

# **STRUCTURE AND ENVIRONMENT**

**ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND ENERGY**

No. 1/2014 vol. 6 PL ISSN 2081-1500 [www.sae.tu.kielce.pl](http://www.sae.tu.kielce.pl) KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# Contents

## structure

---

JERZY WAWRZEŃCZYK, WIOLETTA KOZAK, ADAM KŁAK

<b>POSSIBILITY OF PORE SIZE DISTRIBUTION APPLICATION TO THE DESCRIPTION OF AIR-ENTRAINED CONCRETE POROSITY STRUCTURE .....</b>	<b>5</b>
--	----------

MILENA NOWEK

<b>STUDY OF PROPERTIES AND INTERNAL STRUCTURE OF MODIFIED RESTORATION PLASTERS .....</b>	<b>13</b>
--	-----------

JOANNA GIL-MASTALERZYK

<b>ABOUT THE PROCESS OF INVESTMENT AND REALIZATION OF POSTWAR SACRED BUILDINGS .....</b>	<b>19</b>
--	-----------

## environment

---

VITALII ISHCHENKO, OKSANA STYSKAL, IGOR VASYLKIVSKY, SERGIY KVATERNIUK

<b>AIR POLLUTION WITH HEAVY METALS COMPOUNDS IN VINNYTSIA REGION, UKRAINE .....</b>	<b>33</b>
---	-----------

RYSZARD DACHOWSKI, JERZY ZB. PIOTROWSKI, DOROTA KORUBA, EWA ZENDER-ŚWIERCZ, MAREK TELEJKO, MARIOLA STARZOMSKA

<b>DATA ON ACOUSTIC AND THERMAL PROPERTIES OF REFLECTIVE INSULATION .....</b>	<b>38</b>
---	-----------

MARIÁN JOBB, PATRIK NEMEC, ĽUBOŠ KOSA, MILAN MALCHO

<b>MEASURING THERMAL PERFORMANCE OF GRAVITATIONAL HEAT PIPES DEPENDING ON THE AMOUNT OF WORKING FLUID ...</b>	<b>43</b>
---	-----------

ĽUBOŠ KOSA, MARIÁN JOBB, PATRIK NEMEC, MILAN MALCHO

<b>INFLUENCE OF WORKING POSITION FOR THERMAL PERFORMANCE OF THE CAPILLARY HEAT PIPE .....</b>	<b>46</b>
---	-----------

<b>HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT .....</b>	<b>49</b>
--	-----------

<b>THE REVIEW PROCESS .....</b>	<b>50</b>
---------------------------------	-----------

## **EDITORIAL BOARD**

Main Editor Jerzy Z. Piotrowski

Editor Radosław Zaborek

Secretary of the Editorial Board Łukasz Orman

Sectional Editor STRUCTURE Marek Iwański

Sectional Editor ENVIRONMENT Lidia Dąbek

## **SCIENTIFIC BOARD**

### **STRUCTURE**

Chairmanship Jerzy Wawrzeńczyk

Tomasz Arciszewski (USA), Lesław Brunarski, Go Iwahana (Japan), Zbigniew Kowal, Jozef Melcer (Slovakia),

Michaił V. Nemchinov (Russia), Victor Proskuriakow, Zbigniew Rusin, Bohdan Rymaszewski, Wacław Seruga,

Małgorzata Wilczkiewicz (USA)

### **ENVIRONMENT**

Chairmanship Tomasz Kozłowski

Satoshi Akagawa (Japan), Elżbieta Bezak-Mazur, Dorota Chwieduk, Graham Herbertson (Scotland), Andrzej Kapłon, Andrzej Kuliczkowski, Janusz Łomotowski, Paweł Purgał, Leszek Radziszewski, Anatol Stroy (Ukraine), Maria Żygadło

[www.sae.tu.kielce.pl](http://www.sae.tu.kielce.pl)

[sae@tu.kielce.pl](mailto: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, 2013

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

tel. 41 34 24 581

[www.tu.kielce.pl/organizacja/wydawnictwo](http://www.tu.kielce.pl/organizacja/wydawnictwo)



**Kielce University of Technology**  
**2013**



**structure**  
**structure**



JERZY WAWRZEŃCZYK<sup>1</sup>

WIOLETTA KOZAK<sup>2</sup>

ADAM KŁAK<sup>3</sup>

Kielce University of Technology

<sup>1</sup>e-mail: zmsjw@tu.kielce.pl

<sup>2</sup>e-mail: wioletta88kozak@gmail.com

<sup>3</sup>e-mail: adamklak@gmail.com

# Possibility of pore size distribution application to the description of air-entrained concrete porosity structure

## Abstract

Air void size and number distribution constitutes a major characteristic, which substantially contributes to building up concrete resistance to cyclic freezing and thawing. The standard pore spacing factor  $L$  is based on the Powers model. Due to the assumptions made in the model, it may not be able to represent the real structure of air pores in the concrete. Consequently, it is necessary to look for other methods to describe this structure. The sought model needs to account for variability in sizes of pore chords and pore random spacing in the paste. The paper analyses the distribution type and compares porosity characteristics obtained with measurements, and on the basis of the distribution. The analysis aims to assess if it is possible to substitute chords in the 0 to 400  $\mu\text{m}$  range with their distribution. Another purpose of the analysis is to compare air pore structure parameters obtained by computations on raw data with the results received on the basis of pore size distribution for a given concrete.

**Keywords:** air-entrained concrete, air pore size distribution, Log-normal distribution.

## 1. Introduction

Air-entrainment, a basic method that protects concrete against the adverse action of frost, water and de-icing salts has been known for over 70 years. Air-entrainment technology involves introducing a surfactant into the concrete mix. The air-entraining agent makes it possible to form and evenly disperse small air bubbles in the concrete. The system of tiny air voids protects concrete from damage caused by an increase in the volume of freezing water. Appropriate spacing of air voids in hardened cement paste significantly reduces the distance to be travelled by water that is not frozen yet, from a random point inside the hardened cement paste to the nearest air void [9]. To ensure concrete freeze-thaw resistance, it is essential to provide a time-stable system of small air bubbles, which are located close enough to one another, at the lowest possible total air content. In modern concrete technology, unlike in traditionally air-entrained concrete, cement, additives and admixtures are combined, which often causes problems related to obtaining the time-stable pore system. The effects of

air-entrainment may differ depending on the concrete mix consistency and temperature, mixing time, transport time, and also the manner in which the mix is placed and compacted [3]. Substantial air losses occur when the concrete mix is pumped (approx. 1–1.5%), and also vibrated [13]. Air-entrainment can also be dependent on the characteristics of the aggregate grains, especially of sand (roughness, number and shape of grains) [11], which are often unaccounted for. Taking into account a large number of factors that affect the quality of air-entrainment, it may happen that, in spite of using air-entraining agents, the required pore structure is not obtained. The systems of air pores may be not fine enough, or they may not be stable in time [10]. Consequently, the maximum distance, measured along the cement paste, the freezing water needs to travel from a random point in the cement paste to the nearest air void will grow. As a result, the pore spacing factor  $L$  is increased, yet the total air content  $A$  does not change [13]. Therefore, simple measurements of air content cannot provide the basis for assessing the

quality of air-entrained concrete porosity. Thus, it is necessary to establish air-entrainment quality control, which involves the microscopy assessment of air pore structure. The basic parameter that relates the quality of air-entrained concrete to its freeze-thaw resistance is spacing  $L$ . The standard [8] gives the method of determining pore structure parameters on the basis of the Powers model, which assumes that all pores have the same diameter and are distributed in cube corners (Fig. 1). Thus, spacing factor  $L$  corresponds to a half of the cube diagonal.

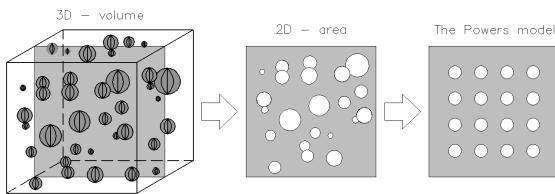


Fig. 1. Difference between the actual air pore distribution and that assumed in the Powers model [7]

Air pore structure is described by the following parameters: total air content  $A$ , specific surface of air pores  $\alpha$ , spacing factor  $L$  and micropore content  $A_{300}$  and air pore size distribution [8]. The assumptions adopted in the Powers model may, in some cases, make the model incompatible with the real structure of pores in the concrete. Figure 2 presents exemplary photographs of air pores, which show that in modern concretes, pores often coalesce forming larger systems, or they can have bizarre shapes.

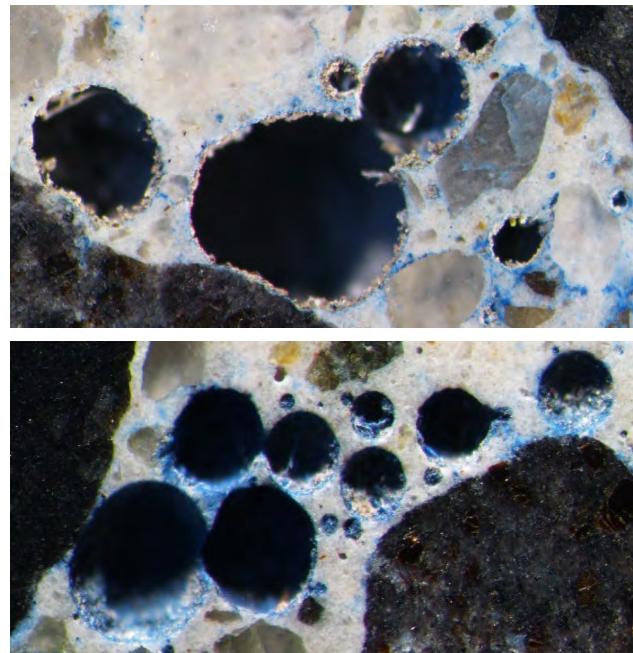


Fig. 2. View of complex pore arrangements in air-entrained concrete

Other ways of describing air pore structure are sought by researchers, including Philleo [6], Attiogbe [1], Jin et al. [4], and Elsen et al. [2]. Air pore structure is investigated by the chord counting method [8], on the basis of which air pore size distribution is determined, which is a transition from 1D to 3D modelling. The measurements lead to the determination of the total air content  $A$ , pore spacing factor  $L$ , specific surface of air pores  $\alpha$ , and the micropore content  $A_{300}$ . Expected advancements in the image automatic analysis method will, in not-too-distant future, make it possible to take 2D measurements. Those will contribute to obtaining a more accurate representation of the real porosity structure in air-entrained concretes. Such approach was used by, among others, Yim et al. [14].

## 2. Air pore distribution in air-entrained concrete

The PN-EN 480-11 standard [8] defines the method of calculating the parameters of the air pore structure and also allows to make a transition from classes (1D) to pore size distribution (3D) in the concrete. Therefore, it is necessary to develop a model that would account for diversity in pore diameter sizes and pore random spacing in the paste. Such a model would be able to describe a real structure of air bubbles and, thus, to state more precisely the dependences holding between pore structure parameters and concrete freeze-thaw resistance [9]. Many researchers emphasise the necessity to employ distribution in the description of the parameters of concrete porosity structure [1, 2, 4, 6]. The paper presents the analysis of the type of distribution and also a comparison of porosity characteristics obtained through measurements and on the basis of distribution. Investigations into the pore structure in air-entrained concretes have been conducted for many years at the Optical Microscopy Laboratory of the Construction Technology and Organization Department at the Kielce University of Technology. The analysis of the determination of the parameters of chord distribution was performed using the Table Curve 2D software [12].

## 3. Investigations into the form of pore system distribution in air-entrained concrete

Air-entrained concretes having diversified parameters of porosity structure were investigated. In the first stage of investigations, different types of distribution that are available in the literature were analysed. Log-normal, Gamma and Weibull distributions are most frequently employed to describe

the distribution of pore sizes. The density functions that specify these distributions are presented in the form of equations 1–3:

– Log-normal distribution

$$y = a \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln \left( \frac{x}{b} \right)}{c} \right)^2 \right] \quad (1)$$

– Gamma distribution

$$y = a \exp \left( -\frac{x-b}{c} \right) \left( \frac{\frac{x-b}{c} + d-1}{d-1} \right)^{d-1} \quad (2)$$

– Weibull distribution

$$y = a \left( \frac{d-1}{d} \right)^{\frac{1-d}{d}} \left[ \frac{x-b}{c} + \left( \frac{d-1}{d} \right)^{\frac{1}{d}} \right]^{d-1} \\ \exp \left[ - \left( \frac{x-b}{c} + \left( \frac{d-1}{d} \right)^{\frac{1}{d}} \right)^d + \frac{d-1}{d} \right] \quad (3)$$

An attempt was made, on the example of two selected concretes, to assess which distribution type best represents the system of pores having the diameters from 0 to 400  $\mu\text{m}$ . Distributions for selected concretes are presented in Figures 3, 4. The results of analyses and comparisons are shown in Table 1.

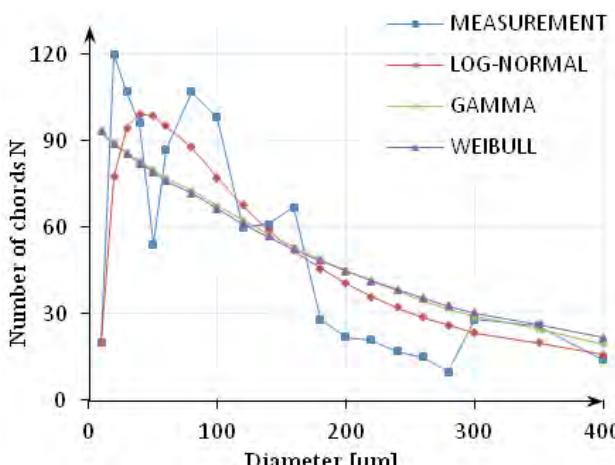


Fig. 3. Distributions of chord lengths in B1 concrete

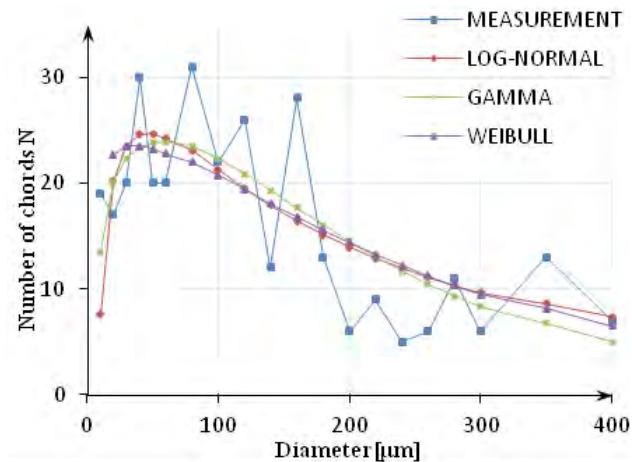


Fig. 4. Distributions of chord lengths in B2 concrete

**Table 1.** Comparison of the fit coefficient  $r^2$  for two different concretes

DISTRIBUTION	CONCRETES	
	B1	B2
LOG-NORMAL	0.57	0.71
GAMMA	0.55	0.70
WEIBULL	0.55	0.69

The assessment of how accurately a given distribution form fits the measurement results is made on the basis of the fit coefficient  $r^2$ . The results presented in Table 1 indicate that the  $r^2$  parameter takes on the most advantageous values for the Log-normal distribution. These conclusions are congruent with opinions expressed by other researchers [14].

#### 4. Comparison of the pore system parameters obtained through measurements and Log-normal distribution

The analysis aims at assessing the possibility of substituting chords in the 0 to 400  $\mu\text{m}$  range with their distribution. Another goal is to validate the parameters of air pore structure obtained by calculations made on raw data against the results received on the basis of the pore system distribution for a given concrete. In the second stage of investigations, the parameters of the density function of Log-normal distribution were determined for four selected concretes, namely B3–B6, the distributions for which are presented in Figure 5. The concretes, air-entrained with an air-entraining admixture, were characterised by a similar air content  $A \approx 5.79\text{--}6.46\%$ , but they differed in the number of measured chords  $N \approx 381\text{--}2020$ , and also in pore spacing factor  $L \approx 0.081\text{--}0.424$  mm. The number of chords in individual classes was determined in

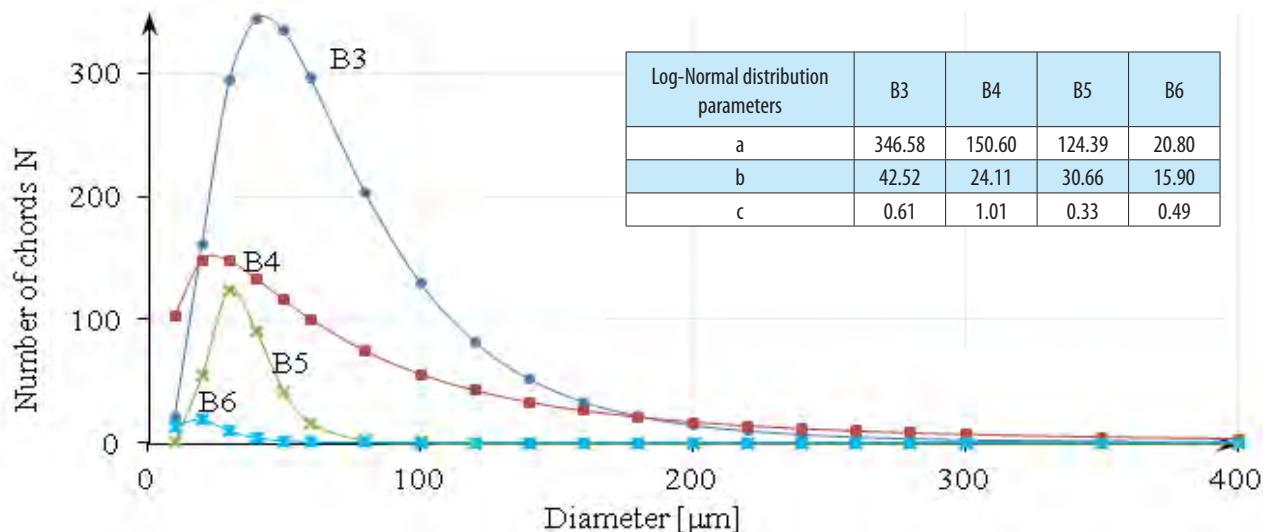


Fig. 5. Parameters of Log-normal distribution for B3–B6 concretes.

accordance with adopted Log-normal distribution. For the data assumed in this manner, the parameters of the pore structure were determined in accordance with the code. Those, together with the parameters determined by means of microscopy analyses are presented in Table 2.

**Table 2.** Comparison of the parameters of air pore structure in concretes having a similar air content A, determined on the basis of image analysis (1) and Log-normal distribution (2).

CONCRETE	$r^2$	N		A [%]		L [mm]	
		1	2	1	2	1	2
B3	0.97	2020	2013	6.46	4.41	0.081	0.081
B4	0.87	1170	1072	5.92	3.08	0.135	0.103
B5	0.73	552	329	5.79	0.97	0.147	0.091
B6	0.25	381	47	6.44	0.04	0.424	0.182

B3 concrete is well air-entrained, because it has a low spacing factor  $L = 0.081\text{mm}$  and a large number of chords  $N = 2020$ , which indicates a fine pore structure. For B3 concrete, the fit coefficient  $r^2 = 0.97$  was the best, thus the estimation of the structure parameters was the most accurate. Series B6 concrete is poorly air-entrained. Although the air content is high  $A = 6.44\%$ , the concrete has only  $N = 381$  chords, which points to a relatively small amount of large bubbles. Those fall outside the analysed range, consequently the pore spacing factor is high  $L = 0.424\text{ mm}$ . As the pore number in the concrete decreases, the differences in estimating pore structure parameters grow. To use distribution, it is necessary to specify how many samples need to be investigated to make estimation more accurate.

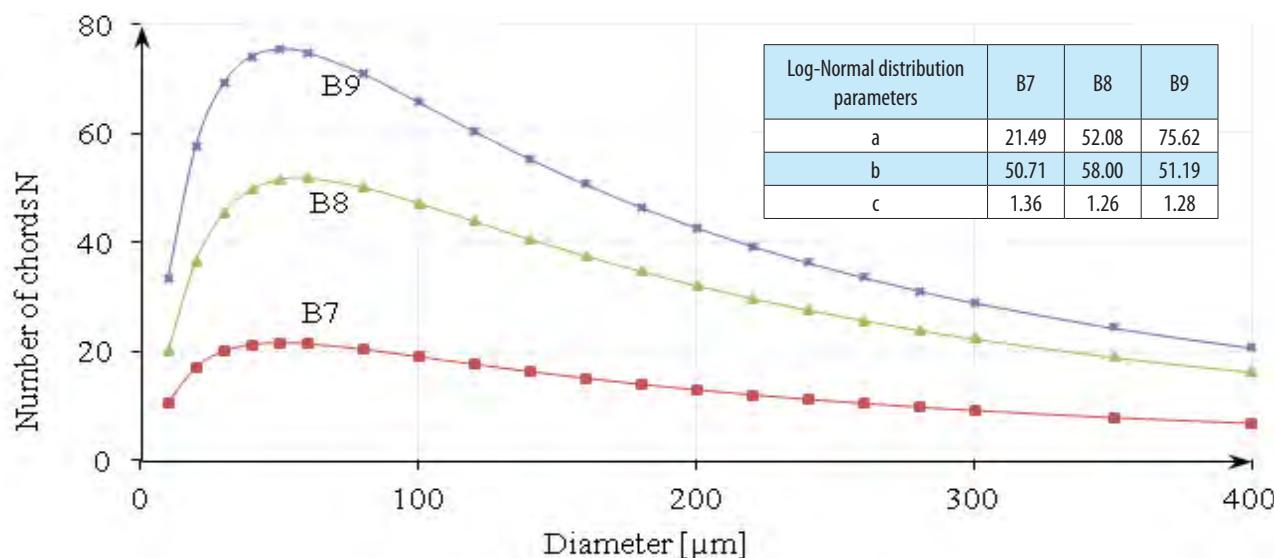


Fig. 6. Log-normal distributions for B7–B9 concretes

In the next stage of investigations, concretes showing a similar structure of air pore system (Fig. 6), but having a different air content  $A \approx 3.92\% - 6.59\%$  were analysed. The results concerning pore structure parameters in those concretes, obtained from measurements and distribution are presented in Table 3.

**Table 3.** Comparison of the parameters of air pore structure in concretes having a similar composition and a different air content A, determined on the basis of image analysis (1) and Log-normal distribution (2)

CONCRETE	$r^2$	N		A [%]		L [mm]	
		1	2	1	2	1	2
B7	0.32	370	309	3.92	2.04	0.348	0.291
B8	0.59	744	738	5.17	4.73	0.202	0.194
B9	0.53	1034	1035	6.59	6.30	0.154	0.154

The data collected in Table 3 indicates that the larger the amount of air  $A$  is, the greater the number of chords  $N$  is, and consequently, the smaller the difference in the estimation of pore structure diameters is, obtained through chord measurement and on the basis of distribution.

## 5. Conclusions

On the basis of analysis of the results of investigations on a few series of concretes, it was found that Log-normal distribution is the most suitable tool to describe chord size distribution in the concrete.

The analysis aimed to assess the possibility of substituting chords in the 0 to 400  $\mu\text{m}$  range with their distribution. Also, the analysis was used to validate the parameters of air pore structure, obtained on the basis of computations made on raw data against the results obtained on the basis of pore system distribution for a given concrete. The number of pores, thus the air content, constitutes the basic parameter that substantially affects the quality of the distribution fit and the estimation accuracy of the pore structure parameters. Concretes of concern were categorised into two groups. Group I contained concretes with similar air content, in Group II, concretes varied in air content. For both groups, the analysis confirms that the larger the number of measured chords is, the better the distribution fit and more precise the estimation of porosity characteristics. In such cases, using Log-normal distribution in computations produces similar results. For concretes having low air content or large pores, a considerable difference is found between results of computations on the raw data and those obtained from the distribution, which

produces incongruent results. In such a case it would be advisable to increase a number of tested sample. It is planned to conduct studies which will aim at determining air pore size distribution on the basis of the measurements of their diameters (2D), instead of chords (1D). That is supposed to significantly facilitate producing a more reliable image of the real porosity structure in air-entrained concretes.

## References:

- [1] Attiogbe E.K., *Volume Fraction of Protected Paste and Mean Spacing of Air Voids*, ACI Materials Journal, No. 94-M66, 1997, pp. 588-591.
- [2] Elsen J., Lens N., Vyncke J., Aarre T., Quenard D., Smolej V., *Quality assurance and quality control of air entrained concrete*, Cement and Concrete Research, Vol. 24, No. 7, 1994, pp.1267-1276.
- [3] Fagerlund G., *Trwałość konstrukcji betonowych*, Arkady, Warszawa 1997.
- [4] Jin S., Zhang J., Huang B., *Fractal analysis of effect of air void on freeze-thaw resistance of concrete*, Construction and Building Materials 47 (2013), pp. 126–130.
- [5] Kong M., Bhattacharya R.N., James C., Basu A., *A statistical approach to estimate the 3D size distribution of spheres from 2D size distributions*. Bull. Geol. Soc. Am., 2005, 117:244–249.
- [6] Philleo R.E., *A Method for Analyzing Void Distribution In Air-Entrained Concrete*, Cement, Concrete and Aggregates, No. 2, 1983, pp. 128–130.
- [7] Pigeon M., Pleau R., *Durability of concrete in cold climates*, E&FN SPON.
- [8] PN-EN 480-11 *Determination of the characteristics of air pores in hardened concrete* (in Polish), 2008.
- [9] Powers T.C., *Air requirement of frost resistant concrete*, Proceedings, Highway Research Board, V. 29, 1949, pp. 184–202.
- [10] Sommer H., *Choosing admixtures for air-entrained concrete*, Betonwerk + Fertigteil – Technik, No. 12, 1987, pp. 813–816.
- [11] Springenschmidt R., Breitenbacher R., Setzer M.J., *Air-entrained concrete – recent investigations on the fine sand composition. Waiting time before compaction and redosing of air-entraining agents*, Betonwerk+Fertigteil-Technik, No. 11, 1987, pp. 742–748.
- [12] Table Curve 2D, SYSTAT.
- [13] Wawrzeńczyk J., Molendowska A., *Use of microspheres as an alternative method of concrete air-entrainment* (in Polish), Budownictwo – Technologie – Architektura, nr 4/2011, s. 51–55.
- [14] Yim H.J., Kim J.H., Lee B.Y., Kwak H.G., *Air voids size distribution determined by ultrasonic attenuation*, Construction and Building Materials 47 (2013), pp. 502–510.

Jerzy Wawrzeńczyk  
Wioletta Kozak  
Adam Kłak

# Możliwość stosowania rozkładu wielkości porów do opisu parametrów struktury porowatości betonów napowietrzonych

## 1. Wstęp

Napowietrzanie, jako podstawowa metoda zabezpieczającą beton przed szkodliwym działaniem mrozu, wody oraz soli odladzających, jest znana od ponad 70 lat. Technologia napowietrzania polega na wprowadzaniu do mieszanki betonowej substancji powierzchniowo czynnej, która w trakcie mieszania składników pozwala na wytworzenie i równomierne rozproszenie drobnych pęcherzyków powietrza w betonie. System niewielkich pustek powietrznych chroni beton przed uszkodzeniami spowodowanymi wzrostem objętości zamarzającej wody. Właściwe rozmieszczenie pustek powietrza w stwardniającym zaczynie cementowym znacznie skraca odległość, jaką musi przebyć niezamarznięta jeszcze woda, od dowolnego punktu wewnętrz stwardniałego zaczynu cementowego do najbliższej położonej pustki powietrznej [9]. Zapewnienie stabilnego w czasie systemu drobnych pęcherzyków powietrznych, rozmieszczonych odpowiednio blisko siebie, przy możliwie jak najmniejszej całkowitej zawartości powietrza, jest podstawową sprawą istotną dla zagwarantowania mrozoodporności betonu. We współczesnej technologii betonu, w przeciwieństwie do betonów tradycyjnie napowietrzonych, stosuje się kombinacje cementu, dodatków i domieszek, co powoduje, że często występują istotne problemy z uzyskaniem stabilnego w czasie systemu porów powietrznych. Efekty napowietrzania mogą się również znacznie różnić w zależności od konsistencji i temperatury mieszanki betonowej, czasu mieszania i transportu, sposobu układania i zagęszczania [3]. Znaczne straty powietrza występują podczas podawania mieszanki betonowej pompą (ok. 1-1,5%), a także podczas wibrowania [13]. Napowietrzenie może być również uzależnione od charakterystyk ziaren kruszywa, a przede wszystkim piasku (chropowatości, ilości i kształtu ziaren) [11], co nieczęsto jest uwzględniane. Biorąc pod uwagę dużą liczbę czynników, wpływają-

cych na jakość napowietrzenia, należy liczyć się z tym, że pomimo zastosowania środków napowietrzających można nie uzyskać wymaganej struktury porów. Mogą powstawać grubsze systemy porów, niestabilne w czasie [10]. Konsekwencją tego będzie wzrost maksymalnej odległości, jaką musi przebyć zamarzająca woda od dowolnego punktu zaczynu cementowego do krawędzi pustki powietrznej, mierzonej wzdłuż zaczynu (wzrost wskaźnika rozmieszczenia porów  $L$ ), bez widocznej zmiany w całkowitej zawartości powietrza  $A$  [13]. W związku z tym, na podstawie prostych pomiarów zawartości powietrza nie można ocenić jakości porowatości betonów napowietrzonych. Kontrola jakości napowietrzenia, polegająca na mikroskopowej ocenie struktury porów powietrznych, jest więc konieczna. Podstawowym parametrem, określającym związek pomiędzy jakością betonu napowietzonego a jego mrozoodpornością, jest rozstaw pęcherzyków  $L$ . Norma [8] przedstawia sposób wyznaczania parametrów struktury porów w oparciu o model Powersa, który zakłada, że wszystkie pęcherzyki mają jednakową średnicę i są rozmieszczone w narożach sześcianu (rys. 1.). Wskaźnik rozmieszczenia  $L$  odpowiada zatem połowie przekątnej sześcianu. Struktura porów powietrznych opisana jest następującymi parametrami: całkowita zawartość powietrza  $A$ , powierzchnia właściwa porów powietrznych  $\alpha$ , wskaźnik rozmieszczenia  $L$ , zawartość mikroporów  $A_{300}$  oraz rozkład wielkości porów powietrznych [8]. Założenia modelu Powersa sprawiają, że w niektórych sytuacjach może on mieć niewiele wspólnego z rzeczywistą strukturą porów powietrznych w betonie. Na rysunku 2 pokazano przykładowe zdjęcia struktury porów powietrznych ilustrujące, że często we współczesnych betonach pory łączą się ze sobą, czyli grupują się w większe systemy lub mają dziwne kształty. Poszukiwane są więc inne sposoby opisu tej struktury proponowane m.in. przez Philleo [6], Attiogbe [1], Jin i inni [4] czy

Elsen i inni [2]. Strukturę porów powietrznych bada się metodą zliczania cięciw [8], na podstawie których określany jest rozkład wielkości porów powietrznych (przejście z 1D na 3D). Na podstawie tych pomiarów określone są zawartość powietrza  $A$ , wskaźnik rozmieszczenia porów  $L$ , powierzchnia właściwa porów  $\alpha$  oraz zawartość mikroporów  $A_{300}$ . Należy przypuszczać, że rozwój metod automatycznej analizy obrazu pozwoli, w nieodległej przyszłości, na wykonywanie pomiarów 2D, które umożliwiają uzyskanie pełniejszego odzwierciedlenia rzeczywistej struktury porowatości betonów napowietrzonych. Takie podejście stosowali m.in. Yim i inni [14].

## 2. Rozkład porów powietrznych w betonie napowietrzonym

Norma PN-EN 480-11 [8] definiuje sposób obliczania parametrów struktury porów powietrznych i umożliwia przejście z klas (1D) na rozkład wielkości porów (3D) w betonie. Ustalenie modelu uwzględniającego różnorodność wielkości średnic porów i ich losowe rozmieszczenie w przestrzeni zaczynu jest więc niezbędne, by opisać rzeczywistą strukturę pęcherzyków powietrznych, a tym samym precyzyjniej określić zależność pomiędzy parametrami struktury a mrozoodpornością betonu [9]. Wielu badaczy podkreśla konieczność stosowania rozkładu w opisie parametrów struktury porowatości betonu [1, 2, 4, 6]. W artykule przedstawione zostaną analiza typu rozkładu oraz porównanie charakterystyk porowatości uzyskanych z pomiarów i na podstawie rozkładu. Badania struktury porów betonów napowietrzonych prowadzone są od wielu lat w Pracowni Mikroskopii Optycznej Katedry Technologii i Organizacji Budownictwa Politechniki Świętokrzyskiej. Analizę wyznaczenia parametrów rozkładu cięciw przeprowadzono stosując program Table Curve 2D [12].

## 3. Badanie postaci rozkładu systemu porów w betonie napowietrzonym

Przedmiotem badań były betony napowietrzone o zróżnicowanych parametrach struktury porowatości. W pierwszym etapie badań analizie poddano różne typy rozkładów spośród dostępnych w literaturze. Najczęściej do opisu rozkładu wielkości porów stosowano rozkłady: logarytmico-normalny (Log-normal), Gamma oraz Weibull. Funkcje gęstości opisujące te rozkłady przedstawiono w postaci równań 1–3.

Na przykładzie dwóch wybranych betonów przeprowadzono próbę oceny, który typ rozkładu najlepiej odzwierciedla system porów o średnicach w zakresie od 0 do 400  $\mu\text{m}$  w betonie. Rozkłady wybranych be-

tonów przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Wyniki tych analiz i porównań przedstawiono w tabeli 1. Ocena dokładności dopasowania danej postaci rozkładu do wyników pomiarów dokonywana jest w oparciu o współczynnik dopasowania  $r^2$ . Na podstawie wyników zamieszczonych w tabeli 1 stwierdzono, że wartości parametru  $r^2$  dla rozkładu Log-normal przyjmują najkorzystniejsze wartości. Powyższe wnioski są zbieżne z opinią innych badaczy [14].

## 4. Porównanie parametrów systemu porów otrzymanych na podstawie pomiarów i rozkładu Log-normal

Przedmiotem analizy jest ocena możliwości zastąpienia cięciw, z zakresu od 0 do 400  $\mu\text{m}$ , ich rozkładem oraz weryfikacja parametrów struktury porów powietrznych otrzymanych na podstawie obliczeń przeprowadzonych na surowych danych z wynikami uzyskanymi w oparciu o rozkład systemu porów dla danego betonu. W drugim etapie badań wyznaczono współczynniki funkcji gęstości rozkładu Log-normal dla czterech wybranych betonów B3–B6, a ich rozkłady przedstawiono na rysunku 5. Betony były napowietrzone za pomocą domieszki napowietrzającej i charakteryzowały się zbliżoną zawartością powietrza  $A \approx 5,79\text{--}6,46\%$ , natomiast różniły się ilością zmierzonych cięciw  $N \approx 381\text{--}2020$  oraz wskaźnikiem rozmieszczenia porów  $L \approx 0,081\text{--}0,424 \text{ mm}$ . Zgodnie z przyjętym rozkładem Log-normal wyznaczono ilość cięciw w poszczególnych klasach i dla tak przyjętych danych wyznaczono w sposób normowy parametry struktury porów, które wraz z parametrami wyznaczonymi w wyniku przeprowadzonych analiz mikroskopowych zamieszczono w tabeli 2. Beton B3 należy do bardzo dobrze napowietrzonych, ponieważ ma niski współczynnik rozstawu pęcherzyków  $L = 0,081 \text{ mm}$  i dużą ilość cięciw  $N = 2020$ , co wskazuje na drobną strukturę porów. Dla betonu B3 współczynnik dopasowania był najlepszy  $r^2 = 0,97$ , a w konsekwencji oszacowanie parametrów struktury najbardziej precyzyjne. Beton serii B6 zaliczany jest do bardzo źle napowietrzonych. Pomimo dużej zawartości powietrza  $A = 6,44\%$  miał on zaledwie  $N = 381$  cięciw, co świadczy o tym, że zawiera on stosunkowo mało dużych pęcherzy, które znajdują się poza analizowanym zakresem, czego konsekwencją jest wysoki wskaźnik rozmieszczenia porów  $L = 0,424 \text{ mm}$ . Wraz ze spadkiem ilości porów powietrznych, które są w betonie, różnica w oszacowaniu parametrów struktury porów zwiększa się. Możliwość zastosowania rozkładu wymaga określenia ile próbek należałoby badać, żeby oszacowanie było dokładniejsze.

W kolejnym etapie badań analizowano betony o podobnej strukturze systemu porów powietrznych (rys. 6), ale różnej zawartości powietrza  $A \approx 3,92\% - 6,59\%$ . Wyniki parametrów struktury tych betonów uzyskane z pomiarów i z rozkładu przedstawiono w tabeli 3. Z danych zamieszczonych w tabeli 3 wynika, że im większa ilość powietrza  $A$ , tym większa ilość cięciw  $N$ , a tym samym mniejsza różnica w oszacowaniu parametrów struktury porów uzyskanych z pomiaru cięciw i na podstawie rozkładu.

## 5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań kilku serii betonów stwierdzono, że rozkład Log-normal jest najbardziej przydatny do opisu rozkładu wielkości cięciw w betonie.

Celem analizy była ocena możliwości zastąpienia cięciw, z zakresu od 0 do 400  $\mu\text{m}$ , ich rozkładem oraz weryfikacja parametrów struktury porów powietrznych otrzymanych na podstawie obliczeń przeprowadzonych na surowych danych z wynikami uzyskanyimi w oparciu o rozkład systemu porów dla danego betonu. Podstawowym parametrem, mającym istotny wpływ na jakość dopasowania rozkładu oraz dokładność oszacowania parametrów struktury porów jest liczba porów, a tym samym zawartość powietrza. Analizowano dwa warianty betonów. Wariant I to betony o podobnej zawartości powietrza, a wariant II to betony o różnej zawartości powietrza. Oba warianty potwierdzają, że im większa liczba zmierzonych cięciw, tym lepsze dopasowanie rozkładu i bardziej precyzyjne oszacowanie charakterystyk porowatości. W takich przypadkach posługiwanie się w obliczeniach postacią rozkładu Log-normal daje zbliżone efekty. Dla betonów o małej ilości powietrza lub o dużych porach różnica obliczeń na surowych danych i z rozkładu jest znaczna i prowadzi do rozbieżności wyników. W takim przypadku należałoby zwiększyć ilość badanych zgładów. Planuje się prace mające na celu oznaczenie rozkładu wielkości porów powietrznych na podstawie pomiarów ich średnic (2D) zamiast cięciw (1D), co znacząco wpłynie na uzyskanie pełniejszego obrazu rzeczywistej struktury porowatości betonów napowietrzonych.

MILENA NOWEK

Kielce University of Technology

e-mail: milena.nowek@gmail.com

# STUDY OF PROPERTIES AND INTERNAL STRUCTURE OF MODIFIED RESTORATION PLASTERS

## Abstract

*Moisture in conjunction with salts can cause significant injury to construction materials. Highly porous and vapour-permeable restoration plasters are used in order to protect walls against moist due to capillary wicking and hygroscopic absorption of water, which are exposed to the harmful effects of salts. The structure of such plasters reduces the capillary conductivity inside the material. The purpose of research was to estimate physical properties of modified plaster mortars. Examination was focused on the impact of the addition of perlite, silica fume and air-entraining admixture on the following parameters: density, tensile strength, compressive strength, strength ratio, capillary absorption of water and water penetration. The microstructure of each material was examined using a scanning electron microscope.*

**Keywords:** restoration plasters, capillary conductivity, perlite, silica fume, air-entrainment, microstructure

## 1. Introduction

The harmfulness of salts lies in the fact that their crystals dissolve as a result of contact with water, then move into the wall structure and crystallize again when the evaporation of water takes place. During the process of crystallization a significant amount of water is bounded, which increases the volume of emerging crystals. Accompanying crystallization pressure bursts the material. In addition, some kinds of salts, such as chlorides and nitrates, have hygroscopic properties. Their presence in the wall causes an increase in moisture, because these salts are able to attract and bind water. Salt efflorescence is a tarnish on the surface of building material that forms as a result of the crystallization of water-soluble salts. This adversely affects the appearance of the facade and also might be a warning sign, because it means wall penetration by the water with contaminants. Thus, it may be a harbinger of serious problems, reduce comfort as well as announce future damages and destruction of the wall.

The mechanism of function of restoration plasters system consist of the fact that the evaporation zone is located inside the layer of plaster. Transport of moisture in its liquid form is carried out only in the first 5 mm of plaster. Then the water changes the state of matter, becomes a gas and the dissolved salts crystallize in the pores of plaster. Moisture is removed by diffusion of water vapour. The proper

pore geometry prevents damages of the material. Thanks to air pores with hydrophobic surface a capillary transport of water is disrupted.

Properties of the restoration plasters largely depend on the composition of the mixture. An important role is played by binder, fillers, additives and modifying admixtures. The purpose of the research was to determine the effect of the addition of the perlite, silica fume and air-entraining admixture on the properties of hardened plaster mortar.

## 2. Modification of plaster mortar

Lightweight fillers, which are used in restoration plasters, reduce their bulk density. They should cause an increase in volume of the pores in the plaster mortar but the pores of this lightweight fillers should not be available for salt solutions and water vapour. Lightweight fillers contribute very little to the salt accumulation and are mainly responsible for ensuring the possibility of diffusion of water vapour. Their further task (together with the hydrophobic substances) is to limit the capillary transport within the plaster structure. Therefore this is not a rule that salts are accumulated by these lightweight fillers [1]. For tested specimens entered expanded perlite, formed from a volcanic glass by heat treatment. The product has a high resistance to frost and moisture. Despite its high porosity, it can easily be hydrophobised, which makes it non-hygroscopic.

Another addition introduced to the mortar was silica fume, which is a byproduct of the steel industry. The addition of silica fume, starting from a small amount (2–3% by weight of cement), increases the density of the structure by filling voids. This results in substantial reduction in porosity of the capillary pores. What is more, silica fume has a positive impact on such features of mortar as: water permeability, bulking reduction and water absorption. It increases compressive strength, sulfate resistance and resistance to acids and salt water.

Admixtures added to restorative plasters are hydrophobizing agents – substances for better treatment and adherence and air-entraining admixtures (physic-mechanically or chemically reactive).

For the preparation of the plaster mortar, on which research has been carried out, an air-entraining admixture for mortar and concrete Ceresit CO 84 was used.

### 3. Methodology of experimental examinations

The samples, on which the examinations have been carried out, differed among themselves in the composition and water to binder ratio, as shown in Table 1.

**Table 1.** Composition of samples

Sample	Components	Volumetric proportions
A	cement	1
	lime	1
	sand	6
	water	2
B	cement	1
	lime	1
	sand	3
	perlite	4
	CO 84	0.014
	water	1.57
C	cement	1
	lime	1
	sand	2.95
	perlite	4
	CO 84	0.014
	silica fume	0.05
	water	1.57

The sample marked with letter A is a comparative sample and was prepared and tested in order to determine changes in the properties of mortar before and after the addition of lightweight filler (which in this case is perlite) and air-entraining admixture. Mortar A is not a restoration plaster. To make mortar samples Portland cement CEM I 42.5 was used of loose bulk density equal to 1.2 g/cm<sup>3</sup>. The density of the lime is 0.5 g/cm<sup>3</sup> and the sand – 1.76 g/cm<sup>3</sup>

(the fraction 0.2 – 0.6 mm). The amount of water was adjusted experimentally on the basis of the consistency measurement.

The following examinations were carried out on hardened mortar: density, tensile strength, compressive strength, strength ratio, capillary absorption of water and water penetration.

The density of hardened mortar with air pores was determined mathematically by dividing the sample weight by its volume.

The value of tensile strength during bending for restorative plasters is not defined in the Polish norm PN-EN 998-1 [2]. It is also not specified in the WTA Instruction [3]. However, it should be examined to determine the ratio of compressive strength to tensile strength, whose maximum value is given in the WTA Instruction [3].

Determination of compressive strength of the samples was made on the press KC 300 KS 300 EUR. The ratio of compressive strength to tensile strength was determined by calculation. Capillary absorption of water through the bottom of the sample after 24 hours was measured according to WTA Instruction [3]. The samples were weighted, then immersed in water to a depth of 2 mm and re-weighted after the required time. The amount of absorbed water was determined by the difference in weights of the samples before and after immersion.

The depth of penetration of water was measured simultaneously with the measurement of capillary water absorption. Capillary wicking height was measured at the cleavage plane. Water penetration caused by capillary wicking should not be higher than 5 mm [2, 3].

### 4. Results and conclusions

The following table presents the results obtained in the tests compared to the required values [2,3]. All the tested properties meet the requirements only in case of mortar C, modified by the addition of light filler (perlite), air-entraining admixture Ceresit CO 84 and silica fume.

The figures below show images of the microstructure of each samples, obtained with a scanning electron microscope (SEM). Tobermorite (in the form of lamellae) is much more visible in the sample D than the other samples. C-S-H phase is observed in amorphous form. EDS analysis shows the content of each elements in the given area.

**Table 2.** Characteristics of the samples

Properties	Sample			Standard value	Unit
	A	B	C		
Bulk density	1.85	1.23	1.20	<1.4	kg/dm <sup>3</sup>
Tensile strength	1.34	1.74	1.68	x	MPa
Compressive strength	3.2	4.18	4.43	1.5-5.0	MPa
Strength ratio	2.39	2.4	2.64	<3.0	-
Capillary absorption of water	8.44	6.88	6.72	≥0.3	kg/m <sup>2</sup>
Water penetration	entire cross section	6	5	≤5	mm

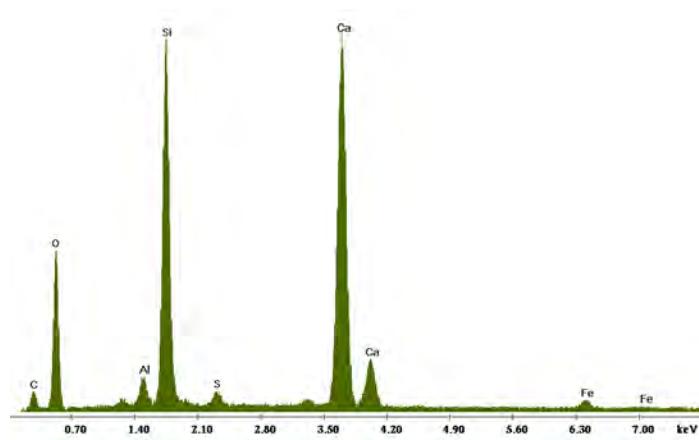
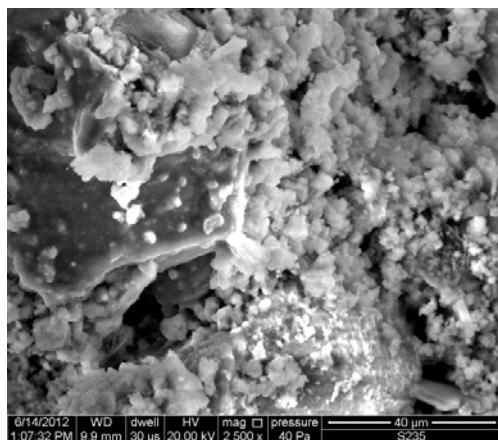


Fig.1 Microstructure and EDS spectrum of the sample A

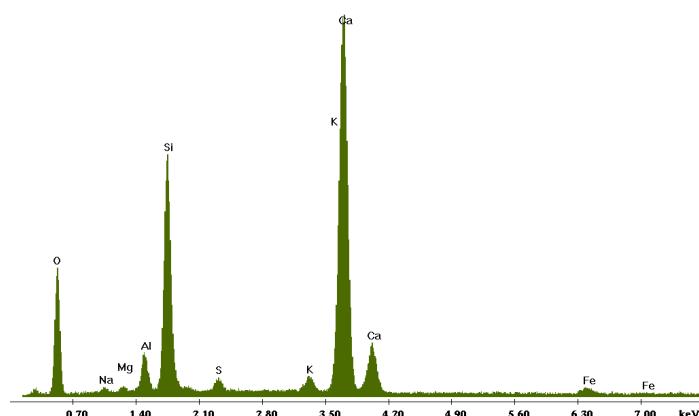
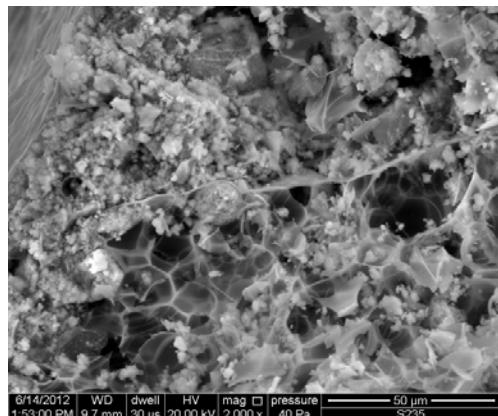


Fig.2. Microstructure and EDS spectrum of the sample B.

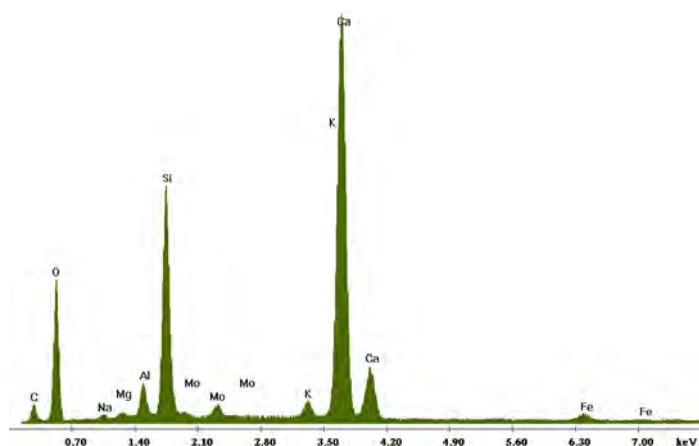
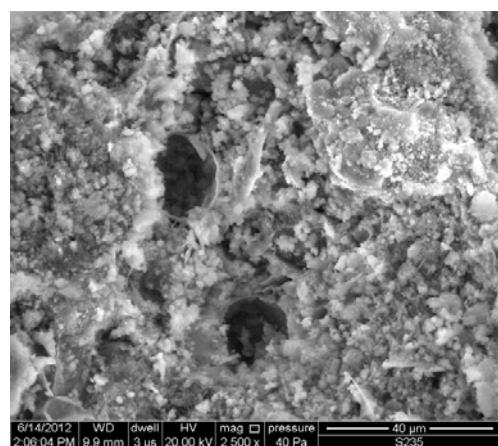


Fig.3. Microstructure and EDS spectrum of the sample C.

To summarize the obtained results of research, it can be concluded that adding perlite and air-entraining admixture Ceresit CO 84 led to decrease in bulk density value and caused a sharp drop in mortar strength parameters. Addition of silica fume (sample D) caused small differences in the strength tests. The compressive strength of mortar with silica fume has increased, while the tensile strength during bending has decreased. Both the compressive strength value and the strength ratio comply with the requirements. A small reduction in the amount of water absorbed by the material due to capillary wicking has occurred. The height of capillary wicking such modified mortar

was lower compared to other samples and was equal to the maximum of 5 mm according to the standard. The mortar of such composition corresponds to all recommended by the norm values of parameters that have been tested.

### References

- [1] Frössel E.: *Osuszanie murów i renovacja piwnic*. Polcen, Warszawa 2007.
- [2] PN-EN 998-1, *Wymagania dotyczące zapraw do murów, część 1: Zaprawa tynkarska*. PKN, Warszawa 2004.
- [3] Instrukcja 2-2-91, Naukowo-Techniczne Stowarzyszenie Robocze Utrzymania i Ochrony Budowli i Zabytków WTA

Milena Nowek

## Analiza właściwości i struktury wewnętrznej modyfikowanych tynków renowacyjnych

### 1. Wstęp

Szkodliwość soli polega na tym, że są one rozpuszczane w wyniku kontaktu z wodą, następnie wraz z nią przemieszczają się w strukturze ściany, a gdy następuje odparowywanie wody, ponownie krystalizują. Podczas procesu krystalizacji związaniu ulega znaczna ilość wody, przez co rośnie objętość powstających kryształów. Towarzyszące temu ciśnienie krystalizacyjne rozsadza materiał. Dodatkowo niektóre sole, takie jak chlorki i azotany, posiadają właściwości higroskopijne. Ich obecność w murze powoduje wzrost zawiłgocenia przegrody, gdyż sole te są w stanie przyciągać i wiązać wodę. Wykwity solne to powstające na powierzchni materiałów budowlanych naloty, które tworzą się w wyniku krystalizacji rozpuszczalnych w wodzie soli. Wpływają negatywnie na wygląd elewacji, a także są sygnałem ostrzegawczym, gdyż oznaczają penetrację przegrody przez wodę wraz z zanieczyszczeniami. Mogą być zatem zwiąstunem poważnych problemów, obniżających komfort, a także grożących powstaniem uszkodzeń i zniszczeniem substancji budowlanej.

Zasada działania systemu tynków renowacyjnych polega na tym, że strefa odparowywania wody, znajduje się wewnątrz warstwy tynku. Transport wilgoci w postaci płynnej odbywa się jedynie w pierwszych

5 mm grubości tynku. Następnie woda przechodzi w stan gazowy, a rozpuszczone sole krystalizują w porach tynku. Wilgoć usuwana jest na drodze dyfuzji pary wodnej. Odpowiednia geometria porów zapobiega uszkodzeniom materiału. Dzięki zawartości porów powietrznych o powierzchniach hydrofobowych przerwany zostaje kapilarny transport wilgoci.

Właściwości tynku renowacyjnego w dużej mierze uzależnione są od składu mieszanki. Ważną rolę odgrywa tutaj spoiwo, wypełniacze oraz domieszki i dodatki modyfikujące. Celem badań było ustalenie wpływu dodatku perlitu, pyłu krzemionkowego oraz domieszki napowietrzającej na właściwości stwardniającej zaprawy tynkarskiej.

### 2. Modyfikacja zaprawy tynkarskiej

Lekkie wypełniacze stosowane w tynkach renowacyjnych obniżają ich gęstość objętościową. Powinny one powodować zwiększenie objętości porów zaprawy tynkarskiej, przy czym pory tych lekkich wypełniaczy powinny być dostępne dla roztworów soli i pary wodnej. Lekkie dodatki przyczyniają się w bardzo niewielkim stopniu do gromadzenia soli i są odpowiedzialne głównie za zapewnienie możliwości dyfundowania pary wodnej. Dalszym ich zadaniem jest (wraz ze środkami hydrofobizującymi) ograniczenie transportu kapilarnego w obrębie struktury

tynku. Nie można więc co do zasady potwierdzić faktu gromadzenia soli w tych lekkich wypełnaczach [1]. Do badanych próbek wprowadzono perlit ekspandowany, powstający w procesie obróbki termicznej szkliwa wulkanicznego. Produkt odznacza się wysoką odpornością na mróz i wilgoć. Pomimo wysokiej porowatości, łatwo hydrofobizuje się, co sprawia, że może być niehigroskopijny.

Kolejnym wprowadzonym do zaprawy dodatkiem jest pył krzemionkowy, będący odpadem przemysłu hutniczego. Dodatek pyłów krzemionkowych począwszy już od niewielkiej ilości: rzędu 2–3% masy cementu zwiększa zageszczenie struktury poprzez wypełnienie wolnych przestrzeni, następuje znaczne zmniejszenie porowatości w obszarze porów kapilarnych. Dodatkowo mikrokrzemionka ma pozytywny wpływ na takie cechy zaprawy jak: wodoprzepuszczalność, redukcja pęcznienia, nasiąkliwość, wzrost wytrzymałości, wzrasta odporność na siarczany, podwyższa się odporność na działanie kwasów i wody morskiej.

Domieszki dodawane do tynków renowacyjnych, to środki hydrofobizujące, służące lepszej obróbce i przyczepności oraz środki nadające porowatość (reagujące fizyczno-mechanicznie albo chemicznie).

Do przygotowania zaprawy tynkarskiej, na której przeprowadzono badania, użyto dodatku napowietrzającego Ceresit CO 84 firmy Henkel. Jest to dodatek napowietrzający do zapraw i betonów.

### 3. Przeprowadzone badania

W celu przeprowadzenia badań wykonane zostały próbki zapraw, różniące się między sobą użytkimi składnikami oraz stosunkiem wody do spoiwa. Próbka oznaczona literą A jest próbą porównawczą i została wykonana i zbadana w celu ustalenia zmian właściwości zaprawy po dodaniu kruszywa lekkiego, jakim jest w tym przypadku perlit oraz domieszki napowietrzającej (próbka B). Do próbki C poza wymienionymi dodatkami wprowadzono mikrokrzemionkę. Zaprawa A nie jest tynkiem renowacyjnym. Do wykonania próbek tynku użyto cementu portlandzkiego CEM I 42,5 o gęstości nasypowej w stanie luźnym równej 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Gęstość zastosowanego wapna to 0,5 g/cm<sup>3</sup>, natomiast piasku – 1,76 g/cm<sup>3</sup> (frakcja 0,2–0,6mm). Ilość wody dobierana była doświadczalnie, na podstawie pomiarów konsystencji.

Na stężonej zaprawie przeprowadzono następujące badania: gęstość, wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, wytrzymałość na ściskanie, stosunek wytrzymałości, kapilarna absorpcja wody, głębokość przenikania wody.

Wyznaczenia gęstości stwardniającej zaprawy wraz z porami powietrznymi dokonano obliczeniowo, dzieląc masę próbki przez jej objętość. Na podstawie badań gęstości objętościowej stwardniającej zaprawy można stwierdzić, że dodawanie do jej składu poszczególnych komponentów było celowe i uzasadnione. Dzięki temu osiągnięte zostały wartości gęstości zgodne z zaleceniami. Obniżona została masa zaprawy, co ma pozytywny wpływ na właściwości robocze i użytkowe tynku.

Wartość wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu dla tynków renowacyjnych nie jest zdefiniowana w normie PN-EN 998-1 [2]. Nie określa jej również instrukcja WTA [3]. Powinna być ona jednak zbadana, w celu określenia stosunku wytrzymałości na ściskanie do wytrzymałości na rozciąganie, którego maksymalna wartość określona jest w tablicy 2 instrukcji WTA [3].

Wyznaczenia wytrzymałości na ściskanie próbek tynku wykonano na prasie wytrzymałościowej. Domieszka napowietrzająca oraz perlit przyczyniły się do obniżenia wartości wytrzymałości na ściskanie (próbka B) do wielkości dopuszczalnej przez normę. Z kolei próbka C, zawierająca dodatek mikrokrzemionki, odznacza się nieco wyższą wytrzymałością na ściskanie, przy czym jej wartość nadal nie przekracza wartości dopuszczalnej.

Stosunek wytrzymałości na ściskanie do wytrzymałości na rozciąganie wyznaczony został obliczeniowo.

W oparciu o instrukcję WTA [3] zmierzona została kapilarna absorpcja wody poprzez spód próbki po 24 godzinach. Próbki zostały zważone, następnie zanurzone w wodzie na głębokość 2 mm i po upływie wymaganego czasu ponownie zważone. Z różnicą mas próbek przed i po zanurzeniu można określić ilość zaabsorbowanej przez nie wody. Badania przeprowadzono na jednej próbce z każdej grupy.

Głębokość przenikania wody mierzona była jednocześnie z pomiarem kapilarnej absorpcji wody. Zmierzono wysokość podciągania włoskowatego *h* w płaszczyźnie łupliwości. Penetracja wody po absorpcji wody spowodowanej podciąganiem kapilarnym nie powinna być większa niż 5 mm [2, 3] i jedynie próbka C spełnia ten warunek.

### 4. Otrzymane wyniki i wnioski

Podsumowując zebrane wyniki badań, można stwierdzić, że wprowadzenie do zaprawy perlitu oraz domieszki napowietrzającej Ceresit CO 84 przyczyniło się do zmniejszenia gęstości objętościowej za-

prawy oraz drastycznego spadku parametrów wytrzymałościowych, co z punktu widzenia wymagań normowych dla tynków renowacyjnych jest korzystne.

Skład zaprawy C różnił się od składu zaprawy B jedynie tym, że niewielką ilość piasku zastąpiono pyłem krzemionkowym. Przy użyciu dokładnie tej samej ilości wody zarbowej miara rozpływów zmalała z 16 do 14,5 cm. Dodatek pyłu krzemionkowego spowodował nieznaczne różnice w badaniach wytrzymałości. Wytrzymałość na ściskanie zaprawy z mikrokrzemionką wzrosła, natomiast wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu zmalała. Zarówno wartość wytrzymałości na ściskanie, jak i stosunku wytrzymałości odpowiadają wymaganiom normowym. Nastąpiła niewielka redukcja ilości wody pochłoniętej przez materiał wskutek transportu kapilarnego. Wysokość podciągania kapilarnego tak zmodyfikowanej zaprawy była najniższa w porównaniu do pozostałych próbek i była równa maksymalnej dopuszczalnej wysokości, wynoszącej 5 mm. Zaprawa o tak dobranym składzie odpowiada wszystkim zbadanym zaleceniom normowym.

Na podstawie analizy obrazów uzyskanych z elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM) stwierdzić można, że najlepiej pod względem mikrostruktury wypadła próbka C z mikrokrzemionką. W próbce tej obecne są formy tobermorytowe znacznie bardziej widoczne niż na pozostałych próbkach. Tobermoryt widoczny jest na zdjęciach w postaci blaszek. Zauważalna faza C-S-H nie ma określonego wyglądu, często ma postać gąbki. Widmo EDS wykazało obecność następującej grupy pierwiastków: C, O, Na, Mg, Mo, K, Ca, Al.

JOANNA GIL-MASTALERCZYK  
 Kielce University of Technology  
 e-mail: jmastalerczyk@tu.kielce.pl

# ABOUT THE PROCESS OF INVESTMENT AND REALIZATION OF POSTWAR SACRED BUILDINGS

## Abstract

*After 1945, the situation of the Catholic Church in Poland has undergone radical changes. In years 1945-2000 there was a very dynamic time for systemic economic change in our country, determining the formation of architecture also influencing its aesthetic qualities. This applies especially to religious architecture, whose free development during this period was strongly disturbed. New conditions in which investors had to operate the church - makers after 1945 the construction of temples, significantly influenced the possibility of proper functioning and development of the sacral. This article attempts to analyze the basic mechanisms directly affecting the process of investment-realization and, consequently, the evolution of architectural forms of contemporary churches, performed in the Archdiocese of Cracow in 1945-2000.*

**Keywords:** church architecture, church, investment process, realization process

## 1. Introduction

After World War II the situation of the Catholic Church in the Archdiocese of Cracow and throughout Poland has undergone radical changes. Changing conditions in which the church had to operate after 1945, the construction of temples, the setting changes political, economic and social, to a large extent influenced the possibility of proper functioning and development of sacral and the evolution of architectural forms of churches.

Despite the enormous difficulties and the complex political and economic conditions that accompany the construction field, in the period of 1945-1989 the largest number of Catholic churches were built in the the Archdiocese of Cracow, as well as in the whole country.

**Table 1.** Statement of the Archdiocese of Cracow quantitative churches emerged in the years 1945-2000 (according to the development of the author) [1]

YEARS	Number CHURCHES PARISH OF CRACOW	Number CHURCHES ARCHIDIOCESE CRACOW (no parish Cracow)	TOTAL
I. 1945–1970	4	33	37
II. 1971–1989	31	95	126
III. 1990–2000	10	19	29
1945–2000			192

## 2. The process of investment and realization of projects of the Catholic Church - against the background of the prevailing political, economic and social conditions

The typical range of years: 1945–2000, the scope of the first 25 years – within the period of post-war Poland - a time when the Catholic Church won on the then authorities, permission to build only single church buildings. During this period, the rules contradicted the construction of new temples. It was believed that the existing number of churches is sufficient and strongly restricted sacral development. Religious architecture flourished during this time stages. The first years are characterized mainly by rehabilitation, reconstruction and revival of the national monuments of culture [2].

The first post-war years were a period of more creative freedom, it is from 1950 to the end of the sixties that the most critical situation of investment-realisation occurred. The reason was, among others, the economic difficulties resulting from inefficient economic system, the constant changes in the structure of the ministries responsible for matters of architecture, urban planning, construction, municipal and housing and related limitations due to extensive regulatory system [3]. Revised and updated rules had to force a rational and disciplined action which also caused enormous difficulties throughout the construction process [4].

In the years 1945–1970 in the Archdiocese of Cracow, a lot of temples were built from scratch. It was the hardest time in the history of the construction of churches in our country. The difficulties associated with the process of investment and construction, undoubtedly exerted a huge influence in cultural and historical context, and in particular prevailing social and political conditions. It was related to the number of built temples and their architecture - in particular the size of the object, its shape and appearance. In this period, it was only possible by the investor winning the church permits: reconstruction, expansion or construction of an additional sacred objects. The function of religion church (as a social activity, charity, etc.) was limited only to the precincts of the existing temples. Prevented from activities outside the walls of the church. Furthermore, despite the period of intense urbanization of the country, the construction of new church buildings in a completely new place was extremely difficult, almost forbidden. In the city of Cracow, it was only allowed to complete the construction of the church in Prokocim, as well as the expansion and reconstruction of five chapels, serving as parish churches (Pychowice, Przegorzały, Bronowice Małe, Bieńczyce, Rakowice) [5].

With the implementation of the sacred architecture of its creators – architects, investors, in most cases, accompanied inherently complicated system of dependencies and conditions. It resulted in great difficulties, often impossible to circumvent. These resulted primarily from considerations: economic, social, financial and political. Churches were built over a period of several years, in the economic system, the forces of the local parishioners. During the construction encountered difficulties were not only for the authorities but also the problems associated with the lack of availability of materials, lack of implementation of the order to take the church by the then construction companies (because the object ecclesiastical) [6], etc.

Despite the difficult economic situation, due to the shortage of building materials on the market and the related correcting common sizes of temples, the authorities still hinder the issuing of permission for the construction of new churches. In difficult conditions, actions taken to expand the small chapels, or in the maintenance of historic buildings. To meet the basic requirements of the pastoral, construction work also started without the necessary permits. Andrzej Sznajder and priest Władysław Piotr Właźlak, the actions of a similar vein, accompanying the construction of churches in the diocese of Częstochowa, described as

follows: *The authorities' actions (...) were, however, unchanged, since in 1962 the license was issued only for the repair and maintenance of sacred objects (...), but still threading licenses to build new churches. In the following years was not considered any permits for the construction of temples, which was a particular expression of the arrogance of the regional authorities. This was confirmed by the decision of 1965, when he was authorized to rebuild the burnt temple (...), and other construction plans remained unanswered, translating them in time.*

(...) Previously issued four licenses for the construction of churches have been suspended due to shortages of materials, which was a clever excuse communists. (...) The diocesan authorities alerted on numerous construction needs. Even begged for barrack, which could act as a chapel. (...) However, the communist authorities were intransigent and fixed firmly on the basis of current policies sacral, that is not issuing any licenses or looping indefinitely any procedures [7].

The complicated situation in the implementation of sacred objects persisted to the end of the sixties. It was only in 1970, after the change of the political authorities that there was an improvement of relations between the state and the Catholic Church. However, radical changes in policy construction, with regard to the Roman Catholic churches, brought the beginning of the eighties of the twentieth century. Until then, continue to constrain and provided with bureaucratic barriers. Never had to build new church buildings in a separate place. The first architectural projects against the political conditions were possible only as part of extensions, additions, remodeling and renovation of existing churches. Most specific veil for the construction of new church buildings were called. general repairs, which involved the replacement of the structure, usually around the object [8].

In the Archdiocese of Cracow – in the city of Cracow – this is how the 16 temples were built [9]. In the first years after the war, in the diocese only necessary works to complete - broken during the war - construction of churches were done, as well as works related to interior design - temples built before World War II [10]. Very small numbers of new religious buildings were created

Up to the eighties it was extremely difficult to obtain permission to build the temple. Administrative proceedings on the authorization were deliberately complicated and spun in time. The feasibility of religious architecture, determined numbers issued by the state laws, decrees, regulations [11], etc., as

well as illegal activities that were undertaken in order to eliminate the church building [12]. Introduced regulations that were designed, among other things, to inhibit the development of the territorial structure of the diocese and to block the possibility of establishing new parishes, caused a negative impact on the field of religious architecture and prevented the harmonious increase in the number of new churches [13].

Obtaining the coveted building permit was possible in special situations of social tension (1956, 1970, 1976, 1980–1981) [14], when the regime courted the favor of the Church and wanted something politically to win. Then also expressed agreement on common architectural competitions organized by the SARP [15] (such as competition for the temple in Nowa Huta-Bieńczyce settled in 1957). However, these decisions were short-lived and quickly reiterated the policy of damming problems, such as: hitherto withdrawing authorizations granted or not allowing for the implementation of the next construction of churches.

Due to the difficult and rich history of the construction process, an eloquent remains today as was the situation in the Archdiocese of Cracow, associated with the construction of the first church in Nowa Huta-Bieńczyce, “the city without God”, which was originally obtained permission to build a church, then has been withdrawn [16]. Fight of Nowa Huta population remains to this day a symbol of social resistance against the atheistic indoctrination [17].

Therefore, in the first period of post-war years: 1945–1970, taking into account the comparative summary for the remaining time ranges (1971–1989 and 1990–2000), special attention is paid to great disproportion in the number of completed church buildings.

From 1951 until 1955 in Poland there were built only 86 Catholic churches. After 1956, as a result of political turning point, after the events in October, there was a temporary improvement in relations between the state and the church. Granted if more permits for the construction of sacred buildings – from January 1957 to May 1958 245 permits to build new churches and chapels throughout the country were issued [18].

Majority in terms of new implementation and obtained permits for the construction of religious buildings in the Archdiocese of Cracow, is in the second period, covering the years 1971–1989, and particularly rich in new sacred projects – eighties of the twentieth century.

Despite the unfavorable attitude of the state authorities to the Catholic Church, from the time her attitude was changing and new permits to build

and express consent for the creation of new parishes were issued. While in the seventies of the twentieth century, yet strong objections to the construction of new churches occurred, replaced by sophisticated methods such as “maneuvering and procrastination issues”, “opportunistic, tactical maneuverings”, “playing for time”, “verbal jostling” but in situations no way “regulation permits” [19], in the eighties, there was a spontaneous explosion in the church building. (...) *An explosion of construction sakranego and ecclesiastical observed in the eighties, has found its cause in changing the ratio of state to this field of religious life, and the “Ordinance No. 47” [20] meant the actual end of the battle of churches* [21].

This phase is characterised by tough times and years of the communist regime, when suddenly and unexpectedly built more than 2.000 new churches.

Both the Catholic Church and investors and architects were not prepared to take this new and suddenly appearing task. Therefore, the process of design, and the entire administrative procedure extremely complicated construction project, it has become a challenge for all.

T. P. Szafer wrote: “*Never before have so many and in such a short time was not built, and never focused on construction of churches as the considerable efforts of design, investor and executive. It seems historical analogy to the emotional climate attendant to construction we find a church in distant history, when were first Polish churches and monasteries*

” [22].

The massive building of churches of the seventies and eighties of the twentieth century, Beata Malinowska-Petelenz called: “*a kind of antidote to the exploration of spatially degraded environment, the wider social protest, and a forum for political opposition*” [23]. The complicated situation that accompanied all endeavors and church buildings in the years 1971–1989, maintained up to the end of the eighties. Political breakthrough in 1989 caused a radical change in the conditions of sacred architecture. After the final legal [24] regulation of the situation of the Church in Poland, including sacral investors church received, along with others, complete freedom of action, and the development environment of creative freedom regained.

Phase III is the period of years 1990–2000, when the situation normalized politically and economically and total creative freedom occurred in the field of architecture and sacral. New regulations in the “religious laws” have a significant impact on the field of sacred architecture. The process of investment and

realisation underwent considerable simplification. New temples were built without any constitutional or economic restrictions. They are implemented without haste and in situations when needed in the parish.

In summary the investment process in the field of religious architecture in the years 1945-2000, we can conclude that in the first post-war period there were the biggest constraints in obtaining permission to build new churches and chapels. Existing provisions led to a paralysis of all investments of sacral. The work of designers, due to the current legislators and government policy, inflicted against the Church, was significantly reduced. Works carried out using the forces of the local parishioners, without the participation of specialized companies that could not undertake the construction of Catholic churches. The building process usually lasted for dozen or so years, and the complicated situation investment remained until the end of the sixties.

In the second period of the years 1971-1989, the situation has significantly changed. While in the early years, there were still red tape and technological constraints, and further the process of investment and realization was hampered by the deepening economic crisis of the country. However, in subsequent years, after 1975, a gradual liquidation of arrears begins. The creators of sacred architecture regain freedom of action. Social and Political transformation in 1980 created opportunities to build new churches, on a completely separate plots. Therefore, everything is built, in any quantities and varied. Architectural effect depends only on the designer and his technical skills.

In the third period of years 1989-2000, to obtain permission to build a church is just a formality – the fulfillment of formal and legal requirements, and conducting appropriate administrative procedure. Developers temples regain full flexibility and individuality in the process of shaping forms of

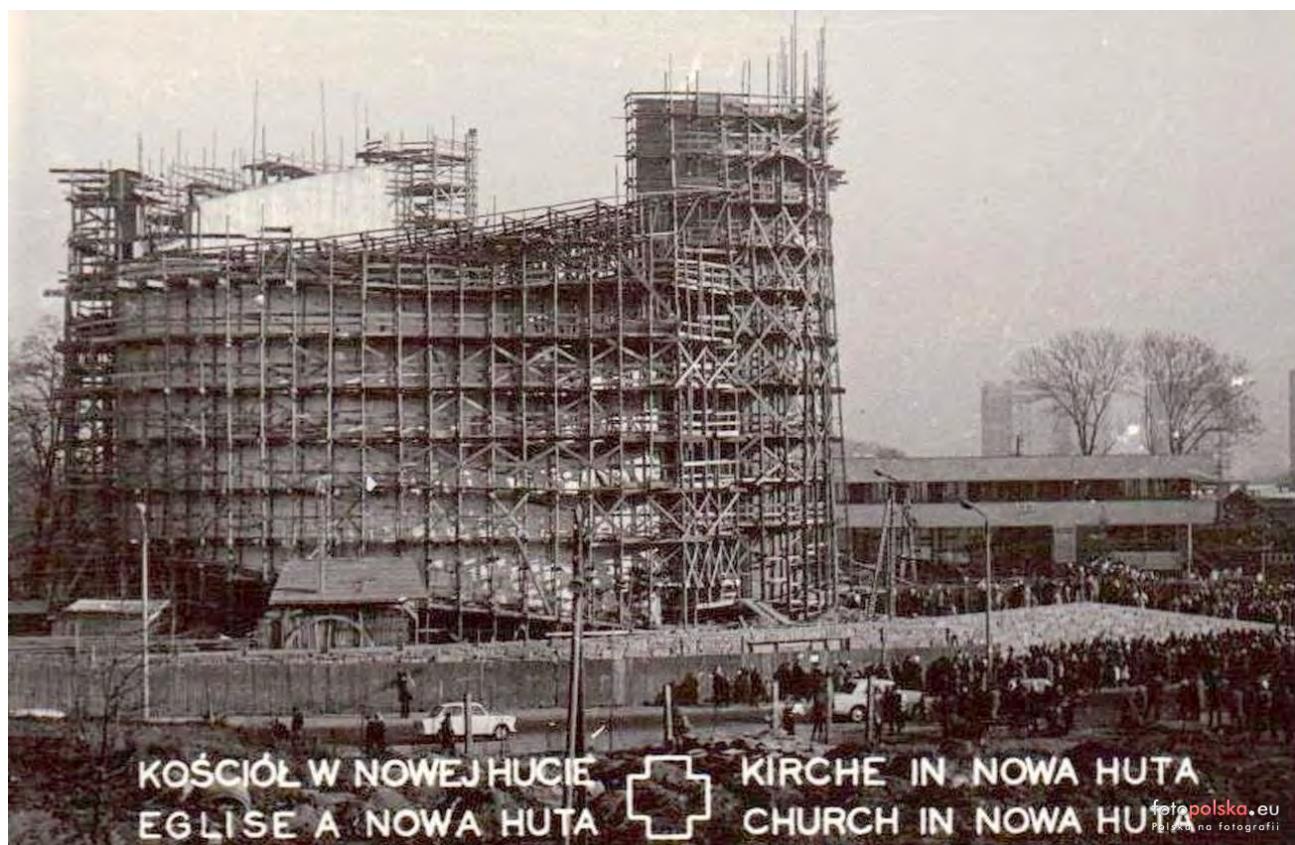


Fig. 1. The church Najświętszej Marii Panny Królowej Polski, „Arka Pana”, Cracow-Nowa Huta; 1967-1977, designed by Wojciech Pietrzyk; Construction of the first church in the working-class district Cracow-Nowa Huta, who became a symbol of the times associated with the difficulties that occurred in the church realizations in the postwar years; history of the origin of the temple is associated with the defense of the cross by the inhabitants of Nowa Huta in 1960, in the place where he had originally built the church for: <http://fotopolska.eu/473009,foto.html>, 19.02.2014

architecture and works of plastic expression. The concept and composition, urban and interior design of the temple, the selection of the detail and pieces of equipment, there are problems that depend only on the artist himself, his technical skills, experience, self-discipline. Individuality and conceptual design goes hand in hand with the professional way to do, using the latest technologies and systems available on the market. Contemporary art engineering and construction allows to overcome increasing the span, height, lightweight design and their spectacular visibility. There are various types of new construction and architecture - the richness of the diverse forms and shapes, affecting the atmosphere of the sacred.

Today it is only the economic side of investment that is complex. It is jointly controlled by conditions of the economic system and the development of technology.

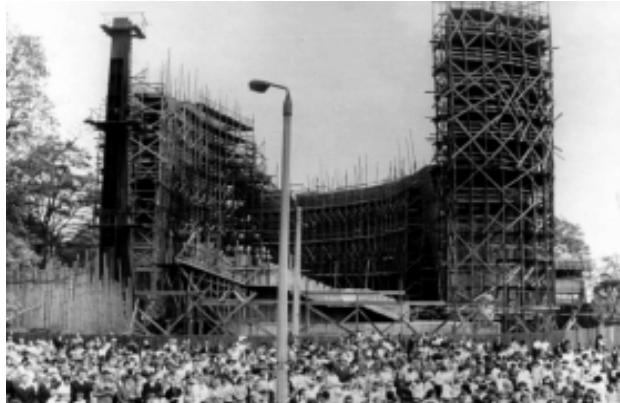


Fig. 2. The church Najświętszej Marii Panny Królowej Polski, „Arka Pana”, Cracow-Nowa Huta; 1967-1977, designed by Wojciech Pietrzky; construction of the first church in the working-class district Cracow-Nowa Huta, for: <http://arkapana.pl/o-kosciele>, 19.02.2014

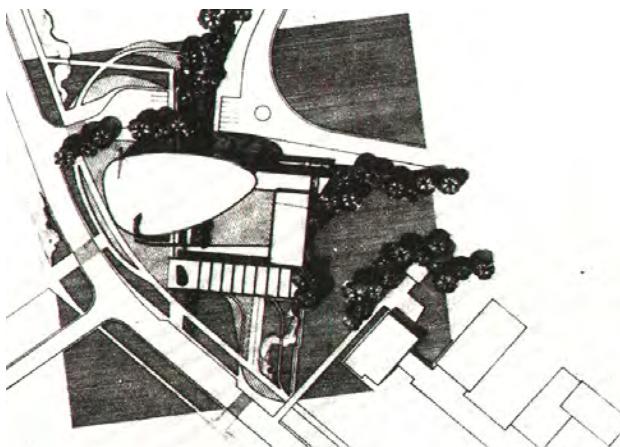


Fig. 3. The church Najświętszej Marii Panny Królowej Polski, „Arka Pana”, Cracow-Nowa Huta; 1967-1977, designed by Wojciech Pietrzky; concept of spatial development, according to T. Przemysław Szafer [25]



Fig. 4. The church St Jadwiga In Cracow-Krowodrza, 1978–1988, designed by Romuald Loegler, Jacek Czekaj; Construction of the church on a new housing estate, the property was erected for a period of 10 years image archive for: <http://www.swietajadwiga.diecezja.pl>, 7.05.2012

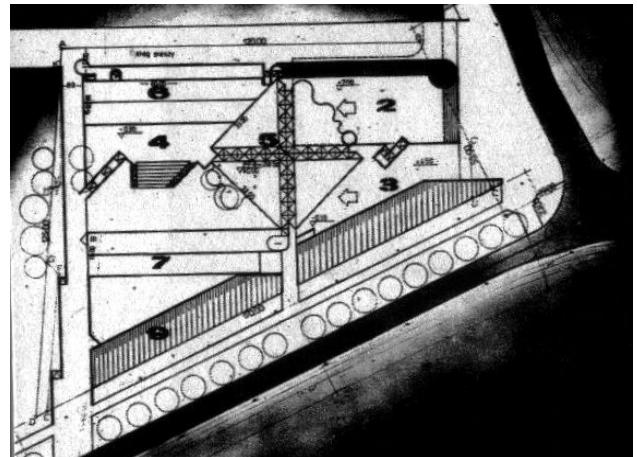


Fig. 5. The church St Jadwiga in Cracow-Krowodrza, 1978–1988, designed by Romuald Loegler, Jacek Czekaj; Variant II development plan, according to T. Przemysław Szafer [26]

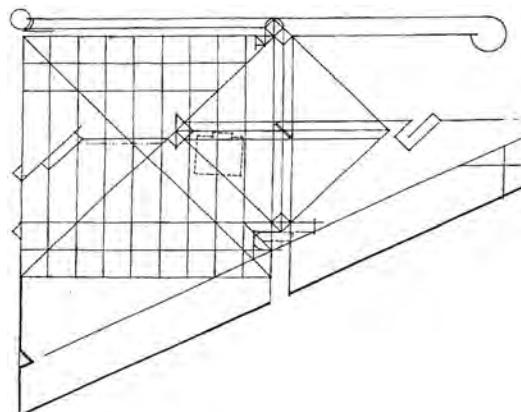


Fig. 6. The church St Jadwiga In Cracow-Krowodrza, 1978–1988, designed by Romuald Loegler, Jacek Czekaj; diagram of the modular grid of the church, according to Romualda Loeglera [27]

### 3. Conclusions

Throughout the period of operation of the communist system in Poland, part of which was to reduce sacral, investments of Church accompanied by complicated system dependencies. A time of great transformation, eliminating the devastation of war and intensive industrialization and urbanization of the country, favored the multiplication of many legal documents.

Religious Architecture became separate, with its own individual character, chapter in the sacral area. Archdiocese of Cracow played a significant role in the difficult period in which the Catholic Church was then. She grew up with a deep public demand. It is a testament to the aesthetics of the era: shows the transformation of the then living and social interaction, is an image of change, a subsidiary of the political and economic transformation of the social and legal system as well as unparalleled anywhere else difficulties in the implementation of the object and dragging investment for years.

Complicated conditions at the stage of the investment process very significantly influenced the number of emerging Catholic churches - in particular periods of time.

Despite the enormous difficulties and the complex political and economic conditions that accompanied the construction field, in the period 1945-1989 the largest number of Catholic churches were established, built in the the Archdiocese of Cracow, as well as in the whole country.

### References

- [1] 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, Cracow 2013; After a thorough examination of sacral the Archdiocese of Cracow in the years 1945-2000, adopted three characteristic of the architecture of sub-periods: I.) years from 1945 to 1970, II.) Years from 1971 to 1989, III.) 1990-2000.
- [2] Za: M. J. Żychowska, *Powojenna architektura sakralna*, [w:] *Architektura sakralna w kształtowaniu tożsamości kulturowej miejsca Sacred architecture In shaping the identity of place*, praca zbiorowa pod redakcją Elżbiety Przesmyckiej, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2006, s. 288. Źródło: W. Łysiak, *Rys dziejów architektury powojennej. Etap I – Odbudowa (1945–1950) oraz Etap II – „Soc-klasycyzm (1950-1956) oraz Etap III – Pogoń za nowoczesnością (1957–1970)*, Stolica 1981, nr 45, 46, 47, s.14.
- [3] In the years 1945–1951 for the case of architecture, urban planning, construction, municipal and housing, was responsible – Ministry of Reconstruction, from the year 1949–1951 – Ministry of Construction, and in later years this structure underwent many divisions – in several ministries, until the year 1985 when it re-combined and created one institution: in 1985-1987 – Ministry of Housing, Spatial Planning and Public Utilities, and since 1987 – the Ministry of Planning and Construction, source: A. Basista, *Betonowe dziedzictwo, architektura w Polsce czasów komunizmu*, Warsaw-Cracow, 2001, s. 31, 42–43.
- [4] There were all kinds of documents, such as starting produced by the highest national authorities, through acts of ministerial decrees issued by the government or local industry.
- [5] Za: Wroński J. Sz., *Kościoły Krakowa zbudowane w latach 1945–1989, jako wyraz przemian architektury sakralnej w Polsce na tle rozwoju architektury na świecie*, Cracow 2010, s. 278–279.
- [6] Information from the parish, [www.swietajadwiga.diecezja.pl](http://www.swietajadwiga.diecezja.pl), 07.05.2012, none of the then construction company could not accept orders construction of the church, gathering building materials require a lot of effort, because everything was so. assignments and example to buy several tons of cement had to collect several identity cards of the faithful to not get on the assignment. With these constraints on the part of the local authorities further strengthened the bonds of the parish community. Working together to build and joint acquisition of necessary materials cementowały people ties that have survived to this day ...
- [7] for: Sznajder A., ks. Właźlak W.P., „*Postanowiono załatwić odmownie...*” *Budownictwo sakralne w diecezji częstochowskiej (1957–1989). Wybór dokumentów*, IPN Katowice, Katowice-Częstochowa-Rzeszów 2008, s. 5; źródło: wg. IPN Ka 0103/189, t. 1, k. 396–401; IPN Ka 85/6, t. 3, k. 38–40; AKMCz, sygn. 148/3, t. III, nr 58; AKMCz, sygn. 148/3, t. III, nr 70.
- [8] 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. IV, Białkiewicz Z., Kadłuczka A., Zin B., (red.), Kraków 1996, s. 135.
- [9] Wroński J. Sz., *Kościoły Krakowa zbudowane w latach 1945–1989, jako wyraz przemian architektury sakralnej w Polsce na tle rozwoju architektury na świecie*, Cracow 2010, s. 457.
- [10] Ibidem, s. 457.
- [11] Those documents include:  
– *Dekret Rady Państwa o obsadzaniu duchownych stanowisk kościelnych*, z dnia 9 lutego 1953 roku – za: R. Wróbel, *Sztuka Polski Środkowej. Nowe kościoły w diecezji łódzkiej 1945–1989. Uwarunkowania i klasyfikacja rzymkokatolickiej architektury sakralnej*, Łódź 2005, s. 64–65, [w:] P. Raina, *Kościół w PRL. Kościół katolicki a państwo w świetle dokumentów*

- 1945–1989, t. 1, *Lata 1945–1959*, Poznań 1994, s. 392, (Tekst dekretu: *Dziennik Ustaw* 1957, nr 10, poz. 32).
- *Zarządzenie wykonawcze* (do dekretu j.w.), z dnia 5 maja 1953 roku; za: R. Wróbel, *Sztuka Polski Środkowej*..., op. cit., s. 64.
  - *Dekret o organizowaniu i obsadzaniu stanowisk kościelnych*, z dnia 31 grudnia 1956 roku, za: R. Wróbel, *Sztuka Polski Środkowej*..., op. cit., s. 64–65, [w:] P. Raina, *Kościół w PRL*..., op. cit., s. 577–578, (Tekst dekretu: *Dziennik Ustaw* 1957, nr 1, poz. 6).
  - *Okólnik nr 3 w sprawie budownictwa obiektów sakralnych i kościelnych oraz zaopatrywania tych obiektów w materiały budowlane*, wydany przez Urząd do Spraw Wyznań dnia 27 marca 1957 r. za: za: R. Wróbel, *Sztuka Polski Środkowej*..., op. cit., s. 66, [w:] P. Raina, *Kościół w PRL*..., op. cit., s. 592–593, (Tekst okólnika).
- [12] Za: Wróbel R., *Sztuka Polski Środkowej*..., op. cit., s. 59.
- [13] Za: Wróbel R., *Sztuka Polski Środkowej*..., op. cit., s. 65.
- [14] Basista A., *Betonowe dziedzictwo*..., op. cit., s. 146.
- [15] Basista A., *Betonowe dziedzictwo*..., op. cit., s. 146.
- [16] Expansion of Cracow, which took place in the fifties began with Nowa Huta, which was to be a counterweight to the old town, for its tradition and religion. In the sixties and seventies resulting in Cracow new settlements, but without the churches, as Krzesławickie Wzgórza, Mistrzejowice, Prądnik and Krowodrza. There was also talk of building new temples there, because according to the Communist authorities socialist society did not need religion. Then began the first formal efforts to the competent authorities for permission to build new churches , both in Nowa Huta and in emerging neighborhoods. These actions took priest, Cardinal Karol Wojtyła, concerned about the prevailing situation. However, the received answer that Cracow is a lot of churches and residents of settlements can go to church in the center. Consequently, pastors led catechetical reaching residential environments. Also invoked catechetical study of religion, which in time became the beginning of a new parish. Pros: the website of the Parish Królowa Jadwiga [www.swietajadwiga.diecezja.pl](http://www.swietajadwiga.diecezja.pl), 7.05.2012 r.
- [17] Lasota M., *Czasy PRL-u i odzyskana wolność 1945–1992*, [w:] *Dzieje Kościoła w Polsce*, praca zbiorowa, Wiencek A. (red.), Kraków 2008, s. 434.
- [18] Za: Sowa A.L., *Wielka Historia Polski, tom 10, Od Drugiej do Trzeciej Rzeczypospolitej (1945–2001)*, Kraków, 2001, ss. 107, 182.
- [19] Za: *Dzieje Kościoła*..., op.cit., s. 448.
- [20] *Zarządzenie nr 47 Prezesa Rady Ministrów: Planowanie i realizacja inwestycji sakralnych oraz kościelnych*, z dnia 24 listopada 1981 roku, podpisane przez Mieczysława Rakowskiego, Wiceprezesa rady Ministrów.
- [21] Za: Wróbel R., *Sztuka Polski Środkowej*..., op. cit., s. 69.
- [22] Za: Malinowska-Petelenz B., *Miejsce kościoła w mieście. Analiza myśli kompozycyjnej w wybranych obiektach sakralnych autorstwa Witolda Cęckiewicza*, Kraków 2007, s. 6; cyt. wg: T. P. Szafer, *Nowe polskie kościoły, kreacja czy tradycja?* [w:] *Nasza Przeszłość* 70, Kraków 1988, s. 237.
- [23] Malinowska-Petelenz B., *Miejsce kościoła w mieście*..., op. cit., s. 6.
- [24] Giving legal status and material privileges to the Church, took place in May 1989, after the adoption by parliament of the Act: *O stosunku państwa do Kościoła katolickiego w Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej*; źródło: A. L. Sowa, *Wielka Historia Polski, tom 10, Od Drugiej do Trzeciej Rzeczypospolitej (1945–2001)*, Kraków, 2001, s. 313–314; oraz Tekst ustawy: *Dziennik Ustaw* 1989, nr 29, poz. 154 (*O stosunku państwa do Kościoła katolickiego w Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej*); poz. 155 (*Ustawa o gwarancjach wolności sumienia i wyznania*).
- [25] Szafer T.P., *Nowa architektura polska, diariusz lat 1971–1975*, Warszawa 1979, s. 174.
- [26] Szafer T.P., *Nowa architektura polska, diariusz lat 1976–1980*, Warszawa 1981, s. 185.
- [27] Loegler R., *Z porządku uwolniona forma*, Kraków 2001, s. 84.

Joanna Gil-Mastalerzyk

# O procesie inwestycyjno-realizacyjnym powojennych przedsięwzięć sakralnych

## 1. Wstęp

Po II wojnie światowej sytuacja Kościoła katolickiego na terenie Archidiecezji Krakowskiej jak i w całej Polsce uległa radykalnym zmianom.

Zmiana warunków, w jakich przyszło działać inwestorom kościelnym podejmującym po 1945 roku budowę świątyń, zachodzące przemiany polityczno-gospodarczo-społeczne, w znaczącym stopniu wpłyły na możliwość prawidłowego funkcjonowania i rozwoju budownictwa sakralnego oraz na ewolucję form architektonicznych kościołów.

Pomimo ogromnych trudności oraz skomplikowanych uwarunkowań ustrojowo-gospodarczych, towarzyszących tej dziedzinie budownictwa, w latach lat 1945–1989 powstała największa ilość kościołów katolickich, wzniesionych na terenie Archidiecezji Krakowskiej, a także w skali całego kraju.

## 2. Proces inwestycyjno-realizacyjny przedsięwzięć kościelnych – na tle panujących warunków polityczno-gospodarczo-społecznych

Lata 1945–1970, to czas, kiedy Kościół Katolicki wywalczył – u ówczesnych władz – zezwolenia na budowę tylko pojedynczych budowli kościelnych. W okresie tym z zasady sprzeciwiano się budowie nowych świątyń. Uważano, że istniejąca ilość kościołów jest wystarczająca i zdecydowanie programowo ograniczano rozwój budownictwa sakralnego.

O ile pierwsze lata powojenne były jeszcze okresem pewnej swobody twórczej, to od roku 1950 do końca lat sześćdziesiątych miała miejsce najbardziej krytyczna sytuacja inwestycyjno-realizacyjna. Powodem były między innymi trudności ekonomiczne wynikające z nieefektywnego systemu gospodarczego, nieustanne zmiany w strukturze ministerstw odpowiedzialnych za sprawy architektury, urbanistyki, budownictwa, gospodarki komunalnej i mieszkaniowej oraz związane z tym wszelkie ograniczenia spowodowane rozbudowanym systemem uregulowań prawnych [2]. Gąszcz stale zmienianych i aktualizowanych przepi-

sów miał na celu wymusić racjonalne i zdyscyplinowane działanie, powodował również ogromne utrudnienia w całym procesie budowlanym [3].

Przy realizacji architektury sakralnej jej twórcom – architektom, inwestorom, w większości przypadków, towarzyszył nieodłącznie skomplikowany układ zależności i uwarunkowań. Powodowało to ogromne utrudnienia, często niemożliwe do ominięcia. Wynikały one przede wszystkim z uwarunkowań: gospodarczych, społecznych, finansowych oraz politycznych. Obiekty kościelne wznoszone były przez okres kilkunastu lat systemem gospodarczym, siłami miejscowych parafian. W trakcie budowy napotykało nie tylko na utrudnienia ze strony władz, ale także problemy związane z brakiem dostępności materiałów budowlanych, brakiem podjęcia zlecenia realizacji kościoła przez ówczesne firmy budowlane (z racji obiektu kościelnego), [4] itd.

Pomimo trudnej sytuacji gospodarczej, z uwagi na braki materiałów budowlanych na rynku i związanym z tym częstym korygowaniem rozmiarów świątyń, władze ciągle utrudniały wydawanie zgody na budowę nowych kościołów. Dlatego w trudnych warunkach podejmowano działania w celu rozbudowy małych kaplic czy też w konserwacji zabytkowych obiektów. Aby sprostać podstawowym wymogom duszpasterskim, rozpoczynano także prace budowlane bez koniecznych pozwoleń. Andrzej Sznajder oraz Ks. Władysław Piotr Wlaźlak działania o podobnym tonie, towarzyszące budowie kościołów na terenie diecezji częstochowskiej, opisali w następujący sposób: *Działania władz (...) były jednak niezmienne, gdyż w 1962 r. wydano pozwolenie zaledwie na remont i konserwację obiektów sakralnych (...), jednak przewlekano nadal wydanie pozwoleń na budowę nowych kościołów. W następnych latach nie rozpatrywano żadnych pozwoleń na budowę świątyń, co było szczególnym wyrazem arogancji władz wojewódzkich. Potwierdziła to decyzja z 1965 r., kiedy wydano zgodę na odbudowanie spalonej świątyni (...), zaś inne plany budowlane po-*

*zostawiono bez odpowiedzi, przekładając je w czasie.*

*(...) wydane dotychczas cztery pozwolenia na budowę kościołów zostały zawieszone ze względu na braki materiałowe, co było zręczną wymówką komunistów. (...) władze diecezjalne alarmowały w sprawie licznych potrzeb budowlanych. Błagały choćby o barak, który mógłby spełniać rolę kaplicy. (...) władze komunistyczne były jednak nieprzejednane i stały twardo na gruncie dotychczasowej polityki w zakresie budownictwa sakralnego, czyli niewydawania żadnych pozwoleń lub przewlekania w nieskończoność wszelkich procedur [5].*

Skomplikowana sytuacja w procesie inwestycyjno-realizacyjnym obiektów sakralnych utrzymywała się do końca lat sześćdziesiątych. Dopiero w roku 1970, po zmianie władz politycznych, nastąpiła poprawa stosunków pomiędzy państwem, a Kościołem katolickim. Jednak radykalne zmiany w polityce budowlanej, odnośnie świątyń rzymskokatolickich, przyniosły początek lat osiemdziesiątych XX wieku. Do tego czasu nadal piętrzono trudności i stwarzano biurokratyczne bariery. Nie wolno też było budować nowych obiektów kościelnych na odrębny miejscu. Pierwsze realizacje architektoniczne na tle warunków politycznych możliwe były jedynie w ramach przeprowadzanej: rozbudowy, dobudowy, przebudowy oraz remontu istniejących kościołów. Najczęściej specyficzną założoną dla budowy nowych obiektów kościelnych były tzw. remonty generalne, które wiązały się z wymianą konstrukcji, zazwyczaj całego obiektu [6].

Na terenie Archidiecezji Krakowskiej – w samym mieście Krakowie – w ten sposób powstało 16 świątyń [7]. W pierwszych latach powojennych, w diecezji, podjęto jedynie niezbędne prace zmierzające do ukończenia – przerwanych w czasie wojny – budów kościołów oraz prace związane z wyposażeniem wnętrz – świątyń wzniесionych jeszcze przed II wojną światową [8]. Bardzo nielicznie powstawały natomiast nowe obiekty sakralne.

Do roku osiemdziesiątego niezmiernie trudne było uzyskanie pozwolenia na budowę świątyni. Postępowanie administracyjne w sprawie zezwoleń celowo komplikowano i wydłużano w czasie. O możliwości realizacji architektury sakralnej decydowały licznie wydawane przez władze państwowego ustawy, dekrety, rozporządzenia [9] itd., a także bezprawne działania, które podejmowane były w celu eliminacji budownictwa kościelnego [10]. Wprowadzane uregulowania prawne, które miały na celu między innymi: hamowanie rozwoju struktury terytorialnej diecezji oraz blokowanie możliwości powoływania nowych

parafii, wywoływały negatywny wpływ na dziedzinę architektury sakralnej i uniemożliwały harmonijny wzrost ilości nowych kościołów [11].

Uzyskanie upragnionego pozwolenia na budowę możliwe było w sytuacjach szczególnych napięć społecznych (1956, 1970, 1976, 1980–1981) [12], kiedy reżim zabiegał o przychylność Kościoła i chciał coś politycznie wygrać. Wówczas wyrażano również zgodę na powszechnie konkursy architektoniczne organizowane przez SARP [13] (jak np.: konkurs na świątynię w Nowej Hucie-Bieńczycach rozstrzygnięty w 1957 roku). Jednak decyzje te były krótkotrwałe i szybko powracano do polityki piętrzenia trudności, np.: wycofując dotychczasowo udzielone zezwolenia, czy też nie dopuszczając do realizacji następnych budów kościołów.

Ze względu na trudne i bogate dzieje procesu budowy, niezwykle wymowna pozostaje do dziś sytuacja, jaka miała miejsce na terenie Archidiecezji Krakowskiej, związana z budową pierwszego kościoła w Nowej Hucie-Bieńczycach, „*mieście bez Boga*”, gdzie pierwotnie uzyskane pozwolenie na budowę kościoła, następnie zostało cofnięte [14]. Walka nowohuckiej ludności pozostaje do dziś *symbolem oporu społecznego przeciwko ateistycznej indoktrynacji* [15].

Dlatego też w pierwszym okresie lat powojennych: 1945–1970, biorąc pod uwagę zestawienie porównawcze dla pozostałych zakresów czasowych (1971–1989 i 1990–2000), szczególną uwagę zwraca wielka dysproporcja ilości zrealizowanych obiektów kościelnych [16].

Najliczniejszy pod względem nowych realizacji i uzyskanych pozwoleń na budowę budowli sakralnych, na terenie Archidiecezji Krakowskiej, jest okres II, przypadający na lata 1971–1989, a w szczególności obfitujące w nowe realizacje sakralne – lata osiemdziesiąte XX wieku.

Mimo nieprzychylnego nastawienia władz państwowych do Kościoła katolickiego, z czasem jej stosunek ulegał zmianom i zaczęto wydawać nowe pozwolenia na budowę oraz wyrażać zgody na tworzenie nowych parafii. Wprawdzie w latach siedemdziesiątych XX wieku, występujące dotychczas zdecydowane sprzeciw na budowę nowych kościołów zastąpiono wyrafinowanymi metodami takimi jak: „*lawirowanie i odwlekanie spraw*”, „*koniunkturalne, taktyczne zagrywki*”, „*gra na zwłokę*”, „*słowne przepychanki*”, skuteczna „*psychotechnika*”, natomiast w sytuacjach bez wyjścia „*reglamentacja pozwoleń*” [17], to w latach osiemdziesiątych doszło do żywiołowej eksplozji w budownictwie sakralnym. (...)

prawdziwa eksplozja budownictwa sakralnego i kościelnego, obserwowana w latach osiemdziesiątych, znalazła swą przyczynę w zmianie stosunku władz państwowych do tej dziedziny życia religijnego, zaś „Zarządzenie nr 47”[18] oznaczało faktyczny koniec bitwy o kościoły [19].

Fazie tej przypadają trudne czasy reżimu komunistycznego oraz lata, kiedy nagle i niespodziewanie wybudowano ponad 2000 nowych świątyń.

Zarówno Kościół katolicki jak i inwestorzy oraz architekci nie byli przygotowani do podjęcia tego nowego i nagle pojawiającego się zadania. Dlatego przebieg procesu projektowego, procedury administracyjnej oraz całego niezwykle skomplikowanego przedsięwzięcia realizacyjno-budowlanego, stał się dla wszystkich sporym wyzwaniem.

T. P. Szafer napisał: „*Nigdy dotąd, tak wiele i w tak krótkim czasie nie zbudowano, nigdy też nie skupiono przy wznoszeniu kościołów tak znaczących wysiłków projektowych, inwestorskich i wykonawczych. Wydaje się, historyczną analogię do emocjonalnego klimatu towarzyszącemu budownictwu kościelnemu moglibyśmy odnaleźć w odległych dziejach, gdy powstawały pierwsze polskie kościoły i klasztory*” [20].

Masowe budowanie kościołów lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku, Beata Malinowska-Petelenz nazwała: „*swoistym poszukiwaniem antidotum na zdegradowane przestrzenie środowisko, szeroko pojętym protestem społecznym, a także forum opozycji politycznej*” [21]. Skomplikowana sytuacja, jaka towarzyszyła wszystkim przedsięwzięciom i realizacjom kościelnym lat 1971–1989, utrzymywała się właściwie do końca lat osiemdziesiątych. Polityczny przełom 1989 roku spowodował radykalne zmiany w uwarunkowaniach architektury sakralnej. Po ostatecznym prawnym [22] uregulowaniu sytuacji Kościoła w Polsce, w tym również budownictwa sakralnego, inwestor kościelny uzyskał, na równi z innymi podmiotami, pełną swobodę działania, a środowisko projektowe odzyskało swobodę twórczą.

Fazę III okresu lat 1990–2000, cechuje unormowana sytuacja polityczno-gospodarcza i całkowita swoboda twórcza w dziedzinie architektury i budownictwa sakralnego. Nowe uregulowania prawne zawarte w „ustawach wyznaniowych” miały zasadniczy wpływ na dziedzinę architektury sakralnej. Proces inwestycyjno-realizacyjny uległ znacznym uproszczeniom. Nowe świątynie budowane są bez żadnych ograniczeń ustrojowo-gospodarczych. Realizowane są bez pośpiechu i w sytuacjach, gdy zachodzi taka potrzeba w danej parafii.

Podsumowując sam proces inwestycyjny w dziedzinie architektury sakralnej, przełomu lat 1945–2000, można stwierdzić, że w pierwszym powojennym okresie występowały największe ograniczenia w uzyskiwaniu zezwoleń na budowę nowych kościołów i kaplic. Obowiązujące przepisy prowadziły do paraliżu wszystkich inwestycji o charakterze sakralnym. Twórczość projektantów, z uwagi na obowiązujące ustawodawstwo oraz politykę władz, wymierzoną przeciwko Kościołowi, była znacznie ograniczona. Roboty budowlane realizowano tzw. systemem gospodarczym, siłami miejscowych parafian, bez udziału wyspecjalizowanych firm, które nie mogły podjąć się budowy obiektów, jakim były świątynie katolickie. Proces budowlany trwał najczęściej do kilkunastu lat, a skomplikowana sytuacja inwestycyjna utrzymywała się do końca lat siedemdziesiątych.

W II okresie – lata 1971–1989, sytuacja ta uległa znaczącym zmianom. Wprawdzie w pierwszych latach nadal występowały ograniczenia biurokratyczne i technologiczne, a dodatkowo proces inwestycyjno-realizacyjny utrudniał pogłębiający się kryzys gospodarczy kraju. Jednak w kolejnych latach, po roku 1975, rozpoczyna się stopniowa likwidacja powstałych zaległości. Twórcy architektury sakralnej odzyskują swobodę działania. Transformacja społeczno-polityczna roku 1980 stworzyła możliwości budowania nowych kościołów, na całkowicie oddzielnych działkach. Dlatego też buduje się wszystko, w dowolnych ilościach i różnorodnie. Efekt architektoniczny zależy tylko i wyłącznie od projektanta oraz jego umiejętności warsztatowych.

W III okresie – lata 1989–2000, uzyskanie pozwolenia na budowę kościoła jest już tylko formalnością – po spełnieniu wymogów formalno-prawnych i przeprowadzeniu stosownej procedury administracyjnej. Twórcy świątyń odzyskują całkowitą dowolność i indywidualność w sposobie kształtowania form architektury oraz w wyrazie plastycznym dzieła. Konsepcja i kompozycja urbanistyczna, wystrój wnętrza świątyni, dobór detalu i elementów wyposażenia, nie stanowią problemów, zależne są jedynie od samego twórcy, jego umiejętności warsztatowych, doświadczenia, samodyscypliny. Indywidualność i założenia projektowe idą w parze z profesjonalnym sposobem wykonania, z wykorzystaniem najnowocześniejszych technologii i systemów dostępnych na rynku. Współczesna sztuka inżynierijno-budowlana pozwala na pokonywanie coraz większych rozpiętości, wysokości, lekkości konstrukcji oraz spektakularne ich uwidocznienie. Pojawiają się różnego rodzaju nowinki budow-

lane, a w architekturze - bogactwo zróżnicowanych form i kształtów, wpływających na atmosferę sacram.

Skomplikowana do dziś pozostaje jedynie ekonomiczna strona inwestycji, która jest współzależna od warunków i systemu gospodarczego oraz rozwoju techniki.

### **3. Podsumowanie**

Przez cały okres funkcjonowania w Polsce systemu komunistycznego, którego częścią było ograniczenie budownictwa sakralnego, inwestycjom kościelnym towarzyszył skomplikowany układ zależności. Czas wielkiej transformacji, likwidowania zniszczeń wojennych oraz intensywnej industrializacji i urbanizacji kraju, sprzyjał mnożeniu licznych dokumentów prawnych.

Architektura sakralna stała się odrębnym, o własnym indywidualnym charakterze, rozdziałem w dziedzinie budownictwa sakralnego. W Archidiecezji Krakowskiej odegrała znaczącą rolę w trudnym okresie, w jakim znalazły się ówczesny Kościół katolicki. Wyrosła z głębokiego społecznego zapotrzebowania. Jest świadectwem estetyki tej epoki: ukazuje przemiany ówczesnego życia i kontaktów społecznych, stanowi obraz zachodzących zmian, zależnego ustroju politycznego oraz transformacji gospodarczej i prawno-społecznej Polski, a także niespotykanych nigdzie utrudnień w realizacji obiektów i przeciąganie inwestycji na długie lata.

Skomplikowane uwarunkowania na etapie procesu inwestycyjnego wpłynęły bardzo znaczco na liczebność powstających świątyń katolickich – w poszczególnych okresach czasowych.

Pomimo ogromnych trudności oraz skomplikowanych uwarunkowań polityczno-gospodarczych, towarzyszących tej dziedzinie budownictwa, w okresie lat 1945–1989 powstała największa ilość kościołów katolickich, wzniесionych na terenie Archidiecezji Krakowskiej, a także w skali całego kraju.





**environment**  
**environment**



VITALII ISHCHENKO<sup>1</sup>  
OKSANA STYSKAL<sup>2</sup>  
IGOR VASYLKIVSKY<sup>3</sup>  
SERGIY KVATERNIUK<sup>4</sup>

Vinnytsia National Technical University, Ukraine

<sup>1</sup>nightsky@ukr.net

<sup>2</sup>daisylove2007@mail.ru

<sup>3</sup>vasilkivskij@vntu.edu.ua

<sup>4</sup>serg.kvaternuk@gmail.com

# AIR POLLUTION WITH HEAVY METALS COMPOUNDS IN VINNYTSIA REGION, UKRAINE

## Abstract

The dynamics of emission of heavy metals compounds into the air in Vinnytsia region (Ukraine) in 2003-2010 years is analyzed. The level of pollution for compounds of some heavy metals (Cd, Hg) has arisen, for others – has decreased (Pb, Cr) or has not changed (As, Ni). The sources of such pollution are defined according to the amount of the emissions of heavy metals compounds in different sectors of economy. In Vinnytsia region they include transport, industrial plants and municipal sector. Great quantity of transport and hazardous materials are considered as the reasons of increasing of heavy metals emissions. Usage of more environment friendly resources (e.g. unleaded gasoline, natural gas instead of coal) is defined as the reason of reduction of heavy metals emissions.

**Keywords:** heavy metals, air pollution, emissions

## 1. Introduction

The problem of pollution with heavy metals and their compounds in Vinnytsia region is not new. Recently, however, the situation became more complicated. Generally, heavy metals emissions have not increased last years according to official statistics [2]. But due to insufficient funding of inspecting departments, the quantity of unauthorized emissions is arisen. It can potentially lead to “hidden” increasing of the pollution level. The situation is more dangerous now with heavy metals transfer to water and soil. At the same time there is little attention paid to air contamination with heavy metals and their compounds in Ukraine. But current secondary importance of this problem may cause significant environment degradation.

Majority of papers dedicated to pollution of the environment with heavy metals are focused on contamination of soil or water [1, 8, 10, 12], since these environments more often get heavy metals as a result of human activity. Comprehensive studies of the impact of heavy metals on air are less known and mostly related to a specific territory [3, 6, 7, 11, 13] or to a specific source of pollution [4, 5]. Such investigations

for Vinnytsia region were not conducted. Some information about the content of these pollutants in the air of investigated area periodically appears in the annual reports of the State department of environment protection in Vinnytsia region [9].

Therefore the aims of this study are to identify the main sources of income of heavy metals compounds into the atmosphere in Vinnytsia region, to analyze the dynamics of heavy metals emissions into the atmosphere, as well as to identify and to study the possible causes of changes of pollution level in Vinnytsia region.

## 2. Material and methods

In this paper the following heavy metals are selected for analysis: lead, cadmium, mercury, arsenic, chromium and nickel. This choice is motivated by the fact that these metals play the most important role in the environment pollution in Vinnytsia region. The highest levels of heavy metals emissions into the air are in such municipalities as Ladyzhyn, Koziatyn, Vinnytsia, Mogyliv-Podilskyi, Zhmerynka, Khmilnyk. These municipalities are the most industrialized in the region and are characterized by high traffic flows.

Data of heavy metals emissions into the air in Vinnytsia region derived from stationary, mobile and other sources in 2003–2010 years are analyzed. These data have been extracted and calculated by authors from the database of the Head department of statistic in Vinnytsia region.

### 3. Results and discussion

According to Table 1 the major source of lead emissions into the atmosphere in Vinnytsia region is power production. During fuel combustion lead compounds are emitted with volatile ash.

Not so long ago another important source of lead compounds was transport. However, since 2007 its emissions have decreased. This is due to the law banning the use of tetraethyl lead in fuel. The same reason of decreasing was found in other countries some years ago [13]. Another source is construction industry, where numerous cement plants in Vinnytsia region have lead to air emissions [3]. In addition, there was growing concern of increasing the lead emissions in the residential sector during the last years. It can be associated with increasing use of varnish, paints, batteries, accumulators and their next accumulation without any processing.

**Table 1.** Lead compounds emissions into the air in Vinnytsia region, tons per year

Sector of economy	Year							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Power production	1.86	3.140	1.64	2.072	2.010	1.972	1.8	
Processing and construction industries	—	—	0.025	0.008	0.054	0.038	0.044	
Railway	—	0.013	0.01	0.012	0.021	—	—	
Transport	0.85	2.811	2.563	2.812	0.033	0.251	—	
Commercial sector	—	0.005	0.03	0.003	—	0.002	0.003	
Residential sector	0.27	0.293	0.246	0.269	0.075	0.227	0.284	
Agriculture	0.02	0.029	—	0.015	—	0.003	—	
Metal production	0.01	0.007	0.001	0.001	—	—	—	
Gas and Oil industry	0.001	—	—	0.003	0.003	—	—	
Chemical industry	0.01	—	—	—	—	—	—	
<b>Total</b>	<b>3.02</b>	<b>6.3</b>	<b>4.51</b>	<b>5.2</b>	<b>2.19</b>	<b>2.49</b>	<b>2.13</b>	<b>1.99</b>

In general, emissions of lead compounds had reached a maximum in 2004–2006, then gradually decreased and stabilized at 2–2.5 tons per year.

Emissions of cadmium compounds started to increase dramatically in 2008. Moreover, there are few sources of this growth. First, this is due to the increasing quantity of transport during fuel combustion when there is emission of cadmium compounds. Second, there are constantly increasing

emissions in the residential sector due to the intensive use of washing detergents which contain cadmium in households. In addition, in 2009 appeared the new source – the commercial sector (Table 2), where increase of emissions of cadmium compounds most likely caused by batteries use. All above mentioned things from residential and commercial sectors transfer to landfills, where they can partly emit heavy metals compounds (not only cadmium) into the air.

**Table 2.** Cadmium compounds emissions into the air in Vinnytsia region, tons per year

Sector of economy	Year							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Processing and construction industries	—	—	—	—	0.006	—	—	
Transport	0.0005	0.002	0.002	0.002	—	0.01	—	
Commercial sector	—	—	—	—	—	—	0.115	
Residential sector	—	0.005	0.003	0.004	—	0.01	0.076	
Agriculture	—	—	—	—	—	—	0.013	
<b>Total</b>	<b>0.0005</b>	<b>0.007</b>	<b>0.005</b>	<b>0.006</b>	<b>0.006</b>	<b>0.02</b>	<b>0.204</b>	<b>—*</b>

\* Data not available

There was a stability of level of mercury compounds emissions in 2003–2009, while increase was noticed in 2010. It can be associated with the start of use of

luminescent lamps in the households (there was a growth in the residential sector in 2009 yet). At the same time, emissions in the power production sector

have reduced (Table 3). The replacement of coal by natural gas as the primary fuel for heat production at thermal power plants may be the reason because

slag wastes of these plants are source of emissions of mercury compounds.

**Table 3.** Mercury compounds emissions into the air in Vinnytsia region, tons per year

Sector of economy	Year							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Power production	0.124	0.137	0.114	0.124	0.127	0.1	0.064	
Processing and construction industries	—	0.001	0.003	0.004	0.004	0.01	0.009	
Railway	—	0.001	0.0002	0.001	—	—	—	
Transport	—	—	—	—	0.0001	0.001	—	
Commercial sector	—	—	0.0005	—	—	—	—	
Residential sector	0.013	0.014	0.003	0.009	0.003	0.01	0.075	
Agriculture	0.001	0.001	—	0.001	—	0.03	—	
<b>Total</b>	<b>0.138</b>	<b>0.154</b>	<b>0.121</b>	<b>0.139</b>	<b>0.134</b>	<b>0.151</b>	<b>0.148</b>	<b>0.194</b>

One should note the stability of arsenic compounds emissions from most sources except the residential sector (Table 4). That can results from impermanent burning of arsenic-containing materials such as treated lumber which puts arsenic fumes into the air.

The main polluters are energy companies (especially thermal power plant in Ladyzhyn) because arsenic and its compounds are found in solid fuels which are widely used at different plants.

**Table 4.** Arsenic compounds emissions into the air in Vinnytsia region, tons per year

Sector of economy	Year							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Power production	1.612	3.276	1.97	2.643	2.388	1.987	2.069	
Processing and construction industries	—	—	0.03	0.038	0.103	0.046	0.032	
Railway	—	0.014	0.01	0.013	—	—	—	
Transport	—	—	—	—	—	0.267	—	
Commercial sector	—	0.005	0.045	0.002	0.001	0.003	0.003	
Residential sector	0.323	0.290	0.273	0.281	0.083	0.242	0.038	
Agriculture	0.001	0.032	—	0.016	—	—	—	
Aluminium production	—	—	—	—	—	—	0.051	
<b>Total</b>	<b>1.936</b>	<b>3.617</b>	<b>2.328</b>	<b>2.993</b>	<b>2.575</b>	<b>2.545</b>	<b>2.193</b>	<b>2.352</b>

Dynamics at Table 5 shows slight but steady reduction of emissions of chromium compounds. In some years there are enormous values. For example in 2004 total emissions of chromium compounds were

3-4 times more than in other years due to increase in the energy sector, which remains the main source of air pollution by chromium.

**Table 5.** Chromium compounds emissions into the air in Vinnytsia region, tons per year

Sector of economy	Year							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Power production	1.84	6.689	0.948	1.193	1.167	0.963	1.048	
Processing and construction industries	—	0.017	0.116	0.033	0.185	0.097	0.119	
Railway	—	0.032	0.025	0.029	—	—	—	
Transport	0.003	0.011	0.01	0.011	—	0.628	—	
Commercial sector	—	0.011	0.116	0.005	0.002	0.006	0.007	
Residential sector	0.518	0.684	0.63	0.657	0.194	0.58	0.19	
Agriculture	0.022	0.085	—	0.037	—	0.004	—	
Metal production	0.019	0.013	0.042	0.182	0.214	0.032	0.03	
Chemical industry	0.017	0.002	0.003	0.002	0.002	—	—	
Other	—	—	—	—	0.051	—	—	
<b>Total</b>	<b>2.563</b>	<b>7.534</b>	<b>1.89</b>	<b>2.149</b>	<b>1.815</b>	<b>2.31</b>	<b>1.394</b>	<b>1.3</b>

There was also high level of chromium compounds emissions by transport in 2008 – 60 times more than in the previous years. Emissions of energy companies and transport usually contain some chromium compounds. But it is hard to explain such high levels. Emissions in the residential sector have reduced in recent years. However, this sector remains one of the major sources of chromium compounds emissions into the air (mainly use of varnish and paints). Reduction of emissions in the chemical industry during the past 3 years could be explained by stopping of the galvanic production in Vinnytsia region.

From the Table 6 one can see that emissions of nickel compounds into the atmosphere were constantly

changing with peaks in 2004 and 2008. But last two years are characterized by relatively low values due to significant reduction of the emissions in agriculture (possibly due to significant reduction of the number of agricultural machinery which use accumulators that contain nickel) and in the residential sector (by reducing the use of conventional NiCd batteries and replacing them by rechargeable batteries, which have much longer service life). Although fewer emissions of nickel compounds in the residential sector are not correlated with an increase of emissions of cadmium compounds (the main source of nickel and cadmium in the residential sector is conventional nickel-cadmium battery).

**Table 6.** Nickel compounds emissions into the air in Vinnytsia region, tons per year

Sector of economy	Year							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Power production	1.488	3.822	1.464	1.847	1.798	1.492	1.61	
Processing and construction industries	–	0.001	0.046	0.016	0.089	0.011	0.055	
Railway	–	0.177	–	0.159	–	–	–	
Transport	0.004	0.015	0.014	0.015	–	3.074	–	
Commercial sector	–	0.006	0.047	0.003	0.001	0.002	0.004	
Residential sector	0.279	3.744	0.344	2.044	0.108	3.072	0.006	
Agriculture	0.026	0.417	–	0.208	–	0.003	–	
Metal production	0.003	0.005	0.058	0.029	0.03	0.022	0.028	
<b>Total</b>	<b>1.8</b>	<b>8.187</b>	<b>1.973</b>	<b>4.321</b>	<b>2.026</b>	<b>7.676</b>	<b>1.703</b>	<b>1.816</b>

The largest supplier of nickel compounds into the air in Vinnytsia region is the energy and heat production (nickel compounds are contained in the products of fuel combustion, batteries, etc.).

#### 4. Conclusions

In summary, we have studied that the dynamics of air pollution with heavy metals in Vinnytsia region has some negative trends and it should be more controlled by the state for saving our environment. The sources of such pollution in Vinnytsia region are transport, industrial plants and municipal sector. Among the industrial plants there are energy companies which are mostly responsible for the pollution with heavy metals. The key reasons of increasing of some heavy metals emissions are great quantity of transport and using the materials which contain heavy metals (batteries, luminescent lamps, etc.) in residential sector. The main reasons of reduction of some heavy metals emissions are banning the use of leaded gasoline and replacing the coal by natural gas in power production.

#### References:

- [1] Alloway B.J.: *Heavy Metals in Soils. Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability*. Springer, Dordrecht 2013.
- [2] *Annual statistical book of Vinnytsia region, 2011 year*. The Head department of statistic in Vinnytsia region, Vinnytsia 2012 (in Ukrainian).
- [3] Carreras H.A., Pignata, M.L.: *Biomonitoring of heavy metals and air quality in Cordoba City, Argentina, using transplanted lichens*. Environmental Pollution 117 (2002), pp. 77–87.
- [4] Deng W., Louei P., Liu W., Bi X., Fu J., Wong M.: *Atmospheric levels and cytotoxicity of PAHs and heavy metals in TSP and PM<sub>2.5</sub> at an electronic waste recycling site in southeast China*. Atmospheric Environment 40 (2006), pp. 6945–6955.
- [5] Jacob A., Stucki S., Kuhn P.: *Evaporation of Heavy Metals during the Heat Treatment of Municipal Solid Waste Incinerator Fly Ash*. Environmental Science & Technology 29 (2005), pp. 2429–2436.
- [6] Komarnicki G.J.K.: *Lead and cadmium in indoor air and the urban environment*. Environmental Pollution 136 (2005), pp. 47–61.

- [7] Lee C., Li X.-D., Zhang G., Li J., Ding A.-J., Wang T.: *Heavy metals and Pb isotopic composition of aerosols in urban and suburban areas of Hong Kong and Guangzhou, South China – Evidence of the long-range transport of air contaminants.* Atmospheric Environment 41 (2007), pp. 432–447.
- [8] Manta D.S., Angelone M., Bellanca A., Neri R., Sprovieri M.: *Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy.* The Science of the Total Environment 300 (2002), pp. 229–243.
- [9] *The Report on the state of the environment in Vinnytsia region, 2010 year.* The State department of environment protection in Vinnytsia region, Vinnytsia 2011, available on: [http://www.vineco.gov.ua/load/st\\_d/r\\_d/regionalna\\_dopovid\\_pro\\_stan\\_dovkillja\\_za\\_2010\\_rik/1-1-0-196](http://www.vineco.gov.ua/load/st_d/r_d/regionalna_dopovid_pro_stan_dovkillja_za_2010_rik/1-1-0-196) (in Ukrainian).
- [10] Sarkar B.: *Heavy Metals in the Environment.* Marcel Dekker, Inc., New York 2002.
- [11] Sawidis T., Marnasidis A., Zachariadis G., Stratis J.: *A Study of Air Pollution with Heavy Metals in Thessaloniki City (Greece) Using Trees as Biological Indicators.* Archives of Environmental Contamination and Toxicology 28 (1995), pp. 118-124.
- [12] Twardowska I., Allen H.E., Häggblom M.H.: *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation.* Springer, Dordrecht 2006.
- [13] Voutsas D., Samara C.: *Labile and bioaccessible fractions of heavy metals in the airborne particulate matter from urban and industrial areas.* Atmospheric Environment 36 (2002), pp. 3583–3590.

RYSZARD DACHOWSKI<sup>1</sup>

JERZY ZB. PIOTROWSKI<sup>2</sup>

DOROTA KORUBA<sup>3</sup>

EWA ZENDER-ŚWIERCZ<sup>4</sup>

MAREK TELEJKO<sup>5</sup>

MARIOLA STARZOMSKA<sup>6</sup>

Kielce University of Technology

<sup>1</sup>tobrd@tu.kielce.pl

<sup>2</sup>piotrowski@tu.kielce.pl

<sup>3</sup>dkoruba@tu.kielce.pl

<sup>4</sup>ezender@tu.kielce.pl

<sup>5</sup>mtelejko@tu.kielce.pl

<sup>6</sup>rav4ms@wp.pl

XAVIER LUCAS

REBOND Sp. z o.o.

biuro@rebond.pl

## DATA ON ACOUSTIC AND THERMAL PROPERTIES OF REFLECTIVE INSULATION

### Abstract

The paper presents the test results of acoustic insulation properties of reflective insulation. The experiments were performed for three different types of insulation and two values of air gap, namely 2 cm and 4 cm. A significant reduction of the sound level was recorded. Selected thermal and mechanical properties are also given in the paper.

**Keywords:** acoustics, reflective insulation, thermal resistance

### 1. Introduction

Nowadays, everyone understands the need to save energy and manage it properly. In the building industry, more attention is paid to careful thermal insulation in order to minimise heat losses. Up to now traditional materials such as fiber wool or foamed polystyrene have been extensively used, however, reflective insulation can also be applied. It uses the reflection properties to reduce the amount of heat that is transferred between spaces of different temperature.

Reflective insulation is composed of low – emittance surfaces: reflective foils which radiate the emitted heat back to the warmer environment. In this way the surface is protected against accepting heat by means of radiation heat transfer. Between them there might typically be several layers of insulation materials with enclosed air spaces (bubble foils, expanded polystyrene). Their aim is to limit heat flux transmitted through conduction and convection. There are two air gaps on each side of the insulation required between

the wall and the finishing layer. They enable ventilation of the gap. The reflective insulation is placed from the inside of the buildings, which is an advantage in the case of for example historical buildings.

A lot of works on the reflective insulation performance in available literature focus on using this type of materials in the summer period to protect against significant heat loads e.g. [1]. Guo et al. [2] discussed the use of heat reflective insulation coating on the external east, south and west walls. The covering resulted in lowering the wall temperature by ca. 8 – 10°C. Consequently, the air – conditioning saving of electricity was about 5,8 kWh/(m<sup>2</sup>month). Some works, for example [3], present the measurements of the reflective insulation performance in both winter and summer as the construction element of the walls and the roof are presented. Basing on the tests it has been stated in this paper that the application of such a material might avert the unfavourable overheating in the summer and retain heat in the winter. However, it

needs to be noted that there are discrepancies between results presented by different research institutes regarding reflective insulation. This has been pointed out by Tenpierik and Hasselaar [4]. That is the reason why tests in this field are needed. They can be efficiently done in climatic chambers. These devices are more and more common and tests are conducted on different materials, as in [5].

## 2. Tests of acoustic insulation

Three different samples of reflective insulation were tested. Sample 1 consisted of 2 layers of reinforced metalised polyester foil, 2 layers of polyester fiber insulation, 2 reflective layers and 1 polyester foam layer. Sample 2 had 2 layers of reinforced metalised polyester foil, 2 layers of polyester fiber insulation, 6 reflective layers and 5 polyester foam layers. While sample 3 composed of 2 layers of reinforced metalised polyester foil, 4 layers of polyester fiber insulation, 6 reflective layers and 5 polyester foam layers. The tests were conducted for two values of air gap between the tested material and the gypsum boards, namely 2 cm and 4 cm.

The tests were performed on the experimental stand presented below (Fig. 1, 2), which is the acoustic tunnel. It has been patented [6].

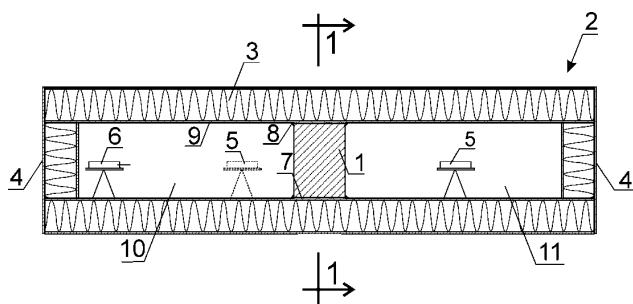


Fig. 1. The acoustic tunnel and its elements.

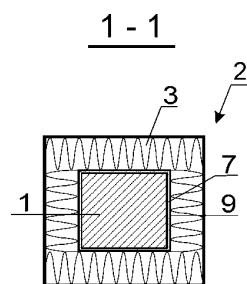


Fig. 2. Cross – section of the tunnel (1-1).

The tunnel is rectangular and divided with the investigated element 1. On the left there is the receiving chamber (10) and on the right – the sending

chamber (11). They are both sealed (4). The inside insulation is fiber wool (3). There are a sound level meter (6) and a sound generator (5) installed in the tunnel. The generator provides sound for comparison with the sound generated in the sending chamber. The sample has been sealed with foam acoustic insulation (7). Figures 3 – 5 present the pictures of the tunnel.

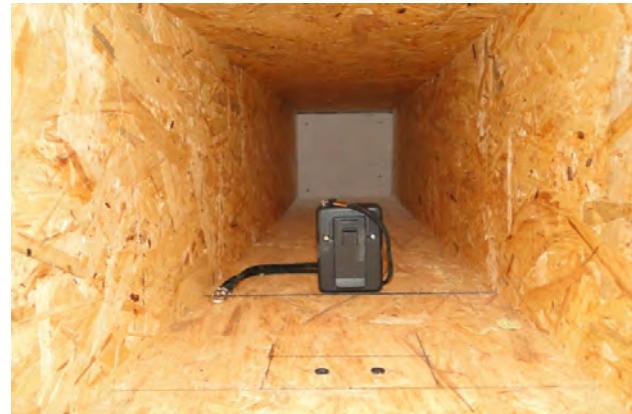


Fig. 3. Inside of the acoustic tunnel with sound generator.

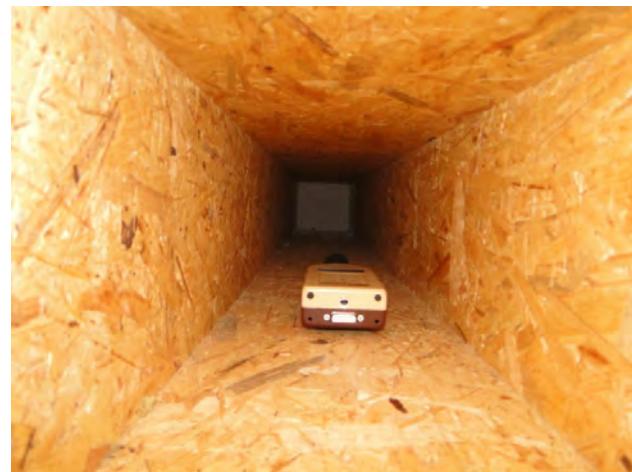


Fig. 4. Inside of the acoustic tunnel with sound level meter.



Fig. 5. Outsider view of the acoustic tunnel.

The sound level meter SON-50 was used for the tests together with sound generator Z-10. The mean value of frequency was in the range of 20 – 20000 Hz. The investigated element is placed in the tunnel. Before it the source of the sound is located, which generates sound of high frequency and its intensity is measured at the end of the chamber. Afterwards, in the sending chamber (behind the analysed element) the sound is generated of identical intensity as before in the receiving chamber and measures are taken in the receiving chamber. A difference in values describes the acoustic insulation of the investigated element. The detailed experimental data are given in Table 1.

**Tab. 1.** Experimental results.

Sample	Air gap [cm]	Sound level in the receiving chamber [dB]	Sound level in the empty tunnel [dB]	Sound level reduction [dB]
Sample 1	2x2	70.9	106.8	35.9
	2x4	73.2	106.8	33.6
Sample 2	2x2	68.8	106.8	38.0
	2x4	70.6	106.8	36.2
Sample 3	2x2	67.5	106.8	39.3
	2x4	69.2	106.8	37.6

### 3. Thermal resistance

In order to properly determine heat losses from spaces insulated with reflective insulation, it is necessary to possess data on thermal performance of these products. The properties of the reflective insulation have been tested and given in [7, 8] for samples 1 – 3 (whose composition has already been given in the previous section) and presented below.

**Tab. 2.** Thermal resistance and mechanical data of the reflective insulation [7, 8].

No	Property	Sample 1	Sample 2	Sample 3
1	Thermal resistance [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]	0.906	1.090	1.940
2	Maximal tensile strength (along / cross) [N/50mm]	$\geq 225 / \geq 270$	$\geq 330 / \geq 450$	$\geq 540 / \geq 570$
3	Surface mass [ $\text{g/m}^2$ ]	$300 \pm 5\%$	$670 \pm 5\%$	$900 \pm 5\%$

It needs to be noted that the value of the air gap between the insulation and other materials (bricks, gypsum boards and etc.) should be properly chosen. It cannot be too small to provide enough thermal resistance

and ventilation properties, while larger values do not produce any more of the positive effect. The optimal value is considered to be 2 cm. Larger gaps do not lead to such a significant improvement in thermal resistance, but on the other hand, make walls unnecessary bigger.

### 4. Conclusions

Reflective insulation might be an alternative to traditional materials such as fiber wool or foamed polystyrene. Its properties should be further investigated to provide more data on thermal and acoustic characteristics. However, data presented in the paper prove that this type of insulation could provide significant reduction in sound level transmitted through walls, which is especially vital for partition walls. More tests are needed in this area to collect more data on both thermal and acoustic properties.

### References:

- [1] D’Orazio M., Di Perna C., Di Giuseppe E., Morodo M.: *Thermal performance of an insulated roof with reflective insulation: Field tests under hot climatic conditions*, Journal of Building Physics, vol. 36, no 3, pp. 229-246, 2013.
- [2] Guo W., Qiao X., Huang Y., Fang M., Han X.: *Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on enveloped in the hot summer and cold winter zone*, Energy and building, 50, pp.196-203, 2012.
- [3] Vrachopoulos M.G., Koukou M.K., Stavlas D.G., Stamatopoulos V.N., Gonidis A.F., Kravvaritis E.D.: *Testing reflective insulation for improvement of buildings energy efficiency*, Central European Journal of Engineering vol. 2, 1, pp.83-90, 2012.
- [4] Tempierik M.J., Hasselaar E.: *Reflective multi-foil insulations for buildings: A review*, Energy and Buildings, vol 56, pp. 233-243, 2013.
- [5] Malcho M., Jandačka J., Smatanová H., Kapor A., Papučík Š.: *Termostatická komora na meranie parametrov vykurovacích a chladiacich telies*, Proc. of XV. Int. Conf. “Aplikácia experimentálnych a numerických metód v mechanike tekutín“, Strečno, 311, 2006.
- [6] Dachowski R., Stępień A.: *Sposób oraz stanowisko badawcze do określania izolacyjności akustycznej elementów budowlanych, zwłaszcza silikatowych i betonowych*. Patent PL387603, 2009.
- [7] Wielowarstwowe maty termoizolacyjne REBOND PRO ML 17, REBOND ECO RIT 7 i REBOND ECO RIT 15, APROBATA TECHNICZNA ITB AT-15-9196/2013, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2013.
- [8] BBA Test Report No 47726THC, 2011.

Ryszard Dachowski  
 Jerzy Zb. Piotrowski  
 Dorota Koruba  
 Ewa Zender-Świercz  
 Marek Telejko  
 Mariola Starzomska  
 Kielce University of Technology  
 Xavier Lucas  
 Rebond Sp. z o.o.

# Właściwości akustyczne i cieplne izolacji refleksyjnej

## 1. Wstęp

Obecnie powszechnie akceptowalna jest potrzeba oszczędności i poszanowania energii. W budownictwie coraz więcej uwagi przykłada się do odpowiedniej izolacyjności cieplnej obiektów w celu minimalizacji strat ciepła. Do tej pory szeroko stosowano wełnę mineralną czy styropian, jednak możliwe jest także zastosowanie izolacji refleksyjnej. Wykorzystuje ona zjawisko odbicia promieniowania.

Izolacja refleksyjna składa się z powierzchni o niskiej emisjyjności tj. folii, które odbijają promieniowanie. Między nimi znajdują się warstwy izolacyjne zawierające powietrze (np. folia bąbelkowa). W ten sposób ogranicza się wymianę ciepła poprzez konwekcję i przewodzenie. Dodatkowo między warstwą izolacji refleksyjnej a ścianą i warstwą wykończeniową znajduje się przerwa powietrzna. Takie rozwiązanie umożliwia wentylację szczeliny. Izolację refleksyjną montuje się od wewnętrz, co jest korzystne np. w przypadku budynków zabytkowych.

Szereg dostępnych w literaturze prac dotyczy zastosowania izolacji refleksyjnej w warunkach letnich w celu ochrony przed przegrzewaniem pomieszczeń (np. [1]). Guo i in. [2] analizowali wykorzystanie izolacji refleksyjnej na ścianach zewnętrznych (wschodnia, południowa, zachodnia). Pokrycie to prowadziło do zmniejszenia temperatury ściany o ok. 8 – 10°C. W konsekwencji następowało zmniejszenie zużycia energii elektrycznej do celów klimatyzacji o ok. 5,8 kWh/(m<sup>2</sup> miesiąc). Niektóre prace np. [3] podają wyniki pomiarów dla izolacji refleksyjnej w warunkach letnich i zimowych. Na tej podstawie – w przytoczonej pracy – zaprezentowano stanowisko, że zastosowanie tego typu materiału może ograniczać niekorzystne zjawisko przegrzewania pomieszczeń w lecie i chronić przed stratami ciepła w zimie. Należy

jednak zaznaczyć, że w badaniach nad izolacją refleksyjną różnych naukowców pojawiają się rozbieżności. Zaznaczono to w pracy [4]. Dlatego też należy prowadzić prace w tym zakresie w celach porównawczych, szczególnie wykorzystując najnowsze techniki pomiarowe.

## 2. Badania izolacyjności akustycznej

Badaniom poddano trzy różne próbki. Próbka 1 składała się 2 warstw zbrojonej folii poliestrowej metalizowanej, 2 warstw watoliny poliestrowej, 2 warstw wkładek refleksyjnych i 1 warstwy pianki poliestrowej. Próbka 2 składała się 2 warstw zbrojonej folii poliestrowej metalizowanej, 2 warstw watoliny poliestrowej, 6 warstw wkładek refleksyjnych i 5 warstw pianki poliestrowej. Próbka 3 składała się 2 warstw zbrojonej folii poliestrowej metalizowanej, 4 warstw watoliny poliestrowej, 6 warstw wkładek refleksyjnych i 5 warstw pianki poliestrowej. Badania wykonano dla dwóch wielkości przerwy powietrznej między badanym materiałem a płytą gips-kartonową tj. 2 i 4 cm.

Badania wykonano na stanowisku przedstawionym na Rys. 1 i 2. Jest to prostokątny tunel akustyczny. Z lewej strony znajduje się komora odbiorcza (10), a z prawej komora nadawcza (11). Zamkane są one korkami (4). Od strony wewnętrznej tunel pokrywają płyty OSB-3, a od strony zewnętrznej znajduje się izolacja z wełny mineralnej. W komorze odbiorczej zainstalowany jest miernik natężenia dźwięku, a w komorze nadawczej generator dźwięku.

W badaniach wykorzystano miernik poziomu dźwięku SON-50 współpracujący z generatorem Z-10. Średnia wartość częstotliwości była w przedziale 20 – 20000 Hz. Badany element był umieszczony w tunelu. Przed nim znajdowało się źródło dźwięku, generujące dźwięk o wysokiej częstotliwości, a na-

stępnie miał miejsce pomiar jego natężenia przy wyjściu z komory, po czym, w komorze nadawczej, po drugiej stronie badanego elementu, generowany był dźwięk o identycznym natężeniu jak uprzednio w komorze odbiorczej i dokonywano pomiaru natężenia dźwięku w komorze odbiorczej. Różnica mierzonego natężenia stanowiła o izolacyjności akustycznej badanego elementu. Wyniki badań zestawiono w Tab. 1.

### 3. Izolacyjność cieplna

W celu precyzyjnego określenia strat ciepła w budynkach niezbędna jest znajomość parametrów ciepłochronnych elementów, z których wykonane są przegrody. Dane dotyczące izolacji refleksyjnej przedstawiono w Tab. 2 wg [7, 8] dla próbek 1 – 3 (których skład podano wyżej).

Należy zaznaczyć, że wartość przerwy powietrznej po obydwu stronach materiału izolacyjnego i elementów budowlanych (cegiel, płyt g-k., itp.). jest bardzo istotna. Nie może być ona zbyt mała, aby zapewnić odpowiedni opór cieplny i wentylację szczeliny, a zbyt duże wielkości nie prowadzą do istotnego zwiększenia oporu i są niepraktyczne z punktu widzenia architektonicznego. Uważa się, że optymalną wartością szczeliny jest 2 cm.

### 4. Wnioski

Izolacja refleksyjna może stanowić alternatywę dla materiałów tradycyjnych takich jak wełna mineralna czy styropian. Dane przedstawione w pracy wskazują na możliwość znacznej redukcji poziomu dźwięku w wyniku zastosowania w/w izolacji, co jest szczególnie istotne np. w przypadku ścian działowych. Należy jednak prowadzić dalsze prace w celu uzyskania pełnych danych dotyczących izolacyjności akustycznej i termicznej rozpatrywanego materiału.

MARIÁN JOBB<sup>1</sup>

PATRIK NEMEC<sup>2</sup>

L'UBOŠ KOSA<sup>3</sup>

MILAN MALCHO<sup>4</sup>

University of Žilina, Slovakia

<sup>1</sup>Marian.jobb@fstroj.uniza.sk

<sup>2</sup>Patrik.nemec@fstroj.uniza.sk

<sup>3</sup>Lubos.kosa@fstroj.uniza.sk

<sup>4</sup>Milan.malcho@fstroj.uniza.sk

# MEASURING THERMAL PERFORMANCE OF GRAVITATIONAL HEAT PIPES DEPENDING ON THE AMOUNT OF WORKING FLUID

## Abstract

*This paper deals with an impact of working medium on the performance parameters of the heat pipe. The aim was to find the ideal amount of working fluid used in gravitational heat pipes. For the working medium 96% alcohol was selected.*

**Keywords:** gravity heat pipe, working substance ethanol, performance parameters

## 1. Introduction

In the area of research and development in the energy sector people now focus not only on the development of alternative fuels, reducing emissions and attracting new sources of energy, but also on efficient heat transfer, whether for cooling different components in electrical engineering, computer science, engineering or recovery of waste heat transport and heat in heating systems [1].

Heat pipes are precisely such devices to transfer heat while maintaining a small temperature difference. Therefore, the development and optimization are key to greater efficiency and application of heat pipes. Preferably, the heat pipe is that the small size can transfer large heat output while its construction is simple with long life, reliability and durability [2].

## 2. Theoretical analysis of gravitational heat pipe

Construction of gravity heat pipe is the easiest and also the principle is the basis for other types. The heat pipe consists of a closed outer shell and a working substance which is inside the tube. The tube operates in a vertical or slightly inclined position wherein the condensing section is always located above the evaporation part [3], [4]. In the evaporation

part working fluid evaporates and condenses in condensation part. The condensate then returns to the evaporation part under gravity for smooth inner wall. The transferred heat flow depends on the thermal resistance of the liquid film on the wall of the condensation part. Proper operation of the heat pipe is dependent on a quantity of working fluid to cause a sufficient wetting of the surface of the evaporation part and, thus, there is no performance degradation. Conversely too much liquid in the evaporation part with boiling leads to the release of large steam bubbles, then the shock phenomena are formed. Heat transfer between the vapour phase of working fluid and the inner wall of the tube is mainly influenced by the character of flow in the falling film of liquid [5], [6], [7].

### 2.1 Design and method of filling gravitational heat pipes

Gravitational heat pipes were made of copper pipes (Fig. 1) with an external diameter of 15 mm, an internal diameter of 13 mm and the length of 500 mm. For the working substance 96% ethanol was selected. Outturn of heat pipes was done by vacuum pump (Fig. 2) through which we reached pressure of 80 Pa inside the tube.



Fig. 1. Closed heat pipes



Fig. 2. Vacuum pump

Through the filling system we never meet evacuating the heat pipe to desired amount of filling. Heat pipes are met at the level of 10, 20, 30, 40 and 50 % of their volume (Tab.1). To calculate the correct amount of working fluid, we used equation (1). After filling the heat pipe through a capillary, the capillary pressure and tin were closed.

**Tab. 1** Capacities for individual gravitational heat pipes

Type of heat pipe	GHP 1	GHP 2	GHP 3	GHP 4	GHP 5
amount of working medium	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
	6.64 ml	13.27 ml	19.91 ml	26.55 ml	33.18 ml

$$V_{\text{ethanol}} = \frac{\pi d^2}{4} l \frac{x}{100} \quad (\text{m}^3) \quad (1)$$

### 3. Measurement and recording of measured values

Measurement was carried out in the experimental device (Fig. 3), in which the gravitational heat pipe was placed. The evaporation section of the heat pipe was heated with water at 80 °C and the condensing section cooled with water at 15°C.

For a correct analysis of the performance parameters of the heat pipe it is necessary to specify default values:

- water temperature at the inlet and outlet of cooling (°C)
- water flow in the cooling circuit (l/min).

These values were measured at 10 second intervals for 20 minutes by means of sensors. Data from the sensors was transmitted through the measuring panel to the notebook in which software AMR WinControl from AHLBORN was installed and by which these values were recorded. Overall, the measurement and comparison of eight kinds of heat pipes in which medium 96% alcohol with different priming was operating. Readings were taken from AMR WinControl program from AHLBORN and exported to Microsoft Excel, where these values were then processed and analyzed. The parameters that were measured every ten seconds were used to produce the arithmetic means and the identified data necessary for analyzing the performance of individual heat pipes. For calculating performance of heat pipes it was necessary to determine the other parameters such as:

- specific heat capacity of water (J/kg · K),
- density of water (kg/m3).



Fig. 3. Involvement of the gravitational heat pipe

#### 4. Evaluation of performance parameters of gravitational heat pipes considering the amount of working fluid

Power of gravitational heat pipes was determined by calculating (2) crustaceans has been made on the basis of measured data.

$$Q = mc\Delta T \quad (W) \quad (2)$$

Mass flow was recorded in l/min and it was to be recalculated according to equation (3) in units of kg/s taking into account the density of the fluid.

$$m = \rho V \quad (\text{kg/s}) \quad (3)$$

From the measured and calculated data, we found that when the alcohol is used as the working medium the maximum power of the heat pipe 206,7 W reaches.

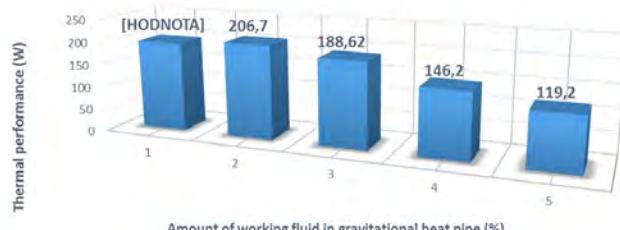


Fig. 4. Dependence of thermal performance of the GHP from the amount of the load

#### 5. Conclusions

Quantity of working fluid in the GHP and its working position had a major impact on the performance and operation of the GHP. We verified that the ideal amount of working medium in the GHP is about 20% in vertical position. For larger quantity of working fluid occurs to reduce power.

#### Acknowledgement

*This article was elaborated within the solution of project KEGA 064ŽU-4/2012.*

#### References

- [1] Gressak T., Kapjor A., Huzvar J.: *Measurement of influence geometry of floor convector on his performance*. 7th International Conference on Experimental Fluid Mechanics.
- [2] Huzvar J., Kapjor A.: *Micro-cogeneration incl. the conversion of chemical energy of biomass to electric energy and the low potential heat*, 4th Global Conference on Power Control and Optimization; 2011.
- [3] Reay D. A., Kew P. A.: *Heatpipes, Theory, Design and Applications, Fifth Edition*, USA, 2006.
- [4] Nemec P., Čaja A., Malcho M.: *Mathematical model for heat transfer limitations of heat pipe*, Mathematical and computer modeling Vol. 57 Issue: 1-2 pp. 126-136, 2013.
- [5] Jandačka J., Kapjor A., Papučík Š., Lenhard R. *Emission and power parameters of combined heat source on wood biomass combustion*, Annals of Warsaw University of Life Sciences, 2010.
- [6] Jandačka J., Holubčík M., Nosek R., Pilát P. *The effect of additives for production of wood pellets*, Annals of Warsaw University of Life Sciences, 2010
- [7] Faghri, A.: *Heat Pipe Science and Technology*. Washington DC. Taylor & Francis, 1995.

ĽUBOŠ KOSA<sup>1</sup>

MARIÁN JOBB<sup>2</sup>

PATRIK NEMEC<sup>3</sup>

MILAN MALCHO<sup>4</sup>

University of Žilina, Slovakia

<sup>1</sup>lubos.kosa@fstroj.uniza.sk

<sup>2</sup>marijan.jobb@fstroj.uniza.sk

<sup>3</sup>patrik.nemec@fstroj.uniza.sk

<sup>4</sup>milan.malcho@fstroj.uniza.sk

## INFLUENCE OF WORKING POSITION FOR THERMAL PERFORMANCE OF THE CAPILLARY HEAT PIPE

### Abstract

*This experiment is concentrated on working position for optimization of capillary heat pipe. The main objective was to find optimal working position for capillary heat pipe. Working position is an important part for function of the heat pipe. A change in working position should change thermal performance of capillary heat pipe.*

**Keywords:**capillary heat pipe, thermal performance, working position

### 1. Introduction

Increasing performance and number of electronic components will be a problem with regard to cooling of these elements. This problem is concerned with heat flow. Perfect cooling of these components ensure longer time of operation of equipment and full device. How to effectively take heat flow from heat pipe surface is the main problem. The biggest heat flow is produced by the change of phase, namely by boiling and condensation. The concept of the modern heat pipe was first put forth by R.S. Gaugler of General Motors Inc. in 1944. He added the idea of using a wick to make the inner fluid return back to the evaporator instead of gravity. Capillary heat pipes are used in the space industry for cooling and heat transfer in solar devices. Capillary heat pipe are capable of passive cooling with free convection. This phenomenon is often made use of in electronics components.

The aim of the experiment is to compare the cooling effect depending on working position. Heat pipes in terms of working position are universal. Heat pipe is a heat transfer device that combines the principles of both thermal conductivity and phase transition to efficiently managing the transfer of heat between two solid interfaces. Majority of heat pipes use a wick and capillary action to return the liquid from the

condenser to the evaporator. The liquid is sucked up to the evaporator, similar to the way that a sponge sucks up water when an edge is placed in contact with a water pool. The wick allows the heat pipe to operate in any orientation [1, 2, 3]

They can work against gravity. No need to pay attention to the source location, because the tube is able to automatically adjust its stable operation mode. The capillary system may be different on the inner side. Similar to the gravity heat pipe is capillary heat pipe. It is important for heat transfer liquid to flow from the condenser to the evaporation section. Thermal resistance of phase transformations in the production of steam in capillary heat pipe can be neglected. Transport condensate is different than in gravity tubes.

### 2. Design of capillary heat pipe

We chose a method of measuring with water for experimentally measurement the performance of the heat pipe. We built a capillary heat pipe. Capillary heat pipe was filled with a certain amount of working medium (25%) at pressure of 80Pa. Capillary heat pipe material is copper. Its length is l=50 cm and the external diameter d=15 mm while internal diameter 13 mm. The inner wall of the capillary heat pipe was covered with stainless steel mesh with mesh

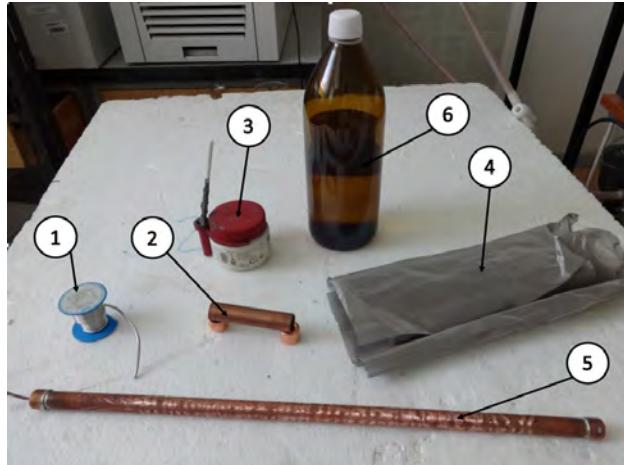


Fig. 1. Heat pipe device components: 1 – tin wire,  
2 – cooper pipe and fittings, 3 – tin paste,  
4 – steel grid, 5 – capillary heat pipe,  
6 – working medium 96% alcohol

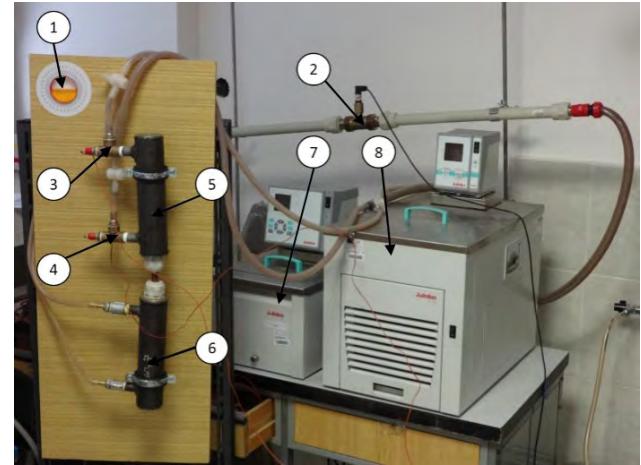


Fig. 2. Involvement of the capillary heat pipe:  
1 – protractor, 2 – flow meter, 3 – outlet temperature, 4 – inlet temperature, 5 – condenser, 6 – evaporator, 7 – water heating for evaporator, 8 – cooling water for condenser

number 200, mesh size 0,075 mm, wire diameter 0.05 mm. Heat pipe is hermetically closed. We used the program AMR WinControl from AHLBORN for recording the measured values. During measurements constant heating for the evaporation of the heat pipe was achieved by flowing water at the temperature of 80°C and a condensing part of the water flowing at 15°C. For experimental measurements of temperature at inflow and outflow of water were recorded for the condenser and the flow medium [4, 5]. Heat pipe device components have been presented in Figure 1 while the experimental set-up in Figure 2. Amount of working medium was 16,59 ml. In order to calculate the correct amount of working fluid equation (1) was used.

$$V_{alcohol} = \frac{\pi d^2}{4} l \frac{x}{100} \quad (m^3) \quad (1)$$

where x is percentage of working medium %, l – length m, d – diameter m.

### 3. Experimental measurement and evaluation of measured values

We chose the calorimetric equation (2) for obtaining the results of thermal performance capillary tube, which describes the heat transfer bodies, forming isolated system, covered by the law of conservation of energy. The law of conservation of energy is that all the heat that is exchanged by a single body transfer, the second body receives. We can suppose that there is no change in the type of energy, heat energy cannot be changed, for example into mechanical energy, and

the substances are chemically inert, generating no heat from chemical reactions [6].

$$\dot{Q} = m c \Delta T \quad (W) \quad (2)$$

where m is the mass flow rate kg/s, c is specific thermal capacity J/(kgK) and  $\Delta T$  is the temperature difference K.

The mass flow rate can be obtained from the following:

$$m = \rho V \quad (\text{kg/s}) \quad (3)$$

where  $\rho$  is density kg/m<sup>3</sup> while and V – volumetric flow rate m<sup>3</sup>/s

The results of the measurements have been given in Table 1 and Figure 3.

Tab. 1. Experimental results.

Angle	0°	15°	30°	45°	60°	75°
Thermal performance	269.012 W	286.130 W	300.364 W	293.948 W	255.37 W	286.193 W
	90°	105°	120°	135°	150°	165°
	200.661 W	131.767 W	131.440 W	145.481 W	99.892 W	99.480 W
	180°					
						99.069 W

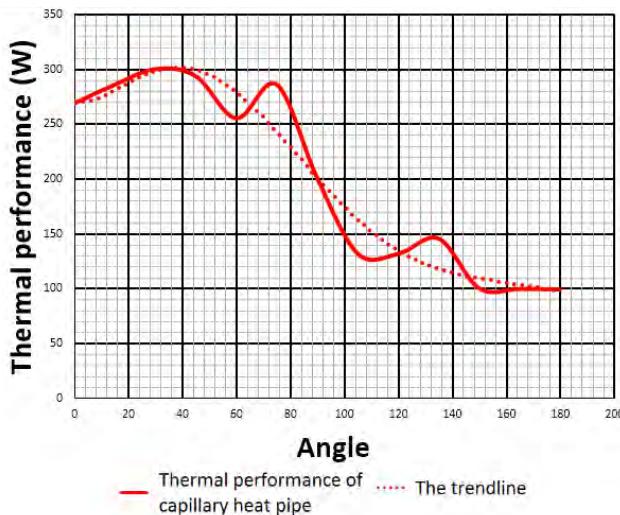


Fig. 3. Thermal performance of the heat pipe.

The trendline equation takes the form of:

$$y = 2E - 10x^6 - 1E-07x^5 + 3E-05x^4 - 0.0034x^3 + \\ + 0.126x^2 - 0.5406x + 270.97$$

while the value of reliability of this equation fitting is  $R^2 = 0.9483$ .

## 4. Conclusions

This experiment dealt with the influence of the working position on the thermal performance of the capillary heat pipe. The experimental measurements and calculations show the worst position is where condensation is under evaporator. The best results are where capillary heat pipe is inclined at an angle of 30°. At this angle the thermal performance was measured as 300.36 watts. Measurements confirm that capillary heat pipes are universal and independently from the working position. In the graph of the results the trendline was carried with the trendline equation for calculating thermal performance at any working position. Accuracy this trendline equation is 0.9483, comparing to the best accuracy of 1, it is very accurate.

## Acknowledgement:

*This article was elaborated within the solution of project KEGA 064 ŽU – 4/2012.*

## References:

- [1] Faghri A. *Heat Pipe Science and Technology*. Washington DC. Taylor & Francis, 1995.
- [2] Reay D. A., Kew P.A.: *Heatpipes, Theory, Design and Applications, Fifth Edition*, USA, 2006.
- [3] Ochterbeck J.M.: *Heat pipes, In Heat Transfer Handbook*. 2003.

- [4] Lenhard R., Kaduchová K., Jandačka J.: *Numerical simulation of indirectly heated hot water heater*. 2012 International Conference on Advanced Material and Manufacturing Science
- [5] Lenhard R., Jandačka J.: *Two-phase modeling of interphase heat transport from the condensation to evaporation part of the heat-pipe*. 11th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics 2013
- [6] Čaja A., Kolková Z., *Vplyv konštrukcie chladiča na schopnosť odvádzania tepla z kondenzačnej časti tepelnej trubice*, stretnutie katedier mechaniky tekutín a termomechaniky, 2013. Acknowledgement

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

