

STRUCTURE AND ENVIRONMENT

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND ENERGY

No. 3/2016 vol. 8 PL ISSN 2081-1500 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents

structure

MICHAIL VASILEVICH NEMCHINOV, ANNA GENNADIEVNA VASILYeva

- WAY TO REDUCE SUBGRADE IN HIGHWAY CONSTRUCTION** 147

ANNA KOTWA, EDYTA SPYCHAŁ

- THE INFLUENCE OF CELLULOSE ETHERS ON THE CHOSEN PROPERTIES OF CEMENT MORTAR IN THE PLASTIC STATE** 153

URSZULA PAWLAK, MICHAŁ SZCZECINA

- TEIGENVALUE PROBLEMS IN STABILITY OF INDUSTRIAL STEEL BUILDING WITH A HANDLING SYSTEM** 160

JOANNA GIL-MASTALERZYK

- SACRED ARCHITECTURE AFTER ADMINISTRATION REFORM OF CHURCH IN POLAND** 168

environment

EDYTA NARTOWSKA, TOMASZ KOZŁOWSKI, MARTA KOLANKOWSKA

- FID SIGNAL INTENSITY IN THE NMR STUDIES OF COHESIVE SOILS AT THE POSITIVE TEMPERATURE RANGE** 179

JOLANTA LATOSIŃSKA

- THE TRANSFER COEFFICIENT OF HEAVY METALS FROM THE INPUT SEWAGE SLUDGE TO THE ASH** 183

ŁUKASZ BĄK, JAROSŁAW GAWDZIK, JOANNA MUSZYŃSKA, MARTA BRYK

- EFFECT OF SEWAGE SLUDGE DIGESTION ON THE MOBILITY OF HEAVY METALS ON THE EXAMPLE
OF THE WASTEWATER TREATMENT PLANT IN SITKÓWKA-NOWINY** 189

LIDIA KOWALCZYK, KAROL KRAWCZYK, AGNIESZKA MAKUCH, JAKUB MOSIOŁEK, BARTOSZ PIŚKIEWICZ,
MICHAŁ PLUTA, AGATA PROBOSZCZ, JACEK SZEWczyk, KAROLINA ŚWIDZICKA, ANNA WIRECKA

- STUDY OF THE CONDITION OF THE SELECTED UNDERGROUND CAVES IN KADZIELNIA AREA, KIELCE** 197

HANNA V. KOSHLAK, ANATOLIY PAVLENKO, JERZY ZB. PIOTROWSKI

- THE ENERGY PARAMETERS OF FORMATION OF THE POROUS STRUCTURE** 206

- HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT** 211

- THE REVIEW PROCESS** 212

EDITORIAL BOARD

Main Editor Jerzy Z. Piotrowski

Editor Radosław Zaborek

Secretary of the Editorial Board Łukasz J. 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), Michał V. Nemchinov (Russia),
Zdzisława Owiak, Victor Proskuriakow, Zbigniew Rusin, Waclaw Seruga, Małgorzata Wilczkiewicz (USA)

ENVIRONMENT

Chairmanship Tomasz Kozłowski

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

Photos on the cover Kukulkan at Chichen Itza, back cover Acapulco Mexico — author Jerzy Z. Piotrowski

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, 2016

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

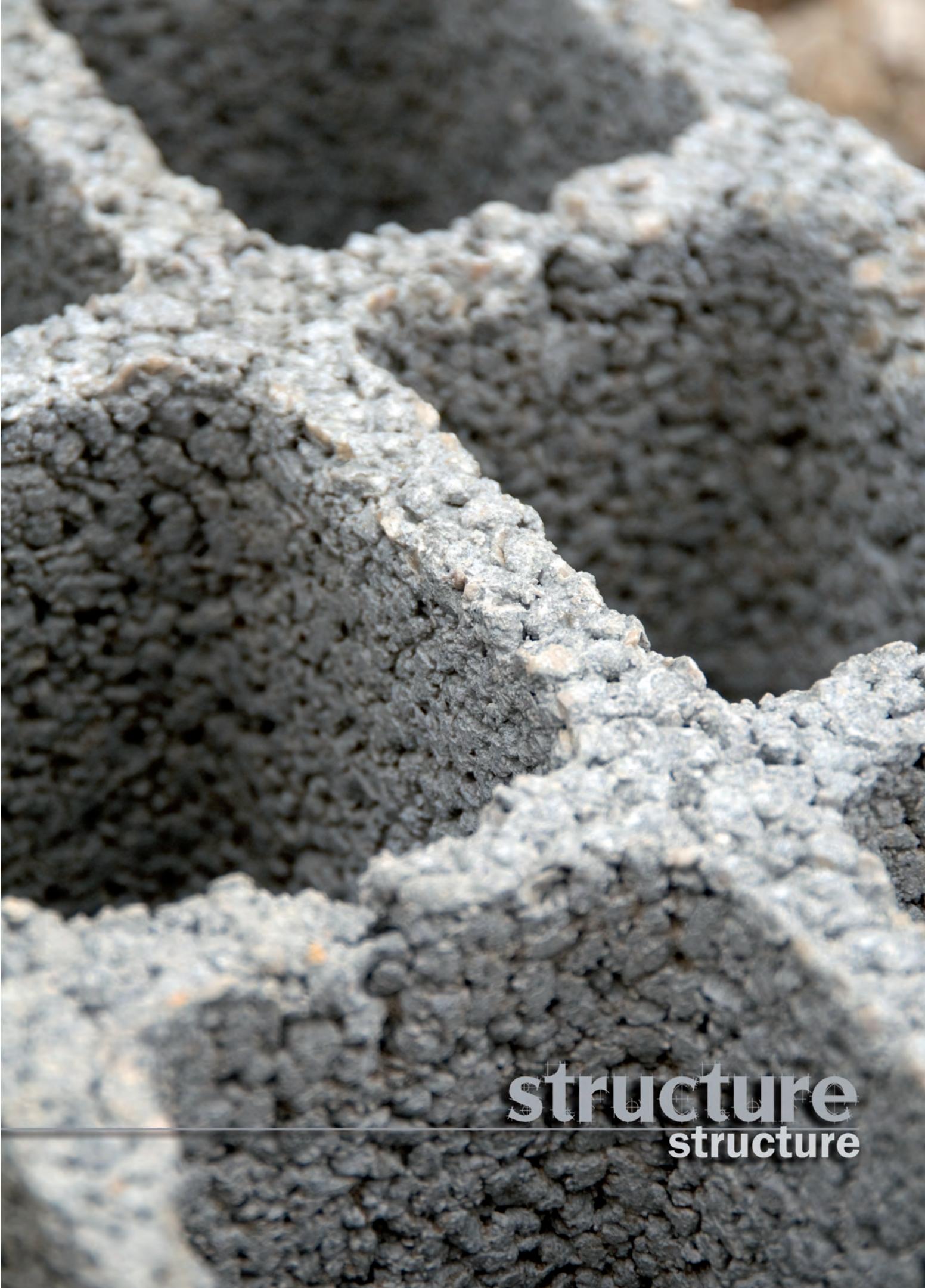
tel. 41 34 24 581

www.wydawnictwo.tu.kielce.pl



Kielce University of Technology

2016



structure
structure

MICHAIL VASILEVICH NEMCHINOV¹

ANNA GENNADIEVNA VASILEVA²

MADI, 64, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russia

¹e-mail: uchsovet@madi.ru

²e-mail: vasileva@gmail.com

WAY TO REDUCE SUBGRADE IN HIGHWAY CONSTRUCTION

Abstract

There is formulated the element of minimum of land works in road construction. For it is suggested new method to construct road pipes and new method of their hydraulic design.

Keywords: subgrade, soil volumes, pipe, flow, width, depth, water discharge

1. Introduction

Lack of land for the layout of traffic installations and soil for the construction of roadbeds has become in many ways a primary and dire problem preventing construction of new highways. It can put off the construction works for a long time, sometimes even years.

2. Main text

The issue of gradual, inconspicuous switch to universal planning of highways on embankments has already been discussed before [1]. This switch has not been recorded in any regulations, but it seems that roads constructed at ground level have somehow vanished from said regulations. Already in the Highway Planning manual for engineers [2] this cross section type is mentioned (and only on a diagram – see Fig. 1), but only once, and subsequent regulations do not touch upon it.

In the Highway Cross Section Design Principles section of the book it is said that “the general optimality criterion in planning the formation line of a highway cross section can be determined as”:

$$\text{Exp}_t = C_0^{\text{rb}} + C_0^{\text{mi}} + C_0^{\text{str}} + C_0^{\text{la}} + C_0^{\text{p}} + \sum_{T=1}^T \frac{1}{(1+Ed)^T} \cdot (E_e^{\text{sn}} + E_e^{\text{tr}} + E_e^{\text{t}} + E_e^{\text{a}}) \quad (1)$$

Where: Exp_t = total expenses for the target period (T); C_0 = cost of, respectively; rb = roadbed; mi = man-made installations; str = strengthening constructions; la = land appropriated for the highway construction; p = paving; E_e^{sn} , E_e^{tr} = annual snow defense and transportation expenses respectively; E_e^{t} , E_e^{a} = financial losses caused by the passenger time loss and road traffic accidents respectively; Ed = discounting coefficient.

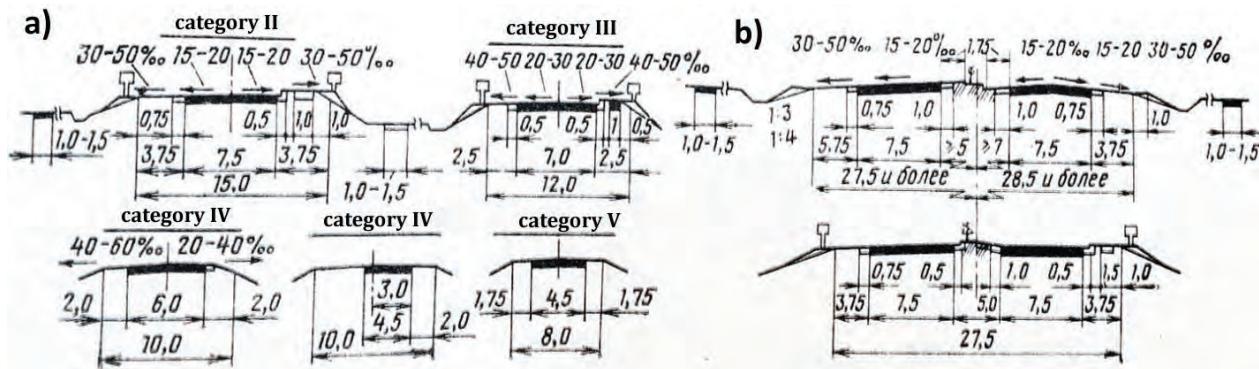


Fig. 1. Highway cross-sections: a) categories II – V; b) category I

In the equation (1):

$$K_0^{rb} = \sum_{i=1}^n q_i V_i$$

$$K_0^{str} = \sum_{i=1}^n k_i^{str} \left(l_i^{sl} + l_{i+1}^{sl} \right) \cdot \frac{l_i}{2}$$

$$K_0^{la} = \sum_{i=1}^n k_i^{la} \left(\frac{[W_i + W_{i+1}]}{2} + 2 \right) \cdot l_i$$

Where: q_i = grading unit cost on the i^{th} section of the cross section; V_i = cross sectional volume of the i^{th} section of the roadbed; k_i^{str} = strengthening unit cost; l_i^{sl}, l_{i+1}^{sl} = lengths of the cross slope parts in the i^{th} and $i+1^{\text{th}}$ sections that need to be strengthened; l_i = length of the i^{th} section; k_i^{la} = land appropriation unit cost for the i^{th} section; W_i, W_{i+1} = combined width of all the elements of the roadbed on the i^{th} and $i+1^{\text{th}}$ sections (summand 2 means that the uniform appropriation includes an additional meter of land to each edge of the roadbed). K_0^{mi} element is a cost function of the construction of the box culvert portal and body.

From the analysis of these equations we can see that the main factors contributing to a possible rise in expenses (which should be avoided) are: roadbed construction cost, man-made installations cost, strengthening units cost, land appropriation cost, annual snow defense cost and partially road traffic accidents losses. All these components correspond directly to the elevation (working) point of the traffic-bearing surface. This includes losses caused by accidents with vehicles driving off the road. The remaining components (paving cost, annual transportation cost and passenger time loss) are not affected by the elevation level of the formation line of the cross section.

All the former costs will naturally be minimized by the roadbed be constructed on the ground level.

It should also be mentioned that cutting down (but not eliminating!) embankment construction will considerably lower or eliminate completely the demand for soil excavation works, building of temporary soil transfer tracks, lessen the environmental pressure at the time of construction, prevent 'road fragmenting' (i.e. cutting into nature isolated parts) of the areas of the country. The issue of snow defense on highways should be given special consideration in a separate study.

Automatically controlled highway cross section planning is based on the location of reference fixed points [2, 3], a type of which is the minimum level of the roadbed elevation over the small-scale culverts. In the flat land with shallow washes and stream beds of small regular and, more importantly, irregular

streams employment of the usual culverts leads to the unnecessary elevation of the formation line and as a result to the construction of embankments where a formation line could be laid out at the ground level. Eventually it raises the cost of the roadbed, increases the land demand, terrain fragmentation and environmental disasters.

The reference point of the cross section derives from the sum of the height (diameter) of the pipe culvert and the minimal acceptable layer of soil fill above it. The minimal bore diameter of a pipe culvert is 1 meter; the minimal layer of soil fills - 0.5 meters. Hence the minimal level of the embankment is 1.5 meters and with the required leveling of the side slopes it goes up to 2 meters.

One of the main reasons for raising the reference points is the stream narrowing principle employed at the hydraulic design of the highway culvert pipes. It means that the pipe opening of the culvert is considerably smaller than the width of the river bed. The stream narrows and its nature depth increases. The flow velocity increases also that it needs the construction of river bed protection. Pipe carrying capacity secures by increase of height pipe (diameter of pipe). But this culvert design principle makes it impossible to minimize (to the ground level of neighboring terrain) the embankment level of the small-scale washes or stream beds.

There is only one way to lower embankments of the small-scale stream beds I is a refusal from stream narrowing principle in the hydraulic design of road pipes and to use the stream widening principle. But it would change the flow before and behind the water pipe.

So, before we turn to the design of the culvert let us first examine the flow of water before it enters the portal of the culvert and inside of it.

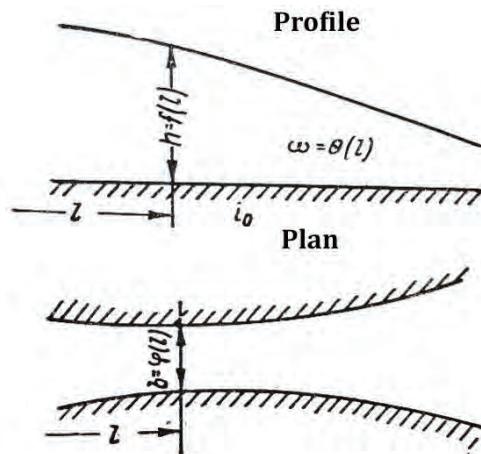


Fig. 2. Plan and cross section of a widening water stream

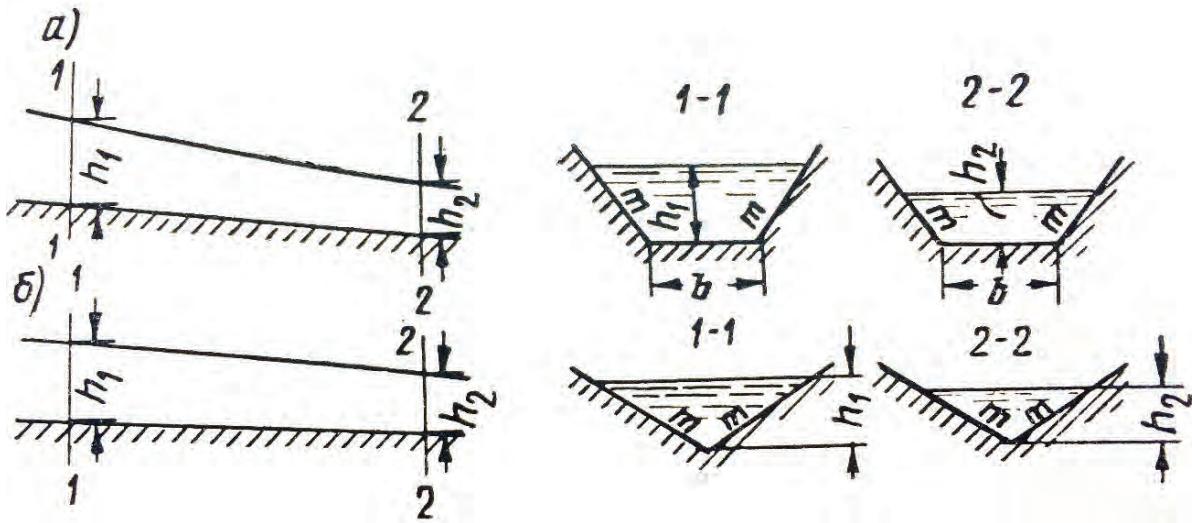


Fig. 3. Types of (prismatic) cross sections of ravines and river beds entering small-scale culverts

The changing of the width and depth of the flow (Fig. 2), when water discharge is constant, is making a flow by irregular.

By changing these characteristics we will change free flow cross-section area. As a rule cross sections of ravines and river beds are non-prismatic (their banks are more softly shaped), but we shall examine prismatic trapezium- and triangle-shaped cross sections (Fig. 3) that simulate reality well enough.

The water flow in these streams can be defined by the equation (at zero slope):

$$\frac{dh}{dl} = \left(i_o - \frac{Q^2}{\omega^2 \cdot C^2 \cdot R} \right) / \left(1 - \left[\frac{\alpha \cdot Q^2}{g} \right] \left[\frac{W}{\omega^3} \right] \right) \quad (2)$$

where: h = depth of the stream; l = length of the stream bed under examination; Q = flow rate; ω = square area of the water cross section; C = Chezy's velocity factor; R = hydraulic radius of the stream, $R = \omega / \chi$; g = gravitational acceleration; α = coefficient (velocity factor); χ = wetted perimeter of the water cross section.

Specific energy E in the cross section is a continuous function of the depth h of the stream and has minimum when its depth is critical – h_{cr} :

$$\alpha \cdot Q^2 / g = \omega_{cr}^3 / W_{cr} \quad (3)$$

where: ω_{cr} = square of free cross section at the critical depth; W_{cr} = width of the stream at the free water level at the critical depth.

The diagram, depicted on Figure 4 illustrates changes in the stream energy in relation to the change of depth. If the depth exceeds h_{cr} specific energy of the stream increases ($dE/dh > 0$), if it becomes less than h_{cr} specific energy of the stream decreases ($dE/dh < 0$).

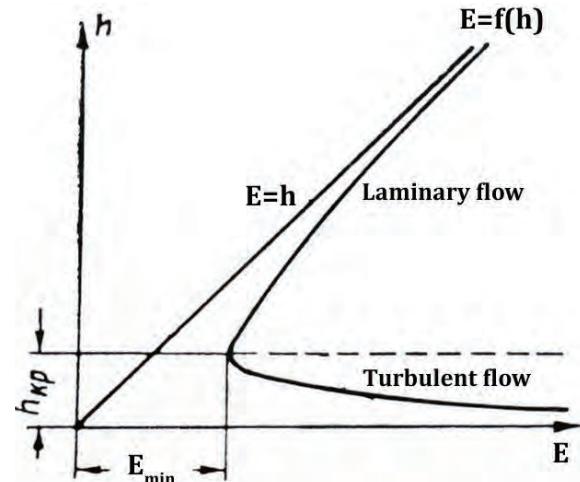


Fig. 4. Specific energy change at the cross section E in relation to the depth of the stream h ; h = depth of the stream, h_{cr} = critical depth.

If the depth of the stream exceeds the critical depth the flow is considered laminar, otherwise – turbulent. The minimal energy critical width (as well as the depth) of the stream can be calculated with the equation

$$(\alpha \cdot Q^2 / g) (W_{cr} / \omega_{cr}^3) = 1 \quad (4)$$

The product of this equation is referred to as the kinetic factor P_k . It can also be defined as $P_k = 2(\alpha \cdot v^2 / 2g) / h_{av}$. The kinetic factor, hence, is the ratio of the doubled specific kinetic energy to the average depth. In the case of a two-dimensional rectangular section problem average depth h_{cp} equals the stream depth h . Then

$$P_k = 2 (\alpha \cdot v^2 / 2g) / h = \alpha \cdot v^2 / gh = Fr \quad (5)$$

Therefore the average Froude number (Fr) defines the ratio of the doubled kinetic energy to the specific

cross section potential energy. After the insertion of the kinetic factor to the equations 4 and 5 they can be rewritten as (at zero slope)

$$dh/dl = (i_0 - Q^2/K^2)/(1 - P_k) \quad (6)$$

where: $K = \omega \cdot C \sqrt{R}$, the discharge characteristic at the stream depth h .

While the flow rate Q remains constant, the values of the variables K and P_k in the right hand side of the equation (6) depend only on the characteristics of the water cross section: ω , W , R , C , which in their turn are functions of the stream depth h . Hence we can pick the value of the stream depth so that the numerator on the right-hand side of the equation (6) becomes zero.

As the width of the stream grows and its depth decreases the hydraulic grade line shifts too. This process deserves our utmost attention. The unevenly smoothly changing flow of water in the open non-prismatic riverbed is defined by the equation [4]

$$dE/dl = dh/dl - (\alpha Q^2/g\omega^3)(W dh/dl + \delta\omega/dl) \quad (7)$$

which for the prismatic riverbed can be extended to the function

$$\begin{aligned} dh/dl - (\alpha Q^2/g)(W/\omega^3)dh/dl + \\ + (Q^2/2g\omega^2)(\delta\alpha/\delta h) \cdot dh/dl = i_0 - Q^2/\omega^2 C^2 R \end{aligned}$$

According to [4] $\delta\alpha/\delta h$ in this equation with some bogey value

$$\delta\alpha/\delta h = (\alpha_2 - \alpha_1)/(h_2 - h_1) = a = \text{const}$$

We get

$$dh/dl = (i_0 - Q^2/K^2)/(1 - P_k + \alpha Q^2/2g\omega^2) \quad (8)$$

The curve of the hydraulic grade line of the widening stream with a constant flow rate can be calculated with the Chézy formula

$$Q = \omega C \cdot \sqrt{Ri} \quad (9)$$

The depth of the stream after some transformations of the equation (9) [4] can be defined by the formula

$$h = \sqrt[3]{(Q^2/W^2 C^2 i)} = (n^2 Q^2/W^2 i)^{1/3} \quad (10)$$

where: W = the width of the stream at the cross section under examination; n = river bed hydraulic roughness coefficient (table 1); i = longitudinal slope of the riverbed at the section under examination; C = Chézy coefficient, roughly defined by the Manning formula as $C = h^{1/6}/n$.

Let us use equation (10) and make graphs of the change in depth and velocity of the widening water flow (Fig. 5, 6) at the water area before a pipe. The width of the flow (initially) is 1 m, the width of the following sections is 2.0, 3.0, and 4.0 m as shown on Figures 5 and 6. The roughness (n) and slope (i) of the riverbed remain constant (0.02 and 0.01 respectively).

$$h^{5/3} = Q n / W i^{1/2}; \quad C = h^{1/6} / n; \quad v = C (R i)^{1/2} = 5 h^{2/3}$$

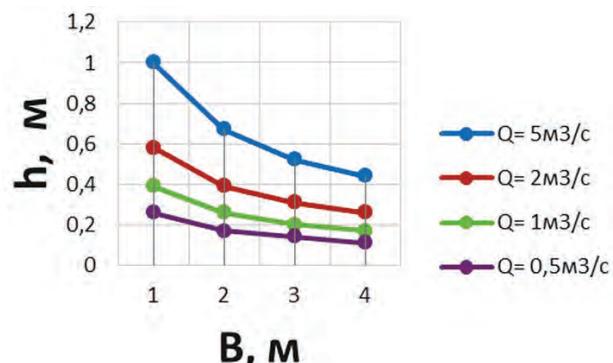


Fig. 5. Change of the depth of the flow as it widens

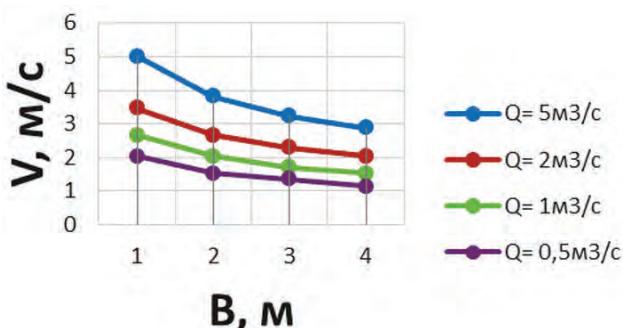


Fig. 6. Change of the velocity of the flow as it widens

The graphs show a sharp fall in the depth and velocity of the flow. In the majority of cases dry creeks have gentle slopes covered with grass, sometimes with a soil riverbed. During a flood the water flow may transport a lot of polluting particles such as dry branches and bottom sediments that can clutter the portal of the pipe.

Bottom sediments in the flow are influenced by two forces, fluid resistance (drag) and lift. Subject to these forces the particles move along the flow and rise to the surface. Drag and lift forces depend on the flow velocity, particles' size (d), density and viscosity of the liquid (ρ and v respectively). According to M.A. Velikanov [4] drag force F can be described as

$$F = k_1 \cdot \rho \cdot d \cdot v^2,$$

lift force S as

$$S = k_2 \cdot \rho \cdot d^2 \cdot v^2,$$

where k_1 and k_2 are coefficients of the drag and lift forces calculated experimentally with regard to the liquid viscosity μ and dynamic velocity v_d . Dynamic velocity is defined as the minimum value of the bottom velocity (v_{bot}) that initiates movement of the separate particles of soil, so that it becomes the starting velocity. For loose soil with particles sized from 0.1 to 5 mm the starting velocity can be calculated using the equation [4]:

$$v_d = \sqrt{15 + 6/d} \cdot \sqrt{gd} = a_d \sqrt{gd} \quad (11)$$

where: d = diameter of the load particles, mm; $a_d = 15 + 6/d$.

Eventually the drag force can be calculated using the formula

$$F = \rho \cdot \lambda \cdot v_{bottom}^2 / 8\xi^2 \quad (12)$$

where: v_{bottom} = flow bottom velocity; ξ = relative velocity, $\xi = v_{bottom} / v$; λ = Darcy coefficient.

According to M.A. Velikanov, A.I. Losievsky, M.A. Dementiev [4] lift force is calculated using the formula:

$$S = k_3 \cdot \rho \cdot v_{bottom}^2 \cdot s \cdot k_4 \quad (13)$$

where: k_3 = proportionality factor; s = ratio between the area under the lift force to the combined area of the particles' projections on the bottom; k_4 = solidity factor, that determines density of the particles' allocation at the bottom.

To estimate erosion of the cohesive soil one must also take into account the cohesion force between solid particles. Numerous studies have established velocities of the flow in order for the beginning of movement of the cohesive and loose soil particles to commence (permissible velocity). The data is presented selectively in tables 3, 4 [5].

In order to determine the discharge of the bottom sediments experimental results (based on the mathematical statistics methods) are used. The most frequently used formulas are [4, 5]:

V.N. Goncharov's

$$q_l = 2,08 (v/v_s)^3 \cdot (d/h)^{1/10} (v - v_s) d, \quad (14)$$

I.I. Levi's (for $d/h > 1/300$)

$$q_l = 2 (v/gd)^3 (d/h)^{1/4} (v - v_s) d \quad (15)$$

where: q_l = sediment discharge in kg/s per one meter of the depth of the flow; v_s = average velocity corresponding to the velocity required for the particles to begin moving.

This analyse of the water flow shows that its width expansion before pipes considerably reduces the depth and power of flow by cutting water velocity. It gives favorable and more safe conditions for decrease of river bed deformation.

Meanwhile the study has also shown that it is necessary to expand the process of planning the small-scale culverts (and the highway surface drainage system on the whole) by including into it (in addition to the hydraulic calculations, portal engineering calculations, flow velocity calculations and strengthening the riverbed at the spillways) evaluation of the water flow at the area upstream in relation to the portal (riverbed condition evaluation, calculation of the widening of the flow, specifying the critical depth and velocity of the flow in front of the culvert). In this case planning of each small-scale culvert turns into a unique engineering project, excludes routine solutions from highway cross section planning while preserving all the automatically controlled planning methods. Small-scale culverts' portal planning and extended calculation methods may be included into the existing programmes of highway planning. Admittedly it would require an extended research into the examination of the floodplains of the small-scale regular and irregular flows (in addition to the evaluation of the outline and area of the drainage: collecting data about soil, bottom soil, types of vegetation, longitude grades and cross slopes of the riverbed).

Changing the hydraulic approach (principle) for the planning of the small-scale pipes requires developing new structures, different to the existing ones, allowing minimizing the level of the reference point of the crossing between a highway and a shallow riverbed. The height of the portal can be reduced to 0.5...0.2 m and limited in technical terms only by the exploitation requirements: access to the litter and load cleaning techniques. The width of the structure is determined by the demand and possibility of widening of the river flow in front of the portal till it reaches its critical depth when its energy comes to its lowest value.

3. Conclusion

Proposed method of road pipe construction is permit to construct roads in earthwork zero on the large sections. For example for many sections of new road Moscow – S. Petersburg, Moscow Central Ring road the decreasing of volumes of land works to 60000-70000 m³/km.

References

- [1] Nemchinov M.V.: *Upgrading highway planning.* Moscow State Automobile and Road University newsletter, issue 4 (43), 2015, p. 102-113.
- [2] *Highway Planning Manual for Road Engineers.* Moscow, Transport, 1989. 438 p.
- [3] Fedotov G.A., Pospelov P.I.: *Highway Location Planning and Design. Volume 1.* Moscow, higher school, 2009. 646 p.
- [4] Bogomolov A.I., Mikhailov K.A.: *Hydraulics.* Moscow, Construction Literature Publishing House, 1965. 632 p.
- [5] Bogomolov A.I., Konstantinov N.M.: *Examples of hydraulic calculations.* Moscow, Research and Technology Publishing House of the Ministry of Roads and Highways of the RSFSR, 1962, p. 529-533, 546.

ANNA KOTWA¹EDYTA SPYCHAŁ²

Kielce University of Technology

¹e-mail: a.ceglarska@tu.kielce.pl²e-mail: espychal@tu.kielce.pl

THE INFLUENCE OF CELLULOSE ETHERS ON THE CHOSEN PROPERTIES OF CEMENT MORTAR IN THE PLASTIC STATE

Abstract

The influence of cellulose ether on the consistency, water retention (WRV parameter) and setting and hardening process of cement mortar is discussed in this article. The composition of researched mortars differed in the type of dispensed polymer admixture because of its viscosity and quantity. The research confirmed that cellulose ether has strong influence on the properties of cement mortar in the plastic state. The proper selection of the admixture (its viscosity and quantity) may have a decisive influence on the properties of the final product, therefore a basic and comprehensive examination of the material is so important.

Keywords: cement mortar, cellulose ether, viscosity, consistency, WRV parameter, setting and hardening process, ultrasonic method, induction time

1. Introduction

The development of new technologies and construction chemicals contributed to the popularization of dry plastering mortars. Adjustment of the characteristics of these materials to the requirements of the contemporary construction industry involves, *inter alia*, use of polymeric chemical admixtures. One of the most commonly used admixtures are cellulose ethers. The share of these ingredients in the formula and mortar does not exceed a few percent by weight of dry mortar, although it significantly modifies its properties.

The use of additives and modification of the etherification of cellulose can produce many varieties of cellulose ethers which differ in the type of introduced functional groups, the degree of etherification, fragmentation, dissolution rate in water, and the viscosity of their aqueous solutions [1, 2].

These admixtures are mainly used as thickeners and increase the ability of water retention in the mortar, and the proper setting and hardening of material is thus attained. They affect the viscosity and density of fresh mortar, workability, application properties [1, 3, 4]. Thanks to these characteristics, the mortar with the addition of cellulose ethers is simple to prepare, easy to use, easy to process, which ensures

that the relevant characteristics of the final product are obtained.

Despite the widespread use of this polymer to modify the properties of cement mortars, they are not a group of chemical additives in a clear and transparent manner described in the literature, among other things the problem of the impact of cellulose ethers on hydration of cement and cement mortar microstructure is not fully understood [4, 5]. This result may be due to its wide range, and trade secrets of companies that are engaged in the production and sale of the same cellulose ethers, and the entire construction chemicals. The estimation of the usefulness of these chemical admixtures in practical applications still requires additional research.

In this report the effect of cellulose ether on some properties of cement mortars in the plastic state, determined in laboratory experiments, is presented. Among a range of cellulose ethers on the market, those were selected that will significantly differ in viscosity. Proper evaluation of the impact and scope of cellulose ethers on the parameters of hardened mortar should be preceded by a deep analysis of their impact on the mortar in the plastic phase – immediately after adding water to the dry mixture

(step of implementation and application of mortar), which this article was focused on.

2. Methodology of experimental examinations

The investigation program included the evaluation of selected properties of cement plastering mortars (in the plastic state) modified with polymer admixture of cellulose ether. The composition of the starting mortar consistency test is shown in Table 1. For the determination of setting and hardening process research and water retention value WRV, weight of mortars' components was reduced by half, keeping the same proportions. The recipes varied by type of cellulose ether because of its viscosity and the amount of cellulose ether, in case of mortar ZA to ZC chemical admixture was dosed accordingly from 0.5 to 4.0 g, increasing the component proportion on 0.5 g. Base mortar unmodified with cellulose ether was marked with the Z0 symbol. The chemical composition and basic characteristics of Portland cement was presented in Table 2 and the basic properties of cellulose ethers were presented in Table 3.

Table 1. Composition of the cement mortar used in the study

Component [g]	Z0	ZA (ZA1÷ZA8)	ZB (ZB1÷ZB8)	ZC (ZC1÷ZC8)
CEM I 42.5R	96	96	96	96
Quartz sand 0.1-0.5 mm	437	437	437	437
Quartz sand 0.2-0.8 mm	467	467	467	467
Water	195	195	195	195
Cellulose ether (A)	0	0.5÷4.0	0.0	0
Cellulose ether (B)	0	0	0.5÷4.0	0
Cellulose ether (C)	0	0	0	0.5÷4.0

Table 2. Cement characteristic

Water demand [%]	Surface area [cm ² /g]	Loss on ignition [%]	Chemical analysis	
			SO ₃ [%]	Cl [%]
28.8	3879	3.81	3.31	0.093

Table 3. Cellulose ethers characteristic

Type of cellulose ether	Chemical modification	Viscosity [mPa·s]	pH	Form
Cellulose ether (A)	hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC)	3000	6.8	white powder
Cellulose ether (B)	hydroxyethyl methyl cellulose (HEMC)	25000	7.0	white powder
Cellulose ether (C)	hydroxyethyl methyl cellulose (HEMC)	45000	7.0	white powder

*pH – 1% solution in water

Each sample was prepared in the same manner – an appropriate amount of the constant water quantity was added to the mixed dry ingredients. The amount of water was selected experimentally in such way that the consistency of model mortar Z0 was optimal (within 16÷17 cm), what determines appropriate application properties of the mortar. All mixtures were prepared in air-conditioned laboratory at 20°C (±2°C) and relative humidity of 65% (±5%), subject to the constant mixing time ensure proper homogenization of the material (90 s mechanical mixing + 30 s break + 90 s mechanical mixing). The study used a laboratory blender LMB-S.

The consistency of fresh mortars were tested according to PN-EN 1015-3 [6] using flow table.

Water Retention Value WRV was marked, basing on the procedure included in [7]. The test consisted in determining the water percentage that remains after a short suction of water through a filter paper under specified conditions in a defined period of time. Measurements were made at 10 and 60 minutes, marking this parameter as WRV10 and WRV60.

The evaluation of setting and hardening process was determined using the ultrasonic wave velocity method. The study was based on ultrasonic wave velocity recording, the value of which changed as the material bonded. The results of measurements were introduced in this article as maximum velocity after 48 hours of bonding and induction time. The time in minutes lasting from the beginning of the measurement until a clearly visible ultrasonic wave velocity change, is assumed as the period of induction.

3. The results of research and their analysis

Test results obtained by determining the consistency with the flow table method, are shown on Figure 1. Consistency of all modified mortars was strongly differential. This parameter stood between 12.1 cm for ZC8 mortar and 18.5 cm for ZA2 mortar. In comparison, model mortar had the flow of 16.8 cm. Taking the standard recommendations and practical knowledge into consideration, the value of consistency should stand between 16.0 and 17.0 cm. Each mortar obtained the required flow by different quantities and viscosities of cellulose ether. On the basis of the results listed, it was stated, that after obtaining the maximum value of flow (by the admixture quantity of 1.0 g), there was a proportional decrease in consistency coming together with the increase of ether content in all of the cases. In the case of mortars modified with cellulose ether in the quantity of 0.5 g, the consistency value stood on

similar level, i.e. between 16.3 and 16.5 cm, which proves a similar effect of admixture regardless of its viscosity.

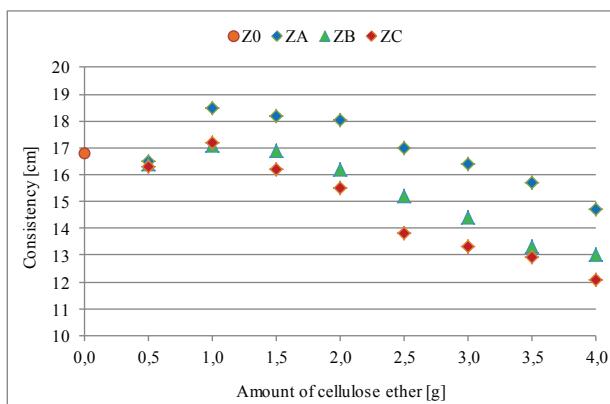


Fig. 1. Results of consistency research for mortars Z0, ZA÷ZC

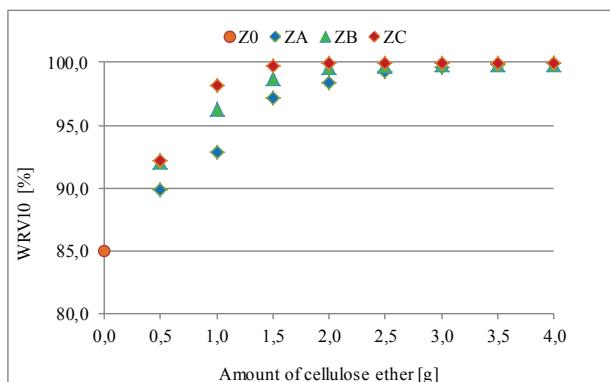


Fig. 2. Results of WRV10 research for mortars Z0, ZA÷ZC

The WRV10 test results are shown on Figure 2. Model mortar was characterized by much lower water retention in comparison to modified materials, as the WRV of Z0 mortar was just 85% (what is a negative phenomenon). Mortars with the admixture of cellulose ether had the value of this parameter in the range from 89.8% for ZA1 mortar up to 100% for ZC6 mortar. The WRV of mortars (ability to retain water) increases with the increase in amount of cellulose ether admixture. The observed water declines are hardly noticeable for all kinds of mortars with the polymer content higher than 2 g, which is a beneficial phenomenon, especially in the case of application on absorbent substrate, in changing temperature and humidity conditions, or in the case of thin-layer plastering mortars (3 mm thick). At smaller amounts of cellulose ether, the WRV is relatively proportional to the amount of admixture, although it

can be observed, that for mortars containing ethers with the viscosity of 25000 mPa·s and 45000 mPa·s the WRV is significantly higher. From only the mortar's water retention point of view, providing proper setting conditions and cement hydration, it would be favorable to use cellulose ether in the amount of at least 1.5 g and of high viscosity.

The results of research conducted indicate varied influence of cellulose ether on the consistency of mortars and their ability to water retention. While the consistency parameter can be chosen as required from 16 to 17 cm by choosing an appropriate amount of water, inasmuch the problem of water retention and the influence of this parameter on both fresh and hardened mortar needs further analysis. In this case many factors should be taken into consideration, inter alia the conditions and the way of mortar's application or the substrate absorption. The results of research may also be used indirectly to assess the behaviour of tested mortars being in contact with materials of differential absorbency.

It is also worth noting that mortars with required – specified consistency that determines the appropriate application properties of mortars, have the WRV parameter on a highly diversified level, at different amounts and viscosities of cellulose ether. Among all tested materials, only 9 of 25 mortars had the consistency accordant to standard requirements and practical assumptions (Fig. 3).

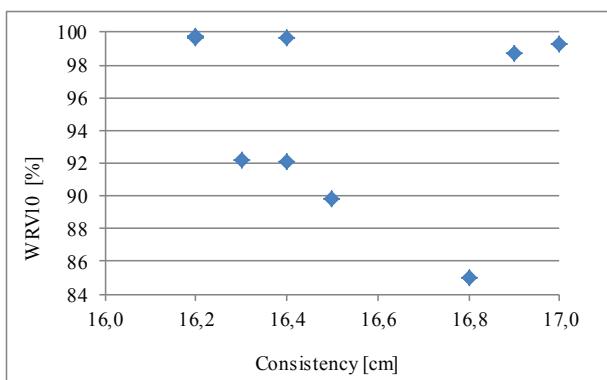


Fig. 3. Dispersion of WRV parameter results up to the recommended consistency

Additionally, for mortars with required consistency, a research of WRV60 and a research with ultrasonic method were carried out. All results for these 9 materials were presented in Table 4. It is clearly noticeable that cellulose ether decreases the ultrasonic wave velocity during the research and delays the mortar's bonding and hardening processes. The bigger its amount in

mortar's composition, the lower the ultrasonic wave velocity and the longer the induction time – hence the delay of bonding and hardening processes is bigger. WRV60 parameter was the highest for the mortar with the biggest amount of cellulose ether, for which the water loss during the whole research was the least. Analyzing all results from Table 4, it can be noticed that mortars with similar consistency are characterized with strongly differential practical properties that's why a comprehensive evaluation of modified materials and the effect of admixture on each property is so important.

Table 4. Results of measurements for 9 chosen mortars

	Consistency [cm]	WRV10 [%]	WRV60 [%]	Induction time [min]	Maximum velocity after 48 h [m/s]
Z0	16.8	85.0	76.5	0	2180.1
ZA1	16.5	89.8	82.5	0	1951.3
ZA5	17.0	99.3	98.1	190	1372.2
ZA6	16.4	99.6	98.9	280	860.3
ZB1	16.4	92.1	86.1	0	1505.3
ZB3	16.9	98.7	97.8	180	1235.7
ZB4	16.2	99.6	99.2	325	958.0
ZC1	16.3	92.1	86.6	131	1364.8
ZC3	16.2	99.8	99.2	215	1005.4

A – cellulose ether (B), B – cellulose ether (B), C – cellulose ether (C)

1, 3, 4, 5, 6 – amount of cellulose ether 0.5; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0 g

4. Conclusions

The research indicate differing impact of cellulose ether on consistency, ability to retain water and the process of setting and hardening of tested cement mortars. Addition of polymer admixture strongly influences the mortar's consistency. With the increase in amount and viscosity of admixtures a clear tendency of reduction in the consistency of mortars, while increasing their WRV can be noticed. Presented results of the research show that cellulose ether increases water retention, but at the same time delays the mortars' setting and hardening processes. The choice of admixture type in terms of it's amount and viscosity should be preceded by a thorough analysis of the impact of cellulose ether not only on standard properties of mortar in plastic state, but also the influence of this admixture on practical utility of modified materials should be taken into consideration. Only a comprehensive assessment of examined mortars and properly balanced proportions

of cellulose ether will allow to meet the standard requirements and will provide adequate technical properties.

References

- [1] Chłędzyński S., Malata G.: *Składniki zapraw klejowych do płytak. Część II – Metyloceluloza*. Izolacje, 4, (2008), pp. 30-33.
- [2] Szczygielska A., Rudnik E., Polaczek J.: *Eter celulozy. Metody otrzymywania, zachowania oraz sytuacja rynkowa*. Przemysł Chemiczny, 81(11), (2002), pp. 704-707.
- [3] Sobala M., Nosal K., Pichniarczyk P.: *Wpływ metylocelulozy na właściwości klejowych zapraw cementowych*. Cement Wapno Beton, 6, (2010), pp. 359-365.
- [4] Izaguirre A., Lanas J., Alvarez J.I.: *Characterization of aerial lime-based mortars modified by the addition of two different water-retaining agents*. Cement and Concrete Composites, 33, (2011), pp. 309-318.
- [5] Pourchez J., Peschard A., Grosseau P., Guyonnet R., Guilhot B., Vallee F.: *HMPG and HEMC influence on cement hydration*. Cement and Concrete Research, 36, (2006), pp. 288-294.
- [6] PN-EN 1015-3:2000 + A2:2007 Metody badań zapraw do murów. Określenie konsystencji świeżej zaprawy (za pomocą stolika rozpływwu)
- [7] Małolepszy J., Gawlicki M., Pichór W., Brylska W., Brylicki W., Łagosz A., Nocuń-Wczelik W., Petri M., Pytel Z., Roszczynialski W., Stolecki J., Malata G., Reben M.: *Podstawy technologii materiałów budowlanych i metody badań*. Wydawnictwo AGH, Kraków 2013.

Anna Kotwa
Edyta Spychal

Wpływ eterów celulozy na wybrane właściwości zapraw cementowej w fazie plastycznej

1. Wprowadzenie

Rozwój nowych technologii i chemii budowlanej przyczynił się do popularyzacji suchych zapraw tynkarskich. Dostosowanie właściwości tych materiałów do wymagań współczesnego przemysłu budowlanego wiąże się między innymi z zastosowaniem polimerowych domieszek chemicznych. Jednymi z najczęściej stosowanych domieszek są eterы celulozy. Udział tych składników w recepturach zapraw budowlanych nie przekracza kilku procent masy suchej zaprawy, mimo to w znaczący sposób modyfikuje jej właściwości.

Zastosowanie dodatków oraz zmiany warunków eteryfikacji celulozy pozwalały na uzyskanie wielu odmian eterów celulozy różniących się między sobą rodzajem wprowadzonych grup funkcyjnych, stopniem eteryfikacji, rozdrobnieniem, szybkością rozpuszczania w wodzie, a także lepkością ich roztworów wodnych [1, 2].

Domieszki te stosowane są głównie jako środki zagęszczające i zwiększające zdolność utrzymania wody w zaprawie, co zapewnia odpowiednie warunki wiązania i twardnienia spoiwa. Mają one wpływ na lepkość i gęstość świeżej zaprawy, urabialność, właściwości aplikacyjne [1, 3, 4]. Dzięki tym cechom, zaprawy z dodatkiem eterów celulozy są proste w przygotowaniu, wygodne w użyciu, łatwe w obróbce, co zapewnia uzyskanie odpowiednich właściwości finalnego produktu.

Mimo powszechnego zastosowania eterów celulozy do modyfikacji właściwości zapraw cementowych, nie są one grupą domieszek chemicznych w sposób jasny i przejrzysty opisaną w literaturze, między innymi nie jest do końca wyjaśniony problem wpływu eterów celulozy na hydratację cementu i mikrostrukturę zapraw cementowych [4, 5]. Wynikać to może z powodu ich szerokiego asortymentu, a także tajemnic handlowych firm, które zajmują się produkcją i sprzedają samych eterów celulozy, jak i całej chemii budowlanej. Ocena zakresu przydatności tych

domieszek chemicznych w zastosowaniach praktycznych wciąż wymaga dodatkowych badań.

W pracy przedstawiono wyniki doświadczeń laboratoryjnych dotyczące wpływu eteru celulozy na wybrane właściwości zapraw cementowych w fazie plastycznej. Spośród szeregu różnych eterów celulozy dostępnych na rynku, wybrano te, które w znaczący sposób różnią się lepkością. Właściwa ocena wpływu i zakresu działania eterów celulozy na parametry stwardniającej zaprawy powinna być poprzedzona wnikliwą analizą ich oddziaływanego na zaprawę w fazie plastycznej – bezpośrednio po dodaniu wody do suchej mieszanki (etap wykonania i aplikacji zaprawy), na czym skoncentrowano się w niniejszym artykule.

2. Metodologia badań

Program badań obejmował ocenę wybranych właściwości cementowych zapraw tynkarskich (w fazie plastycznej) modyfikowanych polimerową domieszką w postaci eteru celulozy. Do oznaczenia badania procesów wiązania i twardnienia oraz wskaźnika zatrzymania wody WRV zmniejszono masy składników zapraw o połowę, zachowując te same proporcje. W recepturach zmieniano rodzaj eteru celulozy ze względu na jego lepkość i ilość eteru celulozy; w przypadku zapraw ZA do ZC domieszkę chemiczną dozowano odpowiednio od 0,5 do 4,0 g, zwiększając ten składnik proporcjonalnie co 0,5 g. Symbolem Z0 oznaczono zaprawę wzorcową, niemodyfikowaną eterem celulozy.

Każdą próbkę przygotowywano w ten sam sposób – do wymieszanych ze sobą suchych składników dodawano stałą ilość wody. Ilość ta została dobrana doświadczalnie w taki sposób, aby konsystencja zaprawy wzorcowej Z0 była optymalna (w granicach 16÷17 cm), co warunkuje odpowiednie właściwości aplikacyjne zaprawy. Wszystkie mieszanki sporządzono w klimatyzowanym laboratorium, w temperaturze 20°C (±2°C) i wilgotności względnej powietrza

65% ($\pm 5\%$), z zachowaniem stałego czasu mieszania zapewniającego prawidłową homogenizację badanego materiału (90 s mieszania mechanicznego + 30 s przerwy + 90 s mieszania mechanicznego). Do badań wykorzystano mieszarkę laboratoryjną LMB-S.

Badanie konsystencji zapraw wykonano metodą stoliaka rozpływów, zgodnie z normą PN-EN 1015-3 [6].

Współczynnik zatrzymania wody (WRV – Water Retention Value) oznaczono na podstawie procedury zawartej w [7]. Badanie polegało na określeniu procentowej zawartości wody, która pozostaje po krótkotrwałym odsysaniu wody przez bibułę filtracyjną w określonych warunkach i w określonym czasie. Pomiarы wykonano po 10 i 60 minutach, oznaczając ten parametr jako WRV10 oraz WRV60.

Ocenę procesów wiązania i twardnienia określono przy użyciu metody ultradźwiękowej. Badanie polegało na rejestracji prędkości fali ultradźwiękowej, której wartość ulegała zmianie w trakcie wiązania materiału. Wyniki pomiarów w artykule obejmowały odczytaną z wykresów maksymalną prędkość fali ultradźwiękowej po 48 godzinach wiązania oraz czas indukcji. Za okres indukcji przyjęto czas podany w minutach, zmierzony od początku badania do momentu naglej zmiany prędkości fali ultradźwiękowej.

3. Wyniki badań i ich analiza

Konsystencja wszystkich modyfikowanych zapraw była silnie zróżnicowana (rys. 1). Parametr ten kształtał się na poziomie między 12,1 cm (zaprawa ZD8) a 18,5 cm (zaprawa ZA2). Zaprawa wzorcowa dla porównania uzyskała rozpływ na poziomie 16,8 cm. Przy czym zgodnie z zaleciami normowymi i praktycznymi wartość konsystencji w granicach 16÷17 cm poszczególne zaprawy uzyskały przy różnych zawartościach eteru. Na podstawie zestawionych wyników stwierdzono, że po osiągnięciu maksymalnej wartości rozpływów (przy zawartości domieszki wynoszącej 1 g) we wszystkich przypadkach następuje proporcjonalny spadek konsystencji wraz ze wzrostem zawartości eteru. W przypadku zapraw modyfikowanych eterem celulozy w ilości 0,5 g wartość konsystencji kształtała się na zbliżonym poziomie, tj. w granicach 16,3÷16,5 cm, co świadczy o podobnym działaniu domieszki bez względu na jej lepkość.

Zaprawa wzorcowa charakteryzowała się dużo niższym zatrzymaniem wody w porównaniu z materiałami modyfikowanymi (rys. 2), gdyż wskaźnik WRV zaprawy Z0 wynosił zaledwie 85% (co jest zjawiskiem niekorzystnym). Zaprawy z domieszką eteru celulozy uzyskały wartość tego parametru w zakresie

od 89,8% (zaprawa ZA1) do 100% (zaprawa ZC6). Wskaźnik WRV zapraw (zdolność do zatrzymywania wody) rośnie wraz ze wzrostem ilości domieszki eteru celulozy. Powyżej zawartości polimeru równej 2 g zaobserwowane ubytki wody są praktycznie niewielkie dla wszystkich zapraw, co jest zjawiskiem korzystnym szczególnie w przypadku aplikacji materiału na chłonne podłożę, przy zmiennych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych czy w przypadku wypraw pocienionych (o grubości 3 mm). Przy mniejszych ilościach eteru celulozy wskaźnik WRV jest relatywnie proporcjonalny w stosunku do ilości domieszki, choć można zaobserwować, że w przypadku zapraw zawierających eter o lepkości 25000 mPa·s i 45000 mPa·s wskaźnik WRV jest wyraźnie większy. Z punktu widzenia samego zatrzymania wody w zaprawie, zapewniającego odpowiednie warunki wiązania i hydratacji cementu, korzystne byłoby zastosowanie eterów celulozy w ilości co najmniej 1,5 g i wysokiej lepkości.

Wyniki badań wskazują na zróżnicowane oddziaływanie eteru celulozy na konsystencję zapraw oraz ich zdolność do zatrzymywania wody. O ile parametr konsystencji możemy przyjąć zgodnie z wymaganiami w granicach 16÷17 cm (dobierając odpowiednią ilość wody), o tyle problem zatrzymania wody i wpływ tego parametru na właściwości świeżej, jak i stwardniającej zaprawy wymaga szerokiej analizy. Należy w tym wypadku wziąć pod uwagę wiele czynników, między innymi warunki i sposób aplikacji zaprawy czy chłonność podłoża. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń mogą posłużyć pośrednio do oceny zachowania badanych zapraw pozostających w kontakcie z materiałami o zróżnicowanej chłonności.

Warto również zwrócić uwagę na fakt, iż zaprawy o wymaganej – określonej konsystencji, która warunkuje odpowiednie właściwości aplikacyjne zapraw, mają parametr zatrzymania wody (wskaźnik WRV) na poziomie silnie zróżnicowanym, przy różnych ilościach i lepkościach eteru (rys. 3). Wśród wszystkich badanych materiałów tylko 9 z 25 zapraw miało konsystencję zgodną z wymaganiami normowymi i założeniami praktycznymi.

Dodatkowo dla zapraw o wymaganej konsystencji wykonano badanie wskaźnika WRV60 oraz badanie metodą ultradźwiękową (tab. 4). Widać wyraźnie, że eter celulozy obniża prędkość fali ultradźwiękowej w trakcie badania, opóźnia zachodzące procesy wiązania i twardnienia zapraw. Im większa jego ilość w składzie zaprawy, tym niższa prędkość fali ultradźwiękowej, dłuższy okres indukcji – tym samym większe opóźnienie procesów wiązania i twardnie-

nia. Parametr WRV60 był najwyższy dla zaprawy z największą ilością eteru celulozy, dla której ubytek wody w trakcie całego badania był najmniejszy. Analizując wszystkie wyniki z tabeli 4, widać, że zaprawy o zbliżonej konsystencji charakteryzują się silnie zróżnicowanymi właściwościami użytkowymi, dlatego tak ważna jest kompleksowa ocena modyfikowanych materiałów i wpływu domieszki na poszczególne właściwości.

4. Wnioski

Przeprowadzone badania wskazują na zróżnicowane oddziaływanie eteru celulozy na konsystencję, zdolność do zatrzymywania wody oraz proces wiązania i twardnienia badanych zapraw cementowych. Zastosowanie polimerowej domieszki wpływa silnie na konsystencję zapraw. Wraz ze wzrostem ilości i lepkości domieszki widać wyraźną tendencję do zmniejszania się konsystencji zapraw przy jednoczesnym wzroście wskaźnika zatrzymania wody. Prezentowane wyniki badań wskazują, że eter celulozy zwiększa retencję wody, ale jednocześnie opóźnia procesy wiązania i twardnienia zapraw. Wybór rodzaju domieszki pod kątem jej ilości i lepkości powinien być poprzedzony dokładną analizą wpływu eteru celulozy nie tylko na właściwości normowe zaprawy w stanie plastycznym, ale także należy wziąć pod uwagę wpływ tej domieszki na parametry użytkowe modyfikowanych materiałów. Dopiero kompleksowa ocena badanych zapraw oraz poprawnie dobrane proporcje eteru celulozy pozwolą spełnić wymagania normowe oraz zapewnią odpowiednie właściwości techniczne.

URSZULA PAWLAK¹MICHAŁ SZCZECINA²

Kielce University of Technology

¹ e-mail: u.pawlak@tu.kielce.pl² e-mail: michalsz@tu.kielce.pl

TEIGENVALUE PROBLEMS IN STABILITY OF INDUSTRIAL STEEL BUILDING WITH A HANDLING SYSTEM

Abstract

The paper presents the eigenvalue problems of the stability of industrial steel buildings with a handling system. The aim of the calculations was to determine eigenvalues (critical forces) and corresponding eigenvectors for the building structure adapted to a crane operation. The FEM analysis was performed using Robot software. The impact of discretisation on the values of critical forces obtained was also examined.

Keywords: industrial steel buildings, handling system, eigenvalue problem, stability

1. Introduction

Steel buildings are typical industrial structures. Those can be built relatively quickly and construction costs are lower compared with masonry structures. Excellent strength properties of steel, which allow large spans without additional internal columns, possibility of structure extension or conversion make those an attractive option, increasingly frequently selected by investors in Poland. Additionally, such structures have some aesthetic value, and also they can be recycled, which fits in well with sustainability policy.

Generally, a steel building can be defined as follows. It is a single-storey (most often slab-on grade), single or multi-bay building, which does not have partitions (dividing walls), either longitudinal or transverse, inside (Fig. 1). External walls and the roof form the building envelope enclosing the useful floor space, and they also withstand environmental loads. By providing stiffness, they have an important role to play in the structural performance of the building. The design of steel building structure makes it stable and protects it from external climate.

Although such structures offer many advantages, failures and even collapses (Katowice, 2006) may also occur. Therefore, it is important those structures are properly designed and erected.



Fig. 1. Industrial steel building [1]

2. Industrial buildings with handling systems

Single-storey buildings can have multiple uses. Those include industrial steel buildings (production sites and warehouses), logistics facilities (hangars, depots, service stations), commercial buildings (retail outlets and shops, exhibition centres, sports halls, concert halls, railway stations, etc).

Industrial buildings are the most commonly found steel structures. They provide large, open floor areas and freedom for activities that involve manufacturing, and also sale, storage, and sorting of different products. The buildings are usually rectangular in plan and have structural pattern composed of flat, repeatedly arranged framing members with transverse bracing. Additionally, those may contain components related to the intra-facility handling system, such as girders of overhead travelling cranes or track cranes, auxiliary structures such as mezzanines or entresols.

Cranes are needed to lift and lower materials and workers, thus facilitating human labour (Fig. 2). Cranes can be of almost the same length as the building itself. Those machines operate vertically and horizontally. Their operation is limited by the length of the runway, distance over which materials can be hoisted or lowered, and the width of bridge. Nowadays, it would not be possible for manufacturing or storage facilities to operate without crane handling systems. That particularly refers to heavy industry, in which handled components are bulky and heavyweight. Therefore, cranes are popular and widely used to handle items inside industrial steel buildings.



Fig. 2. Industrial steel building with a handling system [2]

3. Structure of steel building – key role of stability

In the structural system of each steel building, the principal load-bearing system and ancillary structures for wall cladding and the roof can be distinguished. The primary steel frame of the building consists of transversely arranged portal frames, connected and braced. The role of the frame is to provide strength and stability, and also stiffness necessary for the structure to ensure safe service of the building. The load-bearing frames comprise solid or latticed rafters and columns, also solid or latticed, which support the

former. Each load-bearing structure of the building has to satisfy the condition of the system geometric invariability in the three-dimensional space. The loads acting on the steel building include vertical loads (from the dead load, cranes, snow), and also horizontal ones and those parallel and perpendicular to the structure longitudinal axis. The load-bearing system supports multi-directional loads applied to the structure.

Stability is the fundamental issue related to the steel building structural system. Stability must be ensured at the erection or service stage, and also when the building is extended, refurbished or disassembled [3]. Structural stability involves the capability of the structure to maintain unchanged position and shape under loads acting on it. As regards steel buildings, stability is of crucial importance because of the slenderness of the load-bearing members, i.e. compressed columns. Structures are exposed to a hazard of a sudden occurrence of stability loss when they are subjected to massive compressive loads. The stability loss is manifested as buckling of the structure, e.g. of a column. To put that in simple words, the member starts suddenly deflecting in all directions although lateral forces, even small ones, do not act on it. To ensure appropriate and safe operation of the structure, i.e. its being in the state of static equilibrium, the value of equilibrium (critical load) and eigenvectors (buckling modes) must be determined.

4. Eigenvalue problems in the stability of industrial steel building with a handling system

The stability analysis was performed for an industrial steel building, the cross-section of which is presented in Figure 3, and axonometric projection in Figure 4.

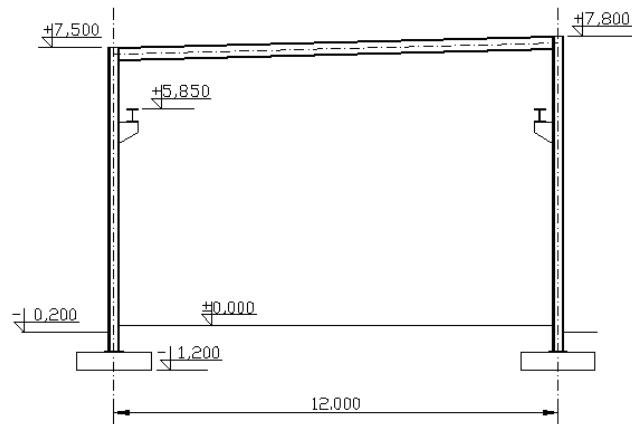


Fig. 3. Cross-section of the industrial steel building with a handling system [6]

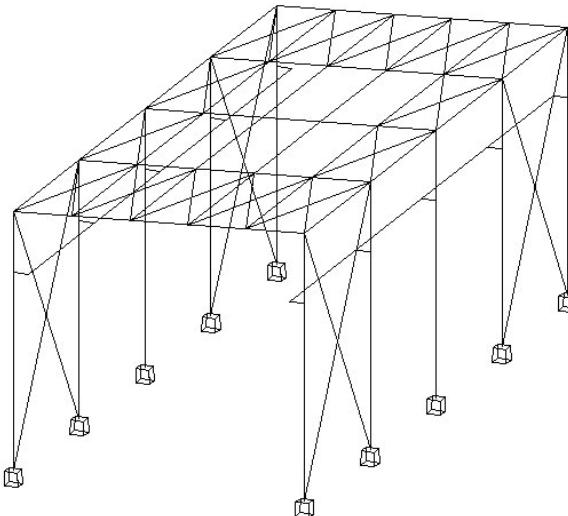


Fig. 4. Axonometric drawing of the building structure [6]

The building of concern has steel structure and it sits on reinforced concrete pad foundations. The building is located in Kielce, in the wind load zone I, and in the snow load zone III. Sandy clays having the degree of plasticity of $IL = 0.2$ form a soil stratum at the foundation level. The depth of foundation was assumed to be 1m below the ground level.

The principal structural component of the building consists in a flat steel frame, which is single-bay, single-storey, with a single-sloped roof and with short brackets supporting crane girders. Column to foundations connection was fully restrained, whereas hinge joints were used to connect roof girts to columns. The axial span is 12 m, and the roof apex is at 7.8 m. The portal frame rafter is solid IPE 400 section, whereas column is solid HEB 320 section. Crane girder is supported by short steel bracket, rigidly connected to the steel column shank. The steel bracket is a plate girder element having variable height.

The short bracket is fillet welded to the column shank and the node is additionally strengthened with ribs. The roof grit is bolted to the column.

Spatial arrangement of the building is created by five portal frames spaced 6 m apart. The building roof cladding is made from troughed sheet which is supported by IPE 200 steel purlins spaced 2.4 m apart. In the roof plane, the end panels contain bracing made from 20 mm diameter steel bars. All components of the roof structure are bolted together, and the troughed sheet roof cladding is installed using self-drilling screws.

Side walls and end walls are made from double skin panels fixed to steel side rails. In the end panels, wall

bracings, made from $80 \times 80 \times 6$ equal leg angle, are installed.

Solid crane girder is made from HEA300 section. The crane runways are secured with end caps with buffer. ZXJ overhead crane installed in the building, with a capacity of 50 kN, travels at the speed of 40 m/min. The trolley travel speed is 30 m/min, and the hoisting speed is 12.5 m/min.

All structural components were made from S235JR steel grade, pad foundations from C30/37 class concrete with RB500W steel reinforcement.

4.1. Core of the issue – eigenvalue problems in structure stability

The lowest value of the load that corresponds to stability loss is termed critical load. The value of it depends on the structural form of the member, e.g. its length, shape, dimensions of the cross-section, manner of support, therefore it is called eigenvalue. Buckling mode, i.e. the deformation of the structure under the critical load is represented by eigenvector. The term eigenvalue problem is understood to include the determination of eigenvalues and corresponding vectors.

In the study, the problem was solved using FEM. Eigenvalues σ_* were determined using equation (1), which expresses the critical equilibrium state of the system under analysis [5]:

$$\det(K - K_G) = 0 \quad (1)$$

where: K – linear stiffness matrix of the structure,
 K_G – geometric stiffness matrix of the structure.

Eigenvectors $\delta\sigma_*$ were determined from equation (2), which indicates that in the critical state of the system, different positions of its equilibrium are possible:

$$[K - K_G(\sigma_*)] \delta\sigma_* = 0 \quad (2)$$

where: $\delta\sigma_*$ – eigenvector (specifying new, possible system position in the critical equilibrium state),

$$\delta\sigma_* = \{\delta\sigma_{*1}, \delta\sigma_{*2}, \dots, \delta\sigma_{*n}\} \quad (3)$$

Eigenvector expressed by equation (3) gives the mode of the system stability loss.

4.2. Eigenvalue problem in the stability of industrial steel building with a handling system – analysis

The stability analysis for the building of concern was performed using Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014 software, based on FEM. The transverse structural arrangement of the building

is shown in Figure 5. In the other direction, individual transverse units were connected by means of bracings, purlins and the crane girder.

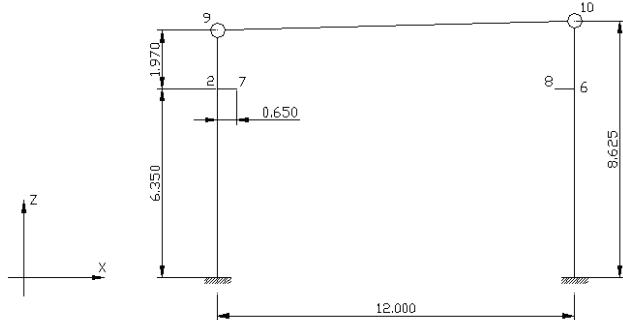


Fig. 5. Structural arrangement of the building model

The analysis was performed using Robot "Buckling Analysis" software. Columns were loaded by a unit force, computation results produced, among others, a pre-set load multiplier. It is equivalent to the critical force given in kN. Columns were modelled using a different number of finite elements, namely one, three and five. In this way, it was possible to analyse variation in results depending on the degree of discretisation of compressed members.

The table and figures below present the results of computations of the critical force, and also buckling modes and eigenvectors for the first four eigenvalues. The dependence of the successive values of critical forces on the degree of discretisation of columns is shown in Table 1.

Table 1. Critical force dependence on the degree of discretisation of columns

Force number	Critical force [kN] 1 element	Critical force [kN] 3 elements	Critical force [kN] 5 elements
1	2172	2167	2167
2	5933	5879	5878
3	7261	6934	6918
4	7870	7392	7373

The results above indicate that with an increase in the number of finite elements, into which the column was divided, the values of individual critical forces approach the exact (precise) value. For that reason, buckling modes were shown for the column division into five finite elements. Those buckling modes are presented in Figures 6 to 9. For the first critical force value, the most interesting for the design engineer, the tilt mechanism of the buckling mode is observed.

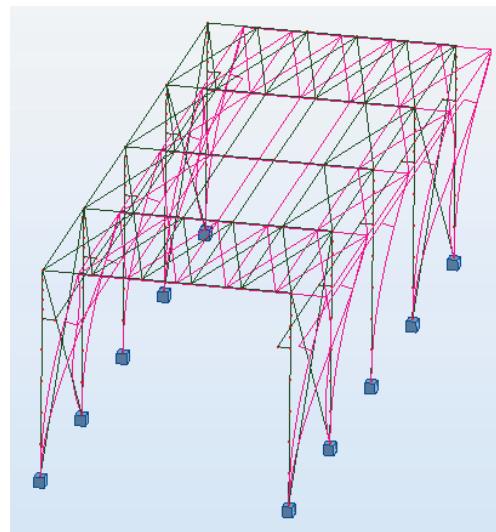


Fig. 6. Buckling mode for critical force 1

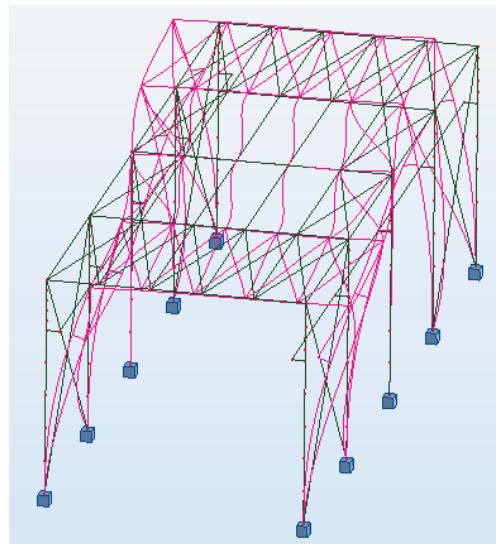


Fig. 7. Buckling mode for critical force 2

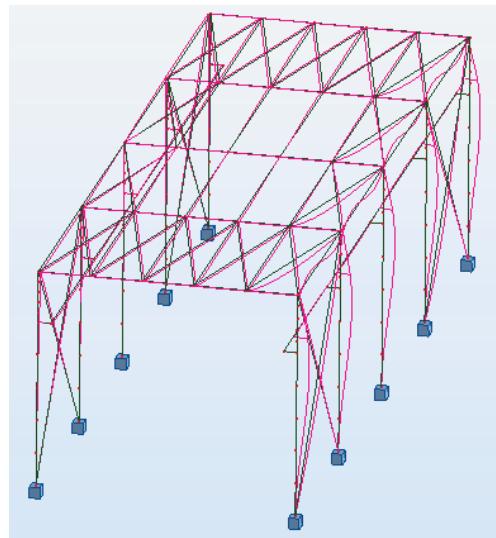


Fig. 8. Buckling mode for critical force 3

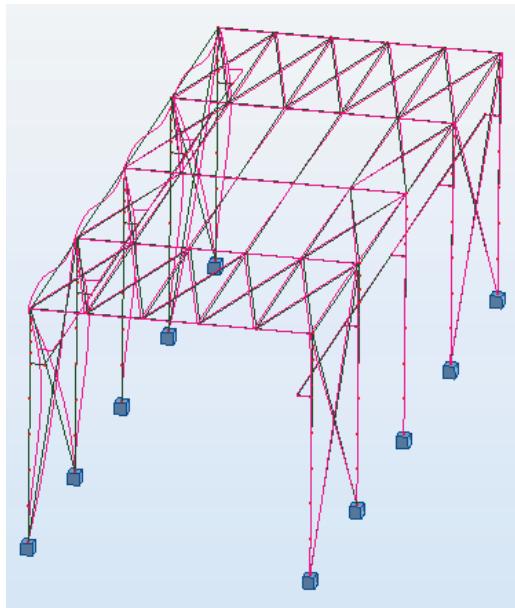


Fig. 9. Buckling mode for critical force 4

For buckling modes presented in Tables 2-5, values of nodal displacements corresponding to eigenvectors were given. Linear displacements UX and UZ were expressed in centimetres, and the angle of rotation RY of the node was measured in radians. Numbers of nodes and the arrangement of the axes were adopted as in Figure 5.

Table 2. Displacement values – eigenvector for critical force 1

Node	Case	Form	Eigenvector UX	Eigenvector UZ	Eigenvector RY
2	3	1	0.01702551	-0.00000106	0.00457266
6	3	1	0.01596688	0.00000100	0.00434994
7	3	1	0.01702552	-0.00228739	0.00457265
8	3	1	0.01596688	0.00217596	0.00434993
9	3	1	0.02659905	-0.00000139	0.00489209
10	3	1	0.02657054	0.00000135	0.00473988

Table 3. Displacement values – eigenvector for critical force 2

Node	Case	Form	Eigenvector UX	Eigenvector UZ	Eigenvector RY
2	3	2	0.01883840	-0.00007905	0.005884638
6	3	2	0.01734691	0.00008146	0.00555568
7	3	2	0.01883912	-0.00300322	0.00585002
8	3	2	0.01734758	0.00286021	0.00555905
9	3	2	0.03142206	-0.00010319	0.00655243
10	3	2	0.03139164	0.00011006	0.00642742

Table 4. Displacement values – eigenvector for critical force 3

Node	Case	Form	Eigenvector UX	Eigenvector UZ	Eigenvector RY
2	3	3	-0.00172898	0.00001100	-0.00056889
6	3	3	-0.00164279	0.00002474	-0.00052136
7	3	3	-0.00172907	0.00029558	-0.00056936
8	3	3	-0.00164288	-0.00023583	-0.00052142
9	3	3	-0.00296590	0.00001436	-0.00064800
10	3	3	-0.00295654	0.00003309	-0.00060105

Table 5. Displacement values – eigenvector for critical force 4

Node	Case	Form	Eigenvector UX	Eigenvector UZ	Eigenvector RY
2	3	4	-0.00133757	-0.00002853	-0.00041083
6	3	4	-0.00117016	-0.00000776	-0.00041001
7	3	4	-0.00133767	0.00017675	-0.00041082
8	3	4	-0.00117023	-0.00021285	-0.00041034
9	3	4	-0.00221857	-0.00003689	-0.00045871
10	3	4	-0.00222515	-0.00001050	-0.00048773

5. Conclusions

The analysis conducted for the study shows that for a specific transverse structure of the steel building with a handling system, the tilt mechanism is decisive for stability loss. The degree of discretisation affects the values of the critical force obtained, additionally this impact is particularly manifested for the second and successive values of critical forces. Then, a relatively low value of the first critical force (2167 kN) justifies the statement that stability issues are of key importance in the design of the transverse system of the steel building with a handling system. The load-bearing structure of the steel building in service should not be overloaded, especially in crane lifting operations, due to loads greater than specified safe working load.

References

- [1] <http://halbud.com.pl>
- [2] www.demagcranes.pl
- [3] Biegus A.: *Steel buildings* (in Polish), Arkady, Warszawa 2010.
- [4] <http://www.konstrukcjeinżynierskie.pl>
- [5] Gomułński A., Witkowski M.: *Advanced course on structural mechanics* (in Polish), OWPW, Warszawa 1993.
- [6] Design of steel building with a handling system, located in Kielce (in Polish), designer: Michał Szczecina.

Urszula Pawlak
Michał Szczecina

Zagadnienie własne w stateczności stalowej hali przemysłowej z transportem wewnętrznym

1. Wprowadzenie

Hale stalowe to typowe konstrukcje budownictwa przemysłowego. Obiekty te wznoszone są w stosunkowo krótkim czasie, a koszty ich budowy są niższe niż w przypadku hal murowanych. Znakomite właściwości wytrzymałościowe stali, zapewniające duże rozpiętości konstrukcyjne obiektu bez dodatkowych podpór, łatwość rozbudowy i adaptacji sprawiły, że budynki te coraz częściej wybierane są przez polskich inwestorów. Ponadto konstrukcje tego typu są estetyczne i podlegają procesom recyklingu, doskonale wpisując się we współczesny trend dbałości o środowisko naturalne.

Ogólną definicję hali stalowej można przedstawić w następujący sposób: halą stalową nazywamy budowlę parterową (najczęściej niepodpiwniczoną) jedno- lub wielonawową charakteryzującą się brakiem przegród (ścian działowych) w obu kierunkach – po-dłużnym i poprzecznym w obrębie wnętrza obiektu (rys. 1). Zewnętrzne ściany oraz pokrycie dachowe służą do wyodrębnienia powierzchni użytkowej hali, a także zabezpieczają konstrukcję przed wpływem obciążen wywołanych oddziaływaniem środowiska zewnętrznego, zapewniając konstrukcji sztywność. Konstrukcja stalowa hali sprawia, że jest ona stabilna oraz wytrzymała i odporna na warunki atmosferyczne.

Mimo tak licznych zalet tego typu ustrojów zdarzyły się ich awarie, a nawet katastrofy (Katowice, 2006), dlatego tak ważne jest prawidłowe projektowanie oraz wykonawstwo tego typu konstrukcji.

2. Słów kilka o halach przemysłowych z transportem wewnętrznym

Hale to budynki jednokondygnacyjne o różnorodnym przeznaczeniu. Można wyróżnić: hale przemysłowe (produkcyjne i magazynowe), hale obsługowe (hangary, zajezdnie, stacje obsługi), hale użyteczności publicznej (handlowe, wystawowe, sportowe, widowiskowe, dworcowe itp.).

Największą grupę stanowią hale przemysłowe. Powierzchnia stalowych obiektów przemysłowych

jest stosunkowo rozległa, dzięki czemu umożliwia realizację zadań związanych ze sprzedażą, przechowywaniem i sortowaniem produktów oraz ich produkcją. Budynki te mają najczęściej rzut prostokątny i powtarzalną konstrukcję złożoną z płaskich ustrojów nośnych stężonych poprzecznie. Występują w nich dodatkowo elementy związane z transportem wewnętrznym, takie jak belki suwnic podwieszonych lub natorowych, oraz konstrukcje pomocnicze, np. antresole, pomosty.

Suwnice, czyli dźwigi, potrzebne są do podnoszenia i opuszczania materiałów, ludzi, tzn. wspomagają i udoskonalają ich pracę (rys. 2). Suwnice mogą mieć długość prawie taką samą jak sam budynek. Urządzenia te pracują w pionie i w poziomie. Ich ograniczeniem jest długość toru jazdy, wysokość na jaką można podnosić i opuszczać materiały oraz szerokość mostu. Obecnie można nawet stwierdzić, że bez suwnic przemysł i magazynowanie nie mogłyby istnieć. Szczególnie jeśli mamy na myśli przemysł ciężki, gdzie transportowane materiały są wielkogabarytowe i o znacznym ciężarze. Suwnice są zatem bardzo popularnymi i powszechnie stosowanymi urządzeniami w transporcie wewnętrznym hal przemysłowych.

3. Konstrukcja stalowa hali – stateczność to podstawa

W układzie konstrukcyjnym każdej hali można wyodrębnić główny urządzenie nośne oraz konstrukcje wspierające obudowę ścian i dachu hali stalowej. Głównym układem nośnym hali jest szkielet złożony z poprzecznych ustrojów nośnych (ram), połączonych ze sobą i usztywnionych stążeniami. Jego zadaniem jest zapewnienie wytrzymałości i stateczności elementom konstrukcji hali, a także sztywności niezbędnej przy spełnieniu żądanych warunków eksploatacji obiektu. Ramy nośne składają się z rygli (pełnościennych lub kratowych) oraz podpierających je słupów (pełnościennych lub kratowych). Każda konstrukcja nośna budynku musi spełniać warunki geometrycznej niezmienności ustroju w przestrzeni trójwymiarowej. Na budynek hali działają obciążenia pionowe (od ciężaru

własnego, suwnic, śniegu) oraz poziome, równolegle i prostopadłe do podłużnej osi obiektu (od wiatru, temperatury, suwnic). Układ nośny przenosi wielokierunkowe obciążenia działające na konstrukcję.

Podstawowym zagadnieniem związanym z układem konstrukcyjnym hali jest jego stateczność, która musi być zapewniona w warunkach realizacji, eksploatacji, przy rozbudowie, remontach i demontażu konstrukcji [3]. Stateczność konstrukcji to zdolność konstrukcji do zachowania niezmienionego położenia i kształtu pod wpływem działającego obciążenia. W przypadku hal stalowych pojęcie stateczności jest szczególnie ważne z uwagi na smukłość elementów nośnych, tj. ściskanych słupów. Występuje bowiem ryzyko nagłej utraty stateczności, w sytuacji gdy konstrukcje te są poddane dużym obciążeniom ściąskającym. Utrata stateczności objawia się tym, że konstrukcja, np. słup hali, ulega wyboczeniu (zaczyna nagle „wyginać się na wszystkie strony”) mimo, że nie działają na niego żadne (nawet niewielkie) siły boczne. By zapewnić właściwą i bezpieczną pracę, tj. by konstrukcja znajdowała się w stanie równowagi statecznej, należy określić jej wartości (obciążenie krytyczne) i wektory własne (postaci wyboczenia).

4. Zagadnienie własne w stateczności stalowej hali przemysłowej z transportem wewnętrznym

Analizie stateczności poddano stalową halę przemysłową przedstawioną w przekroju na rysunku 3 oraz w aksonometrii na rysunku 4.

Rozważana hala wykonana została w konstrukcji stalowej oraz posadowiona na żelbetowych stopach fundamentowych. Hala zlokalizowana jest w Kielcach, w 1-szej strefie obciążenia wiatrem oraz 3-ciej strefie obciążenia śniegiem. Grunt w poziomie posadowienia stanowiły gliny piaszczyste o stopniu plastyczności IL = 0,2. Poziom posadowienia przyjęto 1 m poniżej poziomu terenu.

Główny układ konstrukcyjny hali to stalowa rama płaska, jednonawowa, jednopiętrowa z dachem jednospadowym oraz z krótkimi wspornikami, na których wsparcie zostały belki podsuwnicowe. Połączenie słupów z fundamentami zrealizowano jako pełne utwierdzenie, natomiast połączenie ryglu dachowego ze słupem jako przegubowe. Rozpiętość osiowa układu wynosi 12 m, a wysokość konstrukcji najwyższego punktu dachu wynosi 7,8 m. Rygiel ramy to pełnościenny kształtownik IPE 400, zaś słup – pełnościenny HEB 320. Belki podsuwnicowe oparte zostały na krótkim wsporniku stalowym, połączonym sztywno z trzonem słupa stalowego. Wspornik stalowy wyko-

nano jako element blachownicowy o zmiennej wysokości.

Połączenie krótkiego wspornika z trzonem słupa zrealizowano jako spawane za pomocą spoin pachwinowych i dodatkowo wzmacniono węzeł żebrami. Połączenie ryglu dachowego ze słupem wykonano jako śrubowe.

Układ przestrzenny hali stanowią wspomniane wyżej układy płaskie w ilości 5 sztuk, w rozstawie 6 m. Konstrukcję przekrycia hali wykonano z blachy trapezowej, ułożonej na stalowych płatwiach z kształtownika IPE 200 w rozstawie co 2,4 m. W płaszczyźnie dachu w skrajnych polach wykonano stężenia dachowe z prętów stalowych średnicy 20 mm. Wszystkie połączenia elementów konstrukcji dachu zrealizowano jako śrubowe, zaś blachę trapezową zamocowano na wkręty samowiercące.

Ściany boczne i szczytowe hali wykonano z płyt warstwowych, mocowanych do stalowej ryglówki. W skrajnych polach wykonano stężenia ścianne z kątownika równoramennego 80 x 80 x 6.

Belkę podsuwnicową zrealizowano jako pełnościenną z profilu HEA300. Tory jezdne suwnicy zaopatrzono kozłami odbojowymi. Zamontowana w hali suwnica natorowa ZXJ o całkowitym udźwigu 50 kN, porusza się z prędkością 40 m/min. Prędkość jazdy wózka wynosi 30 m/min, a prędkość podnoszenia 12,5 m/min.

Całość konstrukcji stalowej wykonano ze stali klasy S235JR, a stopy fundamentowe z betonu klasy C30/37 zbrojonego stalą RB500W.

4.1. Istota zagadnienia – zagadnienie własne w stateczności konstrukcji

Najmniejszą wartość obciążenia odpowiadającą utracie stateczności nazywamy obciążeniem krytycznym. Jego wartość zależy od konstrukcyjnego ukształtowania elementu, np. długości elementu, kształtu i wymiarów przekroju poprzecznego, sposobu podparcia. Postać wyboczenia, tzn. odkształcenia postać konstrukcji pod wpływem obciążenia krytycznego obrazuje wektor własny. Pod pojęciem zagadnienie własne rozumiemy wyznaczenie wartości własnych i odpowiadających im wektorów.

W pracy zagadnie własne rozwiązane zostało przy użyciu MES. Wartości własne σ_* określono, korzystając z równania (1) wyrażającego krytyczny stan równowagi analizowanego układu [5].

Wektory własne $\delta\sigma_*$ wyznaczono z równania (2), co wskazuje, że w krytycznym stanie układu możliwe są różne położenia jego równowagi.

Wektor własny opisany równie (3) określa postać utraty stateczności układu.

4.2. Zagadnienie własne w stateczności stalowej hali przemysłowej z transportem wewnętrznym – analiza

Analizę stateczności przedmiotowej hali przeprowadzono z wykorzystaniem programu Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014, opartego na MES. Schemat statyczny pojedynczego układu poprzecznego hali przyjęto jak na rysunku 5. Poszczególne układy poprzeczne zostały połączone w drugim kierunku za pomocą stężeń, płatwi i belki podsuwnicowej.

Jako typ analizy przyjęto w programie Robot „Wyboczenie”. Słupy zostały obciążone jednostkową siłą, a jako wynik obliczeń program zwrócił m.in. mnożnik zadanej obciążenia. Mnożnik ten jest równoważny z siłą krytyczną wyrażoną w kN. Słupy zostały zamodelowane z różnym stopniem podziału na liczbę elementów skończonych, a mianowicie na 1, 3 oraz 5 elementów. W ten sposób możliwe było przeprowadzenie analizy zmienności wyników zależnie od stopnia dyskretyzacji elementów ściskanych.

Poniżej zestawiono, w formie tabelarycznej oraz w postaci rysunków, wyniki obliczeń dotyczące wartości sił krytycznych oraz postaci wyboczenia i wektorów własnych dla pierwszych czterech wartości własnych. Zależność kolejnych wartości sił krytycznych od stopnia dyskretyzacji słupów przedstawia tabela 1.

Na podstawie powyższych wyników można zauważyc, że wraz z rosnącą liczbą podziału słupa na elementy skończone wartości poszczególnych sił krytycznych dążą do wartości ściszej (dokładnej). Dlatego też postacie wyboczenia pokazano przy podziale słupów na pięć elementów skończonych. Postacie te zebrane są na rysunkach od 6 do 9. Dla najbardziej interesującej projektanta pierwszej wartości siły krytycznej postać wyboczenia ma charakter przechyłowy.

Dla zaprezentowanych postaci wyboczenia w tabelach od 2 do 5 podano wartości przemieszczeń węzłowych odpowiadających wektorom własnym. Przemieszczenia liniowe UX i UZ wyrażone są w centymetrach, a kąt RY obrotu węzła podano w radianach. Numery węzłów i układ osi przyjęto jak na rysunku 5.

5. Wnioski

Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, że w przypadku specyficznej konstrukcji układu poprzecznego hali z transportem wewnętrznym, dominująca jest przechyłowa postać utraty stateczności.

Stopień dyskretyzacji ma wpływ na uzyskane wartości sił krytycznych, przy czym wpływ ten ujawnia się szczególnie dla drugiej i kolejnych wartości sił krytycznych. Z kolei relatywnie niska wartość pierwszej siły krytycznej (2167 kN) pozwala stwierdzić, że problemy związane ze statecznością będą jednymi z najważniejszych podczas projektowania konstrukcji układu poprzecznego hali z transportem wewnętrznym. Podczas eksploatacji hali należy natomiast unikać niepotrzebnego przeciążania ustroju nośnego, szczególnie poprzez nieprzestrzeganie dopuszczalnego udźwigu suwnicy.

SACRED ARCHITECTURE AFTER ADMINISTRATION REFORM OF CHURCH IN POLAND

Abstract

The period attributable to the 90s of the twentieth century in the field of religious architecture, is related to the time of major changes, which have the greatest effect a complete change of political and economic system: the introduction of the Constitution guaranteed the democratic system, freedom of speech, but also the introduction of free market principles, economic restructuring and changes in many areas. Significant changes that have taken place in Poland since 1989, and in particular political and economic transformation of the country, contributed to the acceleration of social and civilization, as well as the inevitable technological progress. These changes, influenced by many factors as the introduction of the new rules with the change of the old legislation: construction, architecture, urban design and planning. The Polish Church regained the property and the freedom in the church building.

Keywords: reform of church administration in Poland, architecture of church, contemporary architecture

1. Introduction. Background problem

In the period of systemic transformation and economic Catholic Church in Poland gained the possibility of unrestricted functioning. New opportunities for pastoral and evangelization created a reform of church administration¹ [1], which also completed stage exit from communism. Adjusted the administrative structures of the Church to the changes that began in Poland and in Europe after 1989. Polish Church regained ownership, which in the years of the communist Polish State took over, as well as full freedom in church building [1].

The change political authorities to regulate State-Church relations, and above all no longer relevant in the Third Republic of Poland – the fight against totalitarian rule limiting the freedom of creative completely changed the investment process in the field of religious architecture. There are new material and technological conditions and favorable conditions and new circumstances. The problems in obtaining building permits and the purchase of building materials disappeared. It has increased diversity of

technologies in construction. It developed market of design and building services. The expectations of the public in relation to public buildings, including church buildings have increased significantly.

Occurring after 1990, economic changes and socio-political system in Poland, were associated include the reduction of state subsidies for culture and art. This had an impact on the overall investments in the church building. The main problem has now become the economic situation and the question of access to money.

Number of churches constructed in Poland in the last decade of the twentieth century, is not as large as in previous years. After 1989, there is a marked decrease in the number of investments church. However, due to the lack of existing restrictions and normalized the legal situation, emerging churches are designed without unnecessary haste in close cooperation with the architect and priest-investor. The Church hierarchy and architects, undertaking new investment projects, precisely to prepare them carefully analyze the needs of the parish, assumptions and software that appropriate forecasts. The church is being built for a specific community and responds to the needs and demands reported.

¹ On March 25, 1992. Pope John Paul II papal bull Totus Tuus Poloniae Populus divided the Church in Poland on 39 diecezji for: [1].

The new political conditions created also impossible in previous years, the chance occurrence of a critical discussion, the possibility of subjecting projects to public scrutiny and competition procedure. Previous actions of the Church hierarchy rather not encourage the faithful to participate in this process. They supported only investments church in a financial and through participation in construction works. Currently, this task is performed by specialized construction companies using modern technologies and building materials. Modern technology allows developers to sacred architecture design almost unlimited structural systems, affecting the plasticity of interior and architectural forms [2].

2. Sacral Architecture after the reform of church administration – for example Kielce (Diocese of Kielce)

In the last decade of the twentieth century, a lively building activity from the 70s and 80s, was significantly inhibited. Due to the large number of churches and many initiatives in previous years construction – due to the favorable political and economic situation.

In contrast to the massive build churches – after 1975, 90s years of the twentieth century produced much less. In the city of Kielce, occupying an area of four deaneries Diocese of Kielce, in the 90s of the twentieth century, the construction of 5 churches (Church of St. Stanislaw Biskup i Męczennika – Kielce-Barwinek, Church of Ducha Świętego – Kielce – Na Stoku, Church of the Blessed Jerzy Matulewicz – Kielce – Slichowice, Church of St. Vincent Pallotti – Kielce – Podkarczowka, Church of St. Jozef NMP – Lodzi street) [3].

Since 1990 church architecture began to develop the full creative freedom. Economic factors and considerations savings, which played a significant role in the development of architecture, led to a significant reduction and the reduction current (strongly expanded in years: 1971-1989), the functional program and pastoral sacred objects. There are new proposals on shaping function, which resulted primarily from the actual needs of the parish, including the number of faithful participating in the masses. In addition to the rectory for the priests, not designed as often as in the eighties of the twentieth century, the function of accompanying cultural, educational and entertaining. It departs from the prevailing far duplex solutions. Most of the recent proposals connects two different types of space in a single level. The church is now being built for a specific community and responds to the most important needs and demands reported [4]. In the architecture of years 1990-2000 predominant

form of peaceful. Derived from the plans elongated, which is particularly evident in the architecture and composition of solids (the church of St. Stanislaw Biskup i Męczennika, the Church Ducha Świętego, the church of St. Jozef NMP).

The new projects sacral notes the search for a new form and a new space "sacrum". There are proposals to establish the modern language of forms and the new author's interpretation of the meaning and symbolism of the "sacrum" (church of St. Stanislaw Biskup i Męczennika, Church of the Blessed Jerzy Matulewicz).

Antoni Mazur wrote that to get the proper shape of the church's project should have two essential features: *the Church must be shaped to externally as a solid read was only as a sacred object - as a church by the general public. Forming a solid depends on the environment that it has become a dominant feature of his background. (...) The mood of the interior, should promote the prayerful recollection. The conditions needed to achieve a good result is to harmonize the architecture of internal and external (...) [5]*.

Very important is the context and harmonious enter the church in the modern urban structures, while obtaining the sacred building, which is an important object of the public. Religious building becomes an important compositional element in the architecture and landscape, both urban and rural areas.

Since the early nineties of the twentieth century, it is noted in the Kielce Diocese tendency of reduction volume of sacred objects. Produced modest and functional churches with an intimate interior, to be primarily economical and easy to maintain.

In the last decade of the twentieth century in the architecture of churches returns traditional roof, which has become an important element in shaping the architectural form (St. church of St. Stanisława Biskup i Męczennika, Church of Ducha Świętego, church of St. Jozef, church of St. Vincent Pallotti).

Blocks churches were covered most often sloping roofs: double and multi stressed that regionalism and local tradition. However, in addition to traditional pitched roofs there are also forms of flat roofs and flat roofs.

In the architecture of church observes a return, a model of traditional architecture in principle frontalności and superficiality (the church of Stanisław Biskup i Męczennika, the Church of Ducha Świętego, the church of St. Jozef NMP). The facade becomes a feature of sacred architecture in its surroundings. Often, it is additionally exposed prismatic tower form a strong and underpinned by a multi- increase.

In the 90s of the twentieth century, the tower as an important part of the local tradition, becomes an integral part of the planned and implemented modern religious buildings.

The model of ancient architecture was assumed on the plan of the square, as a free-standing or growing out of the facility. In the urban landscape due to dominant high buildings, no longer a strong dominant architecture.

On the facades are used in a variety of materials: natural and artificial (brick, stone, plaster, other linings). Most often dominates the sleek white-painted plaster, distinguishing objects from the environment and conferring them elegance (the church of the Blessed Jerzy Matulewicz). This fact is confirmed J.Sz. Wronski: (...) *Considerations liturgical caused the interior concept of the Church emerged from the needs of the liturgical and external form was merely a festive shell enclosing the body* [6].

Fondness for brick walls marked in the church of St. Stanisław Biskup and Martyr in Kielce. The use of this material further accentuates the sharp texture of the brick walls.



Fig. 1. Church of Bł. Jerzego Matulewicza – view from above, Kielce – Oś. Ślachowice, 1993-2003-2005, designers expansion of the church Piotr Bielański i Krzysztof Filuś, source: [7]

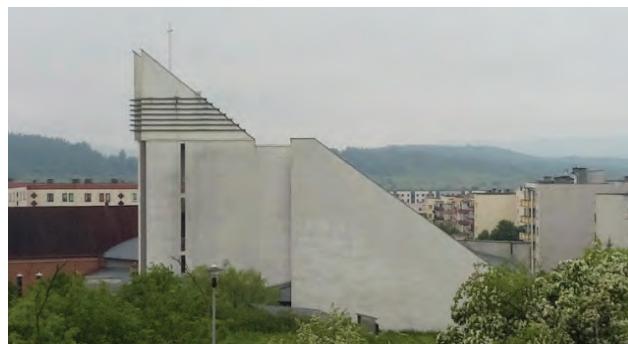


Fig. 2. Church of Bł. Jerzego Matulewicza – general view of the building structure, Kielce – Oś. Ślachowice, 1993-2003-2005, designers expansion of the church Piotr Bielański i Krzysztof Filuś, photo by author, 2015



Fig. 3. Church of Bł. Jerzego Matulewicza – view blocks, Kielce – Oś. Ślachowice, 1993-2003-2005, designers expansion of the church Piotr Bielański i Krzysztof Filuś, photo by author, 2015

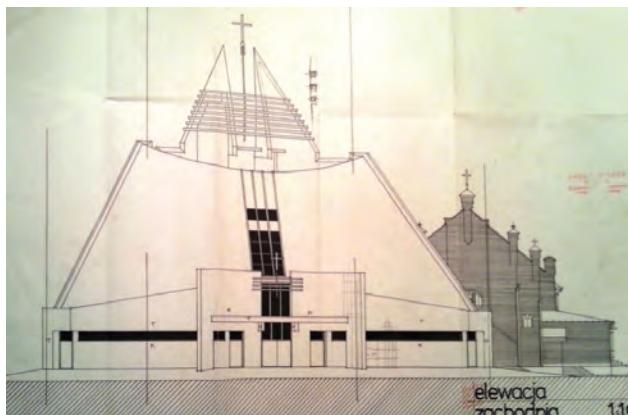


Fig. 4. Church of Bł. Jerzego Matulewicza – west elevation, entrance, Kielce – Oś. Ślachowice, 1993-2003-2005, designers expansion of the church Piotr Bielański i Krzysztof Filuś, source: [8]

To sum up, based on your research, you can say that sacral architecture 90s, characterized by rational solution. Around the mid-90s, previously active in church – strong expressive forms, soothe and soften. It has to do with the stable political situation of the country and normalized the legal situation of the Church.

Dominates the creative individualism. Moving away from dynamic forms and sculptural. Return to classical forms. The block is formed with reference to the environment and the right blend into existing urban tissue. Particularly accented care harmonious

fit new temples in the existing terrain, mild adjusting the elevation and form of objects to the immediate surroundings and landscape of cities. Still these are buildings, which because of its size, scale and high altitude, remain visible and dominate the surrounding landscape [3].

The shape design and its coverings dominates functional and intimate space design, primarily due to the high costs associated with maintaining the buildings. Characterized by a higher content and a unified spatiality. The composition of the interior becomes calmer, produces a sacral mood and atmosphere of recollection and prayer.

In the design indicates a return to the traditional orientation of the interior – on the altar, with the indication and isolation of the choir. This also means the return of the traditional axial. The chancel is also exposed through the multi-stage elevation in relation to the basic level of the church floor.

The design of the plastic interior is dominated by religious calmer and less expressive stained glass – different in style and mood, painting murals.

The decoration of churches complement – peaceful in the forms of sacred sculptures, Stations of the Cross (painted and others), to harmonize with the character of the interior sacred paintings.



Fig. 5. Church of St. Józefa Oblubieńca NMP – view from above, Kielce, ul. Łódzka, 1995-2002, designer A. Główacki, source: [7]



Fig. 6. Church of St. Józefa Oblubieńca NMP – general view of the building structure, Kielce, ul. Łódzka, 1995-2002, designer A. Główacki, photo by author, 2015



Fig. 7, 8. Church of St. Józefa Oblubieńca NMP, Kielce, ul. Łódzka, 1995-2002, designer A. Główacki, photo by author, 2015



Fig. 9, 10. Church of St. Józefa Oblubieńca NMP – interior, Kielce, ul. Łódzka, 1995-2002, designer A. Główacki, photo by author, 2015

3. Conclusions

The transformation that have taken place in church architecture 90s of the twentieth century, regarding the formation of lumps and disposal of the interior - by means of a purely architectural point to the fact that many of today's implementation is a work of thoughtful and valuable.

With the advent of favorable conditions, many contemporary realization of the Church, while preserving the culture and talent of the creators, it is an example of valuable works and an example of thought-out and widely accepted religious architecture.

The architectural legacy also shows that during this period were formed as churches, which critics allege incorrect rules of composing the space, the scale of the urban poor or improper form leads to zdesakralizowania architecture. Nevertheless, despite the universal creative freedom, many new churches shows the level not eligible for any assessment stylistic. Many sacred objects remain representative, but due to the lack of architectural assets. The search for originality from the point view of the architectural workshop, have also led to the creation of implementation without aesthetic values.

References

- [1] *Dzieje Kościoła w Polsce*, praca zbiorowa pod redakcją Andrzeja Wiencka, Kraków 2008, p. 466-469.
- [2] Turowicz J.: *Nowa architektura kościelna*, Tygodnik Powszechny, 32 (1957), p. 3.
- [3] <http://www.diecezja.kielce.pl/parafie/dekanaty>, 2014.
- [4] Gil-Mastalerzyk J.: *O przemianach architektury sakralnej Archidiecezji Krakowskiej w latach 1945-2000*, doctoral dissertation under the direction of Dr. hab. Eng. architect Andrzej Białkiewicz, prof. PK, Kraków 2013.
- [5] Mazur A.: *Poszukiwanie formy architektonicznej na tle projektowania obiektów sakralnych w latach 1952-1995*, [w] *Prace polskich architektów na tle kierunków twórczych w architekturze i urbanistyce w latach 1945-1995*, t. II, Białkiewicz Z., Kadłuczka A., Zin B., (red.), Kraków 1995, p. 136.
- [6] Wroński J.Sz.: *Kościoły Krakowa zbudowane w latach 1945-1989, jako wyraz przemian architektury sakralnej w Polsce na tle rozwoju architektury na świecie*, Kraków 2010, p. 330.
- [7] www.gis.kielce.eu – Geoportal Miejskiego Systemu Informacji Przestrzennej w Kielcach, 2015.
- [8] Projekt architektoniczno-budowlany rozbudowy kościoła parafialnego Bł. Jerzego Matulewicza, source: Kancelaria Parafialna, 2015.

Joanna Gil-Mastalerzyk

Architektura sakralna po reformie administracji kościelnej w Polsce

1. Wprowadzenie. Tło problemowe

W okresie transformacji ustrojowo-gospodarczej Kościół katolicki w Polsce zyskał możliwości nieograniczonego funkcjonowania. Nowe możliwości duszpasterskie i ewangelizacyjne stworzyła reforma administracji kościelnej¹ [1], która jednocześnie ukończyła etap wychodzenia z komunizmu. Dostosowano wówczas struktury administracyjne Kościoła do zmian, które rozpoczęły się w Polsce i w Europie po 1989 roku. Kościół polski odzyskał utracone własności, które w latach PRL-u przejęło państwo, a także pełną swobodę w budownictwie sakralnym[1].

Zmiana władz politycznych, uregulowanie stosunków państwowo-kościelnych, a przede wszystkim nieistotna już w III Rzeczypospolitej walka z totalitarną władzą ograniczającą swobody twórcze, całkowicie odmieniły proces inwestycyjny w dziedzinie budownictwa sakralnego. Pojawiły się nowe warunki materiałowo-technologiczne oraz sprzyjające uwarunkowania i nowe okoliczności, w obliczu których stanął Kościół katolicki. Zniknęły trudności w uzyskiwaniu pozwoleń na budowę oraz zdobywaniu materiałów budowlanych. Znacznie zwiększyła się ilość i różnorodność technologii w budownictwie. Rozwinął się rynek usług projektowych i wykonawczych. Wzrosły także oczekiwania społeczeństwa w stosunku do obiektów użyteczności publicznej, w tym obiektów kościelnych.

Zachodzące po roku dziewięćdziesiątym przemiany gospodarcze oraz społeczno-ustrojowe w Polsce wiązały się także m.in. z ograniczeniem ze strony państwa dotacji na kulturę i sztukę. Miało to wpływ na przedsięwzięcia inwestycyjne w budownictwie sakralnym. Najważniejszym problemem stała się teraz sytuacja ekonomiczna oraz zagadnienia finansowania inwestycji.

Ilość powstających w Polsce, w ostatnim dziesięcioleciu XX wieku, kościołów nie jest już tak duża jak w poprzednich latach. Po roku 1989 następuje

wyraźny spadek liczby inwestycji kościelnych. Z uwagi jednak na brak dotychczasowych ograniczeń oraz unormowaną sytuację prawną, powstające kościoły projektowane są bez zbędnego pośpiechu, przy ścisłej współpracy architekta i księdza-inwestora. Kościół, jak i architekci, podejmując nowe zadania inwestycyjne, dokładnie się do nich przygotowują, starannie analizując potrzeby parafii, założenia programowe i prowadzą odpowiednie prognozy. Kościół budowany jest dla konkretnej społeczności i odpowiada na jej zapotrzebowania oraz zgłaszone postulaty.

Nowe warunki polityczne stworzyły także, niemożliwą w poprzednich latach, szansę zaistnienia krytycznej dyskusji, możliwość poddawania projektów publicznej ocenie i procedurze konkursowej. Dotychczasowe działania Kościoła raczej nie zachęcały wiernych do partycipacji w ten proces. Wspierali oni jedynie inwestycje kościelne w sposób finansowy i poprzez udział w robotach budowlanych. Obecnie zadanie to wykonywane jest przez wyspecjalizowane firmy budowlane z wykorzystaniem nowoczesnych technologii i materiałów budowlanych. Współczesna technika umożliwia twórcom architektury sakralnej projektowanie wręcz nieograniczonych układów konstrukcyjnych, wpływających na plastykę wnętrza i form architektonicznych [2].

2. Architektura sakralna po reformie administracji kościelnej – na przykładzie Kielc (Diecezja Kielecka)

W ostatnim dziesięcioleciu XX wieku żywa dotąd działalność budowlana z lat 70. i 80. uległa znaczнемu zahamowaniu. Pozostawało to w pewnym związku z nasyceniem sieci kościołów i licznymi podjętymi w latach wcześniejszych inicjatywami budowlanymi – w związku z korzystną sytuacją polityczno-gospodarczą.

W przeciwnieństwie do masowego budowania kościołów po 1975 roku, od lat 90. XX wieku powstaje ich znacznie mniej. Na terenie miasta Kielce, zajmującego obszar czterech dekanatów Diecezji Kieleckiej, w latach 90. XX wieku rozpoczęto budowę 5 kościołów

¹ Dnia 25 marca 1992 r. Jan Paweł II bullą papieską *Totus Tubus Poloniae Populus* podzielił Kościół w Polsce na 39 diecezji za: [1].

(św. Stanisława Biskupa i Męczennika – Kielce-Barwinek, Ducha Świętego – Osiedle Na Stoku, Błogosławionego Jerzego Matulewicza – Osiedle Ślichowice, św. Wincentego Pallottiego – Osiedle Podkarczówka, św. Józefa Oblubieńca NMP – ul. Łódzka) [3].

Od roku 1990 architektura sakralna zaczęła rozwijać się z pełną swobodą twórczą. Czynniki ekonomiczne oraz względy oszczędnościowe, które odegrały znaczącą rolę w rozwoju architektury, doprowadziły do znacznego ograniczenia oraz pomniejszenia dotychczasowego (silnie rozbudowanego w latach 1971-1989) programu funkcjonalnego i duszpasterskiego obiektów sakralnych. Pojawiły się nowe propozycje dotyczące kształtowania funkcji, które wynikały przede wszystkim z aktualnych potrzeb danej parafii, z uwzględnieniem liczby wiernych uczestniczących we mszach. Obok plebanii dla księży nie projektuje się tak często jak w latach osiemdziesiątych XX wieku funkcji towarzyszących: kulturalno-oświatowych i rozrywkowych. Odchodzi się od przeważających dotąd rozwiązań dwupoziomowych. Większość najnowszych propozycji łączy ze sobą te dwa różne typy przestrzeni w jednym poziomie. Kościół budowany jest teraz dla konkretnej społeczności i odpowiada na jej najważniejsze zapotrzebowania i zgłaszone postulaty [4].

W architekturze lat 1990-2000 przeważają formy spokojne. Wywodzą się z planów podłużnych, co szczególnie uwidacznia się w architekturze i kompozycji brył (kościół św. Stanisława Biskupa i Męczennika, kościół Ducha Świętego, kościół św. Józefa Oblubieńca NMP).

W nowych realizacjach sakralnych, zauważa się poszukiwania nowej formy oraz nowej przestrzeni „sacrum”. Pojawiają się propozycje nawiązania do współczesnego języka form oraz nowej autorskiej interpretacji znaczeń i symboliki „sacrum” (kościół św. Stanisława Biskupa i Męczennika, kościół Błogosławionego Jerzego Matulewicza).

Antoni Mazur napisał, że dla uzyskania właściwego kształtu kościoła jego projekt powinien posiadać dwie niezbędne cechy: *Kościół winien być tak ukształtowany, aby zewnętrznie jako bryła odczytywany był tylko i wyłącznie jako obiekt sakralny – jako kościół przez ogół społeczeństwa. Formowanie bryły zależne jest od otoczenia aby ona stała się dominantą na jego tle. (...) Nastrój wnętrza, winien sprzyjać modlitewnemu skupieniu. Warunki potrzebne dla uzyskania dobrego wyniku to zharmonizowanie architektury wewnętrznej i zewnętrznej (...)* [5].

Bardzo ważnym staje się kontekst oraz harmonijne wpisanie kościoła we współczesne struktury urbanistyczne, przy jednoczesnym uzyskaniu sakralności budynku, będącego ważnym obiektem publicznym. Obiekt sakralny staje się ważnym elementem kompozycyjnym w architekturze oraz krajobrazie zarówno miast, jak i wsi.

Od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku, zauważa się na terenie Diecezji Kieleckiej tendencję pomniejszenia kubatury obiektów sakralnych. Powstają skromne i funkcjonalne kościoły z kamałnym wnętrzem, które mają być przede wszystkim ekonomiczne i łatwe w utrzymaniu.

W ostatnim dziesięcioleciu XX wieku w architekturze kościołów powraca dach tradycyjny, który stał się ważnym elementem kształtowania formy architektonicznej (kościół św. Stanisława Biskupa i Męczennika, kościół Ducha Świętego, kościół św. Józefa Oblubieńca NMP, kościół św. Wincentego Pallottiego). Bryły kościołów nakrywano najczęściej dachami spadzistymi: dwuspadowymi, wielospadowymi, namiotowymi, które podkreślały regionalizm oraz miejscową tradycję. Jednak oprócz tradycyjnych dachów dwuspadowych pojawiły się także formy dachów płaskich i stropodachy.

W architekturze kościołów zauważa się powrót, wzorem architektury tradycyjnej, do zasady frontalności i fasadowości (kościół św. Stanisława Biskupa i Męczennika, kościół Ducha Świętego, kościół św. Józefa Oblubieńca NMP). Fasada staje się wyróżnikiem architektury sakralnej w jej otoczeniu. Często zostaje ona dodatkowo wyeksponowana graniastą wieżą o mocnej formie i podbudowana kilkustopniowym podwyższeniem.

W latach 90. XX wieku wieża, jako ważny element lokalnej tradycji, staje się nieodłącznym elementem projektowanych i realizowanych współczesnych budowli sakralnych.

Wzorem dawnej architektury zakładana była na rzucie kwadratu, jako element wolnostojący lub wyrastający z obiektu. W krajobrazie miejskim, z uwagą na dominującą wysoką zabudowę, nie stanowi już mocnej dominanty architektonicznej.

Na elewacjach stosowane są różnorodne materiały: naturalne i sztuczne (cegła, kamień, tynk, inne okładziny). Najczęściej dominuje gładki pomalowany na biało tynk, wyróżniający obiekty z otoczenia i nadający im elegancji (kościół Błogosławionego Jerzego Matulewicza). Fakt ten potwierdził J.Sz. Wroński: (...) *Względy liturgiczne spowodowały, iż koncepcja wnętrza kościelnego wyłoniła się z potrzeb liturgicz-*

nych, a forma zewnętrzna była jedynie odświętnią powłoką otulającą bryłę [6].

Upodobanie do surowej cegły zaznaczyło się w kościele św. Stanisława Biskupa i Męczennika w Kielcach. Zastosowanie tego materiału podkreśla dodatkowo ostrą fakturę ceglanych murów.

Podsumując, na podstawie dokonanych badań, można stwierdzić, że architekturę sakralną lat 90. XX wieku charakteryzują racjonalne rozwiązania. Około połowy lat 90., aktywne dotychczas w sztuce sakralnej – silne formy ekspresywne, uspokajają się i łagodnieją. Ma to związek z ustabilizowaną sytuacją polityczną kraju oraz unormowaną sytuacją prawną Kościoła.

Dominuje indywidualizm twórczy. Odchodzi się od form dynamicznych i rzeźbiarskich. Następuje powrót do form klasycznych. Bryła formowana jest z nawiązaniem do otoczenia i odpowiednim wkomponowaniem w istniejącą tkankę urbanistyczną. Szczególnie zaznacza się dbałość harminijnego wpasowania nowych świątyń w istniejący teren, łagodne dopasowanie elewacji i form obiektów do bezpośredniego otoczenia oraz pejzażu miast. Nadal są to budowle, które z uwagi na swoje rozmiary, skalę i dużą wysokość, pozostają widoczne i dominują w otaczającym krajobrazie [3].

W ukształtowaniu wnętrz oraz jego nakrycia dominuje funkcjonalne i kamerальное projektowanie przestrzeni, przede wszystkim z uwagi na duże koszty związane z utrzymaniem budowli. Charakteryzują się przez to większą zwartością oraz jednolitą przestrzeńnością. Kompozycja wnętrz staje się spokojniejsza, wywołuje sakralny nastrój oraz atmosferę skupienia i modlitwy.

W założeniach zaznacza się powrót do tradycyjnego ukierunkowania wnętrza – na ołtarz główny, z zaznaczeniem i wyodrębnieniem części prezbiteralnej. Oznacza to także powrót do tradycyjnego

układu osiowego. Prezbiterium dodatkowo eksponowane jest poprzez kilkustopniowe wyniesienie w stosunku do podstawowego poziomu posadzki kościoła.

W wystroju plastycznym wnętrz sakralnych dominuje spokojniejsze i mniej ekspresywne witrażownictwo – zróżnicowane stylistycznie i nastrojowo, malowidła malarskie.

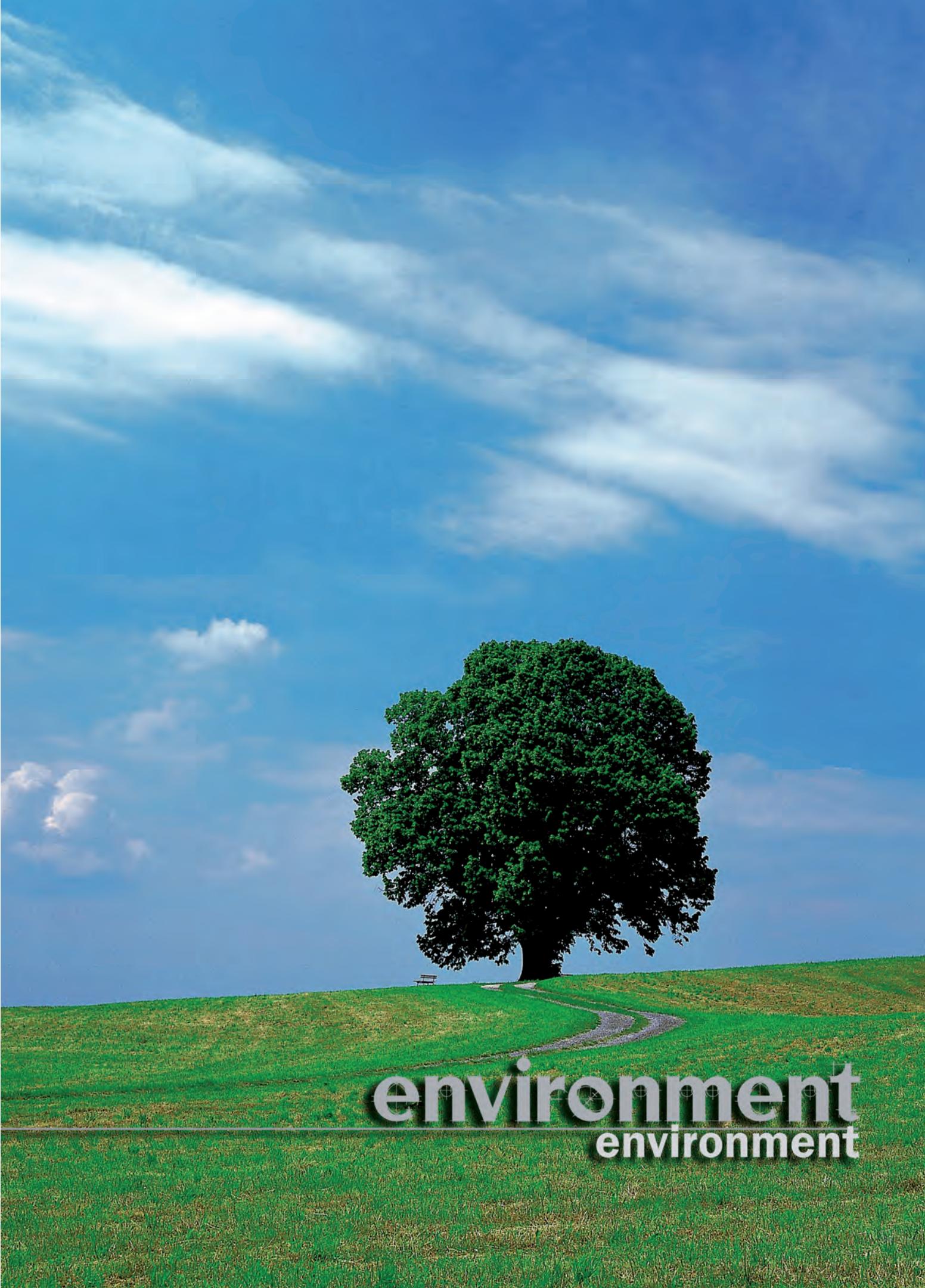
Wystrój kościołów uzupełniają – spokojna w formach rzeźba sakralna, stacje drogi krzyżowej (malowane i inne), harmonizujące z charakterem wnętrz obrazy sakralne.

3. Podsumowanie

Przemiany jakie dokonały się w architekturze sakralnej lat 90. XX wieku, odnośnie kształtowania bryły oraz dyspozycji wnętrza – przy pomocy środków czysto architektonicznych, wskazują na fakt, że wiele współczesnych realizacji stanowią dzieła prześladowane i wartościowe.

Dzięki pojawiению się sprzyjających uwarunkowań, wiele współczesnych realizacji kościelnych, przy zachowaniu kultury i talentu twórców, stanowi przykład dzieł wartościowych oraz przykład przemyślanej i powszechnie akceptowanej architektury sakralnej.

Niewątpliwie spuścizna architektoniczna pokazuje również, że w okresie tym powstawały także kościoły, którym krytycy zarzucają nieprawidłowe zasady komponowania przestrzeni, złą skalę urbanistyczną czy niewłaściwą formę prowadzącą do zdesakralizowania architektury. Nie mniej jednak, pomimo powszechniej swobody twórczej, wiele nowych kościołów przedstawia poziom niekwalifikujący się do żadnej oceny stylistycznej. Wiele obiektów sakralnych pozostaje reprezentatywna, ale ze względu na brak walorów architektonicznych. Poszukiwania oryginalności, z punktu widzenia warsztatu architektonicznego, doprowadziły również do powstania realizacji pozbawionych wartości estetycznych.



environment
environment

EDYTA NARTOWSKA¹
TOMASZ KOZŁOWSKI²
MARTA KOLANKOWSKA³

Kielce University of Technology

¹email: enartowska@tu.kielce.pl

²email: tomkoz@tu.kielce.pl

³email: kolankowska.marta@wp.pl

FID SIGNAL INTENSITY IN THE NMR STUDIES OF COHESIVE SOILS AT THE POSITIVE TEMPERATURE RANGE

Abstract

The purpose of this study was to explain the reason of the FID signal intensity change for soil samples in the positive temperature range (0-40°C). According to the reference data the main cause is the presence of the paramagnetic ions in soil. The experiment conducted on 4 cohesive soils showed that the main reason of FID changing could be the change of the water's heat of the vaporization, decreasing as the temperature increases. NMR Spectrometry method was used in the research and Statistica 9.1 software was used for statistical analysis.

Keywords: cohesive soils, FID signal intensity, nuclear magnetic resonance

1. Introduction

Free Induction Decay (FID) is a parameter used in H¹-NMR researches for the determination of the amount of liquid water in a sample. Based on the FID signal intensity we can also calculate the water content of the soil samples with the known mass [1]. This parameter changes with temperature. In the negative temperature range, FID signal intensity decreases from the beginning of the freezing, what is associated with decreasing of the unfrozen water content [2, 3]. FID reduction is also observed in the positive temperature range as the temperature increases [4, 5]. According to the reference data [5], the main cause of the FID variability observed in positive temperatures is the presence of paramagnetic ions. The authors' research showed a relationship between the mass of the water in the sample and the heat of vaporization of water, decreasing with temperature increase. This relationship may indicate another reason for the increase of FID signal intensity. In turn, the adoption of the thesis that paramagnetic ions don't have a significant effect on the FID signal intensity will

allow the optimization of research methodology and analysis in the case of the research using soils with different content of paramagnetic ions.

2. Experiment and Materials

The experiment was conducted by the use of the Bruker Minispec mq 20 spectrometer. The mass of the water in each soil sample was determined at the following temperatures: 0°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C. The amount of the water evaporated from each soil sample and temperatures was compared to the water's heat of vaporization, which decreases as the temperature increases (Table 1) [6].

Table 1. The dependence between the water's heat of vaporization and temperature [6]

Temperature [°C]	Heat of the vaporization of water [kJ kg ⁻¹]
0	2500.8
10	2477.3
20	2453.5
30	2430
40	2406

Experiments were performed on the 11 samples of four different cohesive soils because of that, the size distribution of the soil has no effect on the FID signal intensity [7]. Research material consisted of three model soils: SWy-2 (Wyoming bentonite), KGa-1b and KGa-2 (kaolins from Georgia) and one natural silty sand saSi (according to PN EN ISO 14688-1: 2006) derived from the Bęczków near Kielce. Physico-mechanical parameters of the soils are presented in Table 2.

Table 2. Physico- mechanical parameters of the soils

	SWy-2	KGa-1b	KGa-2	saSi
Plastic limits, wp [%]	35	26	30	8
Liquid limits, wl [%]	519	40	51	15
The average mass of water in soils [mg]	188.89	123.51	143.72	84.16

3. Results and Analysis

A decrease of the FID signal intensity with temperature increasing (0-40°C) was observed. Masses of the water in the soil samples in the different temperatures were successively calculated on the base of the FID signal intensity. Statistical analysis showed that the mass of evaporated water in each soil sample at given temperature is proportional to the change of the temperature (Fig. 1, Table 3).

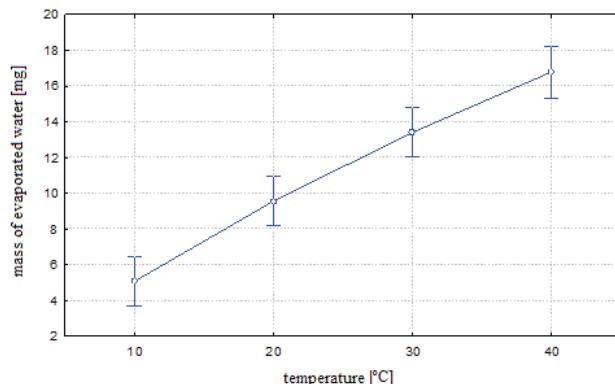


Fig. 1. The increase in the amount of the water evaporated from the soil as the temperature increases

Table 3. Analysis of variance for the influence of the temperature on the mass of evaporated water in soil samples

	SS	df	MS	F	p
Intercept	20278.33	1	20278.33	823.6123	0.000000
Mass of evaporated water	4227.56	16	264.22	10.7315	0.000001
Error	541.67	22	24.62		

The correlation coefficient of the mass of the evaporated water with the temperature was high and amounted to 0.9. A similar correlation was obtained for the same correlation with the heat of the vaporization of water ($r = -0.9$) (Fig. 2), which may indirectly evidence the significant influence of the water's heat of vaporization on the FID signal intensity.

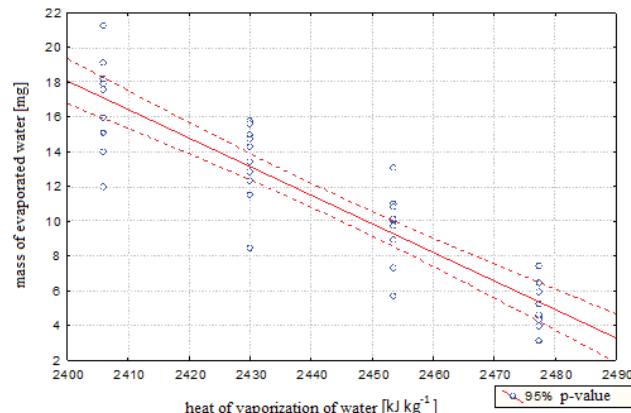


Fig. 2. The decrease in the mass of water evaporated from the soil with an increase in heat of vaporization of water

A significant correlation between the heat of the evaporation of water and the mass of evaporated water at specified temperatures for testing of soil samples was confirmed by analysis of variance (Table 4).

Table 4. Analysis of variance for the influence of the heat of vaporization of water on the mass of water evaporated from the soil.

	SS	df	MS	F	p
Intercept	4888.163	1	4888.163	1062.897	0.000000
Heat of vaporization of water	730.589	3	243.530	52.954	0.000000
Terror	160.962	35	4.599		

4. Conclusions

- The mass of the evaporated water increases proportionally with the increase of temperature (0-40°C) in each sample cohesive soils.
- The change of the amount of mass of evaporated water in each of the sample of cohesive soil has a direct relationship with the heat of water's evaporation in the soil.
- The mass of evaporated water in each soil sample in the positive temperature decreases along with increasing of the heat vaporization of the water in the soil. This is probably connected with the increase of the energy required in order to evaporate the portion of water in the soil at lower temperatures.

- The decrease of the FID signal intensity with temperature increase (0-40°C) in H-NMR studies of the cohesive soils is related to the change of the amount of evaporated water mass in each soil sample, which depends on the heat of water's evaporation in the soil.
- NMR studies of the water content in soil should be made in as low temperature as possible in order to reduce the water evaporation in a soil sample.
- The FID signal intensity in H-NMR tests for the various soil samples is comparable only in this specified positive temperature.

References

- [1] Nartowska E., Kozłowski T., Kolankowska M.: *Application of ^1H -NMR Relaxometry to the determination of the water content In Clay soils.* Structure and Environment, 4(2015), pp. 189-193.
- [2] Turov V.V., Leboda R.: *Application of HNMR spectroscopy method for determination of characteristics of thin layers of water adsorbed on the surface of dispersed and porous adsorbents.* Advance in Colloid and Interface Science, 79 (1999), pp. 173-211.
- [3] Akagawa S., Iwahana G., Wantabe K., Chuvilin E.M., Istomin V.A.: *Improvement of Pulse-NMR Technology for Determining the Unfrozen Water Content in Frozen Soils.* Tenth International Conference of Permafrost, pp. 21-26.
- [4] Tice A.R., Anderson M.D.M., Sterrett. K.F.: *Unfrozen water contents of submarine permafrost by nuclear magnetic resonance.* Selected Papers of the 2nd Int. Symp. On Ground Freezing, Elsevier Sc. Pub. Co., Amsterdam, 1982, pp. 135- 46.
- [5] Tice A.R., Oliphant J.L., Nanano Y., Jenkins T.F.: *Relationship between the ice and unfrozen water phases in frozen soil as determined by pulsed nuclear magnetic resonance and physical desorption data,* Journal of Glaciology and Geocryology, Vol. 5, Issue (2)(1983), pp. 37-46.
- [6] Bartczak Z. et al.: *Zbiór danych do obliczeń z inżynierii chemicznej.* Praca zbiorowa pod red. Andrzeja Dońca, Wyd. Politechniki Łódzkiej, 1981.
- [7] Nartowska E., Kozłowski T., Kolankowska M.: *The effect of the soil granulometric composition on the FID(Free Induction Decay) Signal Intensity in NMR tests.* Structure and Environment, 2(2016).

Edyta Nartowska
Tomasz Kozłowski
Marta Kolankowska

Intensywność sygnału (FID) w badaniach NMR gruntów spoistych w zakresie temperatur dodatnich

1. Wprowadzenie

Free Induction Decay (FID) to parametr wykorzystywany w badaniach ^1H -NMR do określenia ilości wody w stanie ciekłym w próbce gruntu. Na jego podstawie możemy również obliczyć wilgotność próbki gruntu o znanej masie [1]. Intensywność sygnału FID zmienia się z temperaturą. W zakresie temperatur ujemnych intensywność sygnału (FID) maleje od momentu rozpoczęcia zamarzania, co ma związek ze zmniejszeniem ilości wody niezamarzniętej [2, 3]. Spadek FID jest również obserwowany wraz ze wzrostem temperatury w zakresie temperatur dodatnich [4, 5]. Źródła literaturowe [5] wskazują, że główną przyczyną obserwowanej zmienności FID w zakresie temperatur dodatnich jest obecność jonów paramagnetycznych. W badaniach autorskich

zaobserwowano pewną zależność między masą wody w próbce a ciepłem parowania wody malejącym wraz ze wzrostem temperatury. Zależność ta może wskazywać na inną przyczynę wzrostu intensywności sygnału FID niż obecność paramagnetyków. Z kolei przyjęcie tezy o braku znaczącego ich wpływu na intensywność sygnału FID pozwoli na optymalizację metodyki badawczej i analizy wyników w przypadku badań na gruntach o różnej zawartości jonów paramagnetycznych.

2. Materiał i metody badawcze

Badania przeprowadzono przy użyciu spektrometru NMR minispec mq20 firmy Bruker. Masę wody w poszczególnych próbkach gruntów określano dla temperatur: 0°C, 10°C, 20°C, 30°C, 40°C. Ilość wody wyparowanej w poszczególnych próbkach

gruntów i temperaturach porównywano do ciepła parowania wody, które maleje wraz ze wzrostem temperatury (tab. 1) [6].

Z racji, iż skład granulometryczny nie ma wpływu na intensywność sygnału FID[7] eksperymenty przeprowadzono na 11 próbkach czterech różnych gruntów spoistych. Materiał badawczy stanowiły 3 grunty uznawane za modelowe: SWy-2(bentonitz Wyoming), KGa-1b i KGa-2 (kaoliny z Georgia) oraz naturalny pył z piaskiem saSi (zgodnie z PN-EN ISO 14688-1:2006) pochodzący z Bęczkowa koło Kielc. Parametry fizyko mechaniczne badanych gruntów zebrane w tabeli 2.

3. Analiza wyników badań

Zaobserwowano spadek intensywności sygnału FID wraz ze wzrostem temperatury (w zakresie 0-40°C). Kolejno obliczono masę wody w próbkach gruntów w poszczególnych temperaturach na podstawie intensywności sygnału FID. Analiza statystyczna wykazała, iż masa wody wyparowanej w każdej próbce gruntu w określonej temperaturze jest proporcjonalna do zmian temperatury (rys. 1, tab. 3).

Współczynnik korelacji masy wody wyparowanej z temperaturą był wysoki i wyniósł 0,9. Podobną zależność uzyskano dla tej samej korelacji z ciepłem parowania wody ($r = -0,9$) (rys. 2) co może świadczyć pośrednio o istotnym wpływie ciepła parowania wody na intensywność sygnału FID. Istotną zależność między ciepłem parowania wody a masą wody

wyparowanej w określonych temperaturach dla badanych próbek gruntów potwierdziła analiza wariancji (tab. 4).

4. Wnioski

- Wraz ze wzrostem temperatury (w zakresie 0-40°C) proporcjonalnie wzrasta masa wody wyparowanej w poszczególnych próbkach gruntów spoistych.
- Zmiana ilości masy wody wyparowanej w każdej z próbek gruntów spoistych ma bezpośredni związek z ciepłem parowania wody w gruncie.
- Masa wody wyparowanej w poszczególnych próbkach gruntów w danej temperaturze dodatniej spada wraz ze wzrostem ciepła parowania wody w gruncie. Prawdopodobnie ma to związek ze wzrostem energii potrzebnej w niższych temperaturach do odparowania wody w gruncie.
- Spadek intensywności sygnału FID wraz ze wzrostem temperatury (w zakresie 0-40°C) w badaniach *H-NMR* na gruntach spoistych ma związek ze zmianą ilości masy wody wyparowanej w poszczególnych próbkach gruntów, która zależy od ciepła parowania wody w gruncie.
- Badania wody w gruntach przy użyciu NMR powinny być wykonywane w możliwie niskich temperaturach dodatnich w celu ograniczenia parowania wody w próbce gruntu.
- Intensywność sygnału FID w badaniach *H-NMR* dla różnych próbek gruntów jest porównywalna tylko w danej określonej temperaturze dodatniej.

JOLANTA LATOSIŃSKA
Kielce University of Technology
e-mail: jlatosin@tu.kielce.pl

THE TRANSFER COEFFICIENT OF HEAVY METALS FROM THE INPUT SEWAGE SLUDGE TO THE ASH

Abstract

Sewage sludge incineration may have adverse impact on the environment due to heavy metals toxicity. Heavy metals concentrations in sewage sludge ash increased in comparison to concentrations in sewage sludge. The aim of the study is to evaluate the impact of temperature and time incineration on the transfer coefficient of heavy metals from the sewage sludge into the sewage sludge ash. The transfer coefficient range from a minimum of 0.0 for lead and cadmium to a maximum of 3.5 for zinc. The study shows that the transfer coefficient of heavy metals mainly depend on the incineration temperature.

Keywords: sewage sludge, ash, heavy metals, incineration, transfer coefficient

1. Introduction

Nowadays thermal processes such as incineration, especially in fluidized bed furnace, are good solutions for the disposal of sewage sludge from wastewater treatment plants in large urban agglomerations [1]. Thermal utilization of sewage sludge offers the following advantages: volume reduction, oxidation of organic matter, destruction of pathogens and energy recovery. However, sewage sludge incineration may have adverse impact on the environment due to heavy metals toxicity [2].

One of the major problems related to heavy metals is their tendency towards bioaccumulation and biomagnification. The most commonly found heavy metals in sewage sludge include copper, cadmium and lead. Copper is an essential substance to human life, but its high values cause e.g. anemia, liver and kidney damage [3]. Cadmium distributed in the environment will remain in soils and sediments for several decades. Plants gradually take up this metal which get accumulated in them and concentrated along the food chain, reaching ultimately the human body [4].

According to [5], heavy metals concentrations in sewage sludge ash increased in comparison to concentration in sewage sludge. Metals which are present in wastes incinerated in fluidized bed furnace can either remain in the bottom ash, be retained in the fly ash or in raw flue gas. The metals portioning depends on, for instance, the physical and chemical properties of the metals [6, 7].

The transfer of zinc, lead, copper, manganese and cadmium in sewage sludge into flue gas was investigated through the incineration of sewage sludge. The transfer behavior of the heavy metals was expressed as a transfer coefficient [8].

The aim of the study is to evaluate the impact of incineration temperature and time on the transfer coefficients of heavy metals from the sewage sludge into the sewage sludge ash.

2. Material and methods

The sewage sludge from Wastewater Treatment Plant in Sitkówka-Nowiny was used in this research. The wastewater treatment plant receives sewage from Kielce agglomeration, located in the central part of Poland.

The sewage sludge ash was obtained as a result of sewage sludge incineration. The sewage sludge was dried in a laboratory drier at 105°C. Then, the sewage sludge was reduced to the fraction < 125 µm. The sewage sludge was incinerated in Nabertherm laboratory furnace for given temperatures within the range of 600-980°C and time of 2-20 minutes.

The research was conducted in accordance with the Box's two-factor experimental design [9]. The design was created by adding symmetrically positioned star points and a central point to the two-level design type 2². The experiment involved five independent repetitions in each point of the design (Table 1).

Table 1. Experimental design

Sample	Incineration temperature, T	Incineration time, t
S1	600	11
S2	980	11
S3	655.6	4.6
S4	790	20
S5	655.6	17.4
S6	924.4	17.4
S7 ^{bis}	790	11
S8	790	2
S9	924.4	4.6

Concentrations of metals in sewage sludge and sewage sludge ashes are the sum of four fractions of the heavy metals studied in accordance with four-step BCR sequential extraction procedure [10–12]. A change in the method of residual fraction mineralisation was introduced, i.e. aqua regia was used in the process of mineralization [13].

The heavy metals in the obtained extracts were determined using an optical spectrometer with inductively coupled plasma ICP Perkin-Elmer Optima 8000.

The values of transfer coefficients of heavy metals input sewage sludge to the ash were calculated using the equation (1). The equation (1) was an adjustment of a formula proposed by Yao et al., describing transfer coefficient of heavy metals from input municipal solid waste to the bottom ash [14]:

$$K_{ij} = C_{BAij} * Rj / C_{wij} * (1 - y_j) \quad (1)$$

where: K_{ij} – transfer coefficient of heavy metal i from input sewage sludge to ash during combustion at temperature and time j , C_{BAij} – content of heavy metal i in ash at temperature and time j [mg/kg d.m.], C_{wij} – content of heavy metal i in input sewage sludge to combustion in temperature and time j [mg/kg d.m.], R_j – ash mass production ratio of combustion at temperature and time j , y_j – water ratio of input SS of combustion at temperature and time j .

A high transfer coefficient indicates that the heavy metal is mainly transferred to the ashes [5].

The correlation coefficients of transfer coefficients were analysed with STASISTICA version 8 software.

3. Results and discussion

Table 2 shows the heavy metals content in sewage sludge and sewage sludge ashes. In sewage sludge, the maximum concentration of heavy metals was zinc – 344.68 mg/kg d.m. and the minimum concentration was cadmium – 1.36 mg/kg d.m.

The heavy metals content in the sewage sludge followed the increasing sequence of Cd < Ni < Cr < Pb < Cu < Zn. The content of copper, nickel and lead was maximum in sewage sludge after incineration at the temperature of 600°C during 11 minutes. Whereas the maximum of zinc content was in sewage sludge after incineration at temperature 655.6°C during 17.4 minutes. The minimum of contents of chrome, zinc and lead were in sewage sludge, which was incinerated at the temperature of 924.4°C during 4.6 minutes.

The sewage sludge incinerated at temperature 980°C during 11 minutes was characterized the maximum of cadmium concentration. Seven out of ten ashes had less content of cadmium compared to the content in sewage sludge. The specific behavior of this element potentially was impacted by the temperature of the incineration of sewage sludge. The temperature range was excess the melting point and boiling point of the cadmium compounds present in the sewage sludge [15, 16].

The average heavy metals content in the sewage sludge ashes followed the sequence of Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb. The sequence of heavy metals content in sewage sludge ashes was partly coherent with sequence in researched sewage sludge. In all sewage sludge ashes, the minimum content was cadmium, while the maximum contents were copper and zinc. Furthermore, the sequence of heavy metals in the sewage sludge ashes is similar to sequence of heavy metals in municipal solid waste incineration bottom ash [14].

The high variation of the heavy metals concentrations in sewage sludge ashes can attribute to volatile of their and incineration conditions, like temperature and time.

Table 2. Concentration of heavy metals in sewage sludge and sewage sludge ashes, mg/kg d.m.

Sample	Cr	Zn	Cu	Cd	Ni	Pb
Sewage sludge	61.98	344.68	222.42	1.36	26.27	130.51
S1	174.8.0	2755.23	553.51	1.09	53.76	170.28
S2	70.48	1430.76	351.79	0.81	38.40	0.32
S3	105.33	2479.30	383.80	0.9	42.22	108.82
S4	103.24	2730.79	433.90	bd.	52.47	93.83
S5	166.92	3091.66	462.88	0.70	57.27	156.01
S6	96.00	1620.01	314.94	0.06	46.59	0.25
S7	97.97	2542.87	388.93	0.18	47.88	87.37
S7 ^{bis}	106.32	2616.96	387.36	0.16	51.68	97.65
S8	84.24	2844.42	401.13	bd.	54.22	75.55
S9	53.66	1398.53	326.37	bd.	40.25	bd.

bd. – below detection threshold

Table 3. Average mass reductions of samples after incineration

Sample	Mass reduction, %
S1	56.49 (± 3.68)
S2	70.87 (± 0.10)
S3	62.64 (± 2.48)
S4	70.28 (± 0.89)
S5	65.3 (± 2.12)
S6	70.88 (± 0.32)
S7	69.46 (± 2.43)
S7bis	69.51 (± 2.43)
S8	68.1 (± 1.35)
S9	70.22 (± 1.24)

Furthermore, concentrations of chrome, zinc, copper, nickel and lead in incinerated sewage sludge increased because of the mass reduction of samples. The average mass reductions equaled 56.49-70.88% (tab. 3).

Figure 1 shows the transfer coefficients of heavy metals from the input sewage sludge to the ashes. The transfer coefficients range from a minimum of 0.0 for lead and cadmium to a maximum of 3.5 for zinc. The maximum transfer coefficients of heavy metals were in sewage sludge incinerated at the temperature of 600°C (during 11 minutes) and 655.6°C (during 4.6 minutes).

The results indicated that the transfer of studied heavy metals in sewage sludge during combustion could be explained by thermodynamic equilibrium. Copper, cadmium and lead are transferred to gas when temperature is more than 800°C [17].

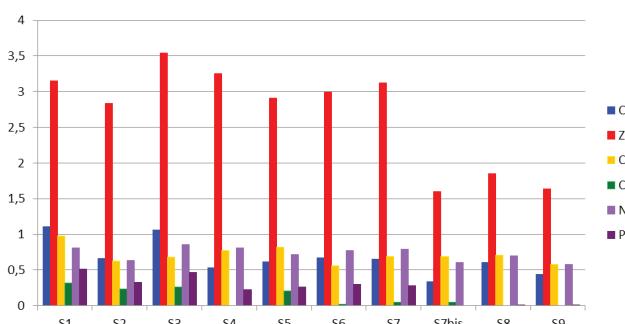


Figure 1. Transfer coefficients of heavy metals from the input sewage sludge to sewage sludge ashes

Linear regression coefficients R^2 and models of transfer coefficients of research heavy metals are shown in table 4. It can be noted that transfer coefficients mainly depend on the incineration temperature of sewage sludge. Therefore, the values

of transfer coefficients were determined by metal characteristics, especially of volatility.

Table 4. Linear regression coefficients and models of transfer coefficients of heavy metals from the input sewage sludge to sewage sludge ashes

Metal	R^2	Model
Cr	0.86	$f(Cr) = 0.6736 - 0.3039T + 0.1473t$
Zn	0.71	$f(Zn) = 2.6897 - 0.8952T + 0.136t$
Cu	0.72	$f(Cu) = 0.71 - 0.1536T + 0.0357t$
Cd	0.28	$f(Cd) = 0.113 - 0.0993T - 0.0072t$
Ni	0.51	$f(Ni) = 0.7277 - 0.0915T + 0.0502t$
Pb	0.95	$f(Pb) = 0.2388 - 0.2698T + 0.0393t$

4. Conclusions

The concentrations of chrome, zinc, copper and nickel in sewage sludge ashes were higher level compared to contents in sewage sludge. Mainly because of the mass reduction of the sewage sludge concentrations of heavy metals in incinerated sludge increased. Average heavy metals contents in sewage sludge ashes followed the increasing sequence of $Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb$.

The quantities of the transfer coefficients indicated that heavy metals were concentrated in the sewage sludge ashes. The study of statistical results showed that the transfer coefficients of heavy metals mainly depend on the incineration temperature of sewage sludge. The higher incineration temperature mainly causes lower quantities of transfer coefficients.

Acknowledgements

The project was funded by the National Science Centre allocated on the basis of the decision DEC-2011/03/D/ST8/04984

References

- [1] Chen M., Blanc D., Gautier M., Mehu J., Gourdon R.: *Environmental and technical assessments of the potential utilization of sewage sludge ashes (SSAs) as secondary raw material in construction*, Waste Management 33 (2013), pp. 1268-1275.
- [2] Marani D., Barguglia C.M., Mininni G., Maccioni F.: *Behaviour of Cd, Cr, Mn, Ni, Pb and Zn in sewage sludge incineration by fluidised bed furnace*, Waste Management 23 (2003), pp. 117-124.
- [3] Khalizadeh Shirazi E., Marandi R.: *Evaluation of heavy metals leakage from concretes containing municipal wastewater sludge*. Environment and Pollution 1 (2012) pp. 176-182.
- [4] Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B.B., Beeregowda K.N.: *Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals*. Interdisciplinary Toxicology 7 (2014), pp. 60-72.

- [5] Zorpas A.A., Vlyssides A.G., Zorpas G.A., Katlis P.K., Arapoglou D.: *Impact of thermal treatment on metal in sewage sludge from the Psittalias wastewater treatment plant*, Athens, Greece, Journal of Hazardous Materials B82 (2001), pp. 291-298.
- [6] Van Caneghem J., Brems A., Lievens P., Block C., Billen P., Vermeulen I., Dewil R., Baeyens J., Vandecasteele C.: *Fluidized bed waste incineration: Design, operational and environmental issues*. Progress in Energy and Combustion Science 38 (2012) pp. 551-582.
- [7] Van de Velden M., Dewil R., Baeyens J., Josson L., Lanssens P.: *The distribution of heavy metals during fluidized bed combustion of sludge (FBSC)*, Journal of Hazardous Materials 151 (2008), pp. 96-102.
- [8] Hu Y., Wang J., Deng K., Ren J.: *Characterization on heavy metals transferring into flue gas during sewage sludge combustion*, Energy Procedia 61 (2014), pp. 2867-2870.
- [9] Piasta Z., Lenarcik A.: *Methods of statistical multi-criteria optimisation*. [in:] A.M. Brandt. *Optimization Methods for Material Design of Cement-based Composites*. E & FN Spon. London. New York; 1998. pp. 45-59.
- [10] Chen T., Yan B.: *Fixation and partitioning of heavy metals in slag after incineration of sewage sludge*, Waste Management 32 (2012), pp. 957-964.
- [11] Dąbrowska L.: *Fractions of heavy metals in residue after incineration of sewage sludge*, Environmental Protection Engineering 39 (2013), pp. 105.
- [12] Latosińska J., Gawdzik J.: *Effect of incineration temperatures on mobility of heavy metals in sewage sludge ash*, Environmental Protection Engineering 38 (2012), pp. 31-44.
- [13] Latosińska J., Gawdzik J.: *The impact of combustion technology of sewage sludge on mobility of heavy metals in sewage sludge ash*, Ecological Chemistry and Engineering S 21 (2014), pp. 465-475.
- [14] Yao J., Li W.-B., Kong Q.-N., Wu Y.-Y., He R., Shen D-S.: *Content, mobility and transfer behavior of heavy metals in MSWI bottom ash in Zhejiang province, China*, Fuel 89 (2010), pp. 616-622.
- [15] Buhl F., Ciba J., Ciba L., Górką P., John E., Rubel St.: *Poradnik Chemika Analityka (Guide Chemist Analytics)*, WNT, Warszawa, 1994.
- [16] Magdziarz A., Wilk M.: *Thermal characteristics of the combustion process of biomass and sewage sludge*, J Therm Anal Calorim, 114 (2013), pp. 519-529.
- [17] Hoffman G., Schingnitz D., Bilitewski B.: *Comparing different methods of analysing sewage sludge dewater sewage sludge and sewage sludge ash*. Desalination 250 (2010), pp. 399-403.

Jolanta Latosińska

Współczynnik transferu metali ciężkich z osadów ściekowych do popiołu

1. Wprowadzenie

Współcześnie procesy termiczne, szczególnie spalanie w złożu fluidalnym są dobrym rozwiązyaniem unieszkodliwiania osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków w dużych aglomeracjach [1]. Termiczne unieszkodliwianie osadów ściekowych oferuje następujące korzyści: redukcję objętości, utlenienie materii organicznej, destrukcję patogenów oraz odzysk energii. Jednak z powodu toksyczności metali ciężkich, spalanie osadów ściekowych może niekorzystnie wpływać na środowisko [2].

Jednym z głównych problemów związanych z metalami ciężkimi jest ich tendencja do biokumulacji oraz biomagnifikacji. Według [5], stężenia metali ciężkich w popiele z osadów wzrastają w porównaniu do stężeń w osadach ściekowych. Metale, które

są obecne w odpadach spalanych w złożu fluidalnym mogą pozostać w popiele dennym, popiele lotnym lub w spalinach. Transfer metali zależy od ich fizycznych i chemicznych właściwości [7].

Przejście cynku, ołówku, miedzi, magnezu i kadmu z osadów ściekowych do spalin było badane przez spalenie osadów ściekowych, a zachowanie przejścia metali ciężkich było wyrażone współczynnikiem przejścia [8].

Celem badań jest ocena wpływu temperatury i czasu spalania na współczynnik przejścia metali ciężkich z osadów ściekowych do popiołu z osadów.

2. Materiał i metody

Osady ściekowe pobrano z komunalnej oczyszczalni ścieków w Sitkówce-Nowiny, która odbiera

ścieki z aglomeracji Kielce, zlokalizowanej w centralnej części Polski. Popioły z osadów ściekowych otrzymano w wyniku spalenia osadów ściekowych. Osady ściekowe wysuszono w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 105°C. Następnie osady ściekowe rozdrobniono do frakcji < 125 µm i spalone w piecu laboratoryjnym Nabertherm dla zadanych temperatur z zakresu 600-980°C i czasu 2-20 minut.

Badania zrealizowano zgodnie z dwuczynnikowym planem kompozycyjnym Boxa [9]. Plan ten powstał przez dodanie do dwupoziomowego planu typu 2² symetrycznie położonych punktów gwiazdnych oraz punktu centralnego. Eksperyment obejmował pięć niezależnych powtórzeń w każdym punkcie planu (tab. 1).

Stężenie metali w osadach ściekowych i popiołach z osadów ściekowych jest sumą czterech frakcji metali ciężkich, badanych zgodnie z czterostopniową procedurą ekstrakcji sekwencyjnej BCR [10-12]. Wprowadzono zmianę w sposobie mineralizacji frakcji rezydualnej, tj. zastosowano mineralizację wodą królewską [13]. Metale ciężkie w otrzymanych ekstraktach oznaczono, używając spektrofotometru emisjnego ze wzbudzoną plazmą ICP-OES Perkin-Elmer Optima 8000.

Wartości współczynnika transferu metali ciężkich z osadów ściekowych do popiołów obliczono na podstawie równania (1). Równanie (1) było zaproponowane przez Yao i inni do opisu współczynnika przejścia metali ciężkich ze stałych odpadów komunalnych do popiołu [14].

3. Wyniki i dyskusja

Tabela 2 przedstawia zawartość metali ciężkich w osadach ściekowych i popiołach z osadów ściekowych. Największe stężenie w osadach ściekowych było cynku – 344,68 mg/kg s.m., a najmniejsze kadmu – 1,36 mg/kg s.m. Stężenia badanych metali ciężkich w osadach ściekowych były w następującej kolejności rosnącej: Cd < Ni < Cr < Pb < Cu < Zn. Stężenie cynku, miedzi, niklu oraz ołowiu było największe w osadach ściekowych spalonych w temperaturze 600°C w czasie 11 minut. Natomiast największą zawartość cynku stwierdzono w osadach ściekowych po spaleniu w temperaturze 655,6°C w czasie 17,4 minuty. Najniższa zawartość chromu, cynku i ołowiu była w osadach ściekowych po spaleniu w temperaturze 924,4°C w czasie 4,6 minuty.

Stężenie kadmu w osadach ściekowych spalonych w temperaturze 980°C w czasie 11 minut było największe spośród próbek badanych popiołów. Dla siedmiu z dziesięciu badanych popiołów zawartość

kadmu była mniejsza w porównaniu do stężenia w osadach ściekowych. Na specyficzne zachowanie tego pierwiastka potencjalnie wpłynęły temperatura spalania osadów ściekowych ze względu na zakres przekraczający temperaturę topnienia oraz wrzenia związków tego metalu występujących w osadach ściekowych [15, 16].

Średnie zawartości metali ciężkich w popiołach z osadów ściekowych były następującej kolejności: Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb. Kolejność stężeń badanych metali ciężkich w popiołach z osadów była częściowo zgodna z kolejnością w osadach ściekowych. Dla wszystkich badanych popiołów z osadów najmniejsze stężenie było kadmu, a największe miedzi i cynku.

Ponadto kolejność badanych metali ciężkich w popiołach z osadów ściekowych jest podobna do kolejności metali ciężkich w popiele ze spalenia stałych odpadów komunalnych [14].

Wysoka zmienność stężeń metali ciężkich w popiołach z osadów ściekowych może być przypisana ich lotności oraz warunkom spalania, takich jak temperatura i czas.

Ponadto stężenia chromu, cynku, miedzi i ołowiu w spalonych osadach ściekowych wzrosły z powodu redukcji masy próbek. Średnia redukcja masy równała się od 56,49% do 70,88% (tab. 3).

Rysunek 1 przedstawia współczynniki przejścia metali ciężkich z osadów ściekowych do popiołów. Zakres współczynnika przejścia był od minimum – 0,0 dla ołowiu i kadmu do wartości maksymalnej – 3,5 dla cynku. Maksymalne współczynniki przejścia metali ciężkich były dla osadów ściekowych spalonych w temperaturze 600°C (przez 11 minut) oraz w temperaturze 655,6°C (przez 4,6 minuty).

Otrzymane wyniki wskazują, że przejście badanych metali ciężkich w osadach ściekowych podczas spalania może być wyjaśnione równowagą termodynamiczną. Miedz, kadm i ołów przechodzą w formę gazową, kiedy temperatura spalania jest wyższa od 800°C [17].

Współczynnik liniowej regresji i modele współczynnika transferu badanych metali ciężkich przedstawia tabela 4. Współczynnik przejścia głównie zależał od temperatury spalania osadów ściekowych. Zatem wartości współczynników przejścia były determinowane charakterystyką metali, szczególnie lotności.

4. Wnioski

Stężenia chromu, cynku, miedzi i niklu w popiołach z osadów ściekowych były na wyższym poziomie

mie w porównaniu do stężeń w osadzie ściekowym. Stężenia metali ciężkich w spalonym osadzie ściekowym wzrosły głównie z powodu redukcji masy osadów. Średnie zawartość metali ciężkich w popiołach z osadów ściekowych były następującej kolejności rosnącej: Zn > Cu > Cr > Ni > Cd > Pb.

Wartości współczynników przejścia wskazują, że metale ciężkie koncentrują się w popiołach z osadów ściekowych. Wyniki analizy statystycznej pokazały, że współczynniki przejścia metali ciężkich głównie zależą od temperatury spalania osadów ściekowych. Wyższa temperatura spalania osadów spowodowała głównie mniejsze wartości współczynników przejścia.

Podziękowania

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki na podstawie decyzji nr DEC-2011/03/D/ST8/04984.

ŁUKASZ BĄK¹

JAROSŁAW GAWDZIK²

JOANNA MUSZYŃSKA³

MARTA BRYK⁴

Kielce University of Technology

¹ e-mail: lbak@tu.kielce.pl

² e-mail: jgawdzik@tu.kielce.pl

³ e-mail: jdlugosz@tu.kielce.pl

⁴ e-mail: sloneczko-ck@o2.pl

EFFECT OF SEWAGE SLUDGE DIGESTION ON THE MOBILITY OF HEAVY METALS ON THE EXAMPLE OF THE WASTEWATER TREATMENT PLANT IN SITKÓWKA-NOWINY

Abstract

In sewage sludge, heavy metals can be dissolved, precipitated, co-precipitated with metal oxides, adsorbed or associated on particles of biological residue. Heavy metals come as oxides, hydroxides, sulphides, sulphates, phosphates, silicates, organic connections in the form of humic complexes, and compounds with complex sugars. Sequential extraction procedures based on Tessier et al. are widely used for examining sewage sludge. The method makes it possible to extract the following fractions that are operationally defined: exchangeable, bound to carbonates, reducible, oxidisable (bound to organic matter) and residual. For the investigations, communal sewage sludge was collected from mechanical-biological sewage treatment plant located in Sitkówka-Nowiny; the Świętokrzyskie Province, Poland. Heavy metal content [ppm] in the sewage sludge was collected before and after digestion process. After the digestion process, for a majority of metals, the content of reducible form is clearly decreased and the concentration of organic and residual fractions is increased. As a result of redistribution, copper, zinc and nickel mobility in the sludge decreased, and the strength of bond, measured with index I_R increased for all metals.

Keywords: Heavy metals, sewage sludge, metals speciation, metal redistribution index I_R

1. Introduction

Sewage sludge, generated in unit physical, physico-chemical and also biological processes of communal sewage treatment, makes an organo-mineral suspension, which is a disperse system. In this system, water with substances dissolved in it is the dispersive phase. The dispersed phase is composed of the solid phase containing particles of insoluble substances and microorganisms, and of the gaseous phase. In such type of sludge, high hydration and the presence of organic compounds susceptible to biological decomposition result in putrescibility and emission of foul odour.

To design technological processes for sewage sludge treatment and disposal, it is necessary to know the characteristic features of the sludge. They are always related to the source of sewage generation and the technology used for treatment.

In sewage sludge, heavy metals can be dissolved, precipitated, co-precipitated with metal oxides, adsorbed or associated on particles of biological residue. Heavy metals come as oxides, hydroxides, sulphides, sulphates, phosphates, silicates, organic connections in the form of humic complexes, and compounds with complex sugars [1, 2]. All those changes contribute to the diversity of chemical forms of heavy metals accumulated in the sewage sludge,

from where the mobile forms can migrate into to the soil environment [3].

The total heavy metal content does not provide a reliable indicator of the bioaccessibility of heavy metals. Such an assessment can only be made by determining the amounts of metals bound by individual components (fractions) of the sewage sludge. Sequence analysis is the method most frequently used to identify groups of compounds to which a metal is bound. Sequential extraction procedures based on Tessier et al. are widely used for examining sewage sludge. The method makes it possible to extract the following fractions that are operationally defined: exchangeable, bound to carbonates, reducible, oxidisable (bound to organic matter) and residual [4-9].

2. Materials and methods

For the investigations, communal sewage sludge was collected from mechanical-biological sewage treatment plant located in Sitkówka-Nowiny (the Świętokrzyskie Province, Poland) following the PN-EN ISO 5667-13:2004 standard.

Treatment and disposal of the sewage sludge generated at the sewage treatment plant is carried out by mechanical thickening of the surplus sludge and mesophilic digestion of the primary and surplus sludge.

Sludge digestion takes place in two separate sealed digesters (SD), cylindrical in shape, each having a capacity of 4200 m³. An old digester of 3000 m³ capacity, presently out of service, is kept as a back-up facility. The digesters are independent, operating in parallel, complete-mixing septic tanks, where the process of mesophilic (37°C) methanogenetic anaerobic digestion occurs. The sludge, which is subjected to this process, is heated outside the digester in tubular heat exchangers. The content of each digester is mixed 24 h/day using slow-rotating stirrer with two propellers.

The sequence extraction

The tests were conducted in accordance with the four-step BCR sequential extraction procedure introducing a change in the method of residual fraction mineralisation, i.e. aqua regia was used in the process of mineralisation [10].

Step one: acid soluble/exchangeable fraction (F-I)

A 2 g sample of sewage sludge was placed in a 100 cm³ test-tube for centrifuging. Then, 40 cm³ of 0.11-molar acetic acid solution was added. The sample was shaken for 16 hours at room temperature. The extract

was separated from the sewage sludge by centrifuge (4000 rpm). The content of the water – soluble metals was marked in the liquid.

Step two: reducible fraction (F-II)

Sewage sludge was washed in 20 cm³ of distilled water (shaken and centrifuged). Subsequently, 40 cm³ of 0.1-molar hydroxylamine hydrochloride solution, of pH = 2, was added to the sewage sludge. Nitric acid was used for the correction of the pH value. The procedure was the same as in step one, the mixture was shaken and centrifuged. Fraction II metals were marked in the liquid.

Step three: oxidisable fraction (F-III)

The sewage sludge was carried over quantitatively to a quartz evaporating dish and 10 cm³ of 30% hydrogen peroxide was added. The contents of evaporating dish were heated in a water bath at 85°C for one hour. The process was repeated with the addition of 10 cm³ of 8.8-molar hydrogen peroxide solution to the sewage sludge. After drying, the sewage sludge sample was transferred to test-tubes to be centrifuged and then 50 cm³ of ammonium acetate solution (1 mol/dm³, pH = 2; nitric acid was used to correct the pH value) was added. The sample was shaken for 16 hours and afterwards the sewage sludge was separated from the extract. Fraction III metals were marked in the solution.

Step four: residual fraction (F-IV)

The sludge was washed and dried to a solid state. The microwave mineralization of the residual fraction was conducted with nitric acid; 10 cm³ of concentrated nitric acid were added carefully to a 50 cm³ teflon reaction cells together with 0.5 g of sludge. The teflon reaction cells was microwave-heated for 30 min. using Multivawe 3000 platform. After cooling, 10 cm³ of deionized water were added. The sewage sludge was dissolved, carried over to a metal measuring flask and topped up with 100 cm³ of distilled water. Then, the sample was mixed and strained to a dry dish. In the filtrate, the metal forms, Fraction IV, were marked.

The heavy metals in the extracts obtained were determined in accordance with ISO 9001:2000 using a Perkin-Elmer Optima 8000 ICP-OES.

3. Results and discussion

The experimental results are presented in Figures 1-5. The results of determination of the sludge heavy metal content in the fractions concerned are reported on dry-weight basis and presented in Figure 1 – before digestion, and Figure 3 – after digestion. Figures 2

and 4 show a relative content (mass percentage) of a selected heavy metal determined in the BCR fraction in relation to its total content in the sewage sludge. The sequence analysis performed in the tests demonstrated the presence of various metal forms in the sewage sludge.

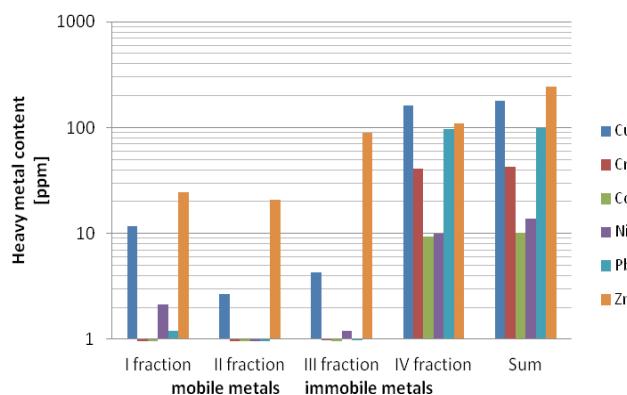


Fig. 1. Heavy metal content [ppm] in the sewage sludge collected before digestion

The average content of heavy metals under consideration expressed in ppm in separate fractions in the sludge collected prior to digestion is shown in the following series of decreasing ppm content:

- for Cu: FIV (160.11) > FI (11.67) > FIII (4.28) > FII (2.68)
- for Cr: FIV (40.51) > FIII (0.98) > FI (0.76) > FII (0.29)
- for Cd: FIV (9.31) > FIII (0.56) > FI (0.19) > FII (0.16)
- for Ni: FIV (10.02) > FI (2.15) > FIII (1.19) > FII (0.49)
- for Pb: FIV (96.45) > FI (1.19) > FIII (0.97) > FII (0.12)
- for Zn: FIV (108.9) > FIII (89.1) > FI (24.5) > FII (20.9)

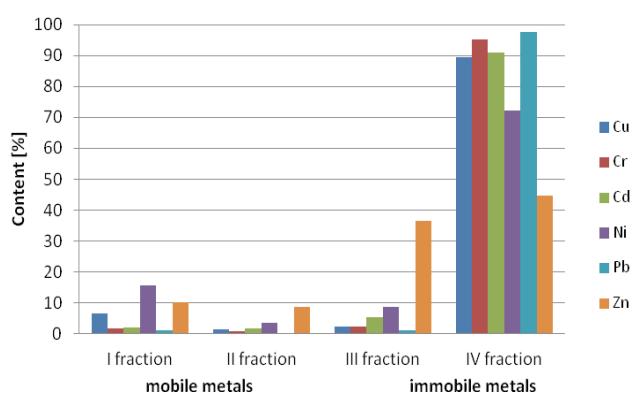


Fig. 2. Percentage content of heavy metals in individual mobility groups in the sewage sludge collected before digestion

As regards heavy metals obtained in fraction I, which are water-soluble and bound to carbonates, the highest content, exceeding 10%, was found for nickel and for zinc (Fig. 2). Except for copper, the content of which amounted to only less than 7%, other heavy metals showed a small percentage content – lower than 3%. Nickel and zinc were also the most mobile metals, 18.5% and 19.8%, respectively.

In the residual fraction, the highest heavy metal content for was found for lead. In fraction IV, it constituted as much as 97.2% of the content. Chromium and cadmium contents were also high, 95.1% and 91.9%, respectively (Fig. 2). The lowest percentage content in fraction IV was shown by zinc, it amounted to only 45.6%.

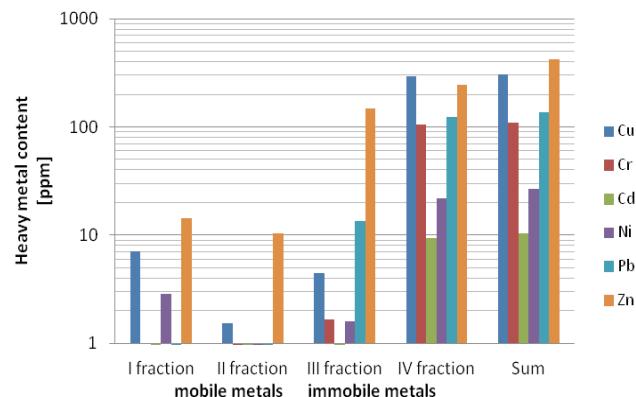


Fig. 3. Heavy metal content [ppm] in the sewage sludge collected after digestion

The average content of heavy metals under consideration expressed in ppm in separate fractions in the sludge collected after digestion is shown in the following series of decreasing ppm content:

- for Cu: FIV (295.18) > FI (7.02) > FIII (4.43) > FII (1.52)
- for Cr: FIV (105.97) > FIII (1.67) > FI (1.0) > FII (0.31)
- for Cd: FIV (9.41) > FIII (0.65) > FI (0.14) > FII (0.07)
- for Ni: FIV (21.97) > FI (2.85) > FIII (1.59) > FII (0.5)
- for Pb: FIV (123.52) > FIII (13.45) > FI (0.2) > FII (0.03)
- for Zn: FIV (246.7) > FIII (148.3) > FI (14.3) > FII (10.4)

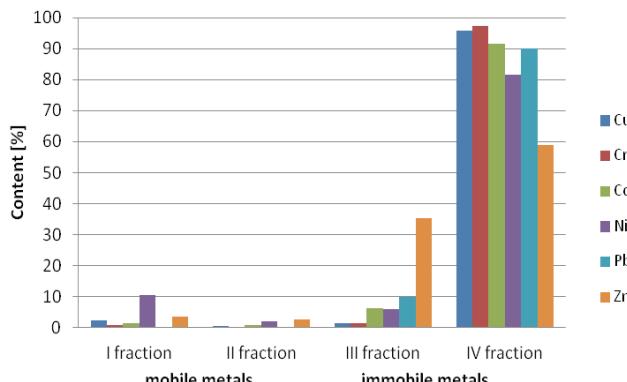


Fig. 4. Percentage content of heavy metals in individual mobility groups in the sewage sludge collected after digestion

As regards heavy metals obtained in fraction I, which are water-soluble and bound with carbonates, the nickel content was found to be 10.9% (Fig. 4). Apart from zinc, the content of which was a little less than 3.4%, other heavy metals showed a low percentage content, less than 2.3%. Nickel was also the most mobile metal (fraction I + fraction II = 12.5%).

The results of tests for stabilised communal sewage sludge confirmed trends in heavy metal concentrations observed in immobile fractions (fraction III and fraction IV). Copper, lead and zinc showed a substantial content of the fraction bound to organic matter and/or sulphides (fraction III).

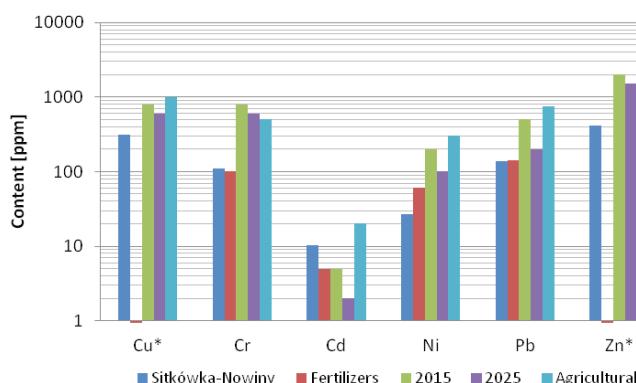


Fig. 5. Amounts of heavy metals in communal sewage sludge intended for land application in accordance with different guidelines [11]

The highest heavy metal content in the residual fraction was found for copper. In fraction IV it constituted as much as 95.8%. The contents of chromium and cadmium were also high, 97.3 and 91.6% respectively (Fig. 4). The lowest percentage content was found for zinc, only 58.8%. Copper and chromium showed the highest cumulative values (fraction III + fraction IV) as regards immobility. The

content levels of heavy metals in the sewage sludge under consideration did not exceed the admissible limits that are in force in Poland for the sludge intended for agricultural use [11].

Metal redistribution index I_R provides information on the strength of metal bond with mineral and organic soil components over the time that elapsed from the moment of contamination. The index can take on values from interval $0 \geq I_R \geq 1$. If a metal occurs in the form that is readily soluble and exchangeable, the value of I_R is close to zero. If $I_R \approx 1$, the metal is predominantly found in stable forms, mainly in the residual one. Intermediate values indicate a varied metal content both in mobile and stable forms. Index I_R is expressed by formula [12]:

$$I_R = \sum_{i=1}^k \frac{i^2 \cdot F_i}{k^2}$$

where: i – denotes a successive stage of the sequential extraction, k – maximum number of extractions (in the BCR procedure, $k = 4$), F_i – relative metal content in the i th chemical form

The index values obtained for individual metals are shown in Table 1.

Table 1. Metal redistribution index I_R in the sewage sludge before and after digestion

Index	Trial type	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn
I_R	before digestion	0.94	0.92	0.96	0.79	0.98	0.69
	after digestion	0.96	0.97	0.99	0.87	0.96	0.79

4. Conclusions

In the sewage sludge from the Sitkówka-Nowiny sewage treatment plant, heavy metals occurred mainly in the forms that are considered immobile. They were metals bound to aluminosilicates, and their sulphides, and also stable metal-organic connections. These forms do not pose a toxicological hazard. The content levels of heavy metals in the sewage sludge under consideration did not exceed the admissible limits that are in force in Poland for the sludge intended for agricultural use.

The results of sequential extraction indicate that metals were characterised by a substantial content of potentially stable forms (residual fraction). After the digestion process, for a majority of metals, the content of reducible form is clearly decreased and the concentration of organic and residual fractions is increased. As a result of redistribution, copper, zinc

and nickel mobility in the sludge decreased, and the strength of bond, measured with index I_R increased for all metals.

References

- [1] Alvarez E.A., Mochón M.C., Jiménze Sánchez J.C., Rodríguez M.T.: *Heavy metal extractable forms in sludge form wastewater treatment plants*, Chemosphere 47 (2002), p. 765-775.
- [2] Weiner R.F., Matthews R.A.: *Environmental Engineering*, Elsevier Science, Burlington 2003.
- [3] Xiang L., Chan L.C., Wong J.W.C.: *Removal of heavy metals from anaerobically digested sewage sludge by isolated indigenous iron-oxidizing bacteria*, Chemosphere 41 (2000), p. 283-287.
- [4] Wilk M., Gworek B.: *Heavy metals in sewage sludge*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych 39 (2009), p. 40-59 (in Polish).
- [5] Ming C., Xiao-Ming L., QI Y., Guang-Ming Z., Ying Z., De-Xiang L., Jing-Jin L., Jing-Mei H., Liang G.: *Total concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge from Changsha, Zhuzhou and Xiangtan in middle-south region of China*, Journal of Hazardous Materials (160) 2008, p. 324-329.
- [6] Joksić A.S., Katz S.A., Horvat M., Milačić R.: *Comparison of single and sequential extraction procedures for assessing metal leaching from dredged coastal sediments*, Water, Air, and Soil Pollution 162 (2005), p. 265-283.
- [7] Lopez-Sanchez J.F., Rubio R., Rauret G.: *Comparison of two sequential extraction procedures for trace metal partitioning in sediments*, International Journal of Environmental Analytical Chemistry 51 (1993), p. 113-121.
- [8] Filgueiras A.V., Lavilla I., Bendicho C.: *Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples*, Journal of Environmental Monitoring 4 (2002), p. 823-857.
- [9] Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M.: *Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals*, Analytical Chemistry, 51 (1979), p. 844-851.
- [10] Latosińska J., Gawdzik J.: *Effect of incineration temperature on the mobility of heavy metals in sewage sludge ash*, Environment Protection Engineering, 38(3) (2012), p. 31-44.
- [11] The Ordinance of the Minister of Environment of 06.02.2015 on the sewage sludge, Journal of Laws No. 257 (in Polish).
- [12] Han F.X., Banin A., Kingery W.L., Triplett G.B., Zhou L.X., Zheng S.J.: *New approach to studies of heavy metal redistribution in soil*, Advances in Environmental Research 8 (2003), p. 113-120.

Łukasz Bąk
Jarosław Gawdzik
Joanna Muszyńska
Marta Bryk

Wpływ fermentacji osadów ściekowych na mobilność metali ciężkich w oczyszczalni ścieków w miejscowości Sitkówka-Nowiny

1. Wprowadzenie

Osady powstające w fizycznych, fizyczno-chemicznych i biologicznych procesach jednostkowych oczyszczania ścieków komunalnych stanowią zawiesinę organiczno-mineralną będącą układem dyspersyjnym. W układzie tym fazą dyspersyjną jest woda wraz z rozpuszczonymi w niej substancjami, zaś fazę zdyspergowaną tworzą: faza stała utworzona przez cząstki substancji nierozpuszczalnych i mikroorganizmy oraz faza gazowa. Wysokie uwodnienie oraz obecność połudnych na rozkład biologiczny związków organicz-

nych w tego typu osadach powodują skłonność do zagniawania i wydzielania nieprzyjemnych zapachów.

Znajomość cech charakterystycznych danego osadu jest niezbędna do właściwego zaprojektowania procesów technologicznych jego przeróbki i unieszkodliwiania. W każdym przypadku są one pochodną źródła powstawania ścieków oraz zastosowanej technologii ich oczyszczania.

W osadach ściekowych metale ciężkie mogą występować w postaci rozpuszczonej, wytrąconej, współstrąconej z tlenkami metali, zaadsorbowane lub zaso-

cjowane na cząstkach resztek biologicznych, a także mogą mieć formę tlenków, wodorotlenków, siarczków, siarczanów, fosforanów, krzemianów, organicznych połączeń w postaci kompleksów huminowych oraz związków z cukrami złożonymi [1, 2]. Wszystkie te przemiany wpływają na zróżnicowanie form chemicznych metali ciężkich skumulowanych w osadach ściekowych, z których formy mobilne mogą przenikać z osadów do środowiska gruntowego [3].

Ogólna zawartość metali ciężkich nie jest miarodajnym wskaźnikiem oceny biodostępności metali ciężkich. Oceny takiej można dokonać jedynie poprzez określenie ilości metali związań przez poszczególne składniki (frakcje) osadów ściekowych. Najczęściej stosowaną metodą jest analiza sekwencyjna, pozwalająca na identyfikację grup związków, z którymi metal jest związany. Powszechnie stosowaną metodą ekstrakcji sekwencyjnej osadów ściekowych jest metoda wg Tessiera i in., która pozwala na wyodrębnienie następujących operacyjnie zdefiniowanych frakcji: wymiennej, węglanowej, redukcyjnej, utlenialnej (związanej z materią organiczną) oraz rezydualnej [4].

2. Materiały i metody badań

Do badań wykorzystano komunalne osady ściekowe pobrane zgodnie z PN-EN ISO 5667-13:2004 z mechaniczno-biologicznej oczyszczalni ścieków w Sławkowie-Nowiny (woj. świętokrzyskie).

Przeróbka i unieszkodliwianie osadów ściekowych powstających na oczyszczalni prowadzone jest przez mechaniczne zagęszczanie osadu nadmiernego, fermentację mezofilową osadu wstępnej i nadmiernego.

Fermentacja osadów odbywa się w dwóch cylindrycznych, zamkniętych wydzielonych komorach fermentacyjnych (WKF), każda o pojemności 4200 m³. Jako rezerwę pozostawiono stary WKF o pojemności 3000 m³, który obecnie wyłączony jest z eksploatacji. WKF są niezależnymi, pracującymi równolegle reaktorami przepływowymi pełnego wymieszania. Zachodzi w nich proces mezofilowej (37°C), metanowej fermentacji osadu. Osad, który poddawany jest temu procesowi podgrzewany jest poza komorą w rurowych wymiennikach ciepła. Zawartość każdego WKF mieszana jest 24 h/dobę wolnoobrotowym mieszałkiem z dwoma śmigłami.

Przebieg ekstrakcji:

Krok pierwszy – ekstrakcja metali wymienialnych i/lub związanych z węglanami (F-I):

Odważono 2 g osadu ściekowego i przeniesiono do próbówki wirnikowej o pojemności 100 cm³. Następ-

nie dodano 40 cm³ 0,11-molowego roztworu kwasu octowego. Próbę wytrząsano 16 h w temperaturze pokojowej. Oddzielono ekstrakt od osadu ściekowego poprzez wirowanie (4000 obr/min). W cieczy oznaczono zawartość metali ciężkich.

Krok drugi – ekstrakcja frakcji redukowalnych (F-II):

Osad ściekowy przemyto 20 cm³ wody destylowanej (wytrząsano i wirowano). Następnie do osadu ściekowego dodano 40 cm³ 0,1-molowego roztworu chlорowodorku hydroksyloaminy o pH = 2. Do korekty pH wykorzystano kwas azotowy. Postępowano jak w kroku pierwszym (wytrząsano i wirowano). W cieczy oznaczono metale frakcji II.

Krok trzeci – ekstrakcja frakcji utlenialnych (F-III):

Osad ściekowy przeniesiono ilościowo do parownic kwarcowych i dodano 10 cm³ 30% nadtlenku wodoru. Zawartość parownicy ogrzewano w łaźni wodnej w temperaturze 85°C w czasie jednej godziny. Czynność powtórzono, dodając do osadu ściekowego 10 cm³ 8,8-molowego roztworu nadtlenku wodoru. Po wystudzeniu prób osadu ściekowego przeniesiono do próbówek wirnikowych, po czym dodano 50 cm³ roztworu octanu amonu (1 mol/dm³, pH = 2). Próbę wytrząsano 16 h, a następnie oddzielono osad ściekowy od ekstraktu. W roztworze oznaczono formy metali III.

Krok czwarty – identyfikacja zawartości frakcji rezydualnej, ZFR (F-IV):

Osad przemyto i wysuszonono do stałej masy. Mineralizację frakcji rezydualnej przeprowadzono z udziałem wody królewskiej. Do kolby stożkowej o objętości 300 cm³ zawierającej 0,5 g osadu dodano ostrożnie 30 cm³ stęż. HCl i 10 cm³ stęż. HNO₃. Zawartość kolby ogrzewano 30 minut, następnie odparowano do sucha. Po ochłodzeniu dodano 25 cm³ HCl (1+5), rozpuszczono osad ściekowy i przeniesiono do kolby miarowej i uzupełniono wodą destylowaną do 50 cm³, następnie wymieszano i przesączono zawartość kolby do suchego naczynia. W przesączu oznaczono metale frakcji IV.

3. Wyniki i dyskusja

Uzyskane wyniki badań zaprezentowano na rysunkach 1-5. Rysunki 1 oraz 3 przedstawiają wyniki oznaczeń zawartości metali ciężkich w badanych frakcjach w przeliczeniu na suchą masę osadu, odpowiednio rysunek 1 – przed fermentacją i rysunek 3 – po fermentacji. Rysunki 2 i 4 przedstawiają relatywną zawartość

wybranego metalu (% mas.) ciężkiego oznaczanego we frakcji BCR w stosunku do jego sumarycznej zawartości w osadzie ściekowym. Przeprowadzona analiza sekwencyjna wykazała, że w osadach ściekowych są obecne różnorodne formy metali.

Średni udział badanych metali ciężkich wyrażonych w ppm w wydzielonych frakcjach w analizowanym osadzie ściekowym pobranym przed fermentacją przedstawiono w następujących szeregach malejących zawartości ppm:

- dla Cu: FIV (160,11) > FI (11,67) > FIII (4,28) > FII (2,68)
- dla Cr: FIV (40,51) > FIII (0,98) > FI (0,76) > FII (0,29)
- dla Cd: FIV (9,31) > FIII (0,56) > FI (0,19) > FII (0,16)
- dla Ni: FIV (10,02) > FI (2,15) > FIII (1,19) > FII (0,49)
- dla Pb: FIV (96,45) > FI (1,19) > FIII (0,97) > FII (0,12)
- dla Zn: FIV (108,9) > FIII (89,1) > FI (24,5) > FII (20,9)

W przypadku metali ciężkich uzyskanych we frakcji I, rozpuszczalnych w wodzie i związkach z węglanami, największy udział, bo ponad 10%, odnotowano dla niklu oraz dla cynku (rys. 2). Poza miedzią, której udział wyniósł niespełna 7%, pozostałe metale ciężkie uzyskały niewielki – bo niższy niż 3% udział. Nikiel oraz cynk były również metalami najbardziej mobilnym, odpowiednio 18,5% oraz 19,8%.

Największą zawartość metali ciężkich we frakcji rezydualnej odnotowano dla ołowiu. W przypadku frakcji IV stanowił on aż 97,2% udziału. Wysoka była również zawartość chromu i kadmu, odpowiednio 95,1% oraz 91,9% (rys. 2). Najmniejszy udział procentowy we frakcji IV wystąpił w przypadku cynku i wynosił jedynie 45,6%.

Średni udział badanych metali ciężkich wyrażonych w ppm w wydzielonych frakcjach, w analizowanym osadzie ściekowym pobranym po fermentacji, przedstawiono w następujących szeregach malejących zawartości ppm:

- dla Cu: FIV (295,18) > FI (7,02) > FIII (4,43) > FII (1,52)
- dla Cr: FIV (105,97) > FIII (1,67) > FI (1,0) > FII (0,31)
- dla Cd: FIV (9,41) > FIII (0,65) > FI (0,14) > FII (0,07)
- dla Ni: FIV (21,97) > FI (2,85) > FIII (1,59) > FII (0,5)

- dla Pb: FIV (123,52) > FIII (13,45) > FI (0,2) > FII (0,03)
- dla Zn: FIV (246,7) > FIII (148,3) > FI (14,3) > FII (10,4).

W przypadku metali ciężkich uzyskanych we frakcji I, rozpuszczalnych w wodzie i związkach z węglanami, prawie 10,9% udział odnotowano dla niklu (rys. 4). Poza cynkiem, którego udział wyniósł niespełna 3,4%, pozostałe metale ciężkie uzyskały niewielki bo niższy niż 2,3% udział procentowy. Nikiel był również metalem najbardziej mobilnym (frakcja I + frakcja II = 12,5%).

Wyniki badań dla ustabilizowanych komunalnych osadów ściekowych potwierdziły obserwowaną tendencję koncentracji metali ciężkich we frakcjach niemobilnych (frakcja III i frakcja IV). Miedź, ołów oraz cynk wykazyły znaczną zawartość frakcji związanego z materią organiczną i/lub siarczkowej (frakcja III).

Największą zawartość metali ciężkich we frakcji rezydualnej odnotowano dla miedzi. W przypadku frakcji IV stanowił on aż 95,8% udziału. Wysoka była również zawartość chromu i kadmu, odpowiednio 97,3 oraz 91,6% (rys. 4). W najmniejszym udziale procentowym wystąpił cynk, jedynie 58,8%. Miedź oraz chrom wykazują sumarycznie najwyższą niemobilność (frakcja III + frakcja IV).

Wskaźnik stabilności metali I_R informuje o sile wiązania metali z mineralno-organicznymi składnikami gleb w czasie, jaki upłynął od momentu zanieczyszczenia, i może przyjmować wartość w przedziale $0 \leq I_R \leq 1$. Jeżeli metal występuje w formie łatwo rozpuszczalnej i wymiennej, to wartość I_R jest bliska zeru, natomiast w przypadku gdy $I_R \approx 1$, metal dominuje w formach stabilnych, głównie w pozostałościowej. Wartości pośrednie wskazują na zróżnicowany udział metalu zarówno w formach mobilnych, jak i stabilnych.

4. Wnioski

W badanym osadzie ściekowym z oczyszczalni ścieków Sitkówka-Nowiny metale ciężkie występowały głównie w formach uznawanych za niemobilne. Były to metale związane z glinokrzemianami oraz ich siarczki i trwałe połączenia metaloorganiczne. Formy te nie stanowią zagrożenia toksykologicznego. Pozometry zawartości metali ciężkich w badanych osadach ściekowych nie przekroczyły dopuszczalnych limitów obowiązujących w Polsce dla osadów przeznaczonych do wykorzystania rolniczego.

Wyniki ekstrakcji sekwencyjnej wskazują, że metale charakteryzowały się znacznym udziałem form po-

tencjalnie stabilnych (pozostałościowa). Po procesie fermentacji dla większości metali odnotowano wyraźne zmniejszenie się udziału formy zredukowanej oraz wzrost stężenia frakcji organicznej i pozostałościowej. Na skutek redystrybucji, w osadzie nastąpiło zmniejszenie mobilności miedzi, cynku i niklu oraz wzrost siły wiązania, mierzonej wskaźnikiem I_R , dla wszystkich metali.

LIDIA KOWALCZYK
e-mail: lidzia15_89@interia.pl

KAROL KRAWCZYK
e-mail: krawczyk_karol@op.pl

AGNIESZKA MAKUCH
e-mail: a.makuch1990@gmail.com

JAKUB MOSIOŁEK
e-mail: kubamos@interia.pl

BARTOSZ PIŚKIEWICZ
e-mail: bartoszpiśkiewicz@gmail.com

Kielce University of Technology

MICHał PLUTA
e-mail: majkel170792@gmail.com

AGATA PROBOSZCZ
e-mail: agata.proboszcz@gmail.com

JACEK SZEWCZYK
e-mail: jszewczyz@gmail.com, jszewczyk@tu.kielce.pl

KAROLINA ŚWIDZICKA
e-mail: karolajn3@vp.pl

ANNA WIRECKA
e-mail: hydzys@gmail.com

Kielce University of Technology

STUDY OF THE CONDITION OF THE SELECTED UNDERGROUND CAVES IN KADZIELNIA AREA, KIELCE

Abstract

The area of Kadzielnia in Kielce is one of the best known cave areas in the region. Part of the caves (the group Jaskinia Odkrywców – Prochownia – Szczelina) has been made available to tourists. This requires proper protection of a tourist route; in the caves there is a possibility of threats in the form of rock falls, cracks, depressions, etc. Therefore, the state of the caves requires monitoring, including surveying methods. For this reason, an inventory of four selected parts of said group of caves was conducted with the use of modern surveying techniques. The measurement was performed with the use of scanning tacheometry, complemented with digital images of the monitored fragments. The results are presented in the form of spatial models (in AutoCAD Civil 3D and Surfer) and compiled with the taken pictures. Presented results are initiating a broader study on the state of the Kadzielnia caves.

Keywords: inventory survey of the caves, scanning tacheometry

1. Introduction

The inanimate nature reserve Kadzielnia in Kielce is the most famous cave area in the Świętokrzyskie (Holy Cross) Mountains. Inside the walls of the former quarry 25 caves with a total length of 678 m were inventoried and large sinkholes filled with deposits were described. Most of them are located within Skałka Geologów (Geologists Rock), and the biggest ones are located in the eastern wall of the quarry. The caves are partly accessible to tourists (the group: Jaskinia Odkrywców (Explorers Cave) – Prochownia (Gunpowder Works) – Szczelina (Fissure)). This requires ensuring safety while exploring the tourist route. The nature of the geological structure of Kadzielnia, especially the presence of karst phenomena, however, implies the possibility of threats in the form of rock fragments falling off, the appearance of fissures, sinkholes and other deformations of the rock mass. The caves thus

require frequent inventory to determine the possibility of occurrence of deformations and to adopt protective measures.

The inventory consists in determining the current state of the object and the development of appropriate documentation for it, necessary for conservation and design works. This is a complex and laborious process requiring high precision from the doer. It consists of both survey and analysis as well as proper visualization of their results [1].

Initiating the survey of fragments of the caves in Kadzielnia, Kielce in order to conduct an inventory and identify the sites at risk took place in 2014 within the statutory research, the activity of Geomatica Student Academic Circle and engineering theses defended in 2015 at the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering at the Kielce University of Technology [2-5], in parallel with other measurements for the inventory of Kadzielnia area [6, 7].

Surveying included four fragments of the group Jaskinia Odkrywców (Explorers Cave) – Prochownia (Gunpowder Works) – Szczelina (Fissure) (Fig. 1): Wiesław Chamber, the chamber of Korytarz Południowy (Southern Corridor), second and third room from the side of Szczelina (Fissure) and Korytarz Lewy (Left Corridor).

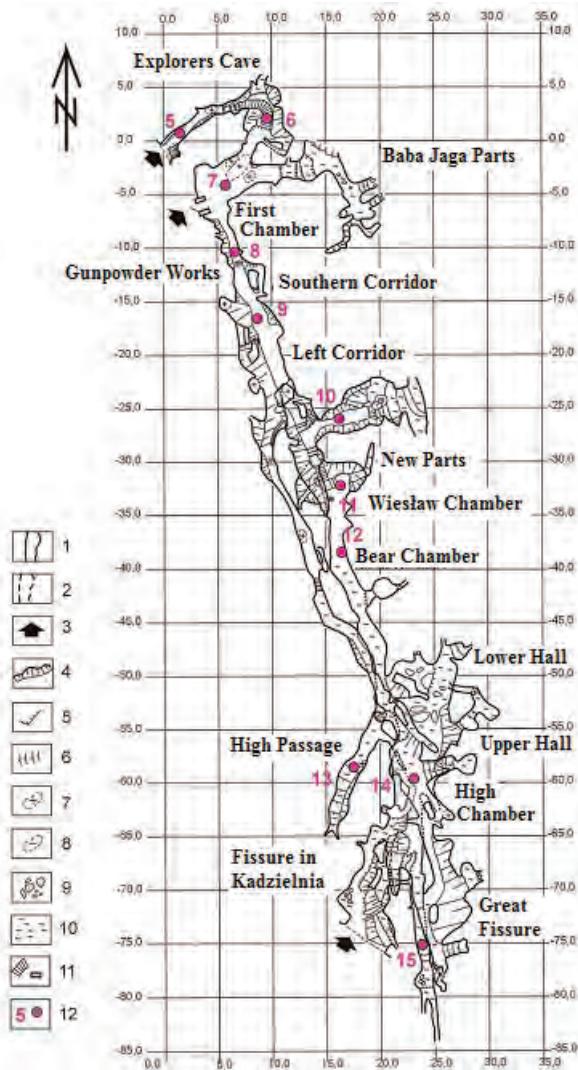


Fig. 1. The system of the caves Jaskinia Odkrywców-Prochownia-Szczelina (Explorers Cave-Gunpowder Works-Fissure) in Kadzielnia, after joining them and finishing mining works which made the caves available in summer 2011.

Explanation of the markings: 1 – the contours of the cave corridor, 2 – the contours of the corridor, 3 – arrow pointing at the opening of the cave, 4 – steep sloping of the corridor walls of the cave, 5 – scarp, 6 – sloping of the bottom of the cave, 7 – cave chimney, 8 – cave well, 9 – blocks and rubble rock at the bottom of the cave, 10 – clayey silt at the bottom of the cave, 11 – artificial elements in the cave: masonry, stairs, 12 – an observation point on the educational path (according to [8, 9]).

Sites of inventory surveying are shown

The cave system – Jaskinia Odkrywców-Prochownia-Szczelina is the largest underground object in Kadzielnia, Kielce. Originally there were three separate caves which were connected in a series of caves during exploration work conducted by speleologists in 2004-2009. The openings of the caves are artificial, located on the wall which remained after the exploitation of the quarry. Most places in the system of the caves were accessible for surveying, which enabled the stabilization and survey of control point as a traverse, with the points placed in the positions enabling visibility and proper set-up of the surveying equipment. Conditions for monitoring were not favorable. Very narrow fissures in which it was difficult to set up and level the instrument were a significant problem. These fissures also called for the need for very short side lines. Sometimes there were problems with visibility between two points, as a result of the difficult position of the points. The caves are winding (Fig. 2), usually dimly lit, with big height differences between the points.



Fig. 2. Photo of the fragment of the studied area [4]

2. Methods of inventory of the underground objects

Inventory methods of underground objects used in the past and currently are following [1]:

- Photogrammetric method – used in the inventory of overground and underground objects with stereophotogrammetric cameras; it requires good lighting of the object.
- Tacheometric method – known in traditional geodesy, convenient for the inventory of the bottom, often for the cave roof; the advantages of this method are high accuracy and simplicity of survey and study.
- Cross section method – is a tacheometric method in which the measurement is taken at regular space

intervals. The measurement of the side walls and roofs of caves is conducted with this technique.

- Orthogonal method was very popular in surveying before the era of electronic total stations. Simplicity of measuring, low cost and high availability of the required instruments meant that a large part of field surveying was performed using this method. However, it is labor-intensive and not very accurate.
- Surveying method of underground excavations using laser pointers – in mining conditions laser pointers act as auxiliary devices used for signalling situational and height details of a chamber. Measuring horizontal and vertical angles from two independent positions to the laser spot realizes spatial section; replaced by scanning tacheometry.
- Inventory method using laser rangefinders – in underground conditions surveying is conducted with the instruments equipped with laser rangefinders, operating in the visible light, i.e. the wavelength of light in the range 380 to 780 nm (laser spot of red or green); replaced by scanning tacheometry.
- Scanning tacheometry method – enables semi-automatic measurements of angular-linear networks, manual measurements of situational details and measurement of the details in the automatic mode while keeping a specific work interval.
- Laser scanning – measurements are made with a laser beam (near infrared) with high frequency due to prism rotating in a vertical plane. Maximum scanning speed depends on the scanner model, most often several – several tens of thousands (for modern scanners up to one million) points per second. By automating the measurement, especially in dangerous mining conditions, the degree of the user's exposure to hazards that may occur can be greatly eliminated.

Significant technological progress which took place also in geodesy and cartography caused that scanning instruments began to enjoy increasing popularity, greatly accelerating the work of land surveyors. The first measurements with the use of scanning devices began in the 1990s, but the process of their improving and of increasing their functions is still being continued. This development also applies to specialized software for processing data from laser scans. Laser scanning has begun to play an important role in the inventory measurement of large enclosed structures, including caves. Currently, this method is competitive, compared with conventional surveying methods, due to high efficiency in performing high

accuracy studies and the possibility of integration of laser scanning into sensors recording in the optical range of radiation (hyperspectral scanners, thermal cameras) used in photogrammetry. Laser scanner imaging is independent of lighting conditions, lack of sunlight does not constitute a problem during night measurements as the device is powered by an independent source of energy. The results obtained by the method of laser scanning are usually much more accurate compared with traditional surveying methods.

3. Selection of inventory method and performing measurements

While assessing the lay of the land of the caves in the Kadzielnia nature reserve, the best possible method for the measurement of the condition of the caves – if the use of laser scanning which gives a fuller picture of the measured objects is impossible – is the method of cross section combined with use of scanning tacheometry; this allows for high automation of surveying works and a relatively large number of measured points within a short time. These points will be measured with an error not exceeding 1.5 mm with regard to the traverse points.

The project of control network should consider the choice of the optimum geometrical structure of the network, ensuring durability and stability of the measurement marks and the required accuracy of observation. Due to the fact that the control runs through a long and narrow route the best solution was to establish a polygon traverse [10].

Inside the cave system 15 points were stabilized, from the entrance through Szczelina to the exit through Jaskinia Odkrywców, where the traverse was connected to the external points. Eventually, the control network is made up of a 17-point closed traverse, including 2 points outside the caves (Fig. 3).

From the adjustment of the control network errors of positions of the points within the range of up to 6.5 mm were obtained. Error of the height of control point of the traverse ranges to 7.7 mm.

In the inventory measurements two methods of scanning tacheometry were used: reflector and reflectorless. Reflector method was used mainly to measure and stabilize the network points. Reflectorless method was used to measure the interior of the caves.

Measurements in the caves were performed with the use of an electronic total station TOPCON QS1A, operating in automatic and manual reflectorless mode. Using the appliance was possible thanks to the purchase within the project „Retrofitting laboratories assisting the

teaching process in the course of study at Environmental Engineering and Geodesy and Cartography Faculties at Kielce University of Technology”, the project co-financed by the European Union under the European Regional Development Fund Operational Programme Świętokrzyskie Voivodship for the years 2007-2013. Total station is equipped with stepper motors which enable variable work interval so that the data about a specific density of points on the measured area can be obtained automatically. The density of the points enables control over the measurement data (a given measurement point is a control point to an adjacent point), it also gives the opportunity to build a spatial model of inventoried objects. While plane measuring (regular, with distinct planes) the fitting takes place, e.g. with the method of the smallest editable squares, planes and solids (cylinders, spheres, cones), whereas while measuring irregular objects, stretching of triangulation networks takes place directly on the sets of points. In the cave the interval was typically 5°. Selecting the scan interval (and thus resolution of the image) was dictated by organizational considerations (the caves were available for the measurement one day a week in limited hours). In some parts (where it was not possible to use automatic reflectorless measurement) manual reflectorless measurement was also performed, by way of targeting the laser spot on the measured point. Ceilings, footwall and sidewalls of the caves were measured.

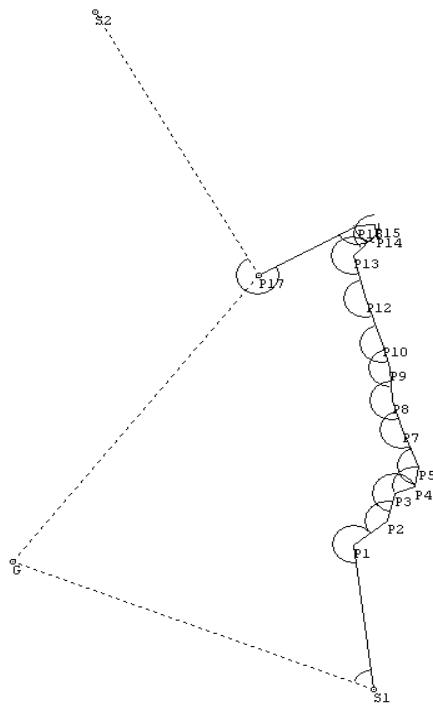


Fig. 3. Sketch of the control network [2-4]

4. Development and visualization of the results of observation

The data from the inventory measurement were transmitted as a text file with a set of coordinates of point cloud from the field computer. The obtained data were processed further in Winkalk. Manual filtration of the points was performed and the points whose data were unnecessary or incorrect were removed. The number of measured pickets after filtration decreased insignificantly. The procedure of manual filtering is more effective than computerized procedures that automate the process of filtration. It may be more time consuming, but reliable. Due to the limited capabilities of the software, the remaining points were divided between three areas: roof, bottom, sidewalls to prevent incorrect visualization in the software. A point cloud was loaded in AutoCAD Civil 3D 2015. Then, the option to display a network of triangles in the wireframe model with the use of visualization options in this software was started. After this procedure an edit option could be used to eliminate the adverse combinations resulting from the creation of a network of triangles which sometimes connected even distant points on a plane.



Fig. 4. Sample visualization in AutoCAD Civil 3D 2015 [4]



Fig. 5. A picture to compare with the above visualization [4]

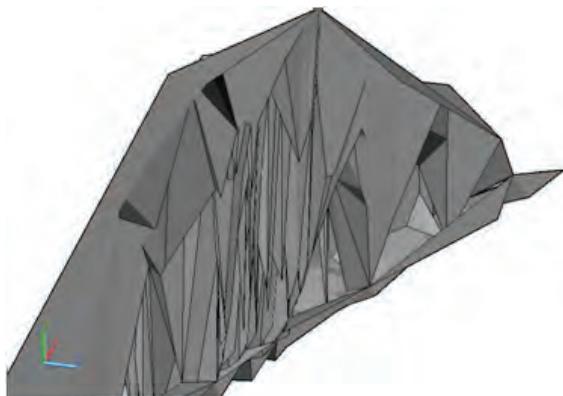


Fig. 6. The view of Korytarz Południowy (Southern Corridor) [3]

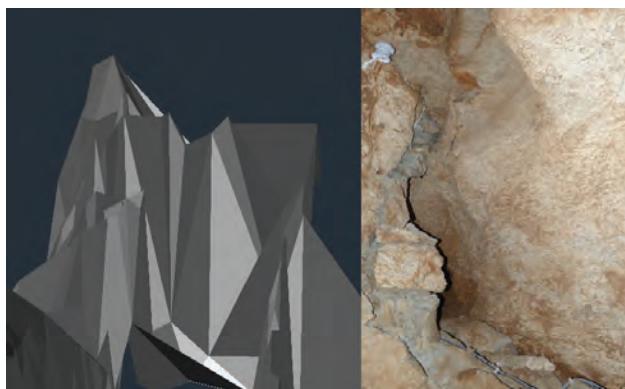


Fig. 7. Comparison of the 3D model created in AutoCAD Civil 3D 2015 with a picture taken in a cave. The fragment shows the cavity at Korytarz Lewy (Left Corridor) [5]

In addition, sample pictures were taken in the observed cave in order to compare them with the obtained results of visualization. Sample compilation of models and pictures of fragments of the cave are shown in Figures 4-7.

Due to the limited resolution of scanning the created 3D model does not accurately reflect the actual topography.

Models of the footwall and sidewalls of the caves were also made in the Surfer software. Examples of the obtained results are provided in Figures 8 and 9.

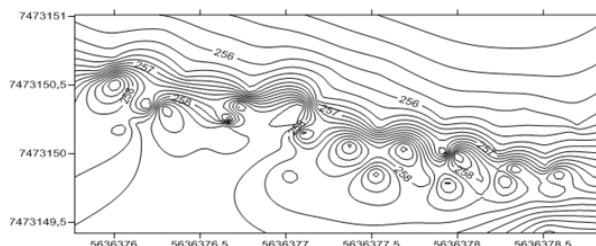


Fig. 8. Contour map showing the situational position of the height of contours of the sidewall [3]

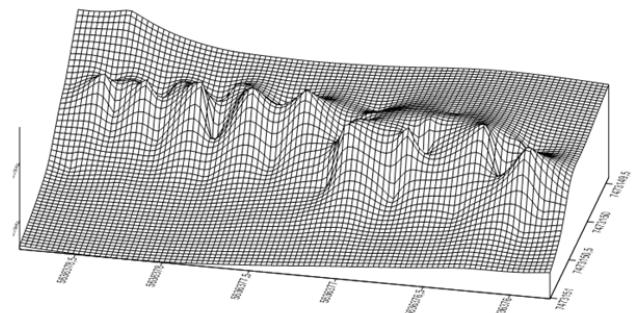


Fig. 9. Wireframe map of the sidewall [3]

Presented schemes will facilitate the comparison of performed inventory with measurements which will be made in the future.

5. Conclusions

1. The need for inventory measurement of the caves which are tourist objects stems from the likelihood of their threat to tourism. These risks relate to the possibility of destabilization of the rocks forming caves, and resulting from mere movement of people, the vibration caused by the events at the amphitheater nearby, performed repairs and geological structure of the orogen (karst).
2. The observation method of the geotechnical object deformation presented in the paper is a new inventory technology, with the use of scanning technique. Instruments used for measuring – TOPCON scanning total station QS1A – and the applied methods worked in the harsh cave conditions. The resulting accuracy matched the assumptions of the observation. The results of measurements and their accuracy depended on the properties of an object and the prevailing conditions such as high humidity reaching 80%, surface texture of the walls and roofs, narrow and winding galleries, low air temperature and ambient field conditions. The constraint was also total station scanning range, which was at least 1 m. Measuring with laser scanner is in such conditions more effective; however, due to the 5 m minimum range of the scanner, it could not be implemented.
3. Error in the position of the pickets is within an average error of measurement with scanning technique. Assumed scan resolution, resulting from organizational capabilities, however, did not provide sufficient quality of a spatial model of the caves.
4. While developing the model, AutoCAD Civil 3D and Surfer were used. After modelling in both programs it can be concluded that the measurements do not reflect the exact shape of the cave.

5. The results of visualization can, regardless of the mentioned objections, serve to monitor specific parts of the caves in order to study the displacements and deformations that may pose a security threat for the area of the cave.
6. Performing subsequent measurement cycles with the use of established geodetic network and a similar set of instruments will enable to compare the position of the cave walls and to determine their possible displacements. 10 cm is applied as a significant value of displacement.

References

- [1] Pielok J. (red.): *Geodezja górnictwa*, Wyd. AGH, Kraków 2011.
- [2] Kowalczyk L., Mosiołek J.: *Zastosowanie instrumentów laserowych do inwentaryzacji jaskiń na terenie Kadzielnii w Kielcach*. Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [3] Makuch A., Proboszcz A.: *Pomiary laserowe jako metoda inwentaryzacji jaskiń na terenie Kadzielnii w Kielcach*. Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [4] Piśkiewicz B., Pluta M.: *Pomiar stanu jaskiń na terenie Kadzielnii w Kielcach za pomocą przyrządów laserowych*.
- [5] Świdzicka K., Wirecka A.: *Inwentaryzacja jaskiń za pomocą instrumentów laserowych na przykładzie terenu Kadzielnii w Kielcach*. Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [6] Duma P. et alt.: *Study of the condition of the selected landslides in the area of Kadzielnia*. Structure and Environment, Kielce University of Technology (in print).
- [7] Klimczyk P. et alt.: *Determining the shape and volume of the post-mining basin in Kadzielnia area, Kielce*. Structure and Environment, Kielce University of Technology (in print).
- [8] Urban J., Kasza A., Ochman K., Hercman H.: *Kenozoiczny kras Kadzielnii*, Instytut Geografii Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, 2011.
- [9] Górniaak M., Jóźwiak M., Kasza A., Urban J.: *Przewodnik sesji terenowych*, Sitkówka-Nowiny 2006.
- [10] Gocał J.: *Geodezja inżynierijno-przemysłowa cz. I*, wyd. AGH, Kraków 2004.

Research for the article was funded by statutory research of the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering of Kielce University of Technology, No. 05.09.00/2.01.01.01.0022 MNSP.IKGO.15.006

Lidia Kowalczyk
Karol Krawczyk
Agnieszka Makuch
Jakub Mosiołek
Bartosz Piśkiewicz

Michał Pluta
Agata Proboszcz
Jacek Szewczyk
Karolina Świdzicka
Anna Wirecka

Badania stanu wybranych jaskiń podziemnych na terenie Kadzielnii w Kielcach

1. Wstęp

Teren rezerwatu przyrody nieożywionej Kadzielnia w Kielcach Kadzielnii to najbardziej znany obszar jaskiniowy w Górzach Świętokrzyskich. W ścianach dawnego kamieniołomu zinwentaryzowano 25 jaskiń o łącznej długości 678 m oraz opisano duże leje krasowe wypełnione osadami. Większość z nich znajduje się w obrębie Skałki Geologów, zaś największe mieszczą się we wschodniej ścianie kamieniołomu. Jaskinie są częściowo dostępne dla ruchu turystycznego (zespół Jaskinia Odkrywców – Prochownia – Szczelina). Wymaga to zapewnienia bezpieczeństwa podczas zwiedzania trasy turystycznej. Charakter bu-

dowy geologicznej Kadzielnii, zwłaszcza występowanie zjawisk krasowych, implikuje jednak możliwość wystąpienia zagrożeń w postaci odpadania odłamków skalnych, pojawiania się szczelin, zapadlisk i innych deformacji górotworu. Jaskinie wymagają więc prowadzenia częstej inwentaryzacji, w celu określenia możliwości występowania deformacji i dla podjęcia zabiegów zabezpieczających.

Inwentaryzacja polega na określeniu aktualnego stanu obiektu oraz opracowaniu dla niego odpowiedniej dokumentacji, niezbędnej w pracach konserwatorskich i projektowych. Jest to złożony i pracochłonny proces, wymagający od wykonawcy dużej precyzji. Składają

się na niego zarówno pomiary, jak i analiza oraz odpowiednia wizualizacja ich rezultatów [1].

Zainicjowanie pomiarów fragmentów jaskiń na terenie Kadzielni w Kielcach w celu inwentaryzacji i wskazania miejsc zagrożonych miało miejsce w 2014 r., w ramach badań statutowych, działalności Studenckiego Koła Naukowego Geomatica oraz prac dyplomowych inżynierskich, obronionych w 2015 r. na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej [2-5], równolegle do innych pomiarów inwentaryzacyjnych obszaru Kadzielni [6, 7].

Prace pomiarowe objęły cztery fragmenty zespołu Jaskinia Odkrywców – Prochownia – Szczelina (rys. 1): komorę Wiesława, komorę korytarza południowego, drugą i trzecią salę od strony szczeliny oraz korytarz lewy.

System jaskiniowy – Jaskinia Odkrywców-Prochownia-Szczelina na Kadzielni jest największym obiektem podziemnym na kieleckiej Kadzielni. Pierwotnie były to trzy osobne jaskinie, które połączone zostały w czasie prac eksploracyjnych prowadzonych przez speleologów w latach 2004-2009 w jeden ciąg jaskiniowy. Otwory tych jaskiń są sztuczne, położone na powstałej w wyniku eksploatacji ścianie kamieniołomu. Większość miejsc w systemie jaskiń była dostępna do prac pomiarowych, co umożliwiło stabilizację i pomiar osnowy geodezyjnej w postaci ciągu poligonalnego, z punktami umieszczonymi w miejscach umożliwiających widoczność i prawidłowe rozstawienie sprzętu pomiarowego. Warunki nie były sprzyjające do prowadzenia obserwacji. Istotny problem stwarzały bardzo wąskie szczeliny, w których utrudnione było ustawienie i spoziomowanie instrumentu. Szczeliny te powodowały również konieczność stosowania bardzo krótkich celowych. Niektóre występowaly problemy z widocznością pomiędzy dwoma punktami, wynikającą z trudnego usytuowania punktów. Jaskinie są kręte (rys. 2), zwykle słabo oświetlone, z dużymi różnicami wysokości pomiędzy poszczególnymi punktami.

2. Metody inwentaryzacji stanu obiektów podziemnych

Do stosowanych w przeszłości i obecnie metod inwentaryzacji obiektów podziemnych należą [1]:

- Metoda fotogrametryczna – stosowana jest w inwentaryzacji obiektów naziemnych i podziemnych za pomocą kamer stereofotogrametrycznych; wymaga dobrego oświetlenia obiektu.
- Metoda tachimetryczna – znana z geodezji klasycznej, dogodna jest do inwentaryzacji spągu, często również stropu w jaskiniach; do zalet meto-

dy należy duża dokładność oraz prostota pomiaru i opracowania.

- Metoda przekrojów – jest to metoda tachimetryczna, w której pomiary odbywają się w regularnych odstępach przestrzennych. Za pomocą tej techniki wykonuje się pomiary ociosów i stropów jaskiń.
- Metoda ortogonalna była metodą bardzo popularną w pomiarach geodezyjnych przed erą tachimetrów elektronicznych. Prostota pomiaru i niewielki koszt oraz duża dostępność wymaganych przyrządów sprawiały, że znaczną część pomiarów terenowych wykonywano za pomocą tej metody. Jest jednak pracochłonna i mało dokładna.
- Metoda pomiaru wyrobisk podziemnych przy zastosowaniu wskaźników laserowych – w warunkach kopalnianych wskaźniki laserowe pełnią rolę urządzeń pomocniczych służących do sygnalizacji szczegółów sytuacyjno-wysokościowych komory. Pomiar kątów poziomych i pionowych z dwóch niezależnych stanowisk do plamki lasera realizuje przestrzenne wcięcie „w przód”; zastąpiona przez tachimetrię skanującą.
- Metoda inwentaryzacji z wykorzystaniem dalmierzy laserowych – w warunkach podziemnych wykonuje się pomiary instrumentami wyposażonymi w dalmierz laserowe, działające w paśmie światła widzialnego, tj. długości fali świetlnej z zakresu 380÷780 mm (plamka lasera barwy czerwonej lub zielonej); zastąpiona przez tachimetrię skanującą.
- Metoda tachimetrii skanującej – pozwala na pół-automatyczne pomiary kątowo-liniowe osów, pomiary manualne szczegółów sytuacyjnych oraz pomiar szczegółów w trybie automatycznym przy zachowaniu określonego interwału pracy.
- Skaning laserowy – pomiary wykonywane są za pomocą promienia laserowego (bliska podczerwieni), z dużą częstotliwością dzięki obracającemu się w płaszczyźnie pionowej pryzmatowi. Maksymalna szybkość skanowania zależy od modelu skanera, najczęściej jest to kilka – kilkadziesiąt tysięcy (dla nowoczesnych skanerów nawet do miliona) punktów na sekundę. Dzięki zautomatyzowaniu wykonywania pomiarów, zwłaszcza w niebezpiecznych warunkach kopalnianych, można znacznie wyeliminować stopień narażenia użytkownika na mogące wystąpić zagrożenia.

Znaczny postęp techniczny, który miał miejsce również w dziedzinie geodezji i kartografii spowodował, że coraz większą popularnością zaczęły cieszyć się instrumenty skanujące, w znacznym stopniu

przyspieszające pracę mierniczych. Pierwsze pomiary z zastosowaniem przyrządów skanujących rozpoczęły się w latach 90., jednak nadal trwa proces ich udoskonalania i poszerzania ich funkcji. Rozwój ten dotyczy również specjalistycznego oprogramowania przeznaczonego do opracowywania danych pochodzących ze skaningu laserowego. Skaning laserowy zaczął odgrywać również ważną rolę w pomiarach inwentaryzacyjnych dużych obiektów kubaturowych, w tym jaskiń. Obecnie metoda ta jest konkurencyjna w stosunku do tradycyjnych metod geodezyjnych ze względu na dużą wydajność w wykonywaniu opracowań o wysokiej dokładności oraz możliwości integracji skaningu laserowego z sensorami rejestrującymi w zakresie optycznym promieniowania (skanery hyperspektralne, kamery termowizyjne) wykorzystywany w fotogrametrii. Obrazowanie skanerem laserowym jest niezależne od warunków oświetleniowych, brak światła słonecznego nie stanowi więc problemu przy nocnych pomiarach, gdyż urządzenie zasilane jest niezależnym źródłem energii. Wyniki uzyskane za pomocą metody skaningu laserowego są zwykle znacznie dokładniejsze w porównaniu z tradycyjnymi metodami geodezyjnymi.

3. Wybór metody inwentaryzacji i przeprowadzenie pomiarów

Oceniając ukształtowanie terenu jaskiń w rezerwacie przyrody Kadzielnia, najlepszą możliwą metodą do przeprowadzenia pomiarów stanu jaskiń – przy braku możliwości zastosowania skaningu laserowego dającego pełniejszy obraz pomierzonych obiektów – jest metoda przekrojów w połączeniu z zastosowaniem tachimetu skanującego; pozwala to na dużą automatykę prac pomiarowych i stosunkowo znaczną liczbę pomierzonych punktów w krótkim czasie. Punkty te będą pomierzone z błędem nieprzekraczającym 1,5 mm względem punktów ciągu poligonowego.

Projekt osnowy pomiarowej powinien uwzględnić wybór optymalnej struktury geometrycznej sieci, zapewniającej trwałość i stabilność znaków pomiarowych oraz wymaganą dokładność obserwacji. Ze względu na fakt, że osnowa przebiega przez długą oraz wąską trasę najlepszym rozwiązaniem było założenie ciągu poligonowego [8].

Wewnątrz systemu jaskiń zastabilizowano 15 punktów, od wejścia przez szczeleń aż do wyjścia przez Jaskinię Odkrywców, gdzie ciąg nawiązano do punktów zewnętrznych. Ostatecznie osnowę pomiarową tworzy siedemnastopunktowy ciąg zamknięty, w tym 2 punkty na zewnątrz jaskiń (rys. 3).

Z wyrównania osnowy otrzymano błędy położenia punktów mieszczące się w granicach do 6,5 mm. Błąd wysokości punktów osnowy ciągu poligonowego zawiera się w granicach do 7,7 mm.

W pomiarach inwentaryzacyjnych wykorzystano dwie metody tachimetrii skanującej: lustrową oraz bezlustrową. Metodę lustrową wykorzystano przede wszystkim do pomierzenia i zastabilizowania osnowy pomiarowej. Metodę bezlustrową wykorzystano do pomierzenia wnętrza jaskiń.

Pomiary w jaskiniach zostały wykonane za pomocą tachimetu elektronicznego TOPCON QS1A, pracującego w trybie automatycznym i manualnym bezlustrowym. Tachimetr użyty do pomiaru został zakupiony w ramach projektu „Doposażenie laboratoriów wspomagających proces dydaktyczny kierunku inżynierii środowiska oraz geodezji i kartografii w Politechnice Świętokrzyskiej”, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Świętokrzyskiego na lata 2007-2013. Tachimetr wyposażony jest w silniki krokowe umożliwiające zmienny interwał pracy, dzięki czemu można automatycznie uzyskiwać dane o określonym zagęszczeniu punktów na mierzonej powierzchni. Zagęszczenie punktów umożliwia kontrolę nad danymi pomiarowymi (dany punkt pomiarowy jest kontrolnym dla punktu sąsiadującego), jak również daje możliwość budowania modelu przestrzennego inwentaryzowanych obiektów. Przy pomiarze płaszczyznowym (regularnym, o wyrazistych płaszczyznach) następuje wpasowanie, np. metodą najmniejszych kwadratów, płaszczyzn i brył (walców, sfer, stożków) edytowalnych, natomiast przy pomiarze obiektów nieregularnych ma miejsce rozpinanie siatek triangulacyjnych bezpośrednio na zbiorach punktów. W jaskini założony interwał wynosił zwykle 5°. Wybór interwału skanowania (a więc rozdzielczości otrzymywanego obrazu) był podyktowany wzgledami organizacyjnymi (jaskinie dostępne były do pomiaru przez jeden dzień w tygodniu, w ograniczonych godzinach). W niektórych partiach (tam, gdzie nie można było zastosować automatycznego pomiaru bezlustrowego) wykonano również pomiar manualny bezlustrowy, realizowany przez nakierowanie plamki lasera na mierzony punkt. Dokonano pomiaru stropów, spągów i ociosów jaskiń.

4. Opracowanie i wizualizacja rezultatów obserwacji

Dane z pomiarów inwentaryzacyjnych transmitowane w postaci pliku tekstowego ze zbiorem współ-

rzędnych chmury punktów pochodzących z komputera polowego. Uzyskane dane przetwarzano dalej w programie Winkalk. Wykonano ręczną filtrację punktów, usuwając te, których dane były zbędne bądź błędne. Liczba pomierzonych pikiet po procesie filtracji zmalała w sposób nieznaczny. Procedura ręcznej filtracji jest bardziej efektywna od procedur komputerowych automatyzujących proces filtracji. Jest ona wprawdzie bardziej czasochłonna, ale wiarygodna. Ze względu na ograniczone możliwości programu pozostałe punkty podzielono między trzy obszary: strop, spąg, ociosy, aby zapobiec błędnej wizualizacji w programie. Chmura punktów została wczytana w programie AutoCad Civil 3D 2015. Następnie włączono opcję wyświetlania siatki trójkątów w modelu szkieletowym za pomocą opcji wizualizacji w tym programie. Po wykonaniu tej procedury można było za pomocą opcji edycji wyeliminować niekorzystne połączenia wynikające z utworzenia siatki trójkątów, które niekiedy łączyły nawet odległe do siebie punkty na płaszczyźnie.

Oprócz tego wykonano przykładowe zdjęcia w obserwowanej jaskini, w celu porównania ich z otrzymanymi wynikami wizualizacji. Przykładowe zestawienia modeli i zdjęć fragmentów jaskini przedstawiono na rysunkach 4-7. Ze względu na ograniczoną rozdzielcość skanowania zbudowany model 3D nie odzwierciedla dokładnie rzeczywistego kształtu powierzchni. Wykonano również modele spągu i ociosów jaskiń w programie Surfer. Przykłady otrzymanych rezultatów podano na rysunkach 8 i 9. Przedstawione wykresy ułatwiają porównanie wykonanej inwentaryzacji z pomiarami realizowanymi w przeszłości.

5. Wnioski

1. Konieczność wykonywania pomiarów inwentaryzacyjnych jaskiń, stanowiących obiekt ruchu turystycznego, wynika z możliwości wystąpienia w nich zagrożeń dla tego ruchu. Zagrożenia te wiążą się z możliwością destabilizacji układu skał, tworzących jaskinie, a wynikającą z samego ruchu ludzi, drgań wywołanych imprezami na pobliskim amfiteatrze, przeprowadzanych remontów oraz z budowy geologicznej górotworu (kras).
2. Przedstawiona w pracy metoda obserwacji odkształceń obiektu geotechnicznego jest nową technologią inwentaryzacji, wykorzystującą technikę skanowania. Zastosowane do pomiarów instrumenty – tachimetr skanujący TOPCON QS1A – i metody sprawdziły się w trudnych warunkach pa-

nujących w jaskiniach. Uzyskana dokładność była odpowiednia do założeń obserwacji. Wyniki pomiarów i ich dokładności były uzależnione od właściwości obiektu i warunków w nim panujących, takich jak: wysoka wilgotność powietrza sięgająca 80%, faktura powierzchni ścian i stropów, wąskie i kręte korytarze, niska temperatura powietrza oraz warunki terenowe otoczenia. Warunkiem ograniczającym był również zasięg tachimetru skanującego, wynoszący minimum 1 m. Pomiar skanerem laserowym jest w tych warunkach bardziej efektywny; ze względu na minimalny zasięg skanera, wynoszący 5 m, nie nadawał się jednak do realizacji.

3. Błąd położenia pikiet mieści się w granicach średniego błędu w pomiarach techniką skanowania. Założona rozdzielcość skanowania, wynikająca z możliwości organizacyjnych, nie zapewniała jednak dostatecznej jakości modelu przestrzennego jaskiń.
4. Przy opracowaniu modelu zastosowano programy AutoCad Civil 3D oraz Surfer. Po wykonaniu modelowania w obu programach można stwierdzić, że wykonane pomiary nie obrazują dokładnie kształtu jaskiń.
5. Otrzymane wyniki wizualizacji mogą – niezależnie od wymienionych zastrzeżeń – służyć do prowadzenia monitoringu określonych części jaskiń w celu badania przemieszczeń i odkształceń mogących stanowić zagrożenie bezpieczeństwa dla terenu jaskini.
6. Wykonanie kolejnych cykli pomiarowych, z wykorzystaniem założonej osnowy geodezyjnej i podobnego zestawu instrumentów, pozwoli na dokonanie porównań położenia ścian jaskiń i wyznaczenia ewentualnych przemieszczeń. Za znaczącą wielkość przemieszczenia przyjęto 10 cm.

HANNA V. KOSHLAK

Ivano-Frankovsk National Technical University Oil and Gas, Ukraine
e-mail: annready@yandex.ua

ANATOLIY PAVLENKO

Kielce University of Technology, Poland
e-mail: am.pavlenko@i.ua

JERZY ZB. PIOTROWSKI

Kielce University of Technology, Poland
e-mail: piotrowski@tu.kielce.pl

THE ENERGY PARAMETERS OF FORMATION OF THE POROUS STRUCTURE

Abstract

Research porosity thermal insulation of refractory materials is the important task of power engineering, because the thermal conductivity of porous materials depends on the shape and especially location of pore. Analytical review of existing technologies shows that research in this area is focused on the study of a process separately and generalized theories are not sufficient to clear analysis and model building process heat mass transfer of alumina porous material.

Keywords: thermal conductivity, porosity, swelling, heat insulation

1. Introduction

The thermal insulating products are among the most efficient materials for protecting elements of various purposes. Low density, fire resistance, low thermal conductivity and at the same time sufficiently high structural strength allow considering the porous ceramic material as one of the most promising materials for construction [1, 2].

It is possible to determine three groups of technologies covering all known methods for obtaining porous structures. In the first group of technologies, the porous structure is created by using artificial or natural pore-forming materials and low-melting clays via volumetric method or contact concreting – ceramic pores; the second method is the pore forming of slip mass with different ways of foam-forming, dry mineralizing of foam, aeration, low-temperature gas forming; the third method is high-temperature pore-forming of light-alloy raw materials.

Table 1. The chemical composition of fire-clay

Clay	The content of oxides, %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Lost on ignition
Structural clay	44.59-54.14	27.13-35.85	1.48-2.47	1.14-1.97	0.38-0.81	0.23-0.42	0.21-0.60	0.25-0.45	1.34-3.62	11.48-13.86
Chamotte clay	46.80	36.80	1.58	–	0.20	0.76	0.34	0.18	–	13.6

result is a curve DTA (Figs. 1-4). At processing the experiment's results, the horizontal axis should be graded by temperature. According to the position of peak of the endothermic process, the temperature interval of phase transitions can be found.

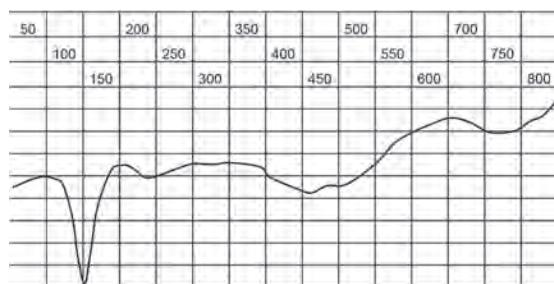


Fig. 1. DTA of raw material mixture with a content of 75 mass fractions of clay No 1 (Table1)

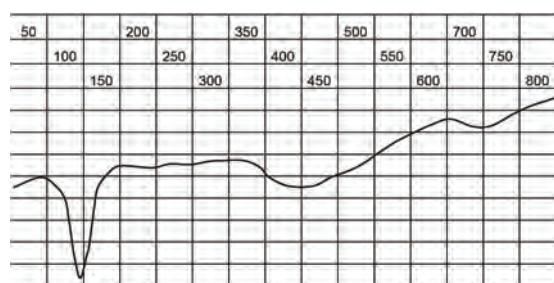


Fig. 2. DTA of raw material mixture with a content of 75 mass fractions of clay No 2 (Table 1)

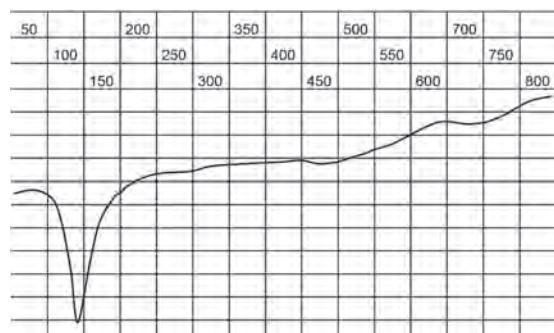


Fig. 3. DTA of raw material mixture with a content of 160 mass fractions of clay No 1 (Table 1)

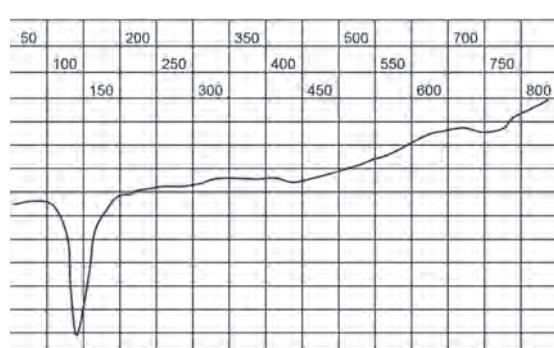


Fig. 4. DTA of raw material mixture with a content of 160 mass fractions of clay No 2 (Table 1)

There is no significant difference in thermal evidence of phase transformations of clays of samples No 1 and No 2 in the charts. However, at increasing the alumina content, the exotherm of moisture removal has a higher minimum, which is a consequence of higher water saturation of the raw material mixture.

On DTA curves the low-temperature endothermic peak of 146°C is recorded, which is due to the removal of adsorbed water; the presence of water is caused by high specific surface area of particles that is directly dependent on disorder of mixture.

Changes, which took place during the heating, showed three endothermic effects: 146, 500, and 720 (average temperature intervals in Figs. 1-4). A large endothermic effect due to the removal of absorbed water is observed at 146°C, and the step observed on the curve at 300°C indicates removal of interpacket water. The second effect (450-550°C) corresponds to the removal of the constitutional water (bound into the form of OH). The endothermic effect at 720°C explains the removal of OH-ions. As it can be seen from the data chart, the optimum temperature range for dehydration of the mixture is within 146-720°C. It should be defined the connection of temperature intervals with the structure of bloated material, and, consequently, with the useful application properties (strength, conductivity, heat resistance, water absorption). For this, changing the composition of the initial mixture, the measurements were repeated under method presented above.

In the obtained DTA curves for all experimental samples in the investigated temperature intervals, a number of phenomena associated with thermal effects are observed: 1) up to 100°C – evaporation of chemically unbound water; 2) 100...170°C – a sudden loss of mass and strongly expressed endothermic effect that is related to the partial dehydration of gel and phases of different composition; 3) 450...550°C – endothermic effect that corresponds to the decomposition of portlandite with water vapor emission; 4) 700...900°C – a minor loss of mass and weak endothermic effect, which is related to the decomposition of carbonate minerals (calcite, dolomite), and late-stage dehydration of gel and hydroaluminates.

2. Studies of the pore structure

The morphology and porosity of the samples were determined by optical methods. According to this method, the macroscopic parameters of porosity inside metric interval with a lower bound of 10 μm and upper bound of 5 mm are determined. The specified interval characterizes the strength parameters of the substance and parameters of heat and mass transfer.

To analyze the structure a polished thin section of bloated material was made and preliminary analysis was carried out at the installation consisting of a projection optical system, television camera and computer with the interface. The general view of thin section in visible light in gray with 256 shades of gray was recorded at 10-times increase. Visualization of pores was carried out by methods of shadow contrast, which is based on applying a system of lighting the surface of a sample, which consists of lights directed at small angles to the surface. When using the method of luminous contrasting the luminophore layer was applied on the surface of the thin section. Thickness of luminophore was preliminary rated by the method of water sedimentation with reveal of luminophore particles of submicron size. Excess luminophore is removed from the surface by blowing, after what a specialized film is applied on the surface to remove the remaining luminophore particles. The sample's surface was controlled via a binocular microscope. In the plane of granules and inter-granules planes the pores with a minimum size of $150 \text{ m}\mu$ were recorded. The object marker lay-out defined by the contours of particles of the fired granules was built. The resulting scene is analyzed with determining the size (Figs. 5-10).

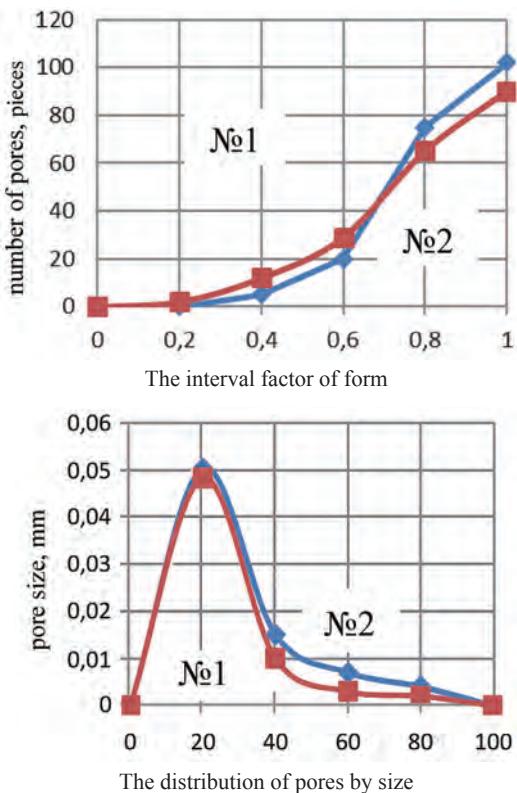


Fig. 5. The parameters of total porosity of the samples No 1 and No 2 (75 mass fractions) bloated at temperature of 160°C (the first endothermic minimum)

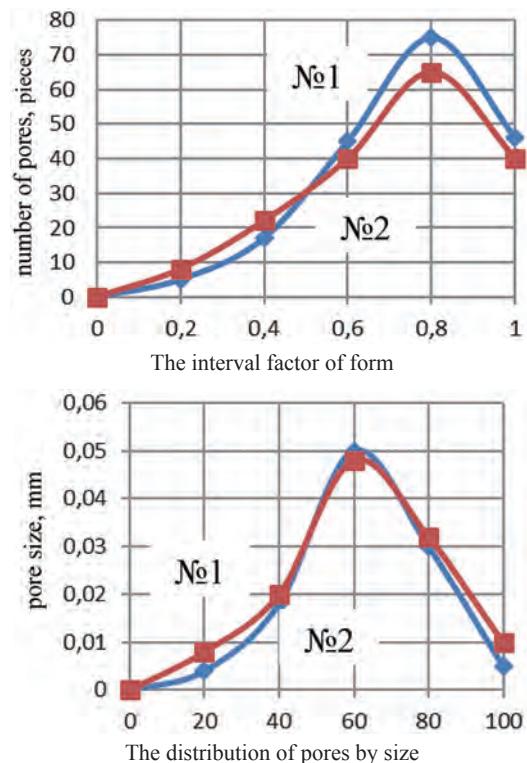


Fig. 6. The parameters of total porosity of the samples No 1 and No 2 (75 mass fractions) bloated at temperature of 300°C (the first endothermic minimum)

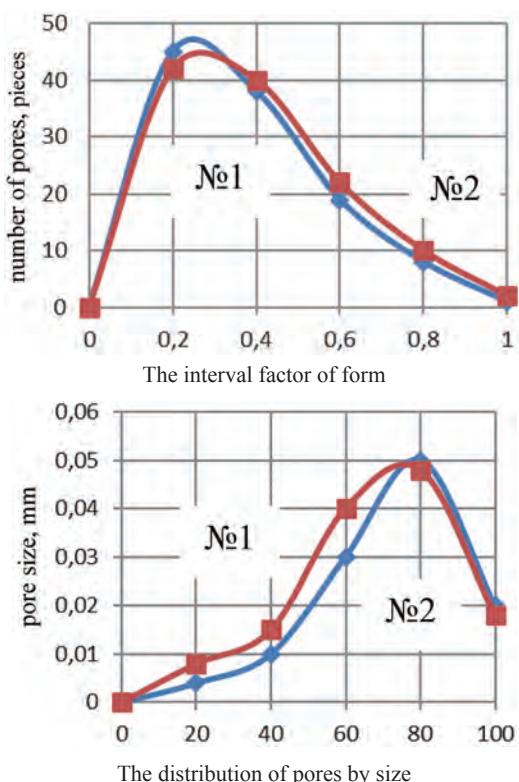


Fig. 7. The parameters of total porosity of the samples No 1 and No 2 (75 mass fractions) bloated at temperature of 700°C (the first endothermic minimum)

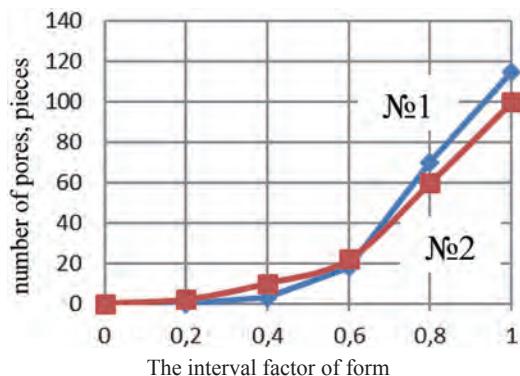


Fig. 8. The parameters of total porosity of the samples
No 1 and No 2 (160 mass fractions) bloated
at temperature of 160°C (the first endothermic minimum)

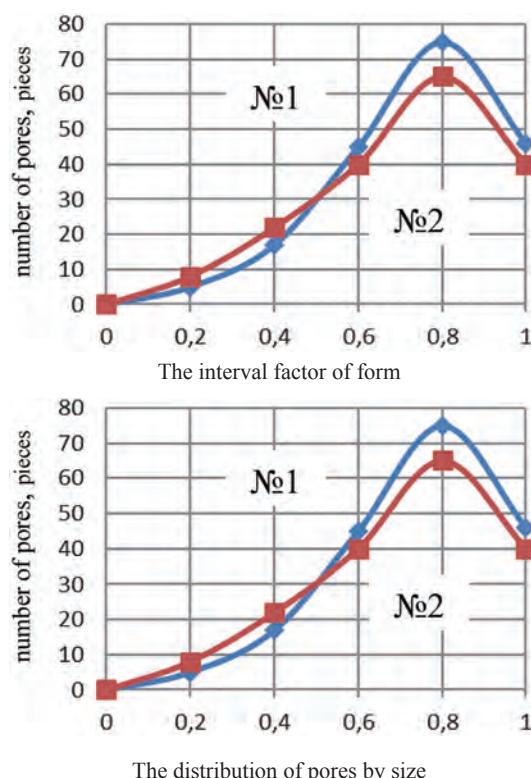


Fig. 9. The parameters of total porosity of the samples
No 1 and No 2 (160 mass fractions) bloated
at temperature of 300°C (the first endothermic minimum)

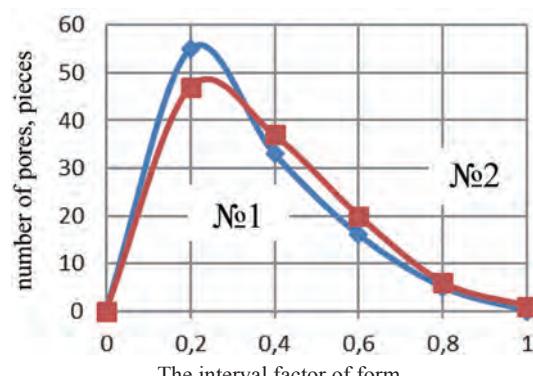


Fig. 10. The parameters of total porosity of the samples
No 1 and No 2 (160 mass fractions) bloated
at temperature of 700°C (the first endothermic minimum)

In Figures 5-10, the porosity parameters of samples No 1 and No 2 for the mixture with different content of 75 and 160 mass fractions are shown. The characteristic feature of the obtained data is that graphs for different types of clay are almost the same. Significant differences are in reading for different temperature minimums. So, for the first endothermic minimum, we obtained the bloating material with small and almost spherical pores [7-9]. Most of them had a minimum size. The bloating of the raw material mixture in the second endothermic minimum provides a mixed porosity (spherical cellular and channel). The material becomes less solid. When there is bloating in the conditions of the third endothermic minimum the channel porosity is mainly formed. This material has the lowest strength. The reducing in thermal conductivity with increasing temperature of bloating should be expected.

3. Conclusions

The solution of task of creating new porous thermal insulation materials and technologies of their production is inextricably related to scientific research in energy transferring of porous structure during the stages of bloating, hardening and drying

under the condition of providing the lowest thermal conductivity and density.

The indicated material properties are determined by a rate of their porosity, the ratio of micro and macro porosities, properties of interporous material that form a kind of supporting structure, which in its turn is determined by the production technology, type of raw materials and conditions of their preparation. All mentioned above impose the special requirements to the formation of material structure to ensure its relatively high strength and durability.

With the help of differential thermal analysis, the modes of heat treatment have been studied; the rational parameters of thermal bloating has been defined that allows to implement the process with minimal energy consumption with predicted thermal properties of obtained materials.

References

- [1] Pavlenko A., Koshlak H.: *Design of processes of thermal bloating of silicates*, Metallurgical and Mining Industry, 1 (2015), pp.118-122.
- [2] Eom J.-H., Kim Y.-W., Raju S.: *Processing and properties of macroporous silicon carbide ceramics: A review*, Journal of Asian Ceramic Societies, 1 (3) (2013), pp. 220-242.
- [3] Komissarchuk O., Xu Z., Hao H.: *Pore structure and mechanical properties of directionally solidified porous aluminum alloys*, China Foundry, 11 (1) (2014), pp. 1-7.
- [4] Bajare D., Kazjonovs J., Korjakins A.: *Lightweight Concrete with Aggregates Made by Using Industrial Waste*, Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering, 4 (5) (2013).
- [5] Lopez-Pamies O., Ponte Castaneda P., Idiart M.I.: *Effects of internal pore pressure on closed-cell elastomeric foams*, International Journal of Solids and Structures, 49 (19-20) (2012), pp. 2793-2798.
- [6] Gunasegaram D.R., Farnsworth D.J., Nguyen T.T.: *Identification of critical factors affecting shrinkage porosity in permanent mold casting using numerical simulations based on design of experiments*, Materials Processing Technology, 209 (2009), pp. 1209-1219.
- [7] Van Grunsven W.: *Porous metal implants for enhanced bone ingrowth and stability*, Thesis submitted to the University of Sheffield for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Materials Science and Engineering. September 2014.
- [8] Lepeshkin I.A., Ershov M.Ju.: *Vspenennyj aljuminij v avtomobilestroenii*, Avtomobil'naja promyshlennost', 10 (2010), pp. 36-39.
- [9] Krushenko G.G.: *Poluchenie i primenenie poristykh metallicheskikh materialov v tehnike*, Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo ajerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M.F. Reshetneva, Tehnologicheskie processy i materialy, 2012, pp. 181-184.

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 przesyłać 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

