyciu CFRP (The analysis of static work of CFRP reinforced timber beams in bending)*. Doctoral dissertation. Wrocław, 2007.
- [17] Yamaguchi T., Kato Y., Nishimura T., Uomoto T.: *Creep rupture of FRP rods made aramid, carbon and glass fibers*. Proceedings of the Third International Symposium on Non-Metallic (FRP) Reinforcement for concrete structures (FRPFCS-3). Japan Concrete Institute, Tokyo, Vol. 2 (1997), pp. 179-186.
- [18] Szumigala M., Pawłowski D.: *Zastosowanie kompozytowych prętów zbrojeniowych w konstrukcjach budowlanych (Composite reinforcement rods for building structures)*. Przegląd Budowlany, 3 (2014), 3, pp. 47-50.
- [19] Godźmirski J.: *Wytrzymałość doraźna konstrukcyjnych połączeń klejowych (Temporary durability of structural adhesive joint)*. WNT, Warszawa 2002.
- [20] Jasieńko J.: *Połączenia klejowe w rehabilitacji i wzmocnianiu zginanych belek drewnianych (Adhesive joints in rehabilitation and reinforcement of wood beams in bending)*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.
- [21] Kossakowski P.: *Influence of anisotropy on the energy release rate G_I for highly orthotropic materials*. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 45, Issue 4 (2007), Warsaw 2007, pp. 739-752.

Ewa Stępień

Problemy badawcze występujące podczas analizy pracy belek drewnianych wzmocnionych materiałami kompozytowymi z tworzyw sztucznych zbrojonych różnego rodzaju włóknami w zakresie obciążeń długotrwałych

1. Wprowadzenie

Drewno pod wieloma względami przewyższa inne materiały konstrukcyjne. Jest to najstarszy materiał budowlany stosowany przez człowieka. Wysoka wartość drewna wiąże się z jego budową, z której wynikają zalety niespotykane w innych materiałach. Dzięki swojej budowie drewno ma dużą wytrzymałość przy niskim ciężarze właściwym. Drewno jest materiałem anizotropowym (ortotropowym). Odznacza się niskim przewodnictwem ciepła oraz jest łatwe w obróbkę. Niestety ze względu na biologiczne pochodzenie, drewno ma również wiele wad, między innymi wysoką higroskopijność, co powoduje rozwój zjawisk skurczu, pęcznienia i pęknięcia. Istotnym problemem jest zmiana właściwości mechanicznych, jakie zachodzą przy wahaniami wilgotności oraz wynikające z właściwości reologicznych pełzanie drewna, nawet w temperaturze pokojowej. Niemniej jednak drewno można produkować w sposób ciągły, a szereg materia-

łów występujących na rynku można zostać użytych do jego wzmocnienia i tym samym poprawienia wytrzymałości i sztywności konstrukcji wykonanych właśnie z elementów drewnianych [1, 2].

Jako materiał wzmocniający konstrukcje drewniane coraz częściej stosuje się nowoczesne materiały włóknokompozytowe. Najogólniej mówiąc są to tworzywa sztuczne zbrojone różnego rodzaju włóknami. Najczęściej stosowane kompozyty to:

- zbrojone włóknami węglowymi (CFRP – Carbon Fibre Reinforced Plastic),
- zbrojone włóknami szklanymi (GFRP – Glass Fibre Reinforced Plastic),
- zbrojone włóknami aramidowymi (AFRP – Aramid Fibre Reinforced Plastic) [3, 4].

Zainteresowanie kompozytami wynika przede wszystkim z ich dobrych parametrów sprężysto-wytrzymałościowych oraz niewielkiego ciężaru. Własności sprężyste kompozytów włóknistych FRP (Fibre Re-

inforced Polimers/Plastics) są porównywalne ze stałą, natomiast ich wytrzymałość jest kilkakrotnie wyższa.

Inne własności tych materiałów to: wysoka wytrzymałość zmęczeniowa, bardzo wysoka wytrzymałość na rozciąganie (zarówno doraźna jak i długotrwała), bardzo wysoka wartość odkształceń granicznych, odporność na korozję, obojętność elektromagnetyczna, łatwość montażu [5]. Zbrojenie elementu drewnianego kompozytami włóknistymi polega na przyklejeniu taśmy lub mat z włókien węglowych, szklanych czy aramidowych do najbardziej wyężonych powierzchni konstrukcji [6]. Innymi metodami zbrojenia belek drewnianych są np.: wklejanie taśm pomiędzy poszczególne lamele drewna klejonego warstwowo, czy też umieszczenie taśm w nacięciach belek z drewna litego. Wybierając kompozyty włókniste do wzmacniania konstrukcji drewnianych ważne jest zarówno zabezpieczenie elementów wykazujących skutki zużycia, konieczność zwiększenia nośności i ograniczenia ugięć, a także wzmocnienie uszkodzonych części belek. W zależności od rodzaju uszkodzeń oraz miejsca ich wystąpienia można dobrać odpowiedni kompozyt włóknisty oraz sposób aplikacji, tak by zapewnić odpowiednią pracę elementu.

2. Problemy badawcze podczas analizy pracy drewnianych belek wzmocnionych FRP poddanych obciążeniom długotrwałym

Badania nad możliwością zastosowania kompozytów w konstrukcjach drewnianych rozpoczęto (w tym i w Polsce) na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych [7-12]. Badania elementów zginanych, rozciąganych i ściskanych wzmocnionych włóknami węglowymi zostały zrealizowane m.in. w Politechnikach: Śląskiej, Szczecińskiej, Wrocławskiej, Poznańskiej i Świętokrzyskiej [13-16]. Wyniki szeregu przeprowadzonych badań wykazały znaczny wzrost nośności i sztywności elementów drewnianych wzmocnionych taśmami CFRP, natomiast wartości ugięcia belek i naprężeń w drewnie zostały poważnie zredukowane. Wykonane badania laboratoryjne [17] zginanych belek drewnianych, wzmocnionych taśmami CFRP wykazały wzrost nośności o 15-28% w stosunku do belek niewzmocnionych. Wnioski przedstawione w pracy [15] pokazują, iż wzmocnienie stropów drewnianych taśmami z włókien węglowych wpływa przede wszystkim korzystnie na redukcję ugięć. Uzyskano wyniki na poziomie 20% zwiększonej nośności, z uwagi na osiągnięcie stanu granicznego ugięć (dla taśmy o niższym module sprężystości). Natomiast przy zastosowaniu taśmy

o wyższym module sprężystości ($E = 300 \text{ GPa}$) uzyskany wzrost nośności to około 45%.

Dzięki przeprowadzonym badaniom i uzyskanym wynikom, coraz częściej stosuje się kompozyty włókniste do zbrojenia drewna zarówno już na etapie produkcji, jak i w renowacji i remontach. Stosunkowo niewiele jest badań dotyczących zachowania się zbrojonych konstrukcji drewnianych pod obciążeniem długotrwałym, czy też w różnych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych. Analiza badania belek wzmocnionych poddanych długotrwałemu obciążeniu ma na celu m.in. opracowanie sposobu zapobiegania skutkom narastania ugięć w czasie, biorąc pod uwagę ich wpływ na użytkowanie i estetykę konstrukcji [7]. Istotna jest obserwacja zmian ugięcia belek w trakcie badań, a także sprawdzenie po jakim okresie następuje stabilizacja ugięć elementów. W badaniach belek drewnianych wzmocnionych materiałami FRP poddanych długotrwałemu obciążeniu, należy zwrócić uwagę na zróżnicowanie cech odkształcalności obu tych materiałów. Efekt zespolenia różnorodnych materiałów w jedną kompatybilną całość zależy od podobieństwa ich parametrów fizycznych i mechanicznych. Aby połączenie materiału kompozytowego z drewnem było kompatybilne ważne jest by ich cechy odkształcalności były porównywalne. Do cech tych zaliczamy współczynnik pełzania ϕ , współczynnik Poissona ν , moduł sprężystości E , moduł odkształcenia postaciowego G , odkształcalność wilgotnościową α_w , współczynnik rozszerzalności termicznej α_t .

Duże zróżnicowanie powyższych parametrów dla drewna i kompozytów włóknistych może prowadzić do niekorzystnego rozkładu sił wewnętrznych w zespolonej konstrukcji pod obciążeniem doraźnym i ich redystrybucji pod obciążeniem długotrwałym. Mogą pojawić się również dodatkowe naprężenia, związane z odkształceniami temperaturowo-wilgotnościowymi. Istotnym problemem jest także fakt, iż parametry odkształcalności drewna i kompozytów włóknistych jako materiałów anizotropowych są zmienne, zależnie od kierunku włókien. Dla przykładu: moduły sprężystości mat i taśm węglowych lub szklanych są większe od modułów sprężystości drewna wzdłuż włókien o 6 – 25 razy, natomiast w poprzek włókien o 200 – 600 razy. Biorąc pod uwagę współczynniki pełzania kompozytów i drewna to wzdłuż włókien są one porównywalne, natomiast w poprzek włókien różnią się o 4 – 10 razy [6]. Analiza pełzania elementów drewnianych wzmocnionych FRP to istotny punkt badań w obciążeniu długotrwałym.

Pełzanie jest zjawiskiem polegającym na wzroście odkształceń materiału wraz z upływem czasu, poddanego stałemu obciążeniu. Dla przykładu pręty FRP wykazują znaczną podatność na proces pełzania. Wraz ze wzrostem poziomu długotrwałego obciążenia oraz występujących takich warunków środowiska jak wysoka temperatura, promieniowanie UV, wahania wilgotności, wzrasta intensywność zjawiska pełzania dla materiałów FRP. Włókna węglowe są najbardziej odporne na wpływ pełzania, podczas gdy włókna aramidowe wykazują umiarkowaną, a włókna szklane wysoką podatność na pełzanie. Zgodnie z rezultatami badań [18] naprężenia w prętach CFRP, AFRP i GFRP poddanych długotrwałemu obciążeniu (wyniki badań ekstrapolowane dla okresu czasu 500 000 h), w chwili zniszczenia stanowiły odpowiednio 93, 47 i 23% ich krótkotrwałej wytrzymałości na rozciąganie [19].

Drewno jest materiałem o złożonych właściwościach reologicznych. Istotny w tym zakresie jest wybór odpowiedniego modelu reologicznego w celu opisanie zachowania się wzmocnionego elementu w warunkach odkształceń plastycznych. W pracy [7] zwrócono szczególną uwagę na możliwość występowania lokalnych redystrybucji naprężeń w przekroju, zwłaszcza w miejscach połączeń belek kompozytowych. Istotnym problemem jest tu również relaksacja naprężeń i narastające globalnie deformacje. Należy także zwrócić uwagę na fakt, iż przy długotrwałym obciążeniu elementów zginanych dojdzie do przegrupowania naprężeń pomiędzy użytymi adherentami. Należy zwrócić również uwagę na wpływ pełzania spoiny klejowej na deformacje wzmocnionej belki. Prezentowane w literaturze funkcje narastania odkształcenia w czasie (w postaci praw pełzania) dla połączeń klejowych, określające ilościowo wielkość odkształcenia opierają się na założeniu jednolitego stanu naprężenia, co w tym przypadku jest niedopuszczalnym uproszczeniem [20].

Kolejnym problemem jest czas prowadzenia badań. Badania belek zbrojonych FRP poddanych działaniu obciążenia długotrwałego są czasochłonne. By zbadać zjawisko pełzania należy prowadzić je z zachowaniem możliwie stałych warunków cieplno-wilgotnościowych. Tu pojawia się problem, ponieważ trudno takie warunki uzyskać w wymaganym do przeprowadzenia badań okresie czasu. Z badań przeprowadzonych przez Jasieńko J. wynika, że nieznaczny wpływ wilgotności uwidocznił się w nieregularności przyrostów ugięć [21]. Badając wzmocnione belki pod kątem obciążenia długotrwałego, należałoby prowadzić

badania jednocześnie dla różnego schematu zbrojenia czy też zastosowania różnych materiałów FRP. Jest to trudne do zrealizowania, a wykonując badanie jedno po drugim dla różnych metod wzmocniania i przy użyciu różnych mat czy taśm FRP, uzyskane wyniki mogą być nieporównywalne ze względu na różnice w warunkach cieplnych i wilgotnościowych.

3. Wnioski

Wzmocnienie konstrukcji drewnianych za pomocą materiałów FRP jest niewątpliwie skutecznym sposobem poprawienia wytrzymałości i sztywności, a także zmniejszeniem reologicznych przyrostów ugięć. Nie negując możliwości technicznych kompozytów do wzmocnienia konstrukcji budowlanych, należy skupić się na badaniach uwzględniających specyfikę współpracy drewna z kompozytem, szczególnie przy obciążeniach długotrwałych, a także zmiennych warunkach wilgotnościowych. Analiza podstawowych procesów reologicznych jest istotnym punktem pracy nt. wielomateriałowych belek pracujących pod obciążeniem długotrwałym. Uzyskując pozytywne efekty w warunkach laboratoryjnych, nawet przy możliwie stałym zachowaniu warunków cieplno-wilgotnościowych, trzeba jednak być bardzo wnikliwym podczas praktycznego zastosowania drewna wzmocnionego kompozytami włóknistymi z uwagi na mało poznane zachowanie w realnych warunkach eksploatacyjnych.

PAWEŁ RAJCA

Kielce University of Technology

e-mail: prarchitekt@wp.pl

THE INFLUENCE OF REGIONALISM ON THE SHAPING OF SOLID STRUCTURE OF THE SHRINE OF ST. JOSEPH – THE PATRON SAINT OF FAMILY IN KIELCE

Abstract

The article has analysed the impact of local features on the shaping of sacral architecture in the landscape of The Świętokrzyskie Mountains based on the example of The Shrine of St. Joseph the Patron Saint of Family in Kielce. The role of local landscape on the process of the creation of the form of the building during the difficult historic times has been elaborated on in the following article. It also brings the target reader closer to the understanding of the influence of then applied tendencies concerning architectonic design. Combining the existing conditioning aspects remains a challenge for any architect or designer examining the sacral building with architectural advantages.

Keywords: sacral architecture, landscape, regionalism

1. Introduction

Sacral architecture exemplifies a crucial element of the landscape. Urban sprawl more and more often enters areas located outside the city centre, suburbs or outskirts whose characteristic feature can undeniably be the assets such as culture and wildlife. Therefore, it seems important to profoundly analyse how the specificity of a given location influences the creation

of modern architecture. The Shrine of St. Joseph – the Worker, the Patron Saint of Family in Kielce, whose author is Władysław Pienkowski. Also, this is the biggest sacral building in the town. Kielce, owing to its diverse pleated terrain, is an appropriate place to examine the relation between architecture and landscape is concerned (Fig. 1).



Fig. 1. An outline of a building (author: Paweł Rajca)

2. Historical outline

The history of Saint Joseph the Worker Parish began not more than a decade ago since the end of World War II during such a difficult time for Poland with the communist ruling system. The construction the building of the contemporary church started in 1972 after the second Vatican Council [1-3] and was completed in the liberated Poland just before the end of XX century [4-7].

3. Postwar tendencies in the design of sacral buildings

Polish post-war sacral architecture can be systematized due to stylistic convention, special predispositions, technical – technological solutions, and the determinants of functionality [8].

The Shrine of St. Joseph – the Patron Saint of Family one can qualify the modernist building with intensely marked solid structures containing functions, which proves the existence of functionalist provenance, influenced by regionalism and rooted in the tradition of the Post – Council Era [1, 8]. This brings association with the critical regionalism described by Kenneth Frampton [9]. Implemented materials and the form and also other designs by the author provide evidence for an enormous impact of brutalist architecture. Considering spatial predispositions the temple represents homogenous predisposition due to its lack of additional complementary solid structures and a plastic configuration with a rotund corpus as it is a part of a quarter circle [8]. The Shrine can be included into the group of buildings whose characteristic feature is a wall-skeletal body with a concrete – ferroconcrete texture. Taking into consideration functional determinants, the main functional setting is symmetrical in accordance with the planning on the quarter – circle. As far as polygonal orientating is concerned, the church is central. Considering inward direction, the building has an intermediate scheme associated with an open theatre. Taking into account the organization of the function, the church is among those built at the time typical of split – level ones [8].

Observing the solid structure of the Shrine one gets an impression that the design has been influenced by the current of critical regionalism which softened functionalist features and brutalist elements. Not only is Brutalism characterized by poured concrete, unrelieved by exterior decoration, shuttering print-elements observed in the church in question. Also the steps of the stairs are accentuated, passages, etc. The designer highlights the heavy weight of the masses having their specific functions. Such characteristics can

be noticed in the Shrine of St. – the Patron Saint of the Family. The upper level of the church can be accessed by an exposed bridge which functions as a shelter over the entrance to the lower level. The staircase leading to the upper level has distinctive features due to the use of another type of material and also by pulling ahead the corpus. All the functional elements appear in separate massive shapes. Many churches characterized by Brutalism possess sculptural elements. The church in question has a sculpturally ornamented bell tower as well as the fragments of the walls. The notion of critical regionalism popularized by Kenneth Frampton critically remarks the progressive use of the heritage of modern architecture with the exception of taking into consideration the context a creative, indirect reference to it [9]. St. Joseph Richard England Church in Manikita on Malta can be an example of a building erected in accordance with the above mentioned tendencies [10].

4. Landscape versus architectonic form

Architecture always develops in the context. The quality is influenced to a large extent by the kind of connection [11]. Not only was the Sanctuary in question being built in a very difficult period in the history, cultural and scenic context becoming among newly built residential areas, a new and crucial element of the town's landscape.

The temple is situated at the corner of streets (Fig. 2). The Church is surrounded by recreational grounds, multi-occupied houses made of prefabricated concrete, housing development from the 50s, undeveloped grounds and family houses. From the east there is a parish house with the vicarage. The Temple is situated on a gentle slope. Apart from the main structure there is a bell tower and a maintenance building (Fig. 2).

The solid structure has a shape of quarter circle with a Tower (Fig. 1). There are two main entrances to the upper part of the Church and the lower part of the church let alone accessory entrances. One can enter the upper part of the church from the east over the bridge situated above the lower entrance to the Church. Exterior stairs and the traffic route lead to the lower part. From the side of the south “ray” enclosing the quarter circle of the Temple, from the solid structure of the Shrine there are protruding shapes intended for the chapels and confessionals. From the side of the east ray cutting the quarter circle there is a prism with accessory utilities. The solid structures “stuck” are connected with the other quarter circle with a bypass of the altar (fig. 3). There are adjoined arched elements to drain water resembling abutments (Fig. 1, Fig. 4).

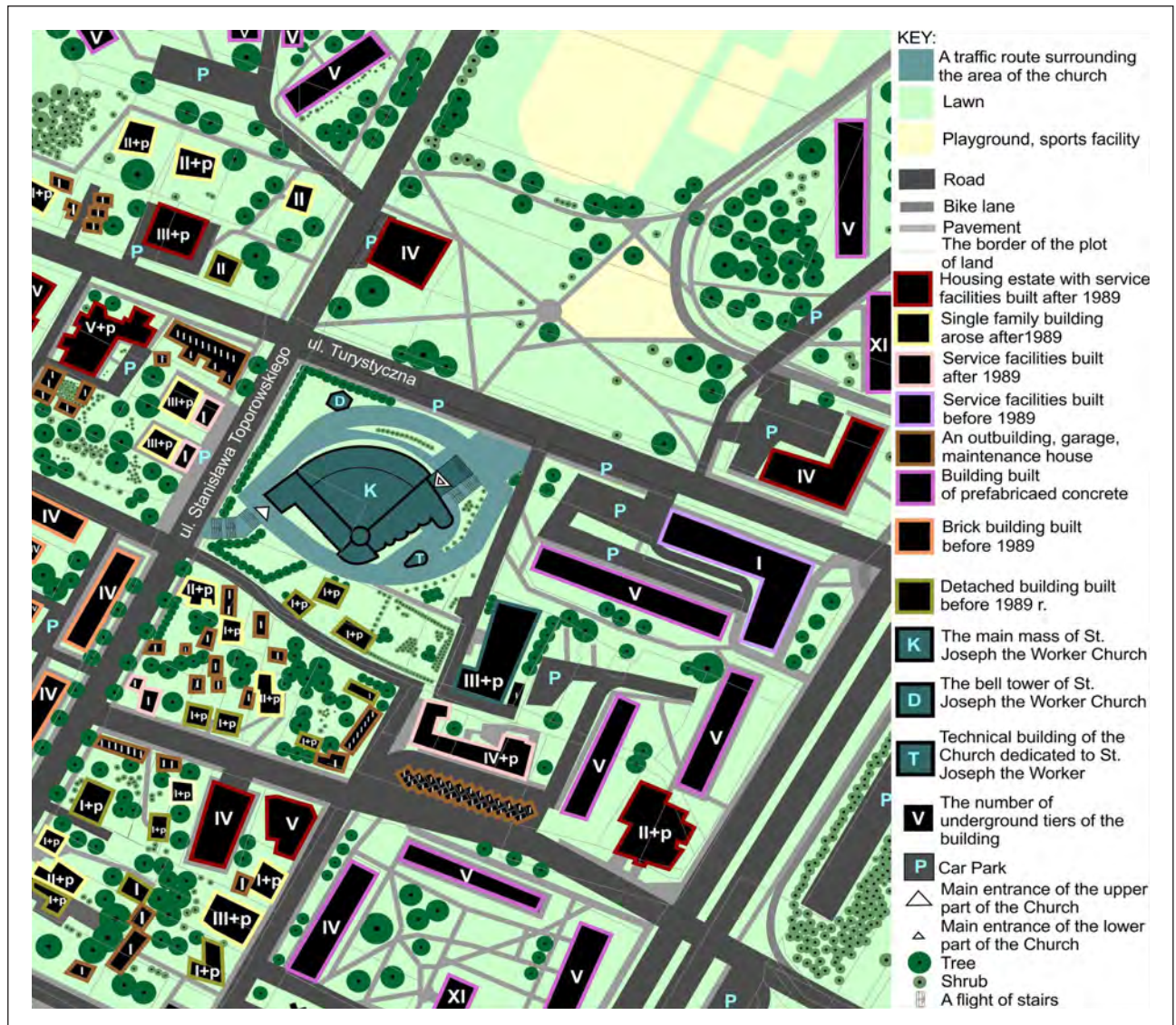


Fig. 2. Development Plan of the location in relation to the close proximity, devised based on: www.geoportal.gov.pl, my own photographs, an on-site visit (author: Paweł Rajca)

The solid structure of The Church is not the reflection of the forms of the architecture of the region although their development was inspired by the landscape. The roof rises at the angle similar to that of the hills but the tower on the roof resembles seen from afar top towers on top of some prominence. The shape of the Shrine watched on the satellite photograph exhibits similarity to a footprint of a shell on the rock, which, in turn, relates to rich geological past of the region. Draped façade can be associated with so frequently observed in Kielecczyzna gorges. The shapes of the dividing lines on stained glass bring to one's mind branches with visible rays of sun among them. An important characteristic of developing local roads is its fluency and the adjustment to terrain slopes. The arches of traffic routes leading to the lower and

upper parts of the Church were delineated responding to any changes of levels as well as winding local roads. Such shaping of the arcade surrounding the solid structure with delicacy brings associations with an organic design and its rotund shapes round the accessory building as a river rounds an island.

Not all the shapes have regional connotations. The tradition of assuring the faithful a clear picture of the church is rooted all around the world. Due to the necessity to lower the height of the tower during the project process, what was not the intention of the architect, the church is not as clearly seen as Władysław Pienkowski wanted.

A tapering bell tower located on the projection of a hexagon with marked vertical directions and rich sculpturing to the end in relation to the remaining parts of the church indicates its location regardless

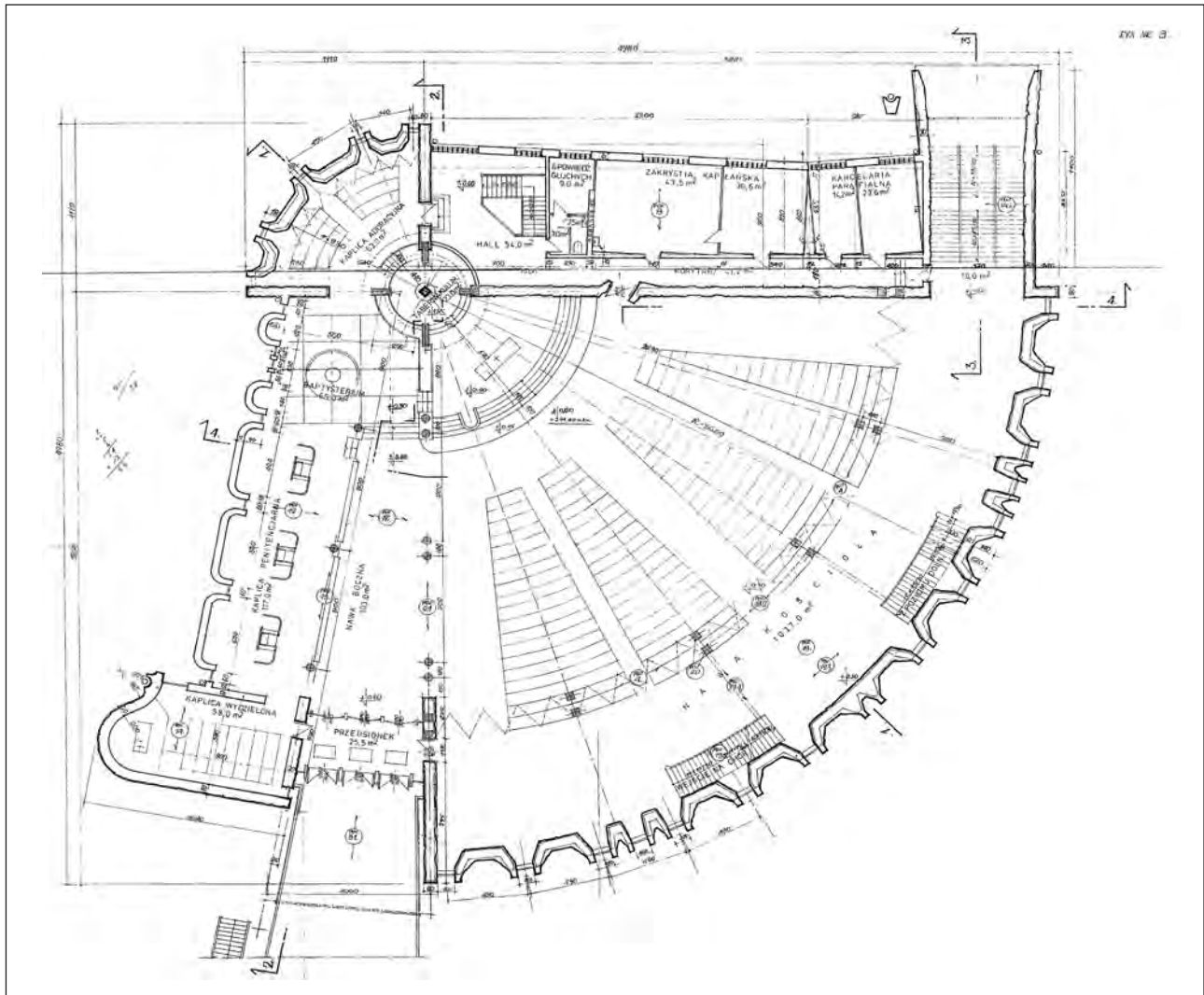


Fig. 3. The projection of the ground floor (source: archives of test. Joseph the Worker Parish In Kielce)

of regional architecture in its form (Fig. 4). It cuts itself on the background of the mountains. One needs to add that international currents influenced its form. Watched from a close distance, because of the use of brick it relates to regional architecture.

The tower surmounting the solid structure of the church is second after the bell tower visible from afar element. Its solid structure is surmounted with a spire with a cross of an ajour-transparent roller with four converging planes. It is optically heavier from the bell tower. It is not as dynamic, light and tapering which indicates the influence of Brutalism. The forms are finely sketched and massive. Together with the growth of the designer's perspective, the planes form a tower and arranged radially overlapping they add lightness to this massive building which makes it a beneficial part of the landscape.

Functional elements of the Shrine constitute a monolithic shapes which accentuates their solid structure.

This characteristic in this specific case is connected more with international and urban architecture directly surrounding the church than with the tradition.

5. Regional materials and the shaping of architectural form

Kenneth Frampton, describing the issue of the coexistence of architecture and nature, was emphasized their massive significance. Equally important is equally the colour, texture, smell and cross-matching and the relationship with the environment. Significant, according to him, is the dialogue of the material with the environment using the listed measures. It does not have to be based on exclusive transition of the materials from the environment, but more on the creative interpretation and its features in relation to the building [9].

The largest part of the Church is finished with natural materials. The main section has been covered with coarse, rectangular blocks of Pinczow limestone with its

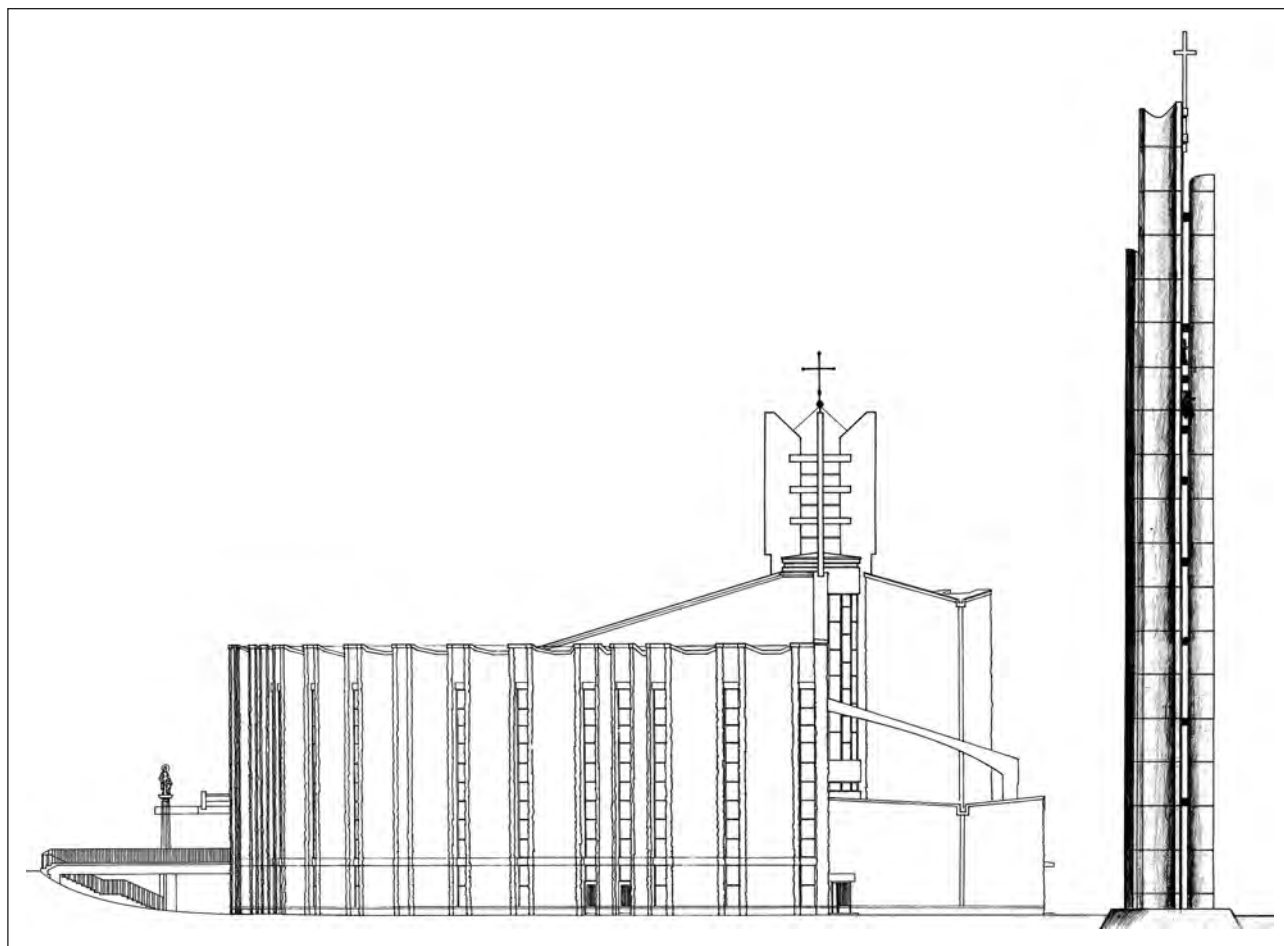


Fig. 4. Conceptual drawing of the elevation of the Shrine (source: archives of St. Joseph the Worker Parish in Kielce)

suitable rough texture and dark grey yellow colour. The thick wall took a different form than the typical walls and modern expression owing to its contemporary form. This, in turn, facilitated by the material was related to the tradition of the region. The foundations were finished with grey pebbles. Similarly, limestone, facilitated the linkage of the structure with regional traditions.

Concrete is the material of anthropogenic origin and used in the area. One can see different ways of finishing the surface. In some parts it is smooth, and in others it has impressed formworks. It refers both to Brutalism and wooden regional architecture in accordance with Kenneth Frampton's opinion, the dialogue of modernity with tradition. In the elevation of the bell tower there are visible tectonic, reinforced concrete slabs- elements characteristic of Brutalism. Red brick whose colour makes its reception warming, is the applied material. Selected functionalist elements such as the entrance with its staircase from the side of the Toporowski street. The glass used in stained glass generates interesting effects after dark when inside a mass is being celebrated making the impression of

“incandescence”. Greenery, which is an important element in the landscape, can be considered “specific” material. Vegetation accounts for about 30% of the surface area of the plots occupied by the temple. Lawns as well as regularly arranged coniferous and deciduous trees and shrubs line the passage.

An important feature of the majority of the materials used is their grayish tint, the dullness and often surface roughness, which enhances the impression of weight. This may have been an intentional objective of the author, due to the patron of the parish – St. Joseph the Worker, and the desire to reflect the value of the work- particularly considering the total construction time. The second common feature in the use of all the presented materials is the lack of imitation of folk traditions in their application, but creative adaptation to modern forms, at the same time respecting the identity of the place.

6. Recapitulation

Regionalism, including both the history and the traditions of space and landscape, has had a significant influence on developing the sanctuary. The

solid structure, however formed in a difficult period of history proves the authors sensitivity toward the context. Regional values affected both the form and the selection of materials without destroying the modern expression of architecture.

The impact of regionalism testifies the application of synthesized, creatively interpreted forms, referring to the region of shapes, such as: the angles of the roofs inspired by the gradient of the prominence, the tower situated on the top of the roof with its location refers to period church towers situated on tops of the mountains in the region, the section of the roofs refers with its form to the shape of a shell impressed in the local rock, pleated façade referring to the local gorges, divisions in the stained glass corresponding with the composition of tree branches, smoothly conducted areaway bringing associations with a river avoiding obstacles, the application of available in the region materials, such as: Pinczow limestone or red brick, a large green area.

The Shrine preserved some of its functionalists features with big influences of Brutalism, characteristic of the period of its development namely: a distinctly isolated monolithic solid structure with its conceptualized features and highlighting of concrete and reinforced concrete tectonic elements.

The Shrine of St. Joseph – the Patron Saint of Family provides a record of the thoughts serving the creation of timeless forms of linking the value of late modernism and regionalism. As such, it should be covered with grand protection against any irresponsible change in the future, which affects many churches today.

References

- [1] *Komisja Episkopatu do Spraw Budowy Nowych Kościołów. Zasadnicze wytyczne w sprawie budowy nowych kościołów*, Notificationes e Curia Metropolitana Cracoviensi, National Printing House, Kraków 1983, no. 3-4, pp. 106-110.
- [2] Pasierb J.: *Zagadnienie nowoczesnej sztuki kościelnej w świetle Konstytucji o Liturgii*, [w:] *wprowadzenie do liturgii*, (Ed.) Zielasko R., Poznań 1987.
- [3] Popiel J.: *Posoborowa problematyka architektury kościelnej Collectanea Theologica*, Warszawa 1970, p. 57.
- [4] Gil-Mastelarczyk J.: *About the process of investment and realization of postwar sacred buildings*, [w:] *Structure and environment*, Kielce University of Technology Publishing House, Kielce 2014, p. 19.
- [5] <http://josef-kielce.pl/portal>. (11.06.2015)
- [6] Tkaczyk P.: *Parafia świętego Józefa w Kielcach 50 lat historii*, Jedność Publishing House, Kielce 2008, pp. 8-11, 17, 19-24, 43, 46, 57.
- [7] <http://www.diecezja.kielce.pl>. (11.06.2015.).
- [8] Majdanowski A., Jastrzębska-Puzowska I., Gierlasiński J.: *Inwestycje sakralne i architektura powojennych kościołów w Polsce Metodologia i zarys problematyki badawczej*, Scientific Publishing Nicolaus Copernicus University, Toruń 2009, pp. 18-26.
- [9] Frampton K.: *Towards a Critical Regionalism: Six Points for an Architecture of Resistance*, [w:] *Hal Foster; the Anti-Aesthetic: Essays on Postmodern Culture*, Publishing House Bay Press, Seattle 1983, p. 28.
- [10] Wąs C.: *Antymonie współczesnej architektury sakralnej*, Publishing House Museum of Architecture In Wrocław, Wrocław 2008, pp. 105, 236, 237, 242-245, 248, 249.
- [11] Kamionka L.: *Architektura w kontekście przyrodniczo-kulturowym*, [w:] *Architektura kontekstu praca zbiorowa pod redakcją Wacława Serugi*, Kielce University of Technology Publishing House, Kielce 2014, p. 38.

Paweł Rajca

Wpływ regionalizmu na kształtowanie bryły obiektów sakralnych na przykładzie Sanktuarium św. Józefa Opiekuna Rodziny w Kielcach

1. Wstęp

Zabudowa miejska coraz częściej wkracza na obszary pozamiejskie o dużych walorach kulturowo-przyrodniczych, istotne jest więc przeanalizowanie, jak specyfika miejsca wpływa na kreację współczesnej architektury. Sanktuarium pod wezwaniem świętego Józefa Opiekuna Rodziny w Kielcach jest największym budynkiem

sakralnym w mieście, które ze względu na lokalizację zostało wytypowane jako odpowiednie miejsce do badania relacji architektura – krajobraz (rys. 1).

2. Rys historyczny

Historia parafii świętego Józefa Robotnika rozpoczęła się niewiele ponad dekadę od zakończenia II wojny

światowej, w trudnym dla Polski okresie rządów komunistycznych [4-7]. Budowę rozpoczęto w 1972 r., a ukończono już w wolnej Polsce tuż przed końcem XX w. Obiekt powstał po Soborze Watykańskim II [1-3].

3. Powojenne tendencje w projektowaniu obiektów sakralnych

Polską powojenną architekturę sakralną można usystematyzować ze względu na: konwencję stylistyczną, dyspozycje przestrzenne, rozwiązania techniczno-technologiczne, wyznaczniki funkcjonalne [8].

Stylistykę Sanktuarium św. Józefa Opiekuna Rodziny można zakwalifikować jako modernistyczną z silnie zaakcentowanymi bryłami zawierającymi funkcje, co wskazuje na proveniencję funkcjonalistyczną o tradycji posoborowej [8], na którą wpływ miały również czynniki regionalne. Nasuwa to skojarzenie z regionalizmem krytycznym opisanym przez Kennetha Framptona [9]. Stosowane w kościele materiały oraz forma, a także inne projekty autora, świadczą o sporym wpływie brutalizmu. Omawiana świątynia posiada dyspozycję przestrzenną jednorodną ze względu na brak dodatkowych brył uzupełniających. Świątynia ma konfigurację plastyczną o korpusie obłym. Sanktuarium zalicza się do obiektów o ustroju ścianowo szkieletowym posiadającym strukturę murem-żelbetową. Biorąc pod uwagę wyznaczniki funkcjonalne omawiany kościół ma symetryczny układ funkcjonalny o centralnym zorientowaniu poligonalnym z ukierunkowaniem dośrodkowym [8]. Rozpatrując ukierunkowanie wewnętrzne, budynek posiada układ pośredni. Uwzględniając organizację funkcji, kościół zalicza się do budowanych w tym czasie obiektów dwupoziomowych.

Przyglądając się bryle Sanktuarium, można odnieść wrażenie, że na projekt duży wpływ miał nurt regionalizmu krytycznego łągający cechy funkcjonalistyczne i brutalistyczne. Brutalizm charakteryzuje się nie tylko pozostawianiem surowego betonu i odciskami szalunku, co jest widoczne, ale również akcentowaniem schodów, przejść itp. oraz podkreśleniem ciężaru brył zawierających poszczególne funkcje. Cechy te także widać w Sanktuarium. Do górnego poziomu kościoła wchodzi się po wyeksponowanym „moście” stanowiącym zadaszenie nad wejściem do dolnego poziomu. Klatka schodowa jest wyróżniona innym materiałem oraz wysunięciem poza korpus. Poszczególne elementy funkcjonalne występują w osobnych formach. Wiele kościołów brutalistycznych charakteryzuje się elementami rzeźbiarskimi. Omawiany kościół posiada rzeźbiarsko zakończoną dzwonnice oraz fragmenty ścian.

Pojęcie regionalizmu krytycznego spopularyzowane przez Kennetha Framptona w publikacji „W kierunku krytycznego regionalizmu: Sześć punktów architektury oporu” [9] oznacza krytyczne, choć postępowe korzystanie z dorobku współczesnej architektury z wyjątkowym braniem pod uwagę kontekstu oraz twórczym, nie bezpośrednim, nawiązaniem do niego. Obiektem powstałym w tym nurcie jest np. kościół św. Józefa Richarda Englanda w Manikicie na Malcie.

4. Krajobraz a forma architektoniczna

Krajobraz jest niezwykle istotnym składnikiem kontekstu [11]. Położenie kościoła zostało przedstawione na rysunku 2, rzut na rysunku 3, a elewacja na rysunku 4.

Bryły kościoła nie tworzą formy zaczerpniętej wprost z architektury regionu, ale ich użycie zainspirowane zostało krajobrazem. Dach wznosi się pod kątem podobnym jak wzgórze, a wieża na nim przypomina widziane z dala wieże na szczytach wzniesień. Forma Sanktuarium oglądana na zdjęciu satelitarnym przypomina muszlę, co nawiązuje do bogatej geologicznej przeszłości regionu. Pofałdowania elewacji mogą kojarzyć się ze spotykanymi na kielecczyźnie wąwozami. Kształty podziałów w witrażach przypominają gałęzie, między którymi przebijają promienie. Istotną cechą prowadzenia lokalnych dróg jest płynność i dopasowanie do spadków terenu. Łuki ciągów komunikacyjnych prowadzących do „dolnego” i „górnego” kościoła wytyczone zostały równie wrażliwie na zmiany poziomów, jak lokalne drogi. Takie kształtowanie pasaży okrążającego w delikatny sposób bryłę nasuwa skojarzenia z organiką, a jego obłe kształty okrążają budynek pomocniczy, podobnie jak rzeka wypię.

Nie wszystkie formy posiadają konotacje regionalne. Nad bryłą kościoła dominują dwie wieże. Tradycja zapewnienia widoczności kościoła przede wszystkim parafianom jest zakorzeniona na całym świecie. Ze względu na konieczność obniżenia wysokości dzwonnicy w fazie projektowej, kościół nie jest tak widoczny, jak mógłby być w zamierzeniach projektanta, choć prześwity między budynkami otwierają perspektywę. Smukła dzwonnica ułożona na planie sześciokąta z zaznaczonymi kierunkami wertykalnymi i silnym rozróżnieniem przy zakończeniu względem reszty kościoła wskazuje położenie, nie nawiązując do architektury regionalnej. Odcina się na tle gór, a na jej formę miały wyraźny wpływ nurty międzynarodowe. Oglądana z bliska, dzięki użyciu cegły, nawiązuje do architektury regionalnej.

Wieża wieńcząca bryłę tworzy zakończony szpicem z krzyżem ażurowy walec otoczony czterema zbiega-

jącymi się płaszczyznami. Ze względu na małą wysokość od powierzchni dachu i otoczenie jej ze wszystkich stron przez bryłę świątyni, jest słabo widoczna z bliska i optycznie cięższa od dzwonnicy. Nie jest tak dynamiczna i smukła, nosząc cechy brutalizmu. Wraz ze wzrostem dystansu obserwatora widoki płaszczyzn tworzących wieżę nakładają się dodając lekkości, co stanowi czynnik korzystny dla pejzażu.

Elementy funkcjonalne Sanktuarium tworzą monolityczne bryły, co powoduje, że wyraźnie odczuwana jest masa. Cecha ta wiąże się tu bardziej z architekturą międzynarodową i miejską otaczającą kościół niż z tradycją.

5. Materiały regionalne a kształtowanie formy architektonicznej

Największą część kościoła wykończona jest materiałami naturalnymi. Główna bryła pokryta została nieociosanymi, prostopadłościennymi blokami wapienia. Gruby mur nabrał innego od typowych murów, nowoczesnego wyrazu dzięki współczesnej formie. Ta z kolei przy pomocy materiału została powiązana z regionalną tradycją. Otoczaki, którymi wykończono podmurówki, też ułatwiają powiązanie budowli z tradycjami regionalnymi.

Materiałem pochodzenia antropogenicznego i stosowanym w okolicy jest beton. Widać różne sposoby wykańczania jego powierzchni. Miejscami jest gładki, a w innych miejscach ma odcisnięte szalunki, co nawiązuje zarówno do brutalizmu, jak i drewnianej architektury regionalnej, stanowiąc, zgodnie z opinią Kennetha Framptona [9], dialog nowoczesności z tradycją. Dzwonnica posiadała widoczne żelbetowe płyty, co cechuje brutalizm. użytym materiałem jest też czerwona cegła, która przez barwę działa ocieplająco na odbiór. Podkreślone przy jej pomocy zostały wybrane elementy funkcjonalne, jak np. wejście z klatką schodową od strony ul. Toporowskiego.

Szkło stosowane w witrażach generuje ciekawe efekty po zmroku, gdy wnętrze świątyni jest oświetlone, sprawiając wrażenie „żarzenia”. Za „specyficzny” materiał można uznać roślinność, która stanowi ok. 30% powierzchni działek zajmowanych przez świątynię.

Ważną cechą większości użytych materiałów jest ich szarawe zabarwienie, matowość i często chropowatość, co potęguje wrażenie ciężaru. Stanowić to mogło celowe zamierzenie autora ze względu na patrona parafii – świętego Józefa Robotnika i chęć ukazania wartości pracy, szczególnie gdy weźmie się pod uwagę czas budowy. Drugą cechą wspólną jest brak naśladownictwa tradycji ludowych w stosowaniu materiałów, ale twórcza adaptacja do współczesnych form przy poszanowaniu tożsamości miejsca.

6. Podsumowanie

Bryła kościoła, mimo że formowana w trudnym okresie historycznym, świadczy o bardzo dużej wrażliwości autora na kontekst. Wartości regionalne wpłynęły zarówno na formę, jak i dobór materiałów nie niszcząc współczesnego wyrazu architektury.

W formie kościoła w syntetyczny sposób odzwierciedlenie znajdują charakterystyczne dla regionu kształty, lecz nie wprost, ale po kreatywnej interpretacji. Jest to zgodne nie tylko z duchem współczesności, ale również preferencjami Soboru Watykańskiego II. Użyte materiały świadczą o tym, że do tworzenia nowoczesnych form doskonale nadają się lokalne surowce, co stwierdził już K. Frampton.

Sanktuarium Świętego Józefa Opiekuna Rodziny stanowi zapis myśli służącej utworzeniu ponadczasowej formy łączącej wartości płynące z późnego modernizmu, jak i regionalizmu. Jako takie powinno zostać otoczone jak najlepszą ochroną przed ewentualnymi nieodpowiedzialnymi przekształceniami w przyszłości, co spotyka wiele kościołów współczesnych.

ELŻBIETA PIOTROWICZ
Kielce University of Technology
e-mail: elap2@onet.pl

REINFORCING OF HISTORICAL CEILING BEAMS IN THE SHEAR ZONE

Abstract

The article discusses the issues concerning rehabilitation and strengthening of wooden beams in historical naked ceilings in their support area. The causes and effects of the damage in the wooden beams shear zones have been presented. Traditional methods of reinforcing beams along with the examples of their application have been shown. Moreover, modern methods of shear zone rehabilitation as proposed in the literature have been presented. What is more, the article also discusses the proposals of the research program with regard to technological solutions for reinforcing of historical ceiling beams in the shear zone, which will be carried out in the laboratories of the Kielce University of Technology.

Keywords: ceiling beam, reconstruction, reinforcing, wood structure, shear zone

1. Introduction

Nowadays, maintaining historical wooden structures is very important, because these structures have played a significant role in the historical development of construction and architecture and today they constitute Poland's indisputable cultural heritage. Wood, by its very nature is subject to destructive processes faster than other building materials, which requires taking appropriate actions with regard to conservatory and repair works [1]. Extending the durability of wooden structural elements is possible as a result of appropriately early taken rehabilitation actions, which restore, where possible, the physical and mechanical properties of the material and the structural efficiency of components and systems. As far as wooden beam ceilings are concerned, one of the most commonly occurring defects is damage to beams support zone, most often caused by biological corrosion, development of which is accompanied by a lack of adequate protection from excessive moisture.

The Venice Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites, or the Venice Charter, adopted by The Second International Congress of Architects and Specialists of Historic Buildings in 1964 in Venice, constituting a set of rules with regard to treatment of historic objects allows such method of reinforcing the wooden elements, which does not affect the historical design solution,

valuable historic architectural detail and unique design of significant artistic and aesthetic values [2]. The methods of reinforcing wooden beams with the use of glued-in metal elements or synthetic tapes made of glass fibre and carbon fibre can be particularly useful in case of the necessity to preserve the historic carved and painting decoration design. In this way, it is possible to obtain the proper load-bearing capacity and reduce deflection for the expected utility function without the use of expensive transfers and restoration works. More detailed guidelines for the restoration of historic wooden structures were established in Mexico in 1999 by the International Wood Committee/ UNESCO. Although, the charter entitled Principles for the Preservation of Historic Timber Structures prefers the traditional methods of rehabilitation and reinforcement of historic wooden structures, it also allows for using modern materials and technologies, which had been examined and documented to a satisfactory extend.

2. Damages to the support zone of historical ceiling beams

Wood is an organic material, and in contrast to most construction materials, has a high susceptibility to the damaging effects of biological corrosion. The durability of wood, and thus the wooden beam ceilings varies widely and depends on a number of factors, both biotic and physical, which include the

most commonly occurring destructive impact of fungi and insects – wood pest, as well as changes in the wood structure due to the natural processes of aging of the material [3]. In beam ceilings, the support zone of wooden beams is the place where damage most often occurs, as these places are exposed to constant moisture, associated with direct contact with the support structures of external masonry walls in the buildings. On the basis of available studies it can be concluded that the main cause of destruction in ceiling beams support zones is biological corrosion, particularly the phenomena causing the complete decomposition of wood by fungi. Other factors often constitute the catalysts of the occurring destructive phenomena and in many cases occur in parallel, amplifying their effects.



Fig. 1. Damaged ceiling beam end. Wood decomposition due to fungi

3. Methods of rehabilitation and reinforcement of the support zone of ceiling beams

The degree of damage and degradation of the wooden ceiling beams support zones makes it necessary to undertake reinforcing and reconstruction works, which will allow to maintain the valuable ceiling structures and restore their full technical efficiency. The technological solutions will most often mean the reconstruction of the ceiling beams fragments in a way that ensures the structural safety of the entire wooden element [2]. The adopted design solutions for reinforcing the support zone of the beams should not result in the loss of valuable carved designs or polychrome decoration and at the same time, they should create the possibility of reconstructing this design, ensuring obtaining such artistic and aesthetic effect that will be appropriate from the conservation point of view. Taking into consideration the scientific and research works carried out as well as the construction and conservation projects executed in

historic buildings, one can make the following, general classification of applied methods of reinforcement and rehabilitation of the support zones of historical wooden ceiling beams:

- Traditional methods of reconstruction of the support zone of ceiling beams using various connection systems,
- Reconstruction of the support zone using synthetic composites,
- Reconstruction of the support zone of ceiling beams using inserts and glued joints method.

3.1. Traditional methods of reconstruction of the support zone of ceiling beams using various connection systems

Traditional methods of rehabilitation of wooden structures are mainly associated with the replacement of the entire damaged elements or their fragments on the basis of their earlier disqualification with regard to the further static operation and non-fulfillment of the basic requirements with regard to the structural and operational safety of the object [4]. Traditional methods of reinforcement and rehabilitation of wooden structures include a replacement of the damaged elements with new ones, made of the same material, which will be - within the meaning of a conservatory procedure - a historical reconstruction, or supplementation of the structural elements.

For greater value of the bending moment, which occurs in case of the section's distance from the support bigger than $0.125 l$, it is necessary to use a half-lap joint, transferring the bending moment, thus the application of woodworking joints. It is preferable to use simple woodworking joints or sliding ones with wedges ensuring adequate pressure on the elements (Fig. 2).

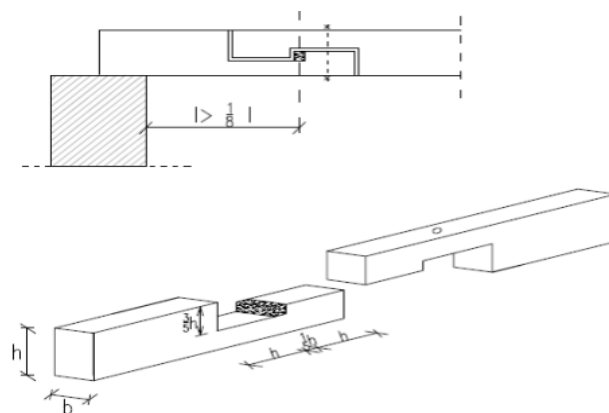


Fig. 2. Replacement of the damaged support fragment of a beam in the distance bigger than $1/8 l$ (a_1 - a_1 , cross-section) using a lap joint with a wedge (drawing: E. Piotrowicz)

3.2. Reconstruction of the support zone using synthetic composites

The replacement of the damaged element of a wooden beam using the polymer composite inserts is shown in Figure 3 [5]. The replaced fragment of the wooden element can be combined with the intact part of the beam using the inserts made of fiber polymer composites. Such connections may be additionally reinforced with tapes made of glass and carbon fibers [6].

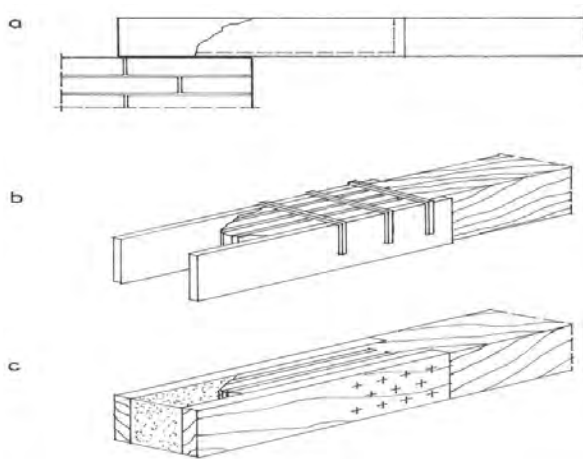


Fig. 3. Reconstruction of the support of the beam: a – view of the beam in the support location, b – method of completing using dismountable elements, c – method of completing using structural roof boards, (based on: A. Żaboklicki *Rehabilitacja i wzmacnianie zabytkowych konstrukcji drewnianych*)

3.3. Reconstruction of the support zone of ceiling beams using inserts and glued joints method

The replacement of the damaged support element of a beam using metal elements has been shown in Figure 4.

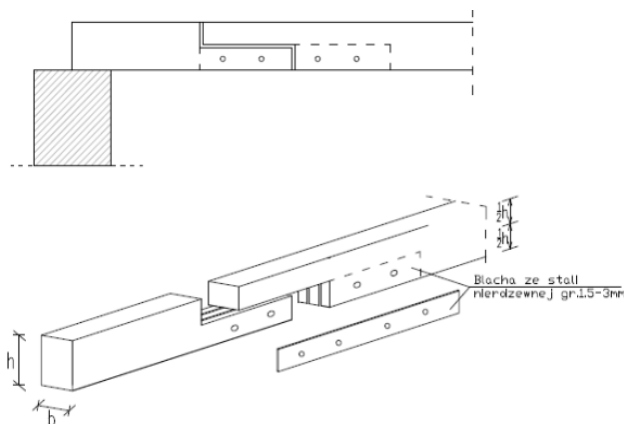


Fig. 4. Replacement of the damaged beam fragment using the inserts made of flat steel plate with a thickness of 1.5 to 3 mm and stud connectors (drawing: E. Piotrowicz)

In the connection's tension zone, we use inserts made of flat steel plate with a thickness of 1.5 to 3 mm, inserted in previously made cuts [7]. The inserts may be fixed through gluing-in and additionally reinforced by fixing pins with small diameters. In the beam's compression zone, stresses are transmitted through the pressure surfaces. In a similar way, a connection of the complemented support zones of wooden beams can be made with the use of glued-in inserts made of carbon tapes and reinforced with glass fiber.

4. Conclusions

The proposed studies, conducted on the test material, made of pine wood used in the nineteenth century's ceiling structures in the historic buildings allow to develop the optimal technological solutions for the reconstruction of the support zones of the wooden beams. The application of modern glued solutions for connecting the reconstructed beam ends will provide for a possibility of aesthetical completion of historical carved and painted decorations.

References

- [1] Jankowski Z., Kaczmarczyk S.: *Zabytkowe stropy drewniane – konserwacja konstrukcji. Proc of conference „Inżynierskie problemy odnowy staromiejskich zespołów zabytkowych”*, Kraków 2000.
- [2] Żaboklicki A.: *Rehabilitacja i wzmacnianie zabytkowych konstrukcji drewnianych*, Politechnika Świętokrzyska Kielce 2013.
- [3] Monck W.: *Schaden an Holzkonstruktionen, Analyse und Berechnung*, Verlag Bauwesen, Berlin 1999.
- [4] Żaboklicki A., Gębski M.: *Continuity of wooden beams as a method of reinforcement and preservation of timber structures at monumental buildings*. 5 th Int. Conference STREMAH'97, San Sebastian, Spain 23-25 June 1997, Computational Mechanics Publications, Southampton UK and Boston, USA 1997, pp. 541-546.
- [5] Davis G., Mettem C.J.: *The use of resin adhesives in repair of structural timber members. Structural Studies, Repairs and Maintenance of Historical Buildings*, Computational Mechanics Publications, Southampton UK and Boston USA 1997.
- [6] Brol J.: *Analiza doświadczalno-teoretyczna wzmacniania konstrukcji drewnianych kompozytami polimerowo-węglowymi*. Rozprawa doktorska, Gliwice 2005
- [7] Jasieńko J.: *Experimental investigation into the force distribution in glued steel bar and wood joints*. Archives of Civil Engineering, XLVIII, 1, 2002.

Elżbieta Piotrowicz

Wzmacnianie zabytkowych belek stropowych w strefie przypodporowej

1. Wprowadzenie

Utrzymanie zabytkowych drewnianych konstrukcji budowlanych ma w dzisiejszych czasach duże znaczenie. Drewno jednak ulega niszczącym procesom szybciej niż inne materiały budowlane, co wymaga podejmowania właściwych działań w zakresie prac remontowych i konserwatorskich.[1] Dla drewnianych belkowych stropów jednym z częściej występujących uszkodzeń są zniszczenia podporowej strefy belek spowodowane najczęściej przez korozję biologiczną.

Międzynarodowa Karta Konserwacji i Restauracji Zabytków i Miejsc Zabytkowych tzw. „Karta wenecka”, uchwalona przez II Międzynarodowy Kongres Architektów i Techników Zabytków w 1964 roku w Wenecji stanowiąca zbiór zasad w zakresie postępowania z obiektami zabytkowymi dopuszcza taki sposób wzmocnienia drewnianych elementów, który nie narusza historycznego rozwiązania konstrukcyjnego, cennego detalu architektonicznego oraz zabytkowego unikatowego wystroju o znaczących wartościach artystycznych i estetycznych [2]. Bardziej szczegółowe wytyczne postępowania w restauracji zabytkowych konstrukcji drewnianych ustanowiono w Meksyku w 1999 roku przez Międzynarodowy Komitet Drewna /International Wood Committee/ UNESCO. Karta „Zasad ochrony zabytkowych budynków historycznych” preferuje co prawda tradycyjne metody rehabilitacji i wzmacniania zabytkowych elementów drewnianych, ale dopuszcza stosowanie współczesnych materiałów i technologii, które zostały w satysfakcjonujący sposób przebadane i udokumentowane.

2. Uszkodzenia stref podporowych zabytkowych belek stropowych

Drewno jest materiałem organicznym i w przeciwieństwie do większości materiałów budowlanych posiada dużą podatność na niszczące działanie korozji biologicznej. Trwałość drewna, a tym samym drewnianych stropów belkowych jest bardzo zróżnicowana i zależy od szeregu czynników zarówno

biotycznych, jak i fizycznych, do których możemy zaliczyć najczęściej występujące niszczące działanie grzybów i owadów technicznych szkodników drewna oraz zmiany strukturalne w budowie drewna na skutek naturalnych procesów starzenia materiału [3]. W stropach belkowych najczęściej powstają uszkodzenia strefy podporowej belek drewnianych, gdyż miejsca te są narażone na ciągle zawilgocenia związane z bezpośrednim kontaktem podporowych konstrukcji murowanych ścian zewnętrznych w budynkach. Pozostałe czynniki niejednokrotnie stanowią katalizatory zachodzących zjawisk destrukcyjnych i niejednokrotnie występują równolegle, potęgując ich skutki.

3. Kierunki rehabilitacji i wzmacniania stref podporowych belek stropowych

Stopień uszkodzenia i degradacji stref podporowych drewnianych belek stropowych stwarza konieczność podejmowania prac wzmacniających i rekonstrukcyjnych, które pozwolą na zachowanie cennych konstrukcji stropowych i przywrócenie im pełnej sprawności użytkowej. Przyjęte rozwiązania konstrukcyjnego wzmocnienia strefy podporowej belek nie powinny rzutować na utratę cennego wystroju snycerskiego lub polichromii oraz tworzyć możliwość rekonstrukcji tego wystroju, zapewniając uzyskanie właściwego z punktu widzenia konserwatorskiego efektu artystyczno-estetycznego [2]. Biorąc pod uwagę prowadzone prace naukowo-badawcze oraz realizacje prac budowlano-konserwatorskich w zabytkowych obiektach, można dokonać ogólnej klasyfikacji stosowanych metod wzmacniania i rehabilitacji stref podporowych zabytkowych drewnianych belek stropowych:

- Tradycyjne metody rekonstrukcji strefy podporowej belek stropowych przy zastosowaniu różnorodnych systemów połączeniowych [4].
Do tradycyjnych metod wzmacniania i rehabilitacji drewnianych konstrukcji zaliczamy wymianę uszkodzonych elementów na nowe, wykonane

z tego samego materiału, co w rozumieniu postępowania konserwatorskiego będzie historyczną rekonstrukcją, bądź uzupełnienia elementów konstrukcyjnych.

- Rekonstrukcja strefy podporowej przy zastosowaniu kompozytów syntetycznych [5].

Wymianę fragmentu uszkodzonego elementu drewnianej belki przy zastosowaniu wkładek z kompozytów polimerowych. Wymieniany fragment elementu drewnianego możemy łączyć z nieuszkodzoną częścią belki za pomocą wkładek z włóknistych kompozytów polimerowych. Połączenia takie można dodatkowo zbroić taśmami z włókien węglowych i szklanych [6].

- Rekonstrukcja strefy podporowej belek stropowych metodą wkładek i połączeń klejowych.

Wymianę uszkodzonego fragmentu podporowego belki przy zastosowaniu elementów metalowych. W strefie rozciąganej połączenia stosujemy wkładki z blachy stalowej o grubości od 1,5 do 3 mm wprowadzanej w wykonane wcześniej nacięcia [7]. Wkładki mogą być mocowane przez wklejanie oraz dodatkowo posiłkowane sworzniami scalającymi o niewielkich średnicach. W strefie ściskanej belki naprężenia są przenoszone poprzez powierzchnie docisku. W podobny sposób można wykonać połączenie uzupełnianych stref podporowych drewnianych belek przy zastosowaniu wklejanych wkładek z taśm węglowych oraz zbrojonych włóknami szklanymi.

4. Wnioski

Proponowane metody wzmacniania strefy podporowej belek drewnianych przeprowadzone będą na materiale próbnym wykonanym z drewna sosnowego stosowanego w XIX-wiecznych konstrukcjach stropowych zabytkowych obiektów. Pozwoli to na opracowanie optymalnych rozwiązań technologicznych rekonstrukcji stref podporowych drewnianych belek stropowych. Zastosowanie współczesnych rozwiązań klejowych do połączenia odtwarzanych końcówek belek zapewni możliwość estetycznego uzupełnienia historycznej dekoracji snycerskiej i malarskiej.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPUTATIONAL METHODS FE AND FD ON THE EXAMPLE OF THE MEMBRANE SURFACE STRUCTURE

Abstract

The paper contains comparison of FEM and FDM applied in membranes. Innovative element of this calculation method includes replacing a membrane with a framed structure [1]. Sample membranes were tested by two methods, afterwards both results were compared in the state of stress and displacement, which allowed to draw the following conclusions regarding the usage of both methods.

Keywords: superficial structures, FEM, FDM, membrane, computational methods

1. Introduction

Membrane structures are widely used in construction industry: transport infrastructure, urban, industrial, hydro-engineering and housing [2], thus proper modeling, analysis and design are vital.

Membrane structures can be tested in many ways. They can be analysed in terms of statics, stability and dynamics in linear and nonlinear analysis [3]. Proper calculation method is vital. The comparative analysis of FEM and FDM methods include both theoretical differences between the methods as well as practical tests checking tension in typical prefabricated membranes used in construction industry. Membranes of various support systems were presented in Figure 1. Calculations were carried out with the use of computer and standard calculation methods.

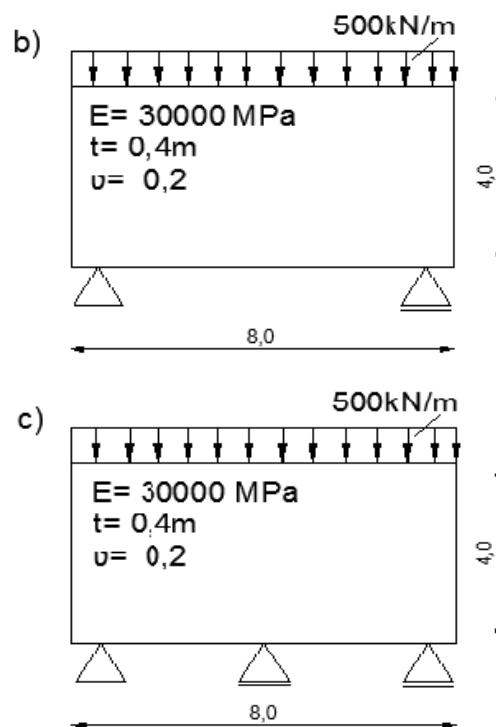
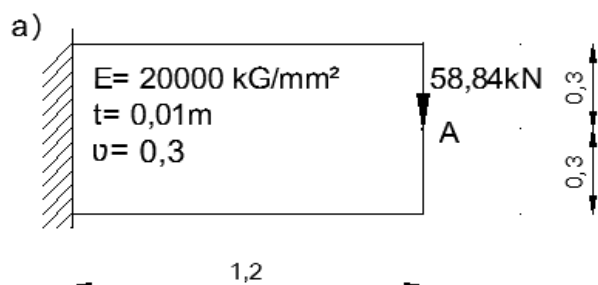


Fig. 1. Sample calculations diagram: a) bracket example, b) supported membrane statically defined, c) supported membrane statically undefined

2. A few words about MRS and MES

In mechanics description of analysed phenomenon is presented through equations. Most commonly these are differential equations in boundary conditions. When precise calculation methods are not applicable approximation methods are used, especially FEM and FDM [4].

FDM – a method implemented in static panels calculations, introduced by H. Marcus is based on regular geometry, which may limit application in more complex elements [5]. The idea of FDM is changing differential operators with corresponding difference operator placed on a discrete grid. Membrane calculation procedure is the same as in panels as identical equations are used, however including boundary conditions desirable results are obtained. Prof. Rakowski [1] presented interesting FDM application in membranes, replacing surface element with bar frame representing membrane outline. Inclusion of membrane's width is of vital importance presenting external forces as force-width quotient. Despite educational purposes and easy grid generating is difficult in automation and problematic in nonlinear boundary. Lack of local grid compaction is another drawback of this method [6].

FDA is a typical computing method based on construction discretization into finite number of simple geometry elements. Finite elements are characterized by simple geometry and precisely defined degree of freedom. Computing is carried out for selected nodes in those elements. It should be checked if the construction bears bend-displacement, stress-bend relation [7]. FEM is widely used and forms basis of many computer programs. Another advantage is wide set of finite elements and precise results. However, nonlinear and complex geometry elements are problematic [6].

3. FEM and FDM comparison

To compare both methods brief setting up in terms of a problem, solution and results is presented below (Table 1) [6].

Table 1. Differences between FEM and FDM setting up

	FEM	FDM
The formulation of the problem boundary	Global	Local
Approximation	Shape functions	Differential patterns for derivatives
Boundary conditions	Modification of the system of equations	Additional designs differential
The matrix of the system of equations	Symmetric band	This is usually not symmetrical

4. Computational analysis of membrane structures by MES and MRS

Surface structures presented below were tested by the comparative analysis (Fig.1). As for bracket membrane (Fig. 1a) comparative FEM analysis was carried out by counting and in ROBOT system for 8 8FE as well as calculated for 3.0 x 3.0 m grid. Results in terms of bracket displacement and membrane stress are presented in Fig. 2 and Fig. 3.

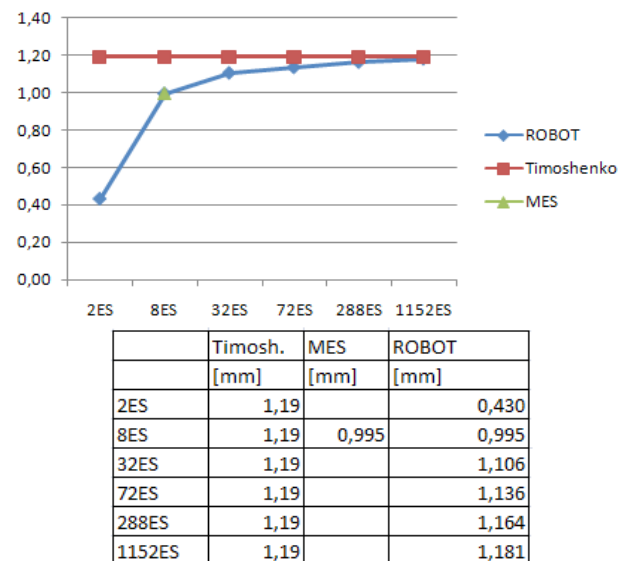


Fig. 2. Analysis of displacement of membrane bracket-results

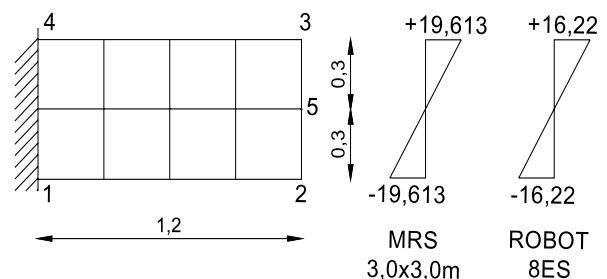
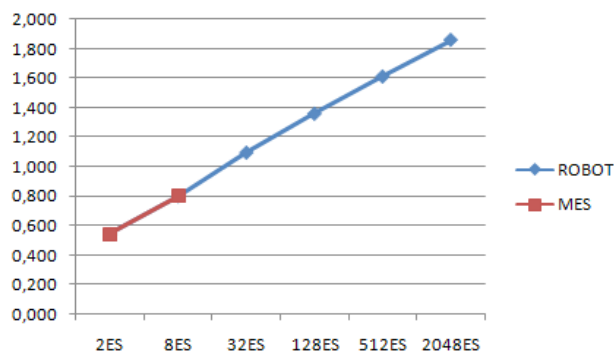


Fig. 3. Results of tension analysis σ_x in membrane bracket

Similar analysis was carried out for statically defined cantilever beam (Fig. 1b) Comparative FEM analysis was conducted by counting and in ROBOT system for 2FE, 8FE, 32FE as well as calculated for 3.0 x 3.0 m grid. A bend in point 5 was searched for as well as stress placement σ_x in α - α section. Results are shown in fig. 4 and Fig. 5.



	ROBOT	MES
	[mm]	[mm]
2ES	0,543	0,543
8ES	0,800	0,800
32ES	1,095	
128ES	1,359	
512ES	1,611	
2048ES	1,860	

Fig. 4. Center displacement of SSN = 0 cantilever beam – analysis results

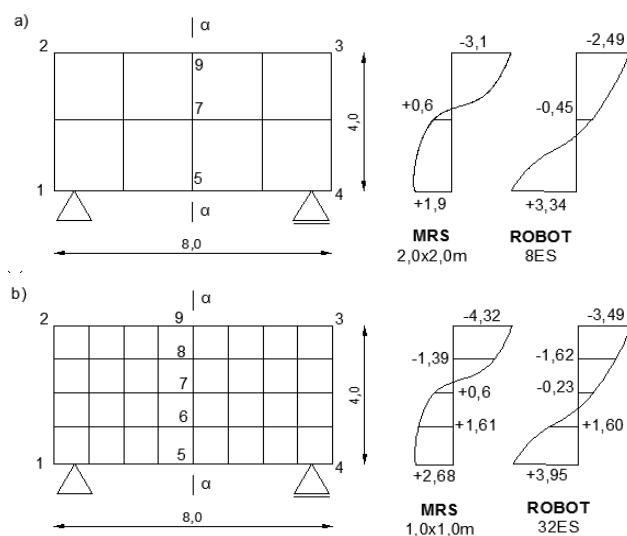


Fig. 5. Results of stress analysis in SSN = 0 cantilever beam: a) FEM-8FE, FDM 2.0 x 2.0 m grid, b) FEM-32FE, FDM 1.0 x 1.0 m grid

For statically defined cantilever beam (Fig 1c) only stress analysis was carried out due to similar geometry to the previous example and the same material data. Stress placement in α - α section was obtained through FEM computing in ROBOT system for 8FE as well as FDM calculations for 2.0 x 2.0 m grid. The following results were generated Figure 6.

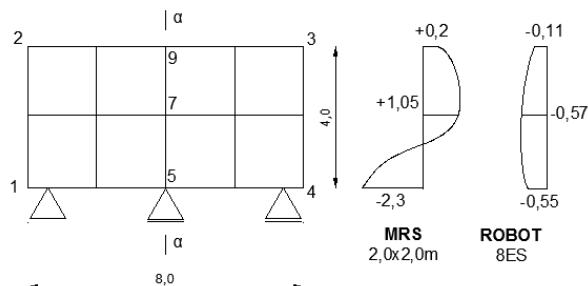


Fig. 6. Cantilever beam stress analysis results

5. Conclusion

As a result of carried out analysis conducted by FEM and FDM methods the following differences were noticed. Differences in values are caused by approximations resulting from replacing a membrane with a framed structure in FDM. Surface structures are replaced by bar structure, that is by a structure of different number and different degree of freedom, which undoubtedly affected the results. Stress diagram, despite differences in values and even in signs, indicate similar character and progress.

It can be stated that FDM is useful in simple geometry elements calculations and is characterized by stable solution. Whereas FEM can be applicable in complex geometry problems of infinite degree of freedom [6, 7]. It should be noted that both methods are approximated and not error-free.

References

- [1] Rakowski G.: *Sprężystość. Problemy i rozwiązania. Metody analityczne i numeryczne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2001.
- [2] Pyrak S., Włodarczyk W.: *Posadowienie budowli, konstrukcje murowe i drewniane*, WSiP 2006.
- [3] <http://fundacjarozwojunauki.pl/res/Tom2/Burczyński.pdf>
- [4] Rakowski G.: *Mechanika budowli. Ujęcie komputerowe*, t. 2, ARKADY, Warszawa 1992.
- [5] Nowacki W.: *Z zastosowań rachunku różnic skończonych w mechanice budowli*, Archiwum Mechaniki Stosowanej, 1951.
- [6] <http://www.l5.pk.edu.pl/~awosatko/MESUP.pdf>
- [7] Łodygowski T., Kąkol W.: *Metoda elementów skończonych w wybranych zagadnieniach mechaniki konstrukcji inżynierskich*, Alma Mater, Politechnika Poznańska, 2003.

Anna Słóń
Urszula Pawlak

Analiza porównawcza metod obliczeniowych ES i RS w zastosowaniu do konstrukcji powierzchniowej typu tarcza

1. Wstęp

Konstrukcje tarczowe mają szerokie zastosowanie w budownictwie: komunikacyjnym, przemysłowym, komunalnym, hydrotechnicznym, mieszkalnym [2], w związku z tym ważne jest ich prawidłowe zamodelowanie, analizowanie, a w efekcie końcowym projektowanie.

Konstrukcje tarczowe można poddać wielu typom analizy. Można badać: statykę, stateczność, dynamikę w zakresie analizy liniowej i nieliniowej. Potrzebny jest jednak odpowiedni aparat obliczeniowy [3]. Analiza porównawcza metod ES i RS dotyczy zarówno teoretycznych różnic pomiędzy tymi metodami, jak i praktycznego sprawdzenia stanu naprężenia i przemieszczenia w typowych tarczach prefabrykowanych stosowanych w budownictwie. Badaniom zostały poddane tarcze o różnym sposobie podparcia jak i o różnym stopniu statycznej niewyznaczalności, przedstawione na rysunek 1. Obliczenia poprowadzono w sposób ręczny oraz komputerowo.

2. Słów kilka o MRS i MES

W mechanice opis analizowanego zjawiska zapisujemy za pomocą równań matematycznych. Najczęściej są to równania różniczkowe związane z warunkami brzegowymi. Gdy niemożliwe są obliczenia w sposób ścisły, korzystamy z metod przybliżonych – najczęściej MES lub MRS [4].

MRS – metoda wprowadzona do obliczeń statycznych płyt przez H. Marcusa opiera się na regularnej siatce węzłów, czyli o prostej geometrii, co może stanowić ograniczenie w zastosowaniu do elementów bardziej złożonych [5]. Ideą MRS jest zamiana operatorów różniczkowych na odpowiadające im operatory różnicowe określone na dyskretnym zbiorze punktów zwanym siatką dyskretyzacyjną.

Tok postępowania w obliczeniach płyt okazuje się taki sam, jak w obliczeniach płyt, gdyż korzystamy

z tych samych równań różnicowych, lecz poprzez odpowiednie uwzględnienie warunków brzegowych, otrzymujemy pożądane wyniki. Ciekawe rozwiązanie zastosowania MRS w tarczy zaproponował prof. Rakowski [1], zastępując element powierzchniowy elementem prętowym – ramą odpowiadającą obrysowi tarczy. Niezwykle ważne w tym sposobie obliczania tarczy jest uwzględnienie jej grubości, wyrażając wartości sił zewnętrznych jako iloraz siły do grubości. MRS, mimo dydaktycznego charakteru i łatwej generacji siatki, jest trudna do automatyzacji, pojawiają się trudności w przypadku krzywoliniowego brzegu. Wadą tej metody jest także brak możliwości lokalnego zagęszczania siatki [6].

MES jest za to typową metodą komputerową, polegająca na dyskretyzacji konstrukcji na skończoną liczbę obszarów – elementów o prostej geometrii. Elementy skończone charakteryzuje prostota kształtu oraz określona ściśle liczba stopni swobody. Obliczenia metodą MES dokonujemy dla wybranych szczególnych węzłów w tych elementach, dla których znajdziemy warunki równowagi i zgodności. Należy zwrócić uwagę, czy konstrukcja spełnia zależności odkształcenie-przemieszczenie i naprężenie-odkształcenie dla elementów [7]. MES ma bardzo szerokie pole zastosowań i jest podstawą wielu programów komputerowych. Kolejną zaletą jest duży zbiór elementów skończonych i dość dokładne wyniki. Problem powstaje przy uwzględnianiu nieliniowości geometrycznych i w przypadku generacji siatki dla obszarów o skomplikowanej geometrii [6].

3. Porównanie MES i MRS

Zestawiając MES i MRS sporządzono krótkie porównanie tych metod pod kilkoma względami, związanymi zarówno z samym zapisem problemu, jak i sposobem jego rozwiązania oraz przedstawianiem wyników (tab. 1) [6].

4. Analizy obliczeniowe konstrukcji tarczowych za pomocą MES i MRS

Analizie porównawczej poddano konstrukcje powierzchniowe przedstawione na rysunku 1. W przypadku wspornika tarczowego (rys. 1a) przeprowadzono analizę porównawczą MES ręcznie i w systemie ROBOT dla 8ES oraz obliczenia ręczne MRS dla siatki 3,0 x 3,0 m. Wyniki odnośnie stanu przemieszczenia końca wspornika i naprężenia w tarczy pokazano na rysunkach 2 i 3.

Podobną analizę wykonano dla belko-ściany statycznie wyznaczalnej (rys. 1b). Analiza porównawcza objęła obliczenia MES ręcznie i w systemie ROBOT dla 2ES, 8ES, 32ES oraz ręcznie MRS w przypadku siatki 1,0 x 1,0 m i 2,0 x 2,0 m. Poszukiwano ugięcia w punkcie 5 oraz rozkładu naprężeń σ_x w przekroju $\alpha-\alpha$. Wyniki pokazano na rysunkach 4 i 5.

Dla belko-ściany statycznie niewyznaczalnej (rys. 1c) przeprowadzono jedynie analizę stanu naprężenia z uwagi na zbliżoną geometrię z poprzedniego przykładu oraz te same dane materiałowe. Rozkład naprężeń w przekroju $\alpha-\alpha$ uzyskano z obliczeń MES w systemie ROBOT dla 8ES oraz MRS ręcznie dla siatki podziału 2,0 x 2,0 m. Otrzymano następujące wyniki analizy zostały przedstawione na rysunku 6.

5. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych analiz badanych konstrukcji metodami ES i RS zauważono różnice. Ocenia się, iż rozbieżności w wartościach spowodowane są uproszczeniami związanymi z zastąpieniem tarczy ramą w MRS. Ustroje powierzchniowe zastępujemy tu ustrojami prętowymi, a więc konstrukcjami o różnej liczbie i różnym rodzaju stopni swobody w węzle, co niewątpliwie ma wpływ na wyniki. Wykresy naprężeń mimo różnic w wartościach, a nawet miejscami w znakach, wykazują podobny przebieg i ten sam charakter.

Można stwierdzić, iż MRS jest przydatna do obliczeń elementów o prostej geometrii, charakteryzuje się prostym rachunkiem. MES natomiast może być stosowana do problemów o złożonej geometrii i nieskończonej liczbie stopni swobody [6, 7]. Należy jednak pamiętać, że obie metody opisują zachowanie się układu w sposób przybliżony i są obarczone pewnym błędem.



environment
environment

ANATOLIY PAVLENKO

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University (Ukraine)

e-mail: am.pavlenko@i.ua

THE TEMPERATURE DISTRIBUTION OF THE MATERIALS IN THE CONVECTIVE HEAT TRANSFER

Abstract

A new method for solving the equations of thermal conductivity materials with specific properties. This method is useful for an approximate estimate of the temperature field of materials.

Keywords: heat equation, method for solving

1. Introduction

With the intensification of heat transfer processes, a significant increase in operating temperatures and increased requirements for precision thermotechnical calculations gradually and increasingly become apparent shortcomings well-developed theory based on linear boundary value problems of heat conduction (BPHC). Therefore, in the last few decades, increased attention is paid to the non-linear mathematical modeling (MM) thermal processes.

Due to the mathematical difficulties exact solutions of nonlinear BPHC obtained only for some special cases. Generally, for this purpose, various approximate methods, which can be divided into two fundamentally different groups. The first section includes well known (eg [1-3]) exact methods for solving linear BPHC. But the use of these methods must be preceded by the corresponding output linearization of nonlinear problems. The second group includes those approximation methods that allow directly solve nonlinear BPHC without prior linearization. This is primarily numerical and analogue methods and approximate analytical, integrated, variation, disturbance (small parameter) and others. (See., Eg. [4]). These include the method of equivalent sources (MES) [3, 4].

As for the research of thermal processes in the bodies of functionally dependent TFH (non-linearity of the first kind), they are related to the difficulties caused by not only non-linear equation, but the fact that laws change TFH not reliably identified. Of course dependence of the thermal conductivity $\lambda(T)$ and vo-

lumatic specific heats $C(T)$ approximated (See., Eg. [4,]) by polynomials

$$\lambda(T) = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \delta_{\lambda i} T^i; \quad C(T) = C_0 + \sum_{i=1}^n \delta_{C i} T^i \quad (1)$$

For many materials coefficients T^i are so small that $i \geq 2$ members of can be negligible that to some extent consistent with modern concepts of the mechanism of thermal conductivity as a superposition of streams of photons and electrons, where the fate of metals in the past for a specific temperature range is dominant.

So the future will consider nonlinear (quasi-linear) differential equations containing linearly dependent on temperature TFH that after going to the relevant dimensionless quantities take the form of:

$$\begin{aligned} \lambda(\theta) &= \lambda_0 \cdot \bar{\lambda}(\theta); \\ \bar{\lambda}(\theta) &= 1 + \varepsilon_{\lambda} \theta; \\ \varepsilon_{\lambda} &= \delta_{\lambda} (T_C - T_0) / \lambda_0; \\ C(\theta) &= C_0 \cdot \bar{C}(\theta); \\ \bar{C}(\theta) &= 1 + \varepsilon_C \theta; \\ \varepsilon_C &= \delta_C (T_C - T_0) / C_0 \end{aligned} \quad (2)$$

Introduced here coefficients ε_{λ} , ε_C will henceforth be called nonlinearity parameters of the 1st kind.

2. Statement of the problem

If we restrict ourselves to the linear case TFH (2), the temperature state (TS) unlimited plate in convective heat transfer solutions of the BPHC determined:

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left[(1 + \varepsilon_\lambda \theta) \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \right] = (1 + \varepsilon_c \theta) \frac{\partial \theta}{\partial \tau}; \quad (3)$$

$$\theta(\xi, 0) = 0$$

$$(1 + \varepsilon_\lambda \theta_\Pi) \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \Big|_{\xi=1} = Bi [\theta_c - \theta_\Pi(\tau)];$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \xi} \Big|_{\xi=0} = 0 \quad (4)$$

where

$$\theta(\xi, \tau) = \frac{T(\xi, \tau) - T_0}{T_c - T_0};$$

$$\xi = \frac{x}{H};$$

$$\tau = \frac{a_0 t}{H^2};$$

$$Bi = \frac{\alpha_K H}{\lambda_0};$$

$T(\xi, \tau)$ – the body temperature, K; T_0 – its initial value, K; T_c – temperature of the heating medium, K; x – coordinate (starting from the center section), m; $2H$ – plate thickness, m; t – time, hour; $a_0 = \lambda_0 / C_0$ – thermal diffusivity coefficient in $T = T_0$, m²/hour; α_K – convective heat transfer coefficient, W/(m²K).

To solve this BPHC (3), (3) apply the method of equivalent sources (MES) in the well-known theory of heat near-boundary layer (engineering model of thermal conductivity), which examines the process of conductive heat transfer in two stages: initial heating (inertial phase $0 \leq \tau \leq \tau_0$) and heating for the whole volume (ordered phase $\tau \geq \tau_0$).

3. Solution of the problem

The first (inertial) stage ($0 \leq \tau \leq \tau_0$; $\beta(\tau) \leq \xi \leq 1$) solving equations MES take the form:

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left[(1 + \varepsilon_\lambda \theta_1) \frac{\partial \theta_1}{\partial \xi} \right] = f_1(\tau) \quad (6)$$

where “source equivalent” $f_1(\tau)$ is defined by the integral

$$f_1(\tau) = \frac{1}{1 - \beta(\tau)} \int_{\beta(\tau)}^1 \left[(1 + \varepsilon_c \theta_1) \frac{\partial \theta_1}{\partial \tau} \right] d\xi \quad (7)$$

Instead symmetry condition (4)₂ introduces coupling conditions of temperature fields is not warmed ($(0 \leq \xi \leq \beta(\tau)) \theta_0 = 0$) and warmed ($\beta(\tau) \leq \xi \leq 1$) $\theta_1(\xi, \tau)$ zones on the border $\xi = \beta(\tau)$ of their distribution

$$\frac{\partial \theta_1}{\partial \xi} \Big|_{\xi=\beta(\tau)} = 0; \quad \theta_1(\xi, \tau) \Big|_{\xi=\beta(\tau)} = 0 \quad (8)$$

Integrating solving equations (6) and twice by ξ using the condition (8), we obtain

$$\theta_1(\xi, \tau) = \frac{1}{\varepsilon_\lambda} \left\{ \sqrt{1 + \varepsilon_\lambda f_1(\tau) [\xi - \beta(\tau)]^2} - 1 \right\} \quad (9)$$

After substitution function (9) in the boundary condition (BC) (5)₁ we obtain

$$f_1(\tau) = \frac{Bi [2(1 + \varepsilon_\lambda) + Bil(\tau)]}{2\varepsilon_\lambda l(\tau)} \times$$

$$\times \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{4\varepsilon_\lambda (2 + \varepsilon_\lambda)}{[2(1 + \varepsilon_\lambda) + Bil(\tau)]^2}} \right\} \quad (10)$$

Expanding radical (10) in power series and retaining the first two of its members have

$$f_1(\tau) \approx \frac{(2 + \varepsilon_\lambda) Bi}{[2(H\varepsilon_\lambda) + Bil(\tau)] l(\tau)} \quad (11)$$

Thus the inertial phase approximate solution of problem (3), (4) takes the form

$$\theta_1(\xi, \tau) = \frac{1}{\varepsilon_\lambda} \left\{ \sqrt{1 + \frac{\varepsilon_\lambda (2 + \varepsilon_\lambda) Bi [\xi - \beta(\tau)]^2}{[2(1 + \varepsilon_\lambda) + Bil(\tau)] l(\tau)}} - 1 \right\} \quad (12)$$

Position Front warming $l(\tau) = 1 - \beta(\tau)$ in principle determined integral condition (7). However, this procedure results in inappropriate complex calculations. Due to the rapidity inertial stage we assume TFH change during this period was insignificant and determined $l(\tau)$ by the solution of the linear problem

$$l^2 + 4l/Bi - \frac{8}{Bi^2} \ln(1 + Bil/2) = 12\tau \quad (13)$$

$$\tau_0 = \left[1 + 4/Bi - \frac{8}{Bi^2} \ln(1 + Bil/2) \right] / 12 \quad (14)$$

or simplified

$$l(\tau) = \sqrt{12(3.25 + Bi)\tau / (6.5 + Bi)};$$

$$\tau_0 = \frac{6.5 + Bi}{12(3.25 + Bi)} \quad (15)$$

At low ($Bi \ll 3.25$) and high ($Bi > 6.5$) respectively have

$$\begin{aligned}
 l(\tau) &= \sqrt{6\tau}; \\
 \tau_0 &= 1/6; \\
 l(\tau) &= \sqrt{12\tau}; \\
 \tau_0 &= 1/12
 \end{aligned} \quad (16)$$

At the time τ_0 of completion warming $l(\tau_0) = 1$, $\beta(\tau_0) = 0$

$$\begin{aligned}
 \theta_1(\xi, \tau_0) &= \theta_1^0(\xi) = \\
 &= \frac{1}{\varepsilon_\lambda} \left[\sqrt{1 + \frac{\varepsilon_\lambda(2 + \varepsilon_\lambda)Bi}{2(1 + \varepsilon_\lambda) + Bi}} \xi^2 - 1 \right] \quad (17)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \theta_1^0(\xi) \Big|_{\xi=1} &= \theta_{1II}^0 = \frac{1}{\varepsilon_\lambda} \left[\sqrt{1 + \frac{\varepsilon_\lambda(2 + \varepsilon_\lambda)Bi}{2(1 + \varepsilon_\lambda) + Bi}} - 1 \right]; \\
 \theta_1^0(\xi) \Big|_{\xi=0} &= \theta_{1IC}^0 = 0
 \end{aligned} \quad (18)$$

The second (ordered) phase ($\tau \geq \tau_0$; $0 \leq \xi \leq 1$) Solving equations similar to (6):

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left[(1 + \varepsilon_\lambda \theta_2) \frac{\partial \theta_2}{\partial \xi} \right] = f_2(\tau) \quad (19)$$

where

$$\begin{aligned}
 f_2(\tau) &= \int_0^1 (1 + \varepsilon_c \theta_2) \frac{\partial \theta_2}{\partial \tau} d\xi = \\
 &= \frac{1}{2\varepsilon_c} \frac{d}{d\tau} \int_0^1 (1 + \varepsilon_\lambda \theta_2) d\xi
 \end{aligned} \quad (20)$$

Integrating equation (19) and using the BC (4), we find

$$\begin{aligned}
 \theta_2(\xi, \tau) &= \frac{1}{\xi \lambda} \left\{ \sqrt{1 + \psi(\tau)} - 1 \right\} \\
 \psi(\tau) &= 2\varepsilon_\lambda \left[1 - \frac{f_2(\tau)}{2} \left(\frac{2 + Bi}{Bi} - \xi^2 \right) \right] + \\
 &+ \varepsilon_\lambda^2 \left[1 - \frac{f_2(\tau)}{Bi} \right]^2
 \end{aligned} \quad (21)$$

Substituting the function (21) in the condition (20) we obtain the expression

$$\begin{aligned}
 2\varepsilon_c f_2(\tau) &= \frac{d}{d\tau} \int_0^1 \left[\left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_\lambda} \right)^2 + 2 \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_\lambda} \right) \times \right. \\
 &\times \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_\lambda} \theta_2(\xi, \tau) + \left. \frac{\varepsilon_c^2}{\varepsilon_\lambda^2} \theta_2^2(\xi, \tau) \right] d\xi
 \end{aligned} \quad (22)$$

In order to simplify some free from radical and integral (22), which function $\theta_2(\xi, \tau)$ (21) in the second term (22) replace the first two members of its power series, i.e.

$$\begin{aligned}
 \theta_2(\xi, \tau) &\approx 1 + \\
 &+ \varepsilon_\lambda \left[1 + \frac{f_2(\tau)}{2} \left(\frac{2 + Bi}{Bi} - \xi^2 \right) + \frac{\varepsilon_\lambda^2}{2} \left(1 + \frac{f_2(\tau)}{Bi} \right)^2 \right] \quad (23)
 \end{aligned}$$

In this case, expression (22) takes a simpler form. Keeping the right side of (22) members only dependent on the time τ , we arrive at the differential equation

$$\left[\frac{\varepsilon_\lambda}{Bi} - \frac{3(1 + \varepsilon_\lambda) + Bi}{3f_2(\tau)} \right] df_2 = Bi d\tau \quad (24)$$

integral which is defined transcendent expression:

$$\begin{aligned}
 \frac{\varepsilon_\lambda}{Bi} [f_2(\tau) - f_2^0] - \left[(1 - \varepsilon_\lambda) + \frac{Bi}{3} \right] \times \\
 \times \ln \frac{f_2}{f_2^0} = Bi(\tau - \tau_0)
 \end{aligned} \quad (25)$$

In order to receive functions $f_2(\tau)$ in an explicit form shall spread out $\ln f_{12}(\tau)$ in power series

$$\ln f_2(\tau) = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n-1} [f_2(\tau) - 1]^n / n \quad (26)$$

and limited to the first two of its members ($n = 1$), we find

$$f_2(\tau) \approx 1 + \ln f_2(\tau) \quad (27)$$

Then equation (25) after substituting in the first term of the function (27) leads to the expression:

$$f_2(\tau) = f_2^0 \exp \left\{ - \frac{3Bi^2(\tau - \tau_0)}{Bi[3(1 + \varepsilon_\lambda) + Bi] - 3\varepsilon_\lambda} \right\} \quad (28)$$

Used simplification (23) and (27) is quite legitimate because it relates to members, usually containing the nearest multiple small parameters ε_λ and ε_c nonlinearity, ie secondary member, and do not touch the main members of the inherent solution of the corresponding linear problem ($\varepsilon_\lambda = \varepsilon_c = 0$).

Introducing the notation

$$\mu = \frac{3Bi}{3(1 + \varepsilon_\lambda) + Bi - 3\varepsilon_\lambda / Bi} \quad (29)$$

we present the solution (21) function

$$\begin{aligned}
 \theta_2(\xi, \tau) &= \frac{1}{\xi \lambda} \left\{ \sqrt{1 + \psi(\xi, \tau) + \psi(\tau)} - 1 \right\} \\
 \psi(\xi, \tau) &= 2\varepsilon_\lambda \left\{ 1 - \frac{f_2^0}{2} \left(\frac{2 + Bi}{Bi} - \xi^2 \right) \exp[-\mu(\tau - \tau_0)] \right\} \quad (30) \\
 \psi(\tau) &= \varepsilon_\lambda^2 \left[1 - (f_2^0 / Bi) \exp[-\mu(\tau - \tau_0)] \right]^2
 \end{aligned}$$

Sustainable integration f_2^0 of find conditions

$$\theta_2(\xi, \tau) \Big|_{\substack{\xi=0 \\ \tau=\tau_0}} = \theta_{1C}^0 = 0 \quad (18)$$

$$f_2^0 = \frac{[2(1 + \varepsilon_\lambda) + Bi] Bi}{2\varepsilon_\lambda} \times \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{4\varepsilon_\lambda(2 + \varepsilon_\lambda)}{[2(1 + \varepsilon_\lambda) + Bi]^2}} \right\} \quad (31)$$

This ends solution of the nonlinear heat conduction problem.

References

- [1] Carslaw G., Eger D.: *Thermal conductivity of solids*. – M: Mir, 1964, 487 p.
- [2] Lykov A.V.: *The theory of heat conduction*. – M: Higher School, 1967, 599 p.
- [3] Tikhonov A.N., Samarskii A.A.: *Equations of mathematical physics*. – M: Nauka, 1972, 735 p.
- [4] Belyaev N.M., Ryadno A.A.: *Methods of the theory of heat conduction, in 2 parts*. – M: Higher School, 1982, 631 p.

EDYTA NARTOWSKA¹
TOMASZ KOZŁOWSKI²
MARTA KOLANKOWSKA³

Kielce University of Technology

¹ e-mail: enartowska@tu.kielce.pl

² e-mail: tomkoz@tu.kielce.pl

³ e-mail: kolankowska.marta@wp.pl

APPLICATION OF ¹H-NMR RELAXOMETRY TO THE DETERMINATION OF THE WATER CONTENT IN CLAY SOILS

Abstract

The NMR technique is widely used in polymer, chemical, and agrifood industries, as well as in many other fields of science and technology. This work presents results from the use of FID (Free Induction Decay) application to determine the water content in clay soil samples. The widely used oven-drying method is time-consuming and precludes using the same sample to another test, because drying process damages the internal structure of soil. Three clay soils, characterized by high surface area, were used in the research and six to eight samples for each soil were tested. The obtained dependence curve between FID Signal Intensities and mass of water was characterized by a high correlation coefficient ($R^2 = 0.97$). The curve can be used to determine the mass of water present in clay soil sample on the basis of FID Signal Intensity. Such approach allows ¹H-NMR relaxometry to be applied for the determination of water content in soil samples in a fast and non-destructive way.

Keywords: water content, clay soils, NMR methods, FID Signal

1. Introduction

Nuclear magnetic resonance (NMR) relaxometry is a mighty tool for non-destructive, fast and reproducible investigations of porous media containing NMR-active nuclei, such as hydrogen (¹H), deuterium (²H, D), and fluorine (¹⁹F). NMR-activity of the nuclei results from possessing a non-zero spin and an intrinsic magnetic moment. Both spin and magnetic moment are vector values connected with each other via the parallel or antiparallel orientation. The technique of NMR relaxometry is commonly used in chemical, polymer and agrifood industries, and for a various applications in research and development areas, including geosciences and material sciences [1 – 3]. Also, the method has been applied for investigating the soil water interaction with soil particles, e.g. water uptake or re-distribution [3]. It appears that the water content in the soil has not been yet investigated by use of the FID application in NMR technique with using minispec mq20. The water content is the

basic physical parameter of soil affecting a variety of engineering properties. There is a lot of methods to determine the amount of water in soil [4, 5]. Traditional oven-drying method is time-consuming and does not enable to use the same sample once again to run another test, because it causes physical, structural and chemical changes in dried sample [6]. It seems that only the tests on the same sample can give us reliable results. Such studies are possible by use of the FID application basing on physical laws.

Hydrogen nucleus possess a non-zero spin and an internal magnetic moment parallel or antiparallel to the spin. If we place these nuclei in an outer magnetic field B, the spins orientate and precesses around the external magnetic field with the Larmor frequency, which is distinctive for each chemical element. A pulses with the distinctive Larmor frequency generated by RF (radio frequency) oscillator are applied to the sample and the spins are flipped into an angle to the external magnetic field (B₀) causing a magnetisation

(M_0). After the pulses are switched off the spins relax to their equilibrium orientation and the magnetisation induced by the pulses decays. The measured signal is called the free induction decay (FID) [7, 8]. According to Turov and Lebeda [9], the percentage of the hydrogen spin density is possible to calculation because the signal for the hydrogen in a solid decays much faster than that of the hydrogen in a liquid.

The paper focuses on the determination of water content in different clay soil samples by use of FID applications available in NMR technique. The procedure is validated by comparing the obtained results with traditional oven-drying method.

2. Characterisation of the soil material

The main criterion for selection of the research material was a high value of the specific surface area. In such soils even smallest changes in the mass of water cause a detectable FID signal. The three tested soils are characterized in Table 1 and Table 2. Two clays were obtained from the Source Clay Repository of the Clay Minerals Society (SWy-2 natural sodium-calcium bentonite from Wyoming and Stx-1b natural calcium bentonite from Texas). The third clay was the monoionic (sodium) form of industrial bentonite with Zębiec company in Poland (Z-MMT), originated from Jelšov Potok in Czech Republik. This form was obtained of bentonite from Jelšov Potok by special procedure modification.

Table 1. Sorption properties and specific surface

Parameters	SWy-2	Stx-1b	Z-MMT
Montmorillonite content (XRD method) [%]	69	92	84
Moisture sorption a vapour pressure $p/p_0 = 0.5$ [%]	9.79	16.9	20.85
Moisture sorption a vapour pressure $p/p_0 = 0.95$ [%]	23.38	28.77	28.7
External specific surface [m^2/g]	57.3	98.9	122
Total specific surface [m^2/g]	344	593	732

Note: Determined by use of the Water Sorption Test by Stępkowska [10]

Table 2. Granulometric composition and plastic properties

Parameters	SWy-2	Stx-1b	Z-MMT
Clay fraction [%]	45.5	14.5	14.5
Silt fraction [%]	54.5	85.5	85.5
Liquid limit (the Casagrande method) [%]	519	142	
Plastic limit [%]	35	44	46

Note: Granulometric composition determined by use of the laser diffraction

3. Laboratory procedure and results

Bruker Minispec mq20 spectrometer was used in the experiments. The study was carried out at the magnetic field of 0.47 T corresponding to the frequency of 20 MHz. This method allowed for fast, non-destructive and non-invasive measurements that requires no special sample preparation.

According to apparatus specification, samples of 1 cm high or shorter were placed in glass NMR tubes. 22 samples were used in the study: six to eight samples for each soil at different amounts of water.

Laboratory procedure included the following steps:

1. The soil powders was saturated with water in the exsiccator under the 10% solution of H_2SO_4 at room temperature for 14 days.
2. The samples with specified water content and mass was used to research Free Induction Decay (FID) signal intensity in minispec mq20.
3. The samples were dried at 105°C for 24 hours in purpose to determine the mass of water.
4. The dependence curve between FID signals and mass of water was created for each soil (Fig. 1-3).
5. Next, on the basis of the results for all the 22 samples of the three different soils, one dependence curve between FID signals and mass of water was created (Fig. 4) with a high determination coefficient ($R^2 = 0.97$).

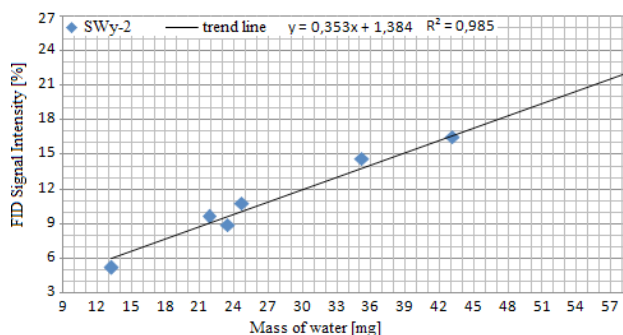


Fig. 1. A FID Signal Intensity for different mass of water in bentonite from Wyoming (SWy-2)

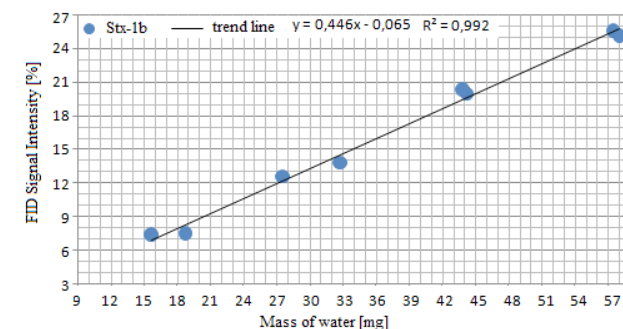


Fig. 2. A FID Signal Intensity for different mass of water in bentonite from Texas (Stx-1b)

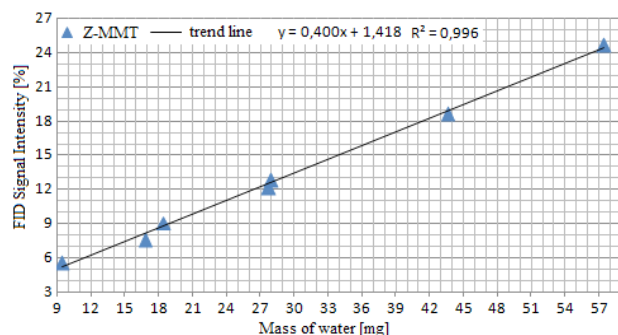


Fig. 3. A FID Signal Intensity for different mass of water in bentonite from Zębice company (Z-MMT)

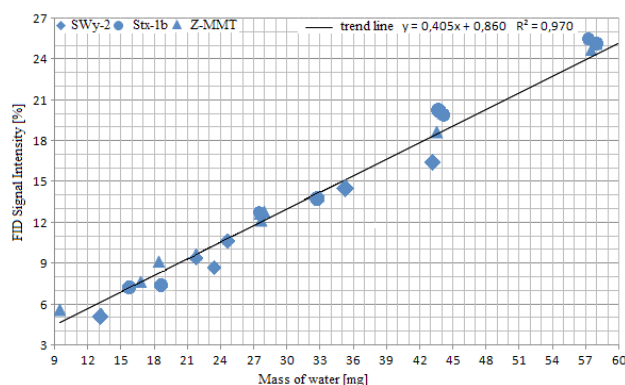


Fig. 4. A FID Signal Intensity for different mass of water in clay soils (SWy-2, Stx-1b, Z-MMT)

The curve (Fig.4) can be used to determine the mass of water present in clay soil sample on the basis of FID Signal Intensity. The water content can be calculated as follows (1):

$$w = \frac{FID - 0,8607}{0,4051 \cdot m - FID + 0,8607} 100\% \quad (1)$$

where: w – water content in soil sample, %; FID – FID Signal Intensity, %; m – mass of soil sample mg.

4. Conclusions

1. The dependence curve between FID Signal Intensity and mass of water present in soil sample can be used to calculate the water content in every clay soil sample with known weight (and height up to 1 cm).
2. The determination of water content in soil sample using NMR device is a fast, reproducible and non-destructive technique, alternative for the standard Oven Drying Method.
3. The application of NMR method to determine the water content in soil sample enables the reuse of the sample to other NMR tests without neither chemical nor physical changes.

References

- [1] Bayer J.V., Jaeger F., Schaumann G.E.: *Proton Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Relaxometry in Soil Science Applications*. The Open Magnetic Resonance Journal, 3 (2010), pp. 15-26.
- [2] Jaeger F., Bowe S., Van As H., Schaumann G.E.: *Evaluation of ^1H NMR relaxometry for the assessment of pore-size distribution in soil samples*. European Journal of Soil Science, 60 (12.2009), pp. 1052-1064.
- [3] Tian H., Wei C., Wei H., Yan R., Chen P.: *An NMR-Based Analysis of soil-Water Characteristics*. Applied Magnetic Resonance, 45 (2014), pp. 49-61.
- [4] Klamkowski K., Treder W.: *Metody pomiaru wilgotności gleby*, Hasło Ogrodnicze, 6 (2010), pp. 12-16.
- [5] Kozłowski T.: *A comprehensive method of determining the soil unfrozen water curves: 2. Stages of the phase change process in frozen soil–water system*. Cold Reg. Sci. Technol, 36 (2003b), pp. 81-92.
- [6] Wolter B., Kohl F., Surkowa N., Dobmann G.: *Non – Destructive Testing In Civil Engineering*, International Symposium NDT-CE, 2003.
- [7] Bayer J.V., Jaeger F., Schaumann G.E.: *Proton Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Relaxometry In Soil Science Applications*, The Open Magnetic Resonance Journal 3 (2010), pp. 15-27.
- [8] Jaeger F., Bowe S., Van As H., Schaumann G.E.: *Evaluation of ^1H NMR relaxometry for the assessment of pore-size distribution in soil samples*, European Journal of Soil Science, 6 (2009), pp. 1052-1064.
- [9] Turov V.V., Leboda R.: *Application of ^1H NMR spectroscopy method for determination of characteristics of thin layers of water adsorbed on the surface of dispersed and porous adsorbents*. Advances in Colloid and Interface Science, 79 (1999), pp. 173-211.
- [10] Stepkowska E.T.: *Water sorption test and possibility of its application in different research.*, Arch. Hydrotech. 24 (1977), pp. 411-421.

Edyta Nartowska
Tomasz Kozłowski
Marta Kolankowska

Zastosowanie metody NMR do określenia wilgotności w gruntach spoistych

1. Wprowadzenie

Spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) stanowi potężne narzędzie dla nieniszczących, szybkich i odtwarzalnych badań materiałów porowatych zawierających aktywne jądra, takie jak wodór (^1H), deuter (^2H , D) i fluor (^{19}F). Aktywność ta wynika z posiadania niezerowej rotacji (spinu) i wewnętrznego momentu magnetycznego. Zarówno spin i magnetyczny moment są wektorami ułożonymi względem siebie antyrównolegle lub równolegle (gdy proton posiada niezerowy spinowy moment pędu). Technika magnetycznego rezonansu jądrowego jest powszechnie wykorzystywana w przemyśle chemicznym, polimerowym i rolno-spożywczym oraz znajduje różne zastosowania w dziedzinie badań i rozwoju, w tym geologii i nauk materiałowych [1-3]. Metoda ta znalazła również zastosowanie do badania gruntów oraz oddziaływania wody na cząstki gruntowe [3]. Autorzy nie dotarli do pracy, w której określano by wilgotność gruntów w oparciu o aplikację FID dostępną w spektrometrze minispec q20 firmy Bruker.

Wilgotność jest podstawowym parametrem fizycznym gruntów decydującym o wielu jego właściwościach inżynierskich. Istnieje wiele metod określania zawartości wody w gruncie [4, 5]. Tradycyjna metoda suszarkowo-wagowa jest czasochłonna oraz nie pozwala na ponowne użycie tej samej próbki do innych badań ze względu na fizyczne, strukturalne i chemiczne zmiany jakie zachodzą podczas suszenia próbki [6]. Wydaje się, że tylko kompleksowe badania na tej samej próbce pozwolą na otrzymanie w pełni wiarygodnych wyników. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu aplikacji FID, która oparta jest na prawach fizycznych.

Jądra wodoru posiadają niezerowy spin i wewnętrzny magnetyczny moment zorientowany równolegle lub antyrównolegle do niego. Jeżeli jądra te zostaną umieszczone w zewnętrznym polu magnetycznym B, spiny orientują się i precesują wokół zewnętrznego pola magnetycznego z częstotliwością Larmora,

która charakterystyczna jest dla każdego pierwiastka chemicznego. Oscylator generuje impulsy o częstotliwości Larmora i przekazuje je na próbkę, w wyniku czego spiny orientują się pod odpowiednim kątem do zewnętrznego pola magnetycznego B0, powodując magnetyzację M0. Po tym, jak impulsy o częstotliwości radiowej zostaną wyłączone, spiny ulegają procesowi relaksacji i powracają do stanu równowagi, a ich magnetyzacja wywołana przez impulsy zanika. Mierzony sygnał nazywany jest swobodnym zanikiem magnetyzacji (FID) [7, 8]. Według Turova i Lebeda [9] możliwe jest obliczenie procentowej zawartości wodoru, dzięki temu że protony w ciele stałym relaksują się o wiele szybciej niż protony w cieczach.

2. Charakterystyka materiału gruntowego

Głównym kryterium selekcji materiału badawczego był wybór gruntów o jak najwyższych powierzchniach właściwych. Pozwoliło to na uchwycenie nawet najmniejszych zmian masy wody i intensywności sygnału FID, jakie zachodziły w próbce. Charakterystyka badanych gruntów została przedstawiona w tabelach 1 i 2. Badaniom poddano dwa amerykańskie iły modelowe (SWy-2 naturalny sodowo-wapniowy bentonit z Wyoming i Stx-1b naturalny wapniowy bentonit z Teksasu). Trzecim badanym iłem była monojonowa (sodowa) forma bentonitu przemysłowego z fabryki w Żębcu (Z-MMT). Bentonit ten powstał w wyniku wymiany jonowej bentonitu z Jelsovego Potoku (Słowacja).

3. Procedura laboratoryjna i wyniki

Badania przeprowadzono na spektrometrze minispec mq20 firmy Bruker. Zastosowano normalne pole magnetyczne 0,47 Tesla odpowiadające częstotliwości 20 MHz. Użycie tej metody pozwoliło na szybkie, nieniszczące i nieinwazyjne pomiary, które nie wymagały specjalnego przygotowania próbek. Zgodnie z wymaganiami aparatury do badań użyto próbek gruntu o maksymalnej wysokości 1cm, które umieszczano w specjalnych szklanych probówkach.

W rezultacie przebadano 22 próbki: od 6 do 8 próbek dla każdego gruntu o możliwie różnej zawartości wody.

Procedura laboratoryjna obejmowała następujące kroki:

1. Nasycenie proszków gruntowych wodą (przebywanie nad eksykatorem z 10% H_2SO_4 przez 14 dni). Dzięki temu wszystkie próbki danego gruntu miały taką samą wilgotność.
2. Próbki o określonej wilgotności i różnej masie użyto do badań intensywności sygnału Free Induction Decay (FID) przy użyciu spektrometru minispec mq20.
3. Suszenie próbek w temperaturze 105°C przez 24 godziny w celu określenia masy wody w każdej próbce.
4. Stworzenie krzywej zależności pomiędzy intensywnością sygnału FID a masą wody dla każdego gruntu (rys. 1-3).
5. Na podstawie wyników otrzymanych z badania 22 próbek trzech różnych gruntów stworzono jedną liniową krzywą zależności gruntów pomiędzy intensywnością sygnału FID a masą wody o wysokim współczynniku determinacji ($R^2 = 0,97$) (rys. 4).

Krzywa (rys. 4) może być użyta do określenia masy wody obecnej w próbkach gruntów spoistych na podstawie intensywności sygnału FID. Wilgotność można obliczyć ze wzoru (1).

4. Wnioski

1. Krzywa zależności intensywności sygnału FID od masy wody obecnej w próbkach gruntowych może być wykorzystana do określenia wilgotności w każdym gruncie spoistym o znanej masie (przy zachowaniu wysokości próbki do 1 cm).
2. Określenie wilgotności w próbkach gruntów przy użyciu aparatury NMR stanowi szybką, odtwarzalną i nieniszczącą alternatywę dla standardowej metody suszarkowo-wagowej.
3. Zastosowanie techniki NMR do określenia wilgotności w gruntach pozwala na ponowne użycie próbki do innych testów NMR bez zmian fizykochemicznych w próbce.

INDOOR AIR QUALITY IN COMPUTER LABS

Abstract

The article presents the results of indoor air quality measurements in three university computer labs. In the spaces concerned natural ventilation system has been applied. The obtained results indicate a very low air quality in this type of room.

Keywords: building physics, ventilation, air exchange, indoor air quality, CO₂ concentration

1. Introduction

The university buildings are objects even several decades old. Only a small percentage of those buildings located in Poland is equipped with a mechanical ventilation system with adjustable microclimate parameters. The standard solution in such buildings is a system of natural ventilation.

The poor financial situation of universities meant that managers are looking for solutions that reduce operating costs. The heating is one of the main items in the cost of building maintenance. Most simple and most effective solution to this problem is to increase the thermal insulation of the building envelope. Carrying out some modernization work without the organization of the air exchange has a negative effect on the microclimate inside these objects [1, 2, 3]. In the article the problem of what was contacted while conducting research on the microclimate in the university computer labs subjected to thermal modernization is presented.

The [4] sets out general requirements for ventilation. The standards [5, 6] are given, inter alia acceptable tightness of opening windows. These data is very important for new buildings, but also renovated and modernized. Usually thermomodernization works are very complex and include works from several areas of the building. In accordance with applicable regulations [7] some work can be carried out without the need for facility owners or license agreements. The requirements contained in the provisions [5] apply to new facilities, which results from the application of the standard.

Equipment in the tested rooms is characteristic. More than a dozen computers in a small laboratory also has a large impact on the parameters of the

microclimate. The result is usually disturbances in the operation of natural ventilation and the deterioration of the internal microclimate.

2. Carbon dioxide as the indicator of air quality

The relationship between the quantity of ventilating air and the concentration of carbon dioxide inside rooms has for years been recognized and applied as criterion of air quality valuation. The frequent occurrence of carbon dioxide in typical conditions is not dangerous. This non – toxic gas can only cause the feeling of smaller or larger air stuffiness. One usually observes the growth of CO₂ concentration in the air coming from external and internal sources in closed rooms. First of all, it penetrates to the room from the outside by means of air infiltration through untightness in the lining of the building. The growing degree of industrialization causes that the level of carbon dioxide concentration in the atmosphere constantly grows. At present its value hesitates between 400 – 600 ppm. Alive organisms and gas devices are the source of carbon dioxide inside the rooms. Its concentration depends on organism activity and may vary for individual people due to their diet, the mass of the body and the condition of the whole organism. It is obvious that the concentration of carbon dioxide depends on the number of people inside the room, not sufficient air exchange (the fall of the content of oxygen in the air) and intensification of combustion processes in the room (e.g.: smoking tobacco, preparing meals). That is why, carbon dioxide was chosen for the qualification of the microclimate quality inside considered flats.

The boarder value of carbon dioxide concentration for which the lack of harmful working bets on the man 8500 ppm according to Hodgson. The present standards for the internal air assume the admissible level of carbon dioxide concentration on the level of 1000 ppm. This coefficient was proposed by Max von Pettenkofer in the nineteenth century [8].

Table 1. The influence of carbon dioxide on human organisms [9]

No.	Concentration of CO ₂ in the air, ppm	The symptoms
1.	300 ÷ 450	Dry external air
2.	1000	Basis for the qualification of most standards concerning the quantity of ventilating air for a single person
3.	1550 ÷ 500	The growing feeling of stuffiness
4.	5000	Limitations concerning working posts
5.	7000 ÷ 10000	The growth of breathing capacity
6.	15000	The appearance of metabolic stress
7.	20000	The increased frequency of breathing and headaches
8.	40000 ÷ 52000	CO ₂ concentration in the air breathing out from the lungs
10.	60000 ÷ 80000	The possibility of partial paralysis
11.	> 80000	Losing of consciousness in a few minutes

Table 2. Emission of carbon dioxide for different levels of activity [9]

A type of activity	Emission of CO ₂ , dm ³ /h
Dream (motionless recumbent position)	10 ÷ 12
Sitting position (without doing any work)	12 ÷ 15
Sitting posture – easy office works	18 ÷ 25
Doing work of average difficulty	32 ÷ 44
Doing hard work	>55

The applicable Polish regulations do not specify maximum concentration of carbon dioxide in the premises of residential and public buildings. However, in standard [9] categories of indoor air according to the concentration of CO₂ are defined (Table 3).

Current standards for indoor air quality indicate an acceptable level of CO₂ concentration. It equals 1000 ppm [11, 12]. It is a minimum hygienic requirement. In the standard [10] this value corresponds to moderate indoor air quality. The author concluded that value as the maximum recommended.

Table 3. Classification indoor air quality for rooms with low emission of pollutants and non-smoking by [10]

Category	Description of indoor air quality	Increase of CO ₂ concentration in relation to the outside air, ppm	The volume flow of outside air, m ³ /h
IDA 1	High	< 400	< 54
IDA 2	Average	400 ÷ 600	36 ÷ 54
IDA 3	Moderate	600 ÷ 1000	22 ÷ 36
IDA 4	Low	> 1000	> 22

3. The subject of research

The testes were conducted in 5-storey buildings constructed in masonry technology. External walls were insulated with 15 cm thick foamed polystyrene with thin coat render. Roofs and roof spaces were insulated with 20 cm mineral wool. The buildings had ducted ventilation systems. The researches were performed in the period between October 2014 and February 2015 at the outside air temperature of -12°C÷+10°C and relative humidity in the range of 45%÷96%. Carbon dioxide concentration in atmospheric air was 470÷730 ppm by volume. Wind velocity reached the values from 0.00 to 6.10 m/s.

During the measurements registration of basic microclimate factors were carried out: the concentration of CO₂, temperature and relative humidity. The parameters were measured for three months in a two-week period at an interval of 30 minutes. Three series of measurements for each computer lab were done. Daily averages values of the external air in the course of the study are presented in Table 4.

Table 4. The average daily value of external air parameters during the measurement

Parameter	October	December	February
Temperature [°C]	8 ÷ 21	0 ÷ 9	- 2 ÷ 7
Relative humidity [%]	58 ÷ 92	70 ÷ 96	73 ÷ 86
Atmospheric pressure [hPa]	1002 ÷ 1026	998 ÷ 1029	1005 ÷ 1023
CO ₂ concentration	403 ÷ 416	429 ÷ 441	460 ÷ 486

4. Results of measurements

In all labs the variation of microclimate parameters were made according to the same scheme. The values of the measured parameters (CO₂ concentration, internal temperature and relative humidity) have been rising since the start activities and soon reached maximum values. After complete leaving the premises, these values decreased slowly again to the minimum value (Fig. 1).

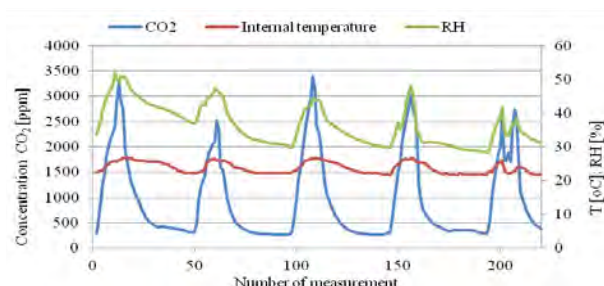


Fig. 1. Weekly diagram of indoor air parameters for a series of measurements in the selected computer labs

In all the surveyed laboratories the indoor temperature has exceeded temperature of thermal comfort. The maximum temperature was in the laboratory No. 3 and amounted to 32.7°C. It should be noted that it was during a sunny day in a room on the southern side. In other cases, the maximum temperatures were in the range of 29.6°C to 32.7°C. Temperatures lower than 20°C were reported rarely while using the computer labs. It was only after extensive and long term (over 30 minutes) weathering. The lowest values of the internal temperature were recorded at night or in the morning and they ranged from 19.6°C to 21.5°C. Minimum and maximum values for individual labs are shown in Figures 2-4.

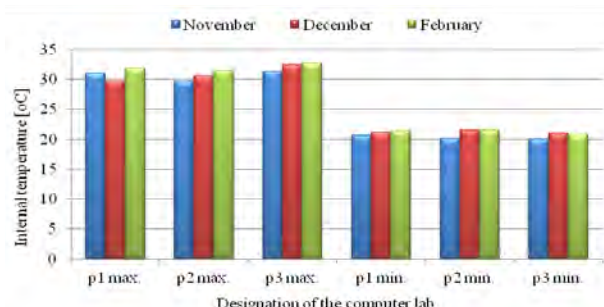


Fig. 2. The minimum and maximum values of the internal temperature in the computer labs

When the computer labs were used relative humidity were between 30.4% to 36.5% (Fig. 3). They were lower than the recommended 40%. When labs were being used relatively large and fast increases in relative humidity were reported. However, they did not exceed the maximum allowable values for thermal comfort, recommended in [13].

The lowest values of CO₂ concentration were recorded at night or early in the morning. They ranged from 474 ppm to 526 ppm. The values do not exceed the recommended 1000 ppm. During the day the CO₂ concentration increased rapidly to the maximum. Maximum values exceed even 3000 ppm. The characteristic small declines in the value of the carbon

dioxide concentration during the day (Fig. 4) is the result of short rooms weathering. It did not have a major impact on improving the indoor air quality. It improved the internal air quality only for a moment (Fig. 1).

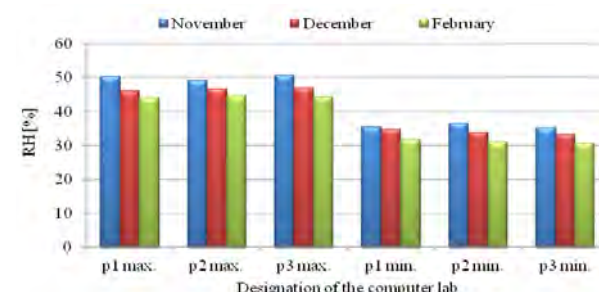


Fig. 3. The minimum and maximum values of the relative humidity in the computer labs

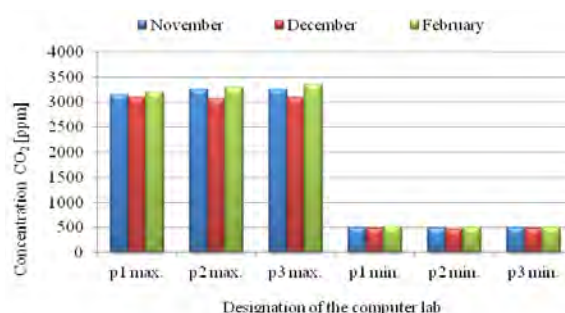


Fig. 4. The minimum and maximum values of CO₂ concentration in the computer labs

5. Summary

Conducted research indicates that indoor air quality in the studied computer labs is very low. All IAQ parameters do not meet the current standard requirements. The values of CO₂ concentration exceed and even triple the maximum recommended values. Even though the reported levels were temporary, they occurred at all times using the labs were in use. The measurement results qualify all test computer laboratories to the IDA 4 category of air quality according to EN 13779: 2008. It is the result of a low capacity of natural ventilation during spaces use. It is also the result of the inability to control the ventilation system (increased efficiency over time).

References

- [1] Piotrowski J., Telejko M., Zender-Świercz E.: *The impact of the building tightness for the distribution ventilation air*, Energy and building, 7 (2010), pp. 23-25.
- [2] Telejko M., Piotrowski J.Z.: *Disturbances of air exchange in the building following Renovation*, Building Physics in theory and practice, Łódź-Słok 2007, pp. 291-296.
- [3] Nowakowski E.: *Problems with gravitational ventilation in rooms*, Installing Market, 9, 2002 (In polish).

- [4] Minister of infrastructure in the matter of technical conditions that buildings and their location should answer. (Dz.U. Nr 75, poz. 690 with latest changes) (In polish).
- [5] PN-83/B-03430 – Ventilation in habitable buildings of collective and public usefulness. Requirements (In polish).
- [6] PN – 83/B – 03430:Az3:2000 – Ventilation in habitable buildings of collective and public usefulness. Requirements (The sheet of changes Az3) (In polish).
- [7] Construction law (Dz.U. Nr 207, poz. 2016 with latest changes) (In polish).
- [8] Nantka M.B.: *Ventilation in general construction – the review, working, problems and myths*, Materials of Installing Forum, Poznan, 2004 (In polish).
- [9] Sowa J.: *Migration process of the contamination in conditions of stochastic disturbances*. Doctor's thesis, Department of environmental, Technical University in Warsaw, 1995 (In polish).
- [10] PN-EN 13779:2008 Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems, PKN 2008, (In polish).
- [11] ASHRAE 62-1989 Ventilation for acceptable Indoor Air Quality.
- [12] WHO Regional Office for Europe, Air Quality Guidelines for Europe, SE 2000, Copenhagen, European Series, No. 91, 2000.
- [13] EN ISO 7730:2006, Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, PKN 2006 (In polish).

Marek Telejko

Jakość powietrza wewnętrznego w pracowniach komputerowych

1. Wstęp

Budynki, w których mieszczą się uczelnie wyższe to obiekty nawet kilkudziesięcioletnie, wyposażone w system wentylacji grawitacyjnej. Tylko niektóre posiadają wentylację mechaniczną. W artykule przedstawiono wyniki badań typowych parametrów opisujących mikroklimat w laboratoriach komputerowych obiektów poddanych termomodernizacji.

2. Poziom CO₂ jako wskaźnik jakości powietrza

Zależność między jakością powietrza wentylacyjnego a stężeniem dwutlenku węgla w pomieszczeniach od lat stanowiła kryterium oceny jakości powietrza. Generalnie w typowych warunkach stężenie tego gazu nie stanowi niebezpieczeństwa. Jest on nietoksyczny i może prowadzić do uczucia większej bądź mniejszej duszności. W zamkniętych pomieszczeniach obserwuje się wzrost jego stężenia zarówno ze źródeł zewnętrznych, jak i wewnętrznych.

3. Przedmiot badań

Badaniom poddano laboratoria komputerowe w budynku uczelni wyższej o konstrukcji tradycyjnej. Występujące w takich obiektach pracownie komputerowe charakteryzują się dość specyficznym mikroklimatem. Wynika to głównie z niewłaściwej

organizacji wymiany powietrza, ale również ma to związek z wyposażeniem takich pracowni. Badania obejmowały pomiary stężenia dwutlenku węgla, temperatury wewnętrznej i wilgotności względnej.

4. Wyniki badań

We wszystkich analizowanych pomieszczeniach przebieg zmienności parametrów mikroklimatu odbywał się według tego samego schematu. Wartości mierzonych parametrów wzrastały od momentu rozpoczęcia zajęć i w krótkim czasie osiągały wartości maksymalne. Po całkowitym opuszczeniu pomieszczeń wartości te powoli spadały, aby uzyskać ponownie wartości minimalne. Najniższe wartości stężenia dwutlenku węgla odnotowano w nocy i wynosiły one od 474 ppm do 526 ppm. W trakcie użytkowania pomieszczeń stężenie CO₂ wzrastało szybko do wartości maksymalnych. Maksymalne wartości przekraczały nawet 3000 ppm.

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują, że jakość powietrza wewnętrznego w badanych pracowniach komputerowych jest bardzo niska. Wszystkie mierzone parametry IAQ nie spełniają aktualnych wymagań normowych. Zmierzone wartości stężenia

CO₂ przekraczały nawet trzykrotnie maksymalne wartości zalecane. Pomimo że odnotowane wartości przekroczeń miały charakter chwilowy, to jednak występowały one przez cały okres użytkowania pomieszczeń. Wyniki pomiarów kwalifikują wszystkie badane sale do kategorii IDA 4 jakości powietrza wg PN-EN 13779:2008. Jest to wynikiem niewystarczającej wydajności zastosowanej wentylacji grawitacyjnej w czasie użytkowania pomieszczeń. Wynika to również z braku możliwości sterowania systemem wentylacji (okresowego zwiększenia wydajności).

MARIA NOWAK (Font size 10 pt Times New Roman)
Kielce University of Technology
e-mail: mmmm@tu.kielce.pl

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT (Font size 14 pt Times New Roman)

Abstract

*The abstract should not exceed 10 lines. It should provide information about the objectives of the work, methods used and test results obtained in the course of the experiments/analyses.
(Font size 10 pt Times New Roman Italic)*

Keywords: phrases, words (Font size 10 pt Times New Roman)

1. Introduction

The introduction should present the background of the work (font size 11 pt Times New Roman).

2. Main text

2.1. General information

The paper volume should not exceed 8 pages of A4 size with font size of 11 pt (Times New Roman). The number in square brackets [1] should be used for quotations. The paper should be sent by email to sae@tu.kielce.pl. The papers in the journal are reviewed.

2.2. Figures

Figures (in black and white or colour) should be of good quality and numbered with the sequence of their appearance in the text. They should be centered and have a caption of 10 pt size. High resolution files *.JPG, *.WMF, *.CDR, *.TIFF, *.EPS, *.BMP files should be used and inserted into the text as well as sent as separate files. 10 pt spacing should be left between the figure and the text.

2.3. Tables

Tables should be centered. Titles should be placed above the tables and written with font size of 10 pt (Times New Roman). The same applies to the text in the table (see example below).

Table 1. Title of the table.

No	table	table	table
1	table	table	table
2	table	table	table
3	table	table	table

2.4. Equations

Equations and formulas should be centered and numbered in brackets. 11 pt spacing should be left between the equation and the text above and below it.

3. Conclusions

References (arranged in the citing order):

- [1] Nowak M.: *Modelowanie konstrukcyjne (Structural modelling)*. Postępy Technologiczne 10 (2000), pp. 30-34.
 - [2] Zarylski R.: *Pomiary dynamiczne (Dynamic measurements)*. WNT, Warszawa 1971.
- (Font size 10 pt Times New Roman)

Maria Nowak

Tytuł w języku polskim

1. Wprowadzenie

2. Tekst artykułu

Tekst w języku polskim ma odpowiadać swoim układem wersji angielskiej, może być skrócony. Nie powinien zawierać tabel, rysunków, wzorów, a jedynie odniesienie do tych, które znajdują się w wersji angielskiej. Objętość artykułu nie powinna przekraczać 8 stron czcionką 11 (Times New Roman). Bibliografię należy umieszczać w nawiasie kwadratowym [1] i numerować w kolejności alfabetycznej. Artykuły należy przesłać na adres sae@tu.kielce.pl. Artykuły są recenzowane.

3. Wnioski

THE REVIEW PROCESS

The following requirements need to be met by the paper:

- the title should reflect the content of the paper
- the content should be within the thematic scope of the journal
- the paper should be properly and clearly divided into paragraphs
- original elements need to be part of the paper
- the research method should be properly selected
- adequate references need to be cited
- interpretation and conclusions should match the presented test results
- the paper should not contain parts indicating commercial use

The reviewers:

A. Bartosik, R. Chatys, R. Dachowski, O. Moroz, L. Lichołai,
Z. Rymarczyk, V. Sidorov, Z. Tartachynska, A. Zwierzchowska

