

STRUCTURE AND ENVIRONMENT

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND ENERGY

No. 1/2013 vol. 5 PL ISSN 2081-1500 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents

structure

V. I. PROSKURIAKOV, I. S. VORONKOVA

EDUCATIONAL-RESEARCH DESIGNING AS A METHOD OF TYPOLOGY DEVELOPMENT OF LIBRARY BUILDINGS BY ARCHITECTURAL SCHOOLS OF LVIV AND KIELCE POLYTECHNICS	5
---	----------

WOJCIECH PIASTA, JULIA MARCZEWSKA

THE EFFECT OF AIR ENTRAINING ADMIXTURES AND CEMENT TYPES ON THE PROPERTIES OF FRESH MORTAR	11
---	-----------

ZDZISŁAWA OWSIAK, ANNA SOŁTYS

AUTOCLOAVED CELLULAR CONCRETE AS AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CONSTRUCTION MATERIAL	18
---	-----------

environment

PAWEŁ KOSSAKOWSKI

FIRST IN POLAND HALF-TUNNEL NOISE BARRIERS	27
---	-----------

PAWEŁ KOSSAKOWSKI, WIKTOR WCIŚLIK

LEGAL REGULATIONS FOR PROTECTION OF THE ENVIRONMENT FROM THE NOISE AND THE CURRENT REQUIREMENTS FOR PERMISSIBLE NOISE LEVEL IN POLAND	34
--	-----------

JUDYTA PIÓRCZYK, BARTOSZ JASIONOWSKI, EWA STAŃCZYK

A BRIEF OVERVIEW OF THE APPLICABILITY OF FISH METHODS IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING	42
---	-----------

ANNA JUREK

THE TEMPERATURE DISTRIBUTION AROUND THE SINGLE VERTICAL GROUND HEAT EXCHANGER CALCULATED BY THE USAGE OF THE METHOD OF ELEMENTARY BALANCES	46
---	-----------

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT	51
--	-----------

THE REVIEW PROCESS	52
---------------------------------	-----------

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 Wawrzeniuk

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

ENVIRONMENT

Chairmanship Tomasz Kozłowski

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

www.sae.tu.kielce.pl

sae@tu.kielce.pl

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

The Journal published by the Kielce University of Technology

PL ISSN 2081-1500

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2013

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

tel. 41 34 24 581

www.tu.kielce.pl/organizacja/wydawnictwo



Kielce University of Technology
2013



structure
structure

V. I. PROSKURIAKOV¹
I. S. VORONKOVA²

National Lviv Polytechnic University
Department of Design of Architectural Surroundings

EDUCATIONAL-RESEARCH DESIGNING AS A METHOD OF TYPOLOGY DEVELOPMENT OF LIBRARY BUILDINGS BY ARCHITECTURAL SCHOOLS OF LVIV AND KIELCE POLYTECHNICS

Abstract

The article sheds light on the development of library buildings design, reflected in the educational-research projects of the students at the department of design of architectural surroundings of the Institute of Architecture of NU "Lviv Polytechnic" and at the department of architecture and city planning of Kielce University of Technology.

Keywords: educational-research designing.

1. Introduction

At the beginning of the XXI century Ukrainian libraries are unable to meet all the information needs of their users, since they mostly deal with printed matter, which is mostly dated, unappealing and inaccessible for general use. Moreover, technical conditions of the existent library facilities and buildings are dated, wide usage outside the libraries of modern information technologies, namely the Internet, and also computer and photocopier usage, which greatly accelerates the search of the necessary information, decreases the number of visitors. The following fact is of importance: the library interior, its inner space has to serve education purposes and objectives of library functioning and its design needs to meet the complex of functional, psychological, aesthetic and educational purposes. However, little attention is paid to this.

Although recently there is some noticeable modernization of libraries, namely in Ukraine and some scientific institutions and schools of architecture attempt to do research projects in the sphere, the problem of library in modern conditions still remains topical. The Institute of Architecture of Lviv Polytechnic University is one of the architectural schools in Ukraine that started complex research of design of library buildings.

2. Topicality and objective of the publication

National Lviv Polytechnic University is one of the oldest technical schools of higher learning in Europe and the first technical university in Ukraine. The Institute of Architecture is an integral part of Lviv Polytechnic University. Major in architecture is the oldest one in Ukraine. It was launched in 1703 in Lviv university. Today the Institute of Architecture is comprised of six departments, among which one of the leading departments is the Department of Design of Architectural Environment. The Department was founded in 2003. The head of the department is Doctor of Architecture, Professor V. Proskuriakov. The Department takes part not only in the activities of the Institute of Architecture and of the University in general, it also effectively influences architectural training and practice in Ukraine. The exhibitions of student works are organized on a consistent basis, new educational textbooks are being published, seminars and round-table discussions on a variety of topics are held, students are engaged to participate in Ukrainian and international scientific-practical seminars to realize their projects in life. The Department actively cooperates with multiple universities in Ukraine and Europe (Technical University in Dresden, Kielce University of Technology).

In 2005 at the Department of Design of Architectural Environment a new branch of research was introduced-library building and space design. The supervisor of this branch of research is lecturer of the department I. Voronkova in the framework of her research work Architectural and typological principles of library renovation of the historical institutions of higher learning in Ukraine under the supervision of professor V. Proskuriakov.

During investigation carried out on this branch, it appeared that in comparison with the samples of library building abroad, the design of Ukrainian university libraries is undergoing stagnation.

In the course of many years librarians and leadership of the institutions of higher learning in Ukraine did not give library space any special prominence, considering and using it only in a functional way. Library facilities and buildings that are partially or fully inadequate for library functioning are witness to this. Meanwhile, proper professional approach to the organization of library space enables not simply to declare but also practically incorporate the main principles of a university library – openness, accessibility and comfort.

Modern user today requires new quality library design, in order to create it we need experts in the field. Training of architects in the sphere of library design demands expert scientific investigation, research, works, namely, educational-research modeling. Therefore, the Department pays particular attention to the process of training, including the library design topics into course and diploma modeling on various levels.

3. The main part

At the beginning of the XXI century the Department of Design of Architectural Environment widely researches, designs and modernizes the library spaces by architecture means. The libraries of the institutions of higher learning and their facilities in Lviv and other cities in Ukraine were chosen as objects of the research. Lecturers and students of the Department carried out a series of futuristic projects. Design and planning solutions are created in close cooperation with librarians and they are in line with the main fundamentals and principles of creating a library environment – openness and accessibility, flexibility and functionality, reliability and safety, introduction and use of modern information technologies etc.

The following projects may be considered most successful:

The project of spatio-functional enlargement of the library of Ukrainian Catholic University (which occupies the part to the right of the two upper floors of the building, book depository is in the basement, the space of the library is adapted to its needs), created by inventive entity, including professor V. Proskuriakov, lecturer I. Voronkova and architect Kh. Kukharska (Fig. 1).



Fig. 1. The project of building the library of Ukrainian Catholic University. Fragments of interior

The project entailed introducing changes into the functioning-planning structure of the library by means of expanding the spaces for the reading halls and also incorporating new functions for the library.

Administration and personnel now share space, in such a way we now have the space to have the circulation division and computer hall. The hallway was remodeled to allocate the space for reading periodicals.

The space on the first floor of the library was organized in such a way that it may be used for holding themed nights, presentations, conferences, etc. The racks of the 'box' type on the main axis of the room were suggested for installation in the book depository on the same floor and along the blind walls it was suggested to install the high racks with movable ladders.



Fig. 2. The project of renovation of the book storage building of Scientific Library of Ivan Franko National University in Lviv. Exterior appearance

The new space of the library was organized according to the principle of the free user access to any kind of information.

The building of the book depository of the Scientific Library of Ivan Franko National University in Lviv (a separate building built in the 90's of the XX c. as a book depository) was remodeled by V. Proskuriakov, I. Voronkova, Kh. Kukharska in 2010 (Fig. 2).

The chosen object did not possess any historical nor architectural value, the inventive entity decided to perform general renovation of the building in question, which meant transformation of the architectural image, expansion of the planning and space structure and expanding functional potential of the library. The objective of the project was to create the open and accessible student library with new functions implemented, with the usage of modern information technologies and following the innovative trends in modeling libraries and media libraries in Europe and in the world in general.

In order to achieve these objectives, from the south-western side to the existent building of the book depository a two-storey glass building of media library with a separate entrance was modeled, from the northern side it is suggested to build the three-storey glass building for cafes and reading halls of different types. On the side of the main facade of the building on the second floor level a glass console was modeled, where there is a hall for group trainings. The roof of the console is foreseen to be used in the summer. The library also provides rooms for the book store, cloak room, conference hall, separate zones for electronic and card catalogues are allocated, there is also a hall for video viewing of media files and separate cells for

individual work, recreational spaces etc. The project makes use of the principle of flexible planning of space.

The simple and laconic façade of the building obtained stained glasses with huge Cyrillic letters.

An interesting and unusual project is St. George's square near the student library of NU Lviv Polytechnic (this city square is historically known for holding miscellaneous fairs) designed by V. Proskuriakov, I. Voronkova, M. Zhyhaylo (Fig. 3).

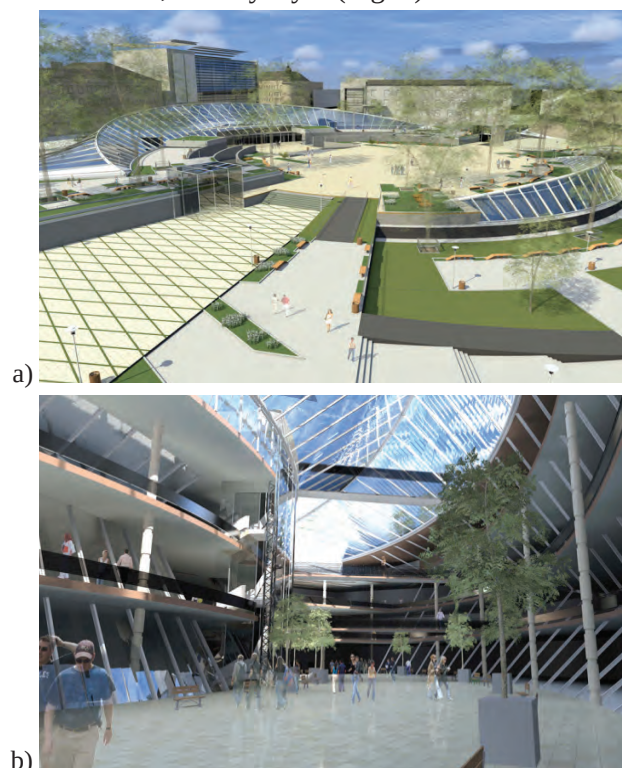


Fig. 3. Project of International student center in St. George's square in Lviv:

a) exterior appearance, b) fragments of interior

The foundation for the project was the following one. Since the number of students is constantly on the rise and the quality of education requires new high level, we came up with the idea to create international student center on the premises of the NU Lviv Polytechnic. The premises of modeling is the area of the city square. Since the area of the square is used not only by the university students but by the city inhabitants as well, the student center building is suggested to be put underground to the indicator – 13.5.

On the outside the building comes forth by two different-scale lantern lights, the form of which resembles the circular form of the square.

The spacio-planning center structure is organized by the principle of the single open overflowing space with the minimum usage of partition-walls. The exclusion is the rooms for the conference halls, film theaters and auxiliary facilities that comprise a separate bloc. The center is to be used for educational, recreational, cultural, exhibition and informational function.

Special place in research designing is taken by expansion of the building of student library of the NU Lviv Polytechnic (a separate building built for the use of the library in 70s of the XX c.) by the inventive entity V. Proskuriakov, I. Voronkova, I. Kopyliak (Fig. 4).

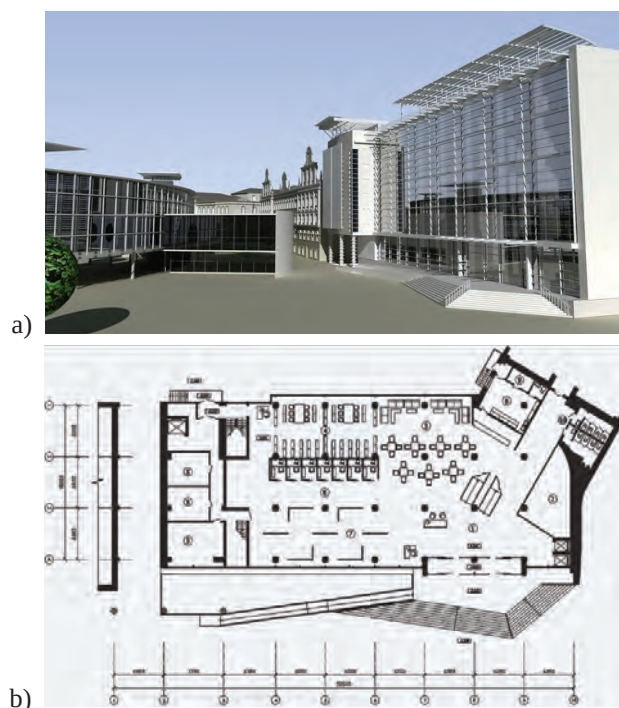


Fig. 4. Project of modernization of student library of NU Lviv Polytechnic: a) exterior appearance, b) scheme of the first floor

Modernization of student library entailed the reconstruction of the facades, re-planning of the

inner spaces with the change of functional zoning is suggested. Improvement of communicative means (installation of escalators and lifts), installation of exhibition and information spaces, recreational zones and widely accessible informational publications will allow to create more comfortable and convenient conditions for the library users.

The idea of division and closing of space is rejected in planning. New structural elements, such as cells for individual work, computer and copy centers, literary and Internet cafes appeared. The mansard is to be used as well – here, we have a sightseeing terrace for recreation.

The appearance of new functions and spaces in the library is called to make the visit to the library comfortable, quality and effective to the maximum.

The image and the plastics of the building remained unchanged, the facades are renovated with the use of modern building materials.

The design of the media network located in the environment of Lviv by V. Proskuriakov, I. Voronkova and V. Kulchytskyy can be considered unique (Fig. 5).

The main idea of the project in question was the design of the media network, which is comprised of several objects, located in the structure of Lviv. The main building of the information network is located in the center of Lviv in its historical part on the Mickiewicz square. Other buildings are located on the city periphery, in the main entrances to the city from different parts of the world – in the north (B. Khmelnytsky str. – Halytske Prekhrestya str.), in the south – Stryyska str. (bus station), in the west – Horodotska str., in the East – Lychakivska str. (the town of Vynnyky).

The prototypes of design solutions of the media objects are an advertisement poster, a lighthouse and a monitor. Therefore, suggested design is called to ‘communicate’ information by each cm of its space.

Concerning the design and planning solution of the media centers, here the main task was to create information space, which would allow to flexibly interchange various kind of cultural activities on the premises of the object in question, it needs to be perceived as one whole and at the same time it needs to be subdivided into separate functional zones. In each of the suggested objects the availability of the following functions is foreseen: access to individual and general information, exhibition, auditorium, recreation, Internet café, media library etc.

The spaces in each of the suggested objects are similar, since they are created according to the same principles:



Fig. 5. Project of design of media network objects in Lviv

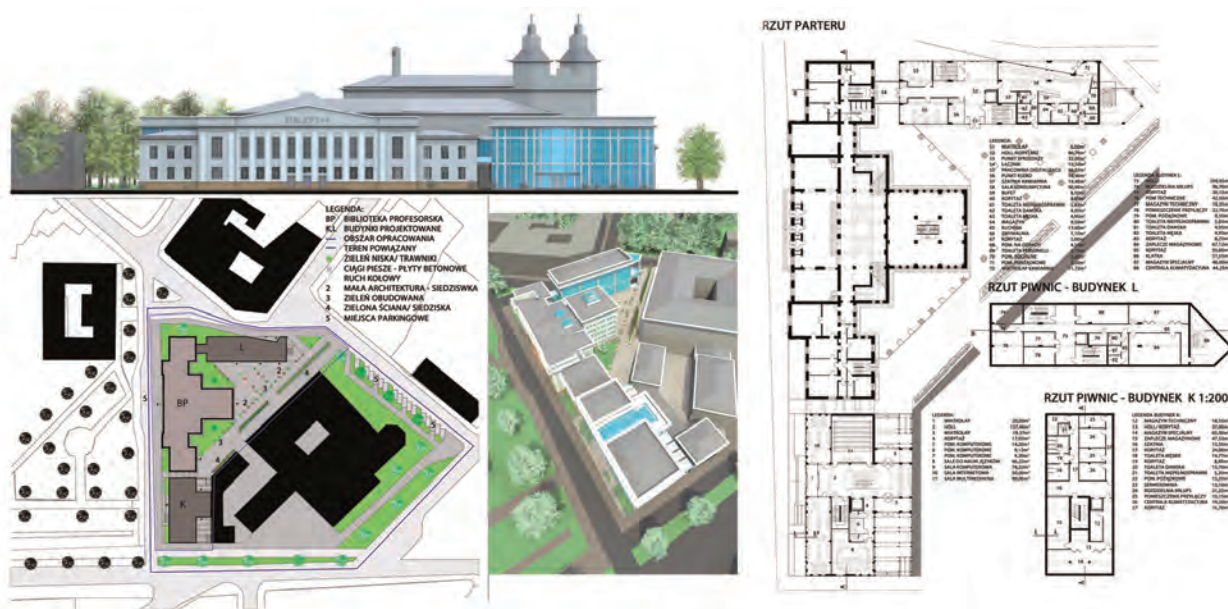


Fig. 6. Project of renovation and expansion of the functions of the library of NU "Lviv Polytechnic"

- compulsory spacious, media hall, where a monitor will be put that could move in space along the room depending on the requirements of the exhibition, lecture, presentation in question; and based on the need that it will be kept in a contained near the ceiling;
- pneumatic seats-stands, inbuilt into the floor, during video viewing they will serve as seats, during exhibitions they will serve as stands for the exhibit items, based on the need that they will be hidden into the floor to create unobstructed space;
- creation of the system of 'interactive floor'. This system allows to project images, which may change depending on the movements of people, with the help of projectors onto the floor.

The project of replanning of the Lviv Academy of Arts, the project of functions development of scientific and technological library of NU Lviv Polytechnic, the project of information centre in scientific and technological library, developed by professor V. Proskuriakov, lecturer I. Voronkova and architects Kh. Kukharska, O. Kolodiy, Yu. Krechkovska and others.

Special prominence among the projects is given to the project of renovation and expansion of functions of the NU Lviv Polytechnic library in Profesorska str. in Lviv, done by Monica Lakomiec, the student at the department of architecture and urban studies in Kielce University of Technology under the supervision of professor V. Proskuriakov and with consultations with I. Voronkova (Fig. 6).

This project became the best project of Ukrainian and Polish students during 2011-2012 on the same topic in Lviv and Kielce. Among other projects are the projects of Ukrainian-Polish and Polish-Ukrainian halls, projects of entertainment centres, fan zones for football fans, stadiums for football clubs Lviv and Korona, playhouses, museums, galleries of modern art etc.

According to M. Lacomiec' idea, the library on Profesorska street obtained two flank modern building blocks. In one of them, the façade of which is on Profesorska street, apart from library functions the space and room for Internet cafes, exhibitions, place for various installations, forums and festivities were suggested. In the second building, the façade of which oversees Ustyianovycha street, the archive with a wide spectrum of special and recreational functions was projected. The 'old' historical building was developed and technological, technical and sanitary equipment and objects were improved. It was suggested to renovate the design itself to the state it was in 1932, when its building was finished under the supervision of the professor of Lviv Polytechnic Tadeusz Obminsky.

4. Conclusions

1. The modern methodology of architectural training, where alongside the educational, also conceptual, research and competition designing takes place, allow the students to search and find ways to quality architecture now and in the future.
2. The analysis of the experience of designing at the department of Design of Architectural Environment proves that methods of creation of new architectural forms and types of modern buildings in historical environment and namely library buildings, lie not in creating contrast, hybrid buildings or buildings-copies from the past ones, but such ones that mentally, idea-wise, harmoniously, functionally and emotionally tied to the city environment, the surrounding of building area or concrete space in form, nature, image, technological organization and effective materials.
3. The experience gained by Lviv School of Architecture during educational, research and experimental designing from common seminars with schools of architecture of Technological University in Vienna, TU in Dresden, Kielce Technological Institute proved that the best design solutions are possible when they stem from the achievements of Ukrainian and European

experience and are founded on the results of analysis of all relevant modern and past ideas.

To conclude, it needs to be noted that the time of specialized typological designing in the context of European cities has passed (only the library buildings, or only the sightseeing, service and transportation still make use of this). The time for synergetic designing has come, where design of architectural environment will play an integral role among the disciplines, directions for groups, types and kinds, planning design solutions as well as others – technological, technical, etc.

References

- [1] Proskuriakov V.I., Cherpinska I.S. *Educational-architectural designing of libraries in higher educational institutions, as exemplified by Lviv Architectural School* The Herald of NU „Lviv Polytechnic” „Architecture” № 568: NU „Lviv Polytechnic” Publishing House. Lviv 2006.-pp. 231-235.
- [2] Proskuriakov V.I., Cherpinska I.S. *Modern tendencies of formation and development of architecture of buildings and constructions for storage, updating and transfer of information: collection of scientific works* „Regional problems of architecture and urban building”, Vol. 9-10 „Theory and Practice”, Odessa: „Astroprint”, 2007. – pp. 139-149.
- [3] Voronkova I.S. Report on the topic „Libraries planning for higher educational establishments. Experience of Lviv Architectural School” on the poster session of International seminar LIBER LAG 2012, Prague (Czech Republic) – <http://liber-lag2012.techlib.cz/en/888-poster-session/>

WOJCIECH PIASTA¹
JULIA MARCZEWSKA²

Kielce University of Technology

¹e-mail: wpiasta@tu.kielce.pl

²e-mail: jmarczewska@tu.kielce.pl

THE EFFECT OF AIR ENTRAINING ADMIXTURES AND CEMENT TYPES ON THE PROPERTIES OF FRESH MORTAR

Abstract

In order to explain the effect of air entraining admixture (AEA) and the type of cement on the properties of fresh mortar, the following tests were carried: bulk density, flow and air content of 10 air entrained mortars and 10 non air entrained mortars made of ordinary Portland cement (OPC) and blended Portland cements: blast furnace slag (BSF) – limestone powder (LP), fly ash - limestone, fly ash (FA) and (BFS) cement. It has been found that the modern anionic AEAs from the group of alkyl sulfates are much more efficient and active than traditional ones i.e. sodium abietate. It is difficult to entrain air into mortars with cement of various types to the same content of air. This requires to carry out a number of tests to determine the appropriate amounts of AEA. The air entrainment of LP cement mortar does not significantly change its flow. The air entrainment of BSF and FA cement mortars increases their workability. The lowest content of air was stated in non-air-entrained mortars with FA cement, the highest air content was observed in BFS cement mortars. According to the results the bulk density of mortars is inversely proportional to the amount of air entrained.

Keywords: air entrainment, mineral admixtures, air content, bulk density, flow.

1. Introduction

The optimal (economical and efficient) way to improve frost resistance of concrete and mortar is air entrainment. The most effective air content in concrete mixes containing aggregate grains of diameter $d_{\max} = 16 \text{ mm}$ is 5-6% (according to PN-EN 206-1, the minimum value is 4%). However, the amount of air in the mortar is not specified [9]. The air content in the frost resistant mortar may be assumed to be equal to about 10% (twice as much as in concrete), as the content volume of mortar in concrete mix is about 50%.

AEAs molecules in the solution help entrain air bubbles and stabilize them in the fresh concrete. The AEAs are surface active. They decrease surface tension at water and air (or vapour) interface. The structure of air entraining surfactant molecules is very particular. They have their hydrophilic head and hydrophobic tail (chain). Most of the modern AEAs are anionic because of the stability of air voids entrained [2]. The anionic surfactants include: n-alkylcarboxylates ($n\text{-RCOO}^-$), n-alkylsulfonates ($n\text{-RSO}_3^-$) and n-alkylsulfates ($n\text{-RSO}_4^-$), with

hydrocarbon chain lengths between C_7 and C_{12} . The two main features of the AEAs are their composition and size of hydrophobic chain and the nature and size of their hydrophilic head group affecting surface activity and their solubility in cement paste solution. Maximum air entrainment is obtained with surfactants of intermediate chain length because their surface activity and solubility vary in opposite directions. The hydrophilic head group increases the air entrainment in the order carboxylate $\nearrow$ sulfonate $\nearrow$ sulphate in line with the respective solubility of surfactants [7]. A number of other anionic AEAs exist in the market, including soluble salts (usually sodium) of wood resins, wood rosins, stearic acid, tall oil fatty acid, as well as, sodium abietate and lignosulfonic acid [1].

Analyzing the literature [5] in the range of concrete technology, it can be seen that the air entrainment increases diameter of flow and reduces bulk density. The effect of AEAs on the properties of fresh mortars and concrete mixes is different particularly when they contain mineral admixtures [3, 4, 12]. Because of the high inconvenience in air entrainment of blended

cement mortars and concretes it has been proposed to replace AEAs with polymer microspheres [11]. However, the application of microspheres is expensive.

In the paper, the results of studies of fresh air entrained mortar and non air entrained cement mortars made with ten different cements are presented.

2. Experimental

The studies were carried out to determine the effect of the following factors: efficiency of the two AEAs (AEAs type and amount), air content and type of cement on the properties of fresh mortars. The tested mortar properties were: air content, flow and bulk density.

2.1. Materials

A study of air entrained and non air entrained mortars of the ratio $w/c = 0.55$ was carried out. The following types of cement were used: ordinary Portland cement CEM I 42.5 R, and blended Portland cements: slag and limestone CEM II/AM (S-LL) 52.5 N, fly ash and limestone CEM II/BM (V-LL) 32.5 R, fly ash (FA) CEM II/BV 32.5 R and blast furnace slag (BFS) CEM III/A 32.5 N. The tests were also done using the same cements from another cement plants. The percentage of mineral admixtures in cements used in the studies is shown in Table 1. A total of 20 air entrained and

non air entrained mortars were cast with different cements, assuming the air content of $10\% \pm 1\%$. As the fine aggregate natural quartz sand was used (0.0 – 2.0 mm). Mortar composition is shown in Table 2.

Two anionic AEAs were applied – a traditional one, sodium abietate and modern one from the group of alkylsulfates. The AEAs applied were some solutions of air entraining compounds, because it was impossible to get pure ones. Therefore, the amounts of AEAs used should be taken into account in the relative way.

2.2. Methods

The following fresh mortars properties were tested:

- consistency of mortar according to PN-EN 1015-3:2000 (method of flow)
- bulk density in accordance with PN-EN 1015-6:2000 and
- air content in accordance with PN-EN 1015-7:2000.

It was assumed that the air content in air entrained mortars should be 10%. Because of the high inconvenience to maintain the assumed air content (10%) for all mortars, 1% error limit was accepted. The quantity of air entraining admixture for each mix (Table 2) was experimentally determined by numerous tests. During the test mortar temperature was $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Table 1. The composition of the cements used in the tests.

Sign	Cement type*	Composition of the cement [%]			
		Clinker	Slag	Limestone	Dry fly ash
A	CEM I 42.5 R a	89.3		4.5	
B	CEM I 42.5 R b	89.5		4.5	
C	CEM I 42.5 R c	90.0		5.0	
D	CEM II/AM (S-LL) 52.5 N a	75.9	9.4	8.3	
E	CEM II/BM (V-LL) 32.5 R a	61.8		11.8	20.4
F	CEM II/BM (V-LL) 32.5 R b	62.0		12.0	20.0
G	CEM II/BV 32.5 R a	61.9		5.5	27.7
H	CEM II/BV 32.5 R b	62.0		4.5	29.2
I	CEM III/A 32.5 N-LH/HSR/NA a	33.5	57.0	3.5	
J	CEM III/A 32.5 N-LH/HSR/NA b	34.0	57.0	3.0	

* a, b, c - mean different cement plants

Table 2. The composition of mortar (g/batch).

Ingredients	CEM I		CEM II/AM (S-LL)		CEM II/BM (V-LL)		CEM II/BV		CEM III/A	
	nae	ae	nae	ae	nae	ae	nae	ae	nae	ae
	Mass [g]									
Cement	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Sand	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650	1650
w/c	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Water	275	271.5	275	274.5	275	274.5	275	274.3	275	274.6
Entraining admixture		0.35		0.5		0.5		0.75		0.4

nae – non air entrained mortar;
ae – air entrained mortar

In order to minimize the impact of uncontrolled variables on the test results the mortars samples were prepared maintaining the same technology (same order of added ingredients, mixing time, its intensity, temperature, contact time with the water cement to start measuring).

3. Test results and discussion

When the modern (n-alkylsulfate) AEA was applied in the amount of 0.72 – 1.6‰ the content of air in the fresh mortars was from 7% to 16.5% (Fig. 1). In accordance with producer's terms of use, the modern AEA should be applied in the amount below 1‰ of cement mass. The biggest variance of air content was determined in the mortar made of high content FA cement. As it is seen in Figure 1 the modern AEA is very efficient. However, it should be applied in FA cement mortars in the amount of 1.4‰.

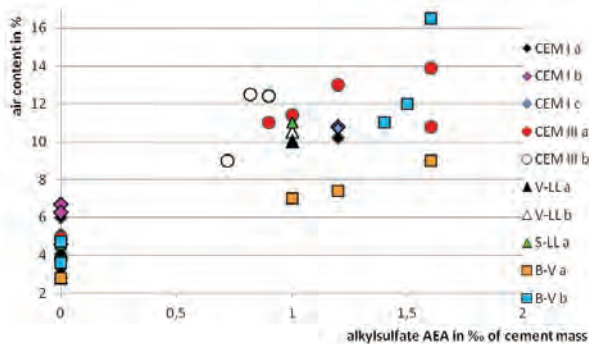


Fig. 1. The air content in various fresh cement mortars as a dependence of modern AEA applied

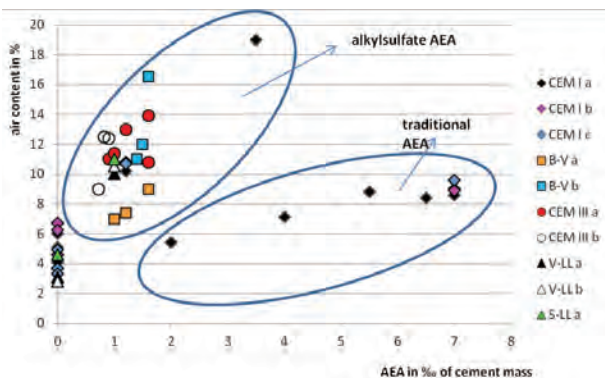


Fig. 2. The air contents in fresh mortars as a dependence of type and AEAs amount applied

The efficiency of traditional AEA is very low, particularly in the comparison to efficiency of the modern AEA (Fig. 2). When the amount of traditional AEA was applied in accordance with producer's terms of use i.e. 2‰ the contents of air in the air entrained and non air entrained fresh mortars were the same.

Figure 2 shows upward trend of air content in the fresh mortars against the amount of both AEAs.

However, when the traditional AEA was applied the growth of air content was low. In spite of an increase in AEA amount over 6‰ of cement mass an increase in air entrained content in the mortar did not occur. The so-called air entrainment saturation was observed, which is caused by critical micelle concentration (CMC); and the higher CMC, the lower surface activity of the surfactant [7]. The use of such big amount of AEA is not allowed because of the possible changes in setting of cement and hardening of cement paste.

To compare efficiencies of both AEAs changes in the air contents in Portland cement fresh mortars were observed when the AEAs were applied. As is illustrated in Figure 2, much bigger and more dynamic increase in air contents was stated when the AEA of modern type was applied. Also it was quite convenient to achieve high amount of air entrained in FA and BSF blended cement mortars, though it was impossible to do using traditional AEA. Table 3 presents the results of the properties of the fresh mortars.

Table 3. The test results of the fresh mortar.

Cement type	Cement plant	nae/ae	Spreading [mm]	Density [kg/m ³]	Air content [%]
CEM I	a	nae	180	2259	3.0
		ae	223	2119	9.0
CEM I	b	nae	173	2232	4.6
		ae	225	2093	9.1
CEM I	c	nae	185	2259	3.8
		ae	212	2121	9.6
CEM II/AM (S-LL)	a	nae	202	2218	4.6
		ae	213	2095	11.0
CEM II/BM (V-LL)	a	nae	205	2218	3.1
		ae	214	2093	10.0
CEM II/BM (V-LL)	b	nae	204	2200	3.7
		ae	216	2071	10.5
CEM II/BV	a	nae	168	2212	2.8
		ae	212	2095	9.0
CEM II/BV	b	nae	166	2182	3.4
		ae	211	1976	11.0
CEM III/A	a	nae	181	2192	4.9
		ae	217	2081	11.0
CEM III/A	b	nae	179	2191	3.8
		ae	218	2088	9.0

Based on the results of the study (Fig. 3) it can be seen that with the increase in the amount of ash in non air entrained mortars the percentage of air decreases and using FA cement reaches a level of 2.8 to 3.4%. In the studied non air entrained mortars air volume ranges from 2.8 to 4.9% and takes the highest

value for the mortar with the blast furnace slag and limestone powder blended cement.

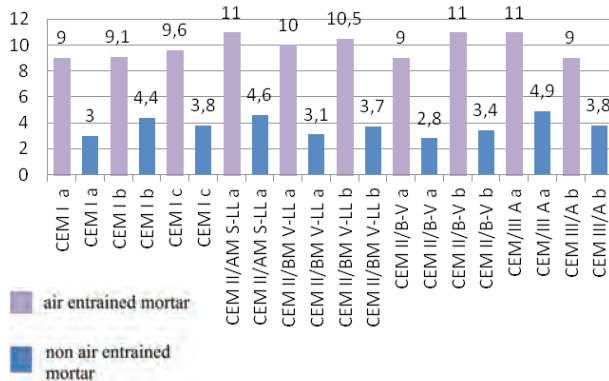


Fig. 3. Air content in non-air-entrained and air-entrained mortar cement

The air entrainment caused insignificant increase in flow of mortars of cement containing LP (Fig. 4). The air entrainment of the mortar with the FA cement significantly improved their workability (Fig. 4). The air entrainment of mortars with Portland, slag and fly ash cement in a similar degree improves their workability.

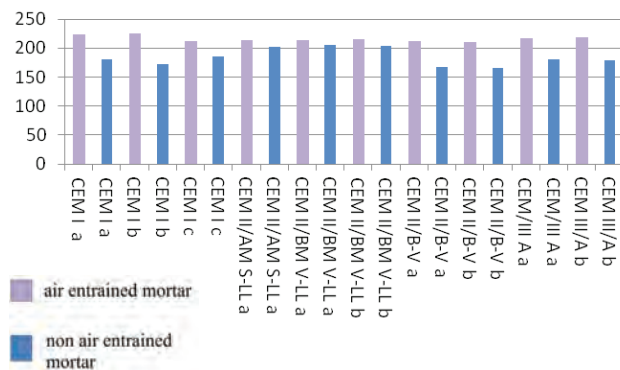


Fig. 4. The diameter of flow of non air-entrained and air-entrained cement mortar

Density of non air entrained mortar varies from 2182 to 2259 kg/m³ while air entrained cement mortar from 1976 to 2121 kg/m³ (Fig. 5). This confirms the relationship that the bulk density of the mortar is inversely proportional to the amount of air. The FA cement mortar had the lowest bulk density (2182 kg/m³) among non air entrained mortars. The highest bulk density has been determined for mortars with Portland cement both non air entrained and air entrained, which is consistent with the highest density of CEM I.

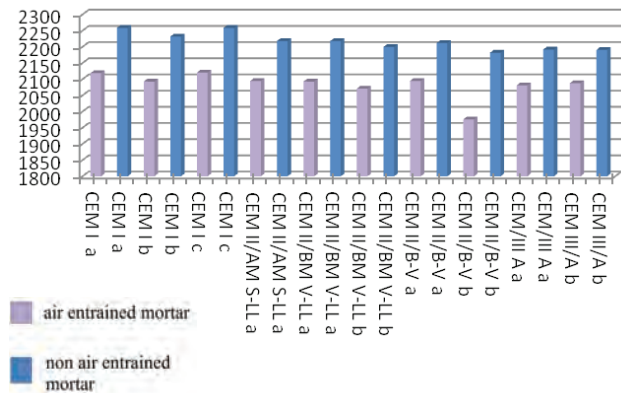


Fig. 5. Density non air-entrained and air-entrained cement mortar

4. Conclusions

1. The modern anionic AEAs from the group of alkylsulfates are much more efficient and active than traditional ones e.g. sodium abietate.
2. It has to be done using numerous tests to entrain the same amount of air into mortars with different cements.
3. The amount of the fly ash in the non air entrained mortar decreases the content of air in mortar.
4. Air entrainment of limestone cement mortar resulted in insignificant increase in flow.
5. Diameter of flow of fresh mortar is inversely proportional to the amount of air.
6. Air entrainment of mortar with Portland, blast furnace slag and fly ash cement in a similar degree improves their workability.

References

- [1] Aitcin P. C.: *Admixtures: Essential Components of Modern Concrete*. Cement Wapno Beton, 5/2006.
- [2] Du L., Folliard K. J.: *Mechanisms of air entrainment in concrete*. Cement and Concrete Research, 35 (2005) 1463-1471.
- [3] Giergiczny Z., Garbacik A.: *Synergic effect of non-clinker constituents in portland composite cements*. XII Sympozjum Naukowo-Techniczne Reologia w Technologii Betonu, Gliwice 2010.
- [4] Giergiczny Z., Sokołowski M.: *Limestone as a component of composite cement*. 3rd International Symposium Non-traditional cement and concrete, Brno 2008.
- [5] Gołaszewski J.: *Influence of cement and superplasticizer on rheological properties of mortars*. IV Sympozjum Naukowo-Techniczne Reologia w Technologii Betonu", Gliwice 2002.
- [6] Jarmontowicz R.: *Standards requirements mortars*. Materiały Budowlane, 4/2010.

- [7] Jolicoeur C., Cong To T., Soan Nguyen T., Hill R., Page M.: *Mode of Action of Anionic Surfactants for Air Entrainment in Cement Pastes w-w/o Fly Ash*. World of Coal Ash (WOCA) Conference, 2009 in Lexington, KY, USA.
- [8] PN-EN 1015-3:2000, Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (using the propagation table), PKN, Warszawa 2000.
- [9] PN-EN 998-2:2004, Specification for mortar for masonry. Part 2: Masonry mortar, PKN, Warszawa 2004.
- [10] Rusin Z.: *Technologia betonów mrozoodpornych*. Polski Cement, Kraków 2002.
- [11] Wawrzeńczyk J., Molendowska A.: *Struktura porów powietrznych a mrozoodporność betonów napowietrzonych za pomocą mikrosfer*. Cement Wapno Beton, 05/2011.
- [12] Zelić J., Krstulović R., Tkalec E., Krolo P.: *The properties of Portland cement-limestone-silica fume mortars*. Cement and Concrete Research, 30 (2000), 145-152.

Wojciech Piasta
 Julia Marczevska

Wpływ domieszki napowietrzającej i rodzaju cementu na właściwości świeżej zaprawy

1. Wprowadzenie

Optymalnym (oszczędnym i wydajnym) sposobem na poprawę mrozoodporności betonu i zapraw jest jego napowietrzenie. Najskuteczniejszą zawartością powietrza w mieszance betonowej zawierającej ziarna kruszywa o średnicy $d_{\max} = 16$ mm jest 5-6% (wg PN-EN 206-1, minimalna zawartość wynosi 4%). Jednak norma [9] nie określa ilości powietrza w zaprawach. Założono, że zawartość powietrza w zaprawie powinna być równa około 10% (dwukrotnie więcej niż w betonach), ponieważ zawartość objętościowa zaprawy w mieszance betonowej wynosi około 50%.

Domieszki napowietrzające pomagają wprowadzić i ustabilizować powietrze w świeżym betonie lub zaprawach. Domieszki napowietrzające są to środki powierzchniowo czynne. Obniżają one napięcie powierzchniowe w miejscu łączenia się (kontaktu) wody i powietrza (lub pary). Struktura cząsteczek napowietrzających środków powierzchniowo czynnych jest bardzo szczegółowa. Mają one hydrofilową grupę i hydrofobowy łańcuch. Większość nowoczesnych domieszek napowietrzających jest anionowych, ponieważ zapewniają one stabilność wprowadzonych porów powietrza [2]. Anionowe środki powierzchniowo czynne obejmują: n-alkilokarboksylany ($n\text{-RCOO}^-$), n-alkilosulfoniany, ($n\text{-RSO}_3^-$) i n-alkilosiarczany ($n\text{-RSO}_4^-$), przy długości łańcucha węglowodorowego między C_7 i C_{12} . Dwie główne cechy domieszek napowietrzających, czyli skład i wielkość ich łańcucha hy-

drofobowego oraz rodzaj i wielkość ich głównej grupy hydrofilowej wpływają odpowiednio na ich aktywność powierzchniową i rozpuszczalność w zaccynie cementowym. Maksymalne napowietrzenie uzyskuje się przy stosowaniu środków powierzchniowo czynnych z średnią długością łańcucha węglowego, ponieważ ich aktywność powierzchniowa i rozpuszczalność zmieniają się w przeciwnych kierunkach. Główne grupy hydrofilowe zwiększają napowietrzenie w kolejności: karboksylanowa $\nearrow$ sulfonianowa $\nearrow$ siarczanowa zgodnie z odpowiednią rozpuszczalnością środków powierzchniowo czynnych [7]. Na rynku istnieje kilka innych anionowych domieszek napowietrzających, w tym: rozpuszczalne sole (przeważnie sodu) żywic drzewnych, kalafonie z drewna, kwas stearynowy, kwas tłuszczowy oleju talowego, a także abietynian sodu i kwas ligninosulfonowy [1].

Analizując literaturę [5] z zakresu technologii betonu można zauważyć, że napowietrzenie zwiększa średnicę rozplywu i zmniejsza gęstość objętościową. Wpływ domieszek napowietrzających na właściwości świeżych zapraw i mieszanek betonowych różni się w szczególności wtedy, gdy zawierają one dodatki mineralne [3], [4], [12]. Ze względu na dużą niedo-
godność w napowietrzeniu zapraw i betonów z cementami mieszanymi, zaproponowano zastąpienie domieszek napowietrzających mikrosferami polimerowymi [11]. Jednakże, zastosowanie mikrosfer jest kosztowne.

W pracy prezentowane są wyniki badań napowietrzonych i nienapowietrzonych świeżych zapraw cementowych wykonanych z dziesięciu różnych cementów.

2. Badania

Badania miały na celu określenia wpływu następujących czynników: sprawność dwóch domieszek napowietrzających (rodzaj oraz ilość), zawartość powietrza i rodzaj cementu na właściwości świeżych zapraw. Badane były następujące właściwości zapraw: zawartość powietrza, rozptyw i gęstość objętościowa.

2.1. Materiały

Badania zostały przeprowadzone na zaprawach napowietrzonych i nienapowietrzonych o stosunku $w/c = 0,55$. Zastosowano następujące rodzaje cementów: cement portlandzki zwykły CEM I 42,5 R, i mieszane cementy portlandzkie: żużlowo-wapienny CEM II/AM (S-LL) 52,5 N, popiołowo-wapienny CEM II/BM (V-LL) 32,5 R, popiołowy CEM II/BV 32,5 R i hutniczy CEM III/A 32,5 N. Badania zostały również wykonane przy użyciu tych samych cementów z innych cementowni. Procentową zawartość dodatków mineralnych w stosowanych podczas badań cementach przedstawiono w tabeli 1. W sumie wykonano 20 zapraw z różnych cementów napowietrzonych i nienapowietrzonych, przy założeniu zawartości powietrza $10\% \pm 1\%$. Jako kruszywo drobne użyto naturalnego piasku kwarcowego (0,0 – 2,0 mm). Skład zapraw przedstawiono w tabeli 2.

Zastosowano dwie anionowe domieszki napowietrzające – tradycyjną abietynian sodu i nowoczesną jedną z grupy alkilosiarczanowych. Jako domieszki napowietrzające stosowane były roztwory związków napowietrzających, ponieważ niemożliwe było zdobycie czystych związków. Dlatego ilość zastosowanych domieszek powinna być brana pod uwagę w sposób względny.

2.2. Metody

Zbadano następujące właściwości świeżych zapraw:

- konsystencja zapraw zgodnie z PN-EN 1015-3:2000 (metoda rozptywu)
- gęstość objętościowa zgodnie z PN-EN 1015-6:2000 oraz
- zawartość powietrza zgodnie z PN-EN 1015-7:2000.

Żałono, że zawartość powietrza w napowietrzonych zaprawach powinna wynosić 10%. Ze względu na dużą niedogodność uzyskania założonej zawartości powietrza (10%) dla wszystkich zapraw, została

przyjęta granica błędu 1%. Ilość domieszki napowietrzającej dla każdej mieszanki (tabela 2) określono doświadczalnie poprzez liczne próby. Podczas badań temperatura zapraw wynosiła $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

W celu zminimalizowania wpływu niekontrolowanych zmiennych na wyniki badań zapraw próbki przygotowano przy zachowaniu tej samej technologii (taka sama kolejność dodawanych składników, czas i intensywność mieszania, temperatura, czas kontaktu cementu z wodą do rozpoczęcia pomiaru).

3. Wyniki badań i dyskusja

W przypadku zastosowania nowoczesnej domieszki napowietrzającej (z grupy związków alkilosiarczanowych) w ilości 0,72 – 1,6‰ zawartość powietrza w świeżej zaprawie wynosiła od 7% do 16,5% (rys. 1). Zgodnie z zaleceniami producenta domieszkę tę należy stosować w ilości poniżej 1‰ masy cementu. Największe zróżnicowanie zawartości powietrza zostało określone w zaprawach z cementem o wysokiej zawartości popiołów lotnych. Nowoczesne domieszki są bardzo wydajne, co widać na rysunku 1.

Nowoczesne domieszki napowietrzające w zaprawach cementowych zawierających popiół lotny należy stosować w wysokości 1,4‰. Wydajność klasycznych (tradycyjnych) domieszek jest bardzo niska, w porównaniu do wydajności domieszek nowoczesnych (rys. 2). Gdy ilość tradycyjnej domieszki była stosowana zgodnie z zaleceniami producenta (tj. 2‰ masy cementu) zawartość powietrza w napowietrzonych i nienapowietrzonych świeżych zaprawach była taka sama.

Rysunek 2 przedstawia tendencję wzrostu zawartości powietrza w świeżej zaprawie przy wzroście ilości obu domieszek. Jednakże, gdy zastosowano tradycyjną domieszkę wzrost zawartości powietrza był niski. Pomimo wzrostu ilości domieszki ponad 6‰ masy cementu nie wystąpił wzrost zawartości powietrza w zaprawie. Zaobserwowano tzw. nasycenie świeżej zaprawy powietrzem, które jest spowodowane przez krytyczne stężenie micelarne (CMC) domieszki. Im wyższe jest CMC, tym niższa jest aktywność powierzchniowo-czynna środka powierzchniowo czynnego [7]. Zastosowanie tak dużej ilości domieszki jest niedozwolone ze względu na ewentualne zmiany w wiązaniu i twardnieniu zaprawy cementowej.

Aby porównać efektywność obu domieszek obserwowano zmiany zawartości powietrza w świeżych zaprawach z cementem portlandzkim i przy zastosowaniu różnych domieszek. Jak pokazano na rysunku 2 znacznie większy i bardziej dynamiczny

wzrost zawartości powietrza stwierdzono, kiedy została zastosowana domieszka z grupy związków alkilosiarczanowych. Także napowietrzenie do założonego poziomu powietrza zapraw z cementem popiołowym i hutniczym było stosunkowo łatwe do osiągnięcia stosując nowoczesną domieszkę, co było niemożliwe za pomocą domieszki tradycyjnej. Tabela 3 przedstawia wyniki właściwości świeżych zapraw.

Na podstawie wyników badań (rys. 3) można zauważyć, że wraz ze wzrostem ilości popiołu w nienapowietrzonych zaprawach zmniejsza się zawartość procentowa powietrza i przy użyciu cementu CEM II/B-V osiąga poziom od 2,8 do 3,4%. W badanych zaprawach nienapowietrzonych objętość powietrza waha się od 2,8 do 4,9% i ma największą wartość dla zaprawy z cementem hutniczym i żużlowo-wapiennym.

Napowietrzenie zapraw z cementem wapiennym spowodowało nieznaczny wzrost rozplywu (rys. 4). Po napowietrzeniu zapraw z cementem popiołowym znacznie poprawiła się ich urabialność. Napowietrzenie zapraw z cementem portlandzkim, hutniczym i popiołowym w podobnym stopniu poprawia ich urabialność.

Gęstość objętościowa zapraw nienapowietrzonych waha się od 2182 do 2259 kg/m³, natomiast dla zapraw napowietrzonych od 1976 do 2121 kg/m³ (rys. 5). Potwierdza to, że stosunek gęstości objętościowej zapraw do ilości powietrza jest odwrotnie

proporcjonalny. Zaprawa z cementem popiołowym miała najniższą gęstość objętościową (2182 kg/m³) wśród zapraw nienapowietrzonych. Największą gęstość objętościową zanotowano dla zapraw z cementem portlandzkim zarówno nienapowietrzonym, jak i napowietrzonym.

4. Wnioski

1. Nowoczesne anionowe domieszki z grupy związków alkilosiarczanowych są o wiele bardziej skuteczne i aktywne niż tradycyjne, np. abietynian sodu.
2. Należy wykonać wiele prób w celu uzyskania tej samej ilości powietrza w zaprawach z różnymi cementami.
3. Wzrost ilości popiołu w nienapowietrzonych zaprawach zmniejsza zawartość powietrza w zaprawie.
4. Napowietrzenie zaprawy z cementami wapiennymi spowodowało nieznaczne zwiększenie rozplywu.
5. Średnica rozplywu świeżej zaprawy jest odwrotnie proporcjonalna do zawartości powietrza.
6. Napowietrzenie zaprawy z cementem portlandzkim, hutniczym i popiołowym w podobnym stopniu poprawia ich urabialność.

AUTOCLAVED CELLULAR CONCRETE AS AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CONSTRUCTION MATERIAL

Abstract

The paper presents the influence of mineral additives on the autoclaved aerated concrete (AAC) properties. The technology of production AAC in Poland and in the world were shown. Mineral supplements which were widely discussed include: microspheres, fly ashes, fluid ashes, cellulose fibers. Each of these additives affect the properties of autoclaved aerated concrete.

Keywords: autoclaved aerated concrete (AAC).

1. Introduction

Cellular or aerated concrete, being one of the most widely used construction materials, has a relatively short history. Autoclaved cellular concrete (ACC) has been known worldwide for more than 80 years, while in Poland it has been produced since the 1950s. It became especially popular, however, in the years 1960-1976, when the acute shortage of building materials, resulting from the war devastation, contributed to its development. In those times the beneficial insulation and construction properties of ACC were also highly valued [1, 2, 3].

It should be noted that the ACC is environmentally friendly because it does not contain toxic materials. The autoclaved cellular concrete is a material which fulfills the requirement of the efficient energy use to a larger extent than other manufactured building materials. The values in use, the high efficiency of the production process and the extensive application of ACC – all contribute to the steady growth in its production [3].

The technology of manufacturing autoclaved construction composites permits the silica sand to be replaced with fly ash or blast furnace slag, while at the same time eliminating industrial waste from the environment. The formation of hydrated calcium silicate phases also facilitates the incorporation of heavy metals into their structure [1, 3]. It is known that heavy metals (Cu, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr, Hg) have been regarded as stimulators or inhibitors of life processes. Depending

on the concentration, the degree of oxidation and the ease of forming complexes, metals may become a toxic factor for all living organisms [4, 5].

An important role in the binding of heavy metals is attributed to the C-S-H phase.

The factors that mostly determine the immobilization of heavy metals in the C-S-H are: a low permeability of the gel, which makes the migration of adsorbed substances a difficult process, high ion adsorption capacity and the presence of gel pores [4, 5].

This study, mainly based on literature sources, focuses on determining the impact of mineral additives on the formation of the phase composition and properties of autoclaved aerated concrete. The technologies of ACC manufacturing are also presented.

2. The assessment of cellular concrete's impact on the environment

The environmental concern should be taken into account while taking a decision about introducing new methods and raw materials in the manufacturing technology of autoclaved cellular concrete. The potential threat that they may pose to the ecosystem should be analysed [4].

In light of the requirements of sustainable development it has been proved that the production of cellular concrete is environmentally friendly. Raw materials used for ACC production are commonly available. Using fly ash in the ACC production means that its accumulation in heaps is avoided. In the autoclaving

process in the ash technology the waste steam from power plants is utilized. Poland is the second (after Great Britain) leading manufacturer of cellular concrete produced with the application of fly ashes. In the course of ACC production process, no substances are released or no materials are formed, that could be harmful for human organisms or environment [1, 4, 5].

Autoclaved concrete products are characterized by favourable strength and high thermal insulation, which results in saving energy required for heating objects [1].

The ACC manufacturing technologies contribute to limited emission of CO₂ i NO_x [1].

3. Modern technologies in autoclaved cellular concrete production

Poland is the largest producer of autoclaved cellular concrete in Europe. In 2009 ACC production in Poland amounted to 16.3 mln m³, which corresponds to 27.1% of autoclaved aerated concrete manufactured in Europe. Thanks to the conducted research many Polish technologies of ACC manufacturing have been developed and implemented [6].

The manufacturing technology of autoclaved aerated concrete is characterized by a reduced consumption of energy and raw materials. This is due to the low density of concrete and to the fact that it is a waste-free process. The surplus mass is transferred in the form of slurry to be utilized in the production process. It is worth noting that there are several technologies

of autoclaved aerated concrete manufacturing, which are presented in Table 1 [6].

4. Mineral additives to cellular concrete

The use of mineral additives affects the amount and type of phases formed in the autoclaving process [7].

One method to reduce the volume density is to use very light mineral fillers. Aluminosilicate microspheres are a light fraction of fly ashes formed during the combustion of coal. They are spherical particles filled with combustion gases. This additive does not have a negative effect on the process of mass growth (low bulk density in the order of 50 kg/m³) and neither does it reduce the strength of autoclaved aerated concrete [7, 8] thanks to a possible reaction with the binder in the autoclaving process.

Table 2. Exemplary chemical composition of microspheres [8]

Chemical composition of microspheres	Percentage [%]
SiO ₂	58±5
Al ₂ O ₃	26±5
Fe ₂ O ₃	5.0±0.6
CaO	2±0.5

The investigation results show that the aluminosilicate microspheres cause the reduction in the bulk density by over 20%, with similar proportions of dry ingredients of the mixture. Thermal conductivity coefficient is reduced in the order of 7%.

Table 1. Exemplary technologies of AAC manufacturing [6].

N°	Manufacturing technology	Basic raw materials	
		Binder	Aggregate
FOREIGN TECHNOLOGIES			
1	SIPOREX	Cement	quartz sand or quartz sand + blast furnace slag wet-milled together
2	YTONG	quicklime + cement	quartz sand wet-milled
3	HEBEL	quicklime + cement	quartz sand wet-milled
4	CALSILOX	quicklime + cement	quartz sand
		dry-milling together	
POLISH TECHNOLOGIES			
1	UNIPOL (universal Polish technology)	quicklime + cement + a portion of aggregate dry-milled together	quartz sand wet-milled, or fly ashes, or a mixture of sand and ashes
2	FGS (foam-gas-silicate)	quicklime milled together with a portion of aggregate	fly ashes
3	BLB (Light Belite Concrete)	Belite concrete	Sand slurry
4	SSS (slowly solidifying silicate)	quicklime + cement	quartz sand wet-milled, or fly ashes, or a mixture of sand and ashes
Ingredients always added to ACC: — powder or paste aluminium for forming the cell structure — a detergent decreasing the water surface tension and enhancing its ability to moist the ingredients of the paste — water In certain conditions other additives are also used (e.g. dihydrated gypsum)			

Compressive strength remains essentially unchanged and amounts to about 2.0 MPa [8, 9].

The ACC strength depends on:

- Autoclaving conditions
- Configuration of differently sized and shaped pores
- Composition, quality and quantity of alluminium powder [8]

The addition of microspheres has a beneficial effect on the properties of autoclaved aerated concrete. There was no segregation in mass, no impact on the surface, or increased content in the upper surface of the samples, despite a low bulk density [8].

Fly ashes are an attractive addition modifying the hydration products in concrete matrix, due to a high level of their fragmentation and the phase composition. With the content of acidic oxides of above 80%, an increased compressive strength is achieved.

One may also expect the emergence of specific phases, so called hydrogarnets [9, 10].

Fly ashes from coal combustion in fluidized bed boilers are characterized by the presence of highly chemically active ingredients in their phase composition. They are amorphous remnants formed as a result of the dehydroxylation of clay minerals, anhydrite and free lime as well as the unreacted sorbent CaCO_3 . The investigation revealed the decomposed clay mineral to be metakaolinite. It also revealed the absence of aluminosilicate glass. A higher activity of metaklonite in comparison with aluminosilicate glass and a different phase composition of fluidized ashes should lead to a higher content of C-S-H, tobermorite ($\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$), and hydrogarnets ($\text{C}_x\text{A}_y\text{S}_m\text{H}_n$).

The presence of hydrogarnets has a beneficial effect on contraction and, to a lesser extent, on strength. Other phases have a positive effect on strength, frost resistance and contraction [10].

Replacing siliceous ashes by fluidized fly ashes in the amount of 80%, 60%, 40% and 20% did not have a detrimental effect on the technological process. Nevertheless, when the content of fluidized ashes applied in the autoclaved cellular concrete manufacturing exceeds 40% of the total amount of ashes in concrete, the thermal conductivity coefficient and the strength of ACC are decreased. It is probably connected with the increased content of crystalline hydrogarnets. The application of fluidized ashes permits the decrease of calcium content by 10-20%, and the reduction of gypsum content by from 60% to even 100%. The degree of the ingredients reduction depends on the chemical composition of fluidized ashes [10].

During autoclaving many physicochemical processes determining the phase composition and microstructure are changed by mineral additives. The appropriate amount of the additives will allow the modification of the C-S-H phase, and thus will enable high strengths to be achieved for light types of ACC.

In hydrothermal conditions many hydrated forms of calcium silicates are formed. Figure 1 presents the conditions in which particular minerals are formed according to Taylor [11].

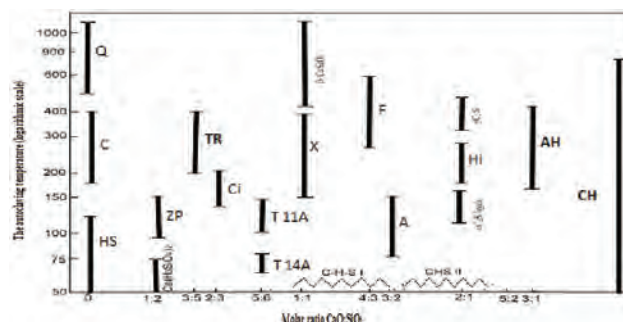


Fig. 1. Formation of minerals according to Taylor [11].

The autoclaving temperature (logarithmic scale):

HS – hydrosilicate, C – cristobalite, Q – quartz, ZP – Z-phase, TR – truscovite, T – tobermorite, Ci – circolit, X – xonotlite, A – afwillite, F – foshagit, Hi – hillebrandite, AH – allite hydroxide, CH – calcium hydroxide

During the formation of crystalline phases the C/S ratio and temperature are very important. 1.1 nm tobermorite with the C/S ratio of 0.83 is the most easily formed phase in the temperature above 120°C. With the C/S = 1 and the temperature above 150°C the formation of xonotlite may take place, which is an undesirable phenomenon.

During the autoclaving the temperature is 180-200°C, so the formation of xonotlite is possible. However, it depends to a large extent on the content of sulphate ions. In the process of autoclaving it is gypsum that is responsible for the stabilization of the tobermorite phase, which prevents the transition into xonotlite [11].

The C-S-H phase and tobermorite in correct quantitative proportions are responsible for the cellular concrete strength [12].

5. Summary

Modern technologies of ACC manufacturing are waste-free processes, they do not release substances harmful for living organisms and environment, and they are characterized by low power and raw materials consumption in comparison with the technologies of manufacturing other construction materials.

The purpose of the conducted research on the use of mineral additives is to improve certain properties of autoclaved aerated concretes or to achieve special qualities of those concretes. By modifying the microstructure and phase composition of finished products one can improve the physical properties, such as compressive strength and contraction.

The analysis based on the data from the literature sources focused on the effect of the microspheres' type and number as well as the influence of fluidized fly ashes and siliceous ashes on the selected properties of ACC. The results of the physical properties investigation showed that the aluminosilicate microspheres cause the decrease of the bulk density by 24% and of the thermal conductivity by about 7%.

The compressive strength, with the application of 24 weight per cent microspheres, remained unchanged.

Fluidized fly ashes have an effect on the change of the ACC phase composition by the increase of: the C-S-H phase content, tobermorite and hydrogarnets. Depending on the chemical composition of the fluidized ashes it is possible to reduce the lime content by between 10 to 20% and the gypsum content by from 60 to 100%.

Further development of autoclaved aerated concrete is extremely important, because of its unquestionable engineering and environmental advantages. The objective of the conducted research on the application of new mineral additives is to improve certain qualities of autoclaved cellular concretes or to achieve special properties of the concretes.

References

- [1] Zapotoczna-Sytek G., Małolepszy J.: *Zrównoważony rozwój, a proces wytwarzania i stosowania elementów z betonu komórkowego*, Materiały konferencji Dni betonu, Wisła 2008, s. 867-878.
- [2] Osiecka E.: *Wybrane zagadnienia z technologii mineralnych kompozytów budowlanych*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [3] Materiały informacyjne Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Autoklawizowanego Betonu Komórkowego (EAACA), z lat 2004-2006.
- [4] Kuterasińska J.: *Ocena oddziaływania autoklawizowanego betonu komórkowego na środowisko naturalne uwalnianie substancji szkodliwych*, Cement Wapno Beton 4 (2012), s. 250-257
- [5] Król M., Mozgawa W., Pichór W.: *Immobilizacja kationów metali ciężkich w materiałach wypalanych na bazie smektytu i zeolitu naturalnego*, Materiały Ceramiczne (2010), s. 218-223
- [6] Zapotoczna-Sytek G., Soboń M.: – *60 Lat betonu komórkowego w Polsce. Historia i przyszłość*, 5. Międzynarodowa Konferencja dotycząca Autoklawizowanego Betonu Komórkowego Bydgoszcz, Polska 14-17 września 2011, s. 27-42
- [7] Małolepszy J., Pichór W.: *Możliwości wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego odmiany 300*, Konferencja Naukowo-Techniczna, Olsztyn-Łańsk 2002, s. 297-305.
- [8] Pichór W.: *Właściwości autoklawizowanego betonu komórkowego z dodatkiem mikrosfer glinokrzemianowych*, Cement Wapno Beton 1 (2012), s. 32-37.
- [9] Zapotoczna-Sytek, Zmywawczyk J., Koniorczyk P., Lubińska K., Górka B.: *Badania eksperymentalne efektu redukcji przewodności cieplnej w autoklawizowanym piaskowym betonie komórkowym (ABK 500)*, Cement Wapno Beton 6 (2009), s. 301-307.
- [10] Łaskawiec K., Gębarowski P., Zapotoczna-Sytek G., Małolepszy J.: *Zastosowanie popiołów ze spalania węgla kamiennego w kotłach fluidalnych do produkcji betonu komórkowego*. Cement Wapno Beton 1 (2012), s. 14-22.
- [11] Paprocki A. : *Beton komórkowy*. Arkady, Warszawa 1966.
- [12] Jatymowicz H., Siejko J., Zapotoczna-Sytek G.: *Technologia autoklawizowanego betonu komórkowego*. Arkady, Warszawa 1980.

Zdzisława Owsiak
Anna Soltys

Autoklawizowany beton komórkowy jako materiał budowlany przyjazny środowisku

1. Wprowadzenie

Beton komórkowy choć jest jednym z najpowszechniej stosowanych materiałów budowlanych, ma stosunkowo krótką historię. Na świecie autoklawizowany beton komórkowy (ABK) znany jest od ponad 80 lat, natomiast w Polsce wytwarzany jest od połowy ubiegłego wieku. Jednak szczególny renesans przypada na lata 1960-1976, kiedy ogromny deficyt materiałów budowlanych, spowodowany spustoszeniem wojennym, przyczynił się do jego rozwoju. W tym okresie doceniono również korzystne właściwości izolacyjno-konstrukcyjne ABK [1, 2, 3].

Należy wspomnieć o tym, że ABK jest materiałem przyjaznym dla środowiska, ponieważ nie zawiera materiałów toksycznych. Jest materiałem, który spełnia w najszerszym zakresie wymagania efektywności energetycznej spośród wszystkich produkowanych materiałów budowlanych. Wartości użytkowe, wysoka efektywność procesu produkcyjnego oraz szerokie zastosowanie ABK powodują stale rosnącą jego produkcję [3].

Technologia wytwarzania autoklawizowanych kompozytów budowlanych pozwala na zastąpienie piasku kwarcowego popiołem lotnym lub żużlem wielkopieczowym, jednocześnie eliminując ze środowiska odpady przemysłowe. Także tworzenie uwodnionych faz krzemianów wapniowych sprzyja wbudowaniu w ich strukturę metali ciężkich [1, 3]. Jak wiadomo metalom ciężkim (Cu, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr, As [półmetal], Hg) przypisuje się rolę stymulatorów lub czynników hamujących procesy życiowe. W zależności od stężenia, stopnia utlenienia i łatwości tworzenia kompleksów, metale mogą stać się czynnikami toksycznymi dla wszystkich organizmów żywych [4, 5].

Ważną rolę w procesie wiązania metali ciężkich przypisuje się fazie C-S-H. Czynnikami które decydują o immobilizacji metali ciężkich w C-S-H są przede wszystkim: mała przepuszczalność tego żelu utrudniająca migrację zaadsorbowanych substancji, duża zdolność adsorpcji jonów oraz obecność porów żelowych [4, 5].

Przedmiotem realizowanej rozprawy doktorskiej jest ocena wpływu kompozycji dodatków mineralnych na

mikrostrukturę autoklawizowanych kompozytów budowlanych oraz właściwości fizyczne, takie jak wytrzymałość na ściskanie i gęstość objętościową.

W niniejszym referacie skoncentrowano się na określeniu wpływu dodatków mineralnych, głównie w oparciu o źródła literaturowe, na kształtowanie składu fazowego i właściwości autoklawizowanych betonów komórkowych. Opisane zostały również technologie wytwarzania ABK.

2. Ocena oddziaływania betonu komórkowego na środowisko naturalne

Troska o środowisko naturalne powoduje, że przy podejmowaniu decyzji o zmianie metod oraz surowców stosowanych w technologii produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego należy przeanalizować ich potencjalny wpływ na zagrożenie ekosystemu [4].

W świetle wymagań zrównoważonego rozwoju wykazano, że wytwarzanie betonu komórkowego jest przyjazne dla środowiska. Surowce, które używane są do produkcji ABK są powszechnie dostępne. W przypadku stosowania popiołów eliminuje się hałdy na które trafiłyby popioły. W procesie autoklawizacji w technologii popiołowej, w wykorzystuje się odpadową parę z elektrowni. Po Wielkiej Brytanii Polska jest wiodącym producentem betonu komórkowego z zastosowaniem popiołów lotnych. W trakcie produkcji ABK nie uwalniają się żadne substancje, ani nie powstają żadne materiały, które mogłyby być szkodliwe dla organizmu ludzkiego czy też środowiska [1, 4, 5].

Wyroby z ABK cechują się korzystną wytrzymałością, wysoką izolacyjnością cieplną przez co wpływają na oszczędność energii potrzebnej na ogrzewanie obiektów [1].

Technologie wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego przyczyniają się do ograniczenia emisji CO₂ i NO_x [1].

3. Współczesne technologie wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego

Polska jest największym producentem autoklawizowanego betonu komórkowego w Europie (rys. 1). W 2009 produkcja ABK wyniosła 16,3 mln m³, co sta-

nowi 27,1% udziału Polski w produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego w Europie. Dzięki prowadzonym pracą badawczym opracowano i wdrożono wiele polskich technologii wytwarzania ABK [6].

Technologia wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego wyróżnia się niewielkim zużyciem energii oraz surowców. Jest to spowodowane małą gęstością betonu oraz tym, że jest to proces bezodpadowy. Naddatki masy kierowane są do produkcji w postaci szlamu. Warto zaznaczyć, iż istnieje kilka technologii wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego, które zostały przedstawione w tabeli 1 [6].

4. Dodatki mineralne do betonu komórkowego

Zastosowanie dodatków mineralnych wpływa na ilość i rodzaj faz powstających w procesie autoklawizacji [7].

Jedną z metod obniżenia gęstości objętościowej jest wykorzystanie bardzo lekkich wypełniaczy mineralnych. Mikrosfery glinokrzemianowe to lekka frakcja popiołów lotnych, utworzonych podczas spalania węgla kamiennego. Są to cząstki o kulistym kształcie, wypełnione gazami spalinowymi. Dodatek ten nie wpływa negatywnie na proces wyrastania masy (niska gęstość objętościowa rzędu 50 kg/m^3), a dzięki możliwej reakcji ze spoiwem w procesie autoklawizacji nie obniża wytrzymałości betonu komórkowego [7, 8].

Wyniki badań wykazały, że mikrosfery glinokrzemianowe powodują zmniejszenie gęstości objętościowej o ponad 20%, przy podobnych proporcjach suchych składników mieszanki. Obniżeniu ulega współczynnik przewodzenia ciepła, są to wielkości rzędu 7%. Wytrzymałość na ściskanie nie ulega zasadniczo zmianie i wynosi ok. $2,0 \text{ MPa}$ [8, 9].

Wytrzymałość ABK zależy od:

- warunków autoklawizacji,
- rozkładu wielkości porów i kształtu porów,
- składu, jakości i ilości proszku glinowego [8].

Dodatek mikrosfer wpływa korzystnie na właściwości autoklawizowanego betonu komórkowego. Nie stwierdzono segregacji w masie, wpływu na powierzchnię, czy podwyższonej zawartości w obszarach górnej powierzchni próbek, mimo niskiej gęstości objętościowej [8].

Popioły lotne ze względu na duże rozdrobnienie i skład fazowy są atrakcyjnym dodatkiem modyfikującym produkty hydratacji w matrycy betonowej. Przy udziale tlenków kwaśnych powyżej 80%, uzyskuje się zwiększoną wytrzymałość na ściskanie.

Można spodziewać się także powstania specyficznych faz tzw. hydrogranatów [9, 10].

Popioły lotne ze spalania węgla w kotłach fluidalnych charakteryzują się istnieniem w swoim składzie fazowym bardzo aktywnych chemicznie składników, którymi są bezpostaciowe pozostałości po dehidroksylacji minerałów ilastych, anhydryt oraz wolne wapno, a także nieprzereagowany sorbent CaCO_3 . Badania wykazały, że rozłożone minerały ilaste to metakaolinit. Nie stwierdzono występowania szkła glinowo-krzemianowego. Większa aktywność metakaolinitu od szkła glinowo-krzemianowego oraz inny skład fazowy popiołów fluidalnych powodują, że należy spodziewać się podwyższonej zawartości C-S-H, toberomorytu ($\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$), oraz hydrogranatów ($\text{C}_x\text{A}_y\text{S}_m\text{H}_n$). Obecność hydrogranatów korzystnie wpływa na skurcz, w mniejszym stopniu na wytrzymałość. Pozostałe fazy mają pozytywny wpływ na wytrzymałość, mrozoodporność oraz skurcz [10].

Do badań użyto popioły lotne fluidalne, które zastąpiły popioły krzemionkowe w ilości 80%, 60%, 40% oraz 20%. Proces technologiczny przebiegał prawidłowo niezależnie od udziałów procentowych popiołów fluidalnych i krzemionkowych. Popioły fluidalne mogą być zastosowane w produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego w ilości nie większej niż 40% do ogólnej zawartości popiołów w betonie. Większa ich ilość powoduje obniżenie współczynnika przewodzenia ciepła oraz spadek wytrzymałości ABK. W zależności od składu popiołów fluidalnych można zmniejszyć ilość wapna o 10-20%, oraz gipsu od 60% do nawet 100% [10].

Dodatki mineralne przyczyniają się do wielu procesów fizykochemicznych w czasie autoklawizacji, które determinują skład fazowy oraz mikrostrukturę. Odpowiednie ich ilości umożliwiają modyfikację fazy C-S-H, a przez to otrzymanie wysokich wytrzymałości dla lekkich odmian ABK.

W warunkach hydrotermalnych powstaje wiele uwodnionych form krzemianów wapnia. Na rysunku 1 zostały przedstawione warunki powstawania poszczególnych minerałów według Taylora [11].

Przy tworzeniu się krystalicznych faz bardzo ważny jest stosunek C/S oraz temperatura. W temperaturze powyżej 120°C najłatwiej powstającą fazą jest 1,1 nm tobermoryt o stosunku $\text{C/S} = 0,83$. Przy stosunku $\text{C/S} = 1$ i temperaturze powyżej 150°C możliwe jest powstanie ksonotlitu, co jest niepożądanym zjawiskiem. Podczas autoklawizacji temperatura wynosi $180\text{--}200^\circ\text{C}$, a zatem możliwe jest powstanie ksonotlitu. Jednak jest to w dużej mierze zależne od zawar-

tości jonów siarczanowych. Gips odpowiedzialny jest w procesie autoklawizacji za stabilizację fazy tobermorytowej uniemożliwiając przejście w ksonotlit [11].

Za wytrzymałość betonu komórkowego odpowiedzialna jest faza C-S-H oraz tobermoryt w odpowiedniej proporcji ilościowej [12].

5. Podsumowanie

Współczesne technologie wytwarzania ABK to procesy bezodpadowe, nieuwalniające substancji szkodliwych dla organizmów żywych i środowiska, charakteryzujące się niskim zużyciem energii oraz surowców w stosunku do technologii wytwarzania innych materiałów budowlanych.

Prowadzenie prac badawczych nad zastosowaniem dodatków mineralnych ma na celu poprawę pewnych właściwości lub uzyskanie specjalnych właściwości autoklawizowanych betonów komórkowych. Modyfikując mikrostrukturę i skład fazowy gotowych wyrobów można wpłynąć na poprawę właściwości fizycznych, takich jak wytrzymałość na ściskanie, czy skurcz.

W praktyce zostanie wytworzony materiał charakteryzujący się niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła przy możliwie jak najwyższej wytrzymałości.

Założono, że do badań składu fazowego i mikrostruktury ABK zostaną zastosowane metody: dyfrakcja rentgenowska, termiczna analiza różnicowa, mikroskopia skaningowa, absorpcyjna spektrometria atomowa oraz porozymetria rtęciowa.



environment
environment

PAWEŁ KOSSAKOWSKI

Kielce University of Technology

e-mail: kossak@tu.kielce.pl

FIRST IN POLAND HALF-TUNNEL NOISE BARRIERS

Abstract

The paper presents the half-tunnel noise barriers (acoustic glass roofs) built in Warsaw, Poland. The work was completed in the year 2012 and was designed in order to protect the surrounding environment from the traffic noise. The barriers were built in the form of steel arcs, elliptical in shape, fitted with acoustic glass panels.

Keywords: noise barriers, traffic noise

1. Introduction

Traffic noise and, especially, that associated with the movement of vehicles, has been a major problem of large urban agglomerations for many years. The overall noise problem has been diagnosed in many countries around the world, as well as in the European Union, where the established legislation contains a number of requirements for the protection of citizens against the harmful effects of noise [1], of which certain elements were discussed in more detail in [2, 3].

One of the most common solutions to reduce the consequence of traffic noise are noise barriers, which are defined as natural or artificial obstacles, located between the noise source and the protected area. The principle of operation of noise barriers is based on the reflection, absorption and partially deflection of sound waves, resulting in lowering the sound volume in the so-called acoustic shadow, including the protected area. The types and examples of different noise barriers are discussed in more detail in [4-8].

A solution that goes one step further in terms of effectiveness of traffic noise reduction compared to the most common types of noise barriers is to build them in the form of acoustic half-tunnels. The first realization of such object in our country is the subject of the article.

2. Conditions for the implementation of half-tunnel noise barriers

Discussed noise barriers in the form of half-tunnel were built in Warsaw along Armii Krajowej Avenue. The requirement to reduce the level of road noise which

is applied by the so called Noise Directive [1] to the areas where this level is exceeded, was the main reason to use such form of noise barriers in this location. As can be seen from the maps of noise study area (Fig. 1) the sound level exceeded the limit value and it was necessary to apply noise protection measures.

Concept of the modernization of Armii Krajowej avenue assumed to adjust its parameters to the expressway, resulting in increased road traffic. As a result, the noise annoyance will increase, which requires the application of measures to reduce traffic noise. The traffic nodes are the critical points, and therefore it was decided to build in their area the special protection in the form of acoustic glass roofs as acoustic half-tunnels.

Direct requirement for tunnels acoustic realization is contained in the Environmental Impact Report prepared for an investment based on adapting Armii Krajowej avenue in Warsaw to the parameters of expressway [10]. In the study the exceeding of permissible sound levels during the day and night within Armii Krajowej Avenue was recorded, especially on the upper floors of surrounding buildings. At the same time the existing noise barriers do not provide the required noise reduction. Attention was drawn to the validity of the solutions to reduce noise – construction of noise barriers, which are included in the building project. The total noise reduction is also achieved through the modernization of the route that includes the improvement of road surface, improving the flow of traffic as well as the restrictions placed on the speed of vehicles. The most important in [10] was contained



Fig. 1. Noise exposure around Armii Krajowej Avenue – Toruńska street [9]

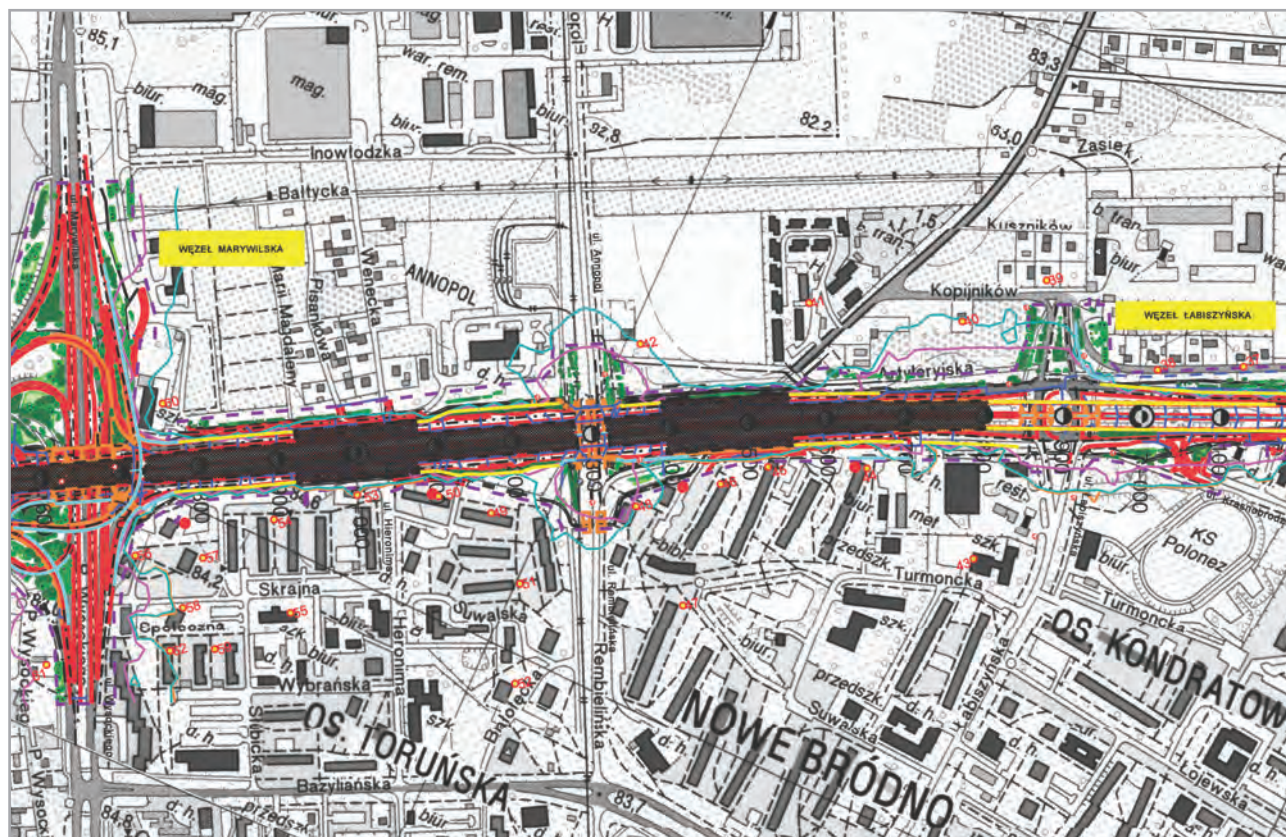


Fig. 2. Planned protective actions [11], indications:
 — equal-loudness contour 50 dB for night, $h = 4.0$ m
 — equal-loudness contour 55 dB for day, $h = 4.0$ m
 — equal-loudness contour 60 dB for day, $h = 4.0$ m

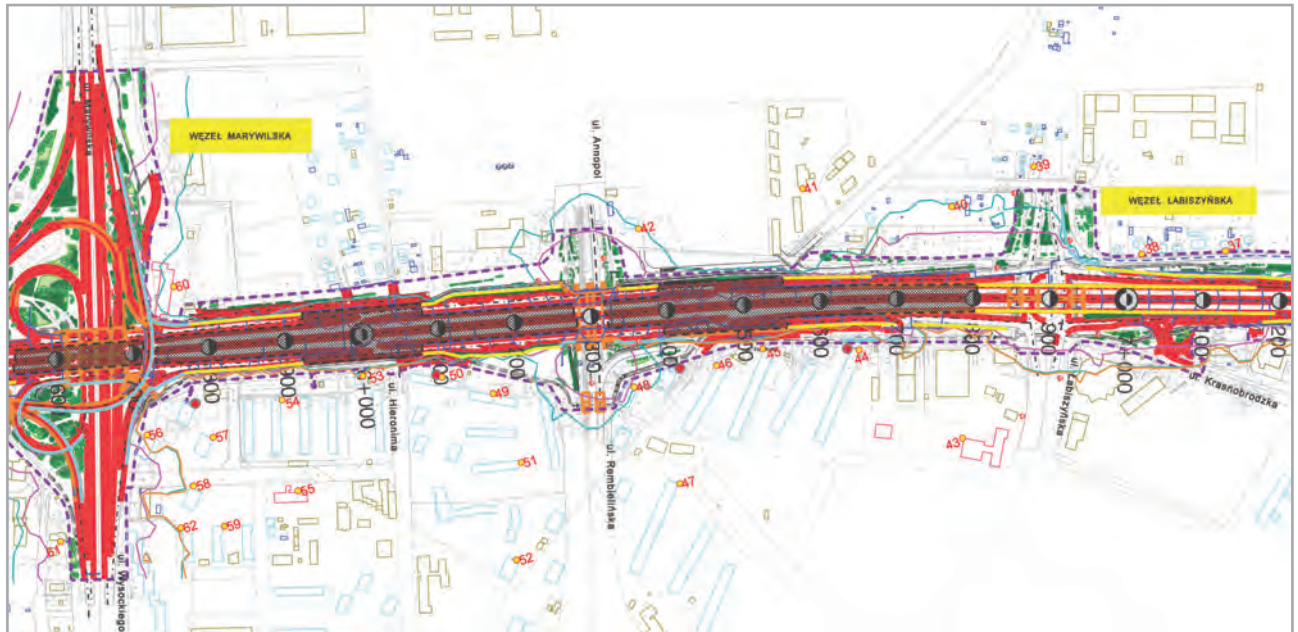


Fig. 3. Impact on the acoustic climate – investment option, forecast for 2020 year [12], indications:

- equal-loudness contour 50 dB for night, $h = 4.0$ m
- equal-loudness contour 55 dB for day, $h = 4.0$ m
- equal-loudness contour 60 dB for day, $h = 4.0$ m

as a requirement for applicable noise barriers in the form of half of the tunnels on the sections of the route.

Therefore, in the framework of the investment project involving the adjustment of Armii Krajowej avenue to the parameters of the expressway, protective actions were scheduled involving construction of acoustic half-tunnels along Toruńska street between Wysocki street and Łabiszyńska street, as shown in Figure 2. The acoustic half-tunnel is labeled as shaded area.

The prediction of the impact of the project on the acoustic climate for the year 2020 shows noise reduction in the protected area, as shown in Figure 3.

3. Half-tunnel noise barriers built in Warsaw

Noise barriers in the form of half-tunnels (Fig. 4) were completed in July 2012. As mentioned above they were built in one of the phases of the modernization of Armii Krajowej Avenue in Warsaw. The half-tunnel

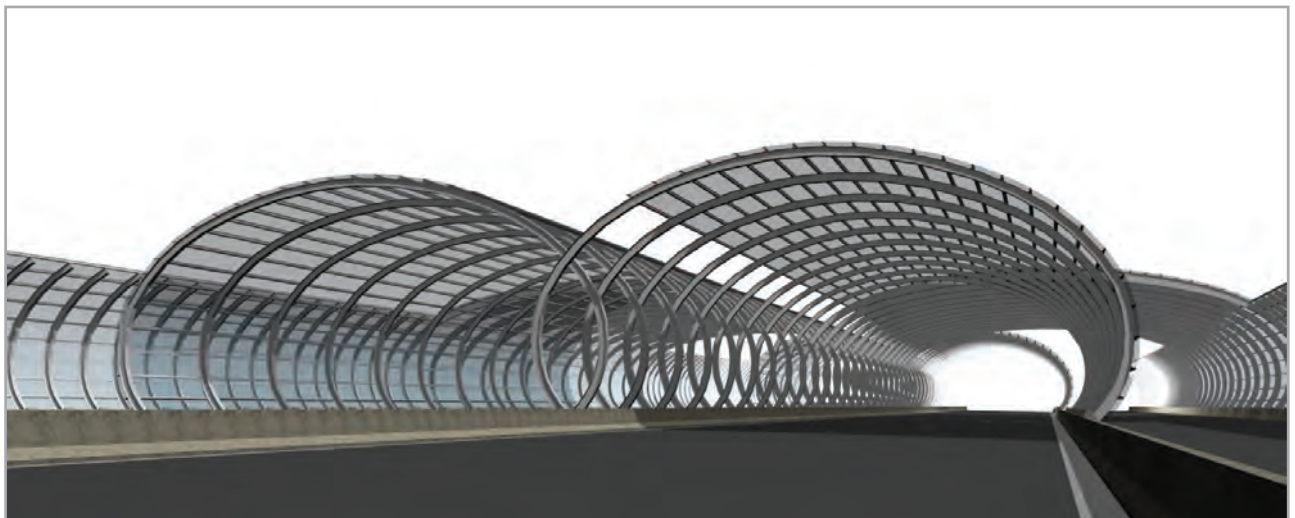


Fig. 4. Visualisation of half-tunnel noise barriers [13]

noise barriers were located between Łabiszyńska and Marywilka nodes, in the region where traffic is greatest. It is worth noting that the solution of this type was used in Poland for the first time, ensuring the highest level of protection against noise.

The object location near traffic nodes, which has been adapted to the acoustic climate prevailing from AK Avenue, allowed a much better sound insulation of buildings, particularly in the high buildings, as compared to conventional noise barriers, in the form of walls.

The half-tunnel noise barriers were designed and built in the form of steel arcs, elliptical in shape, fitted with acoustic glass panels. The height of half-tunnel noise barriers is about 10 m and length extending up to about 1.2 km.

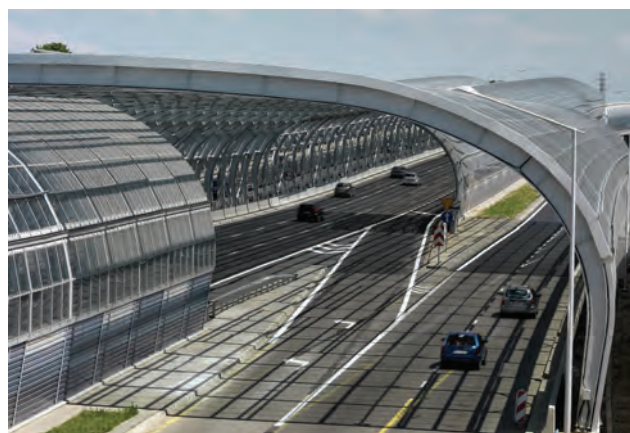


Fig. 5. View of one of the section of half-tunnel noise barriers [14]

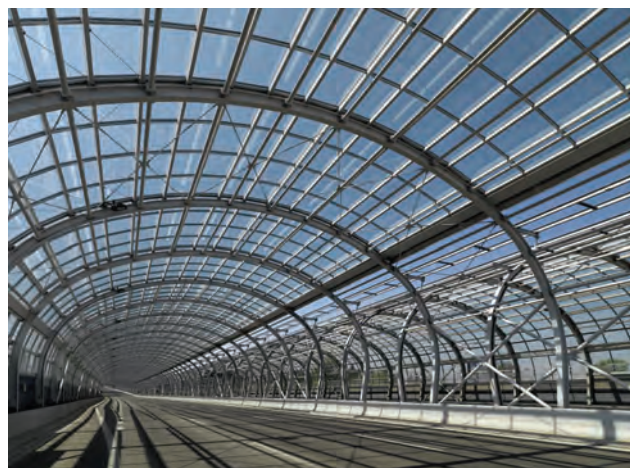


Fig. 6. Structure and filling of the half-tunnel noise barriers [14]

As already mentioned, the environmental decision required the application of the half-tunnel noise barriers on the road sections of Armii Krajowej Avenue. The document also sets out guidelines for

the location of all types of noise barriers as part of the investment, i.e., vertical and curved noise barriers, and just half-tunnels. There were also clarified the requirements for function of half-tunnels noise barriers. Their lower parts are designed to absorb sound, while in the upper part to reflect sound (Fig. 7).



Fig. 7. External view of the half-tunnel noise barriers [14]

A key issue was the selection of a suitable material for the covering of the half-tunnel noise barriers [14]. The basic requirement for minimum acoustic parameters was expressed by apparent sound reduction index set as $R_w = 39$ dB. The second key factor was the safety, including minimizing the effects of impact in case of birds. Given these requirements, the roof of the half-tunnel noise barriers is made glazed with double glazing Pilkington Insulight™ Protect, which consists of colorless thick tempered glass, 6 mm in thick, from the outside, and laminated safety glass Optilam™, with thickness 8.8 mm from inside of the tunnel [14]. This solution classifies barrier at the level of the class P2A for his safety. The applied technology enabled also to incorporate the screen-printing characters during hardening, warning birds from colliding.

4. Summary

The half-tunnel noise barriers presented in the article are a rare and innovative solution, which was applied in our country first time. It is hoped that the high cost of implementing this facility will be compensated by a significant reduction of noise within the location. It will reduce sound nuisance, felt by local residents, in connection with the adjustment the Armii Krajowej Avenue to the expressway, resulting in an increase in road traffic.

References

- [1] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise (Official Journal of the EC L 189/12, 18.07.2002).
- [2] Kossakowski P.: *Protection against noise in the European Union – general requirements, applied noise indicators and assessment methods*. Structure and Environment, 4, p. 38-45, 2011.
- [3] Kossakowski P.: Strategic noise maps, *Structure and Environment*, 4, 2012.
- [4] Engel Z., Sadowski J., Stawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany akustyczne*. Wydawnictwa Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Instytut Mechaniki i Wibroakustyki AGH, Kraków 1990.
- [5] Osłony przeciwhałasowe w ruchu drogowym. Praca zbiorowa. Studia i materiały, zeszyt 64, IBDiM, Warszawa 2011.
- [6] Kossakowski P.: Ekran akustyczny o konstrukcji stalowej z wypełnieniem ziemnym, *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 283*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, zeszyt 59 (3/2012/IV), p. 257-264, 2012.
- [7] Kossakowski P.: *Steel noise barrier with ground filling*. In Proceedings of 58th Annual Conference on Scientific Problems of Civil Engineering 16-21 September 2012, Krynica – Rzeszów, Poland, pp. 338-339, 2012.
- [8] Kossakowski P.: *Stalowo-ziemny ekran akustyczny* (The steel-ground noise barrier). Drogi: budownictwo infrastrukturalne, 12, pp. 49-57, 2012.
- [9] Mapa akustyczna miasta Warszawy, Warszawa 2012. *Raport o oddziaływaniu na środowisko dostosowania trasy Armii Krajowej do parametrów drogi ekspresowej S-8*. Etap pozwolenia na budowę – część opisowa, Transprojekt, Warszawa, 2008.
- [10] Raport o oddziaływaniu na środowisko dostosowania trasy Armii Krajowej do parametrów drogi ekspresowej S-8. Etap pozwolenia na budowę – Załącznik 5 Planowane działania ochronne, Transprojekt, Warszawa 2008.
- [11] Raport o oddziaływaniu na środowisko dostosowania trasy Armii Krajowej do parametrów drogi ekspresowej S-8. Etap pozwolenia na budowę – Załącznik 3 Oddziaływanie na klimat akustyczny, Transprojekt, Warszawa, 2008.
- [12] www.skyscrapercity.com
- [13] Materiały firmy Pilkington Polska, Sandomierz 2012.

Paweł Kossakowski

Pierwsze w Polsce półtunelowe ekrany akustyczne

1. Wstęp

Od wielu już lat dużym problemem z jakim borykają się aglomeracje miejskie jest hałas komunikacyjny, a w szczególności hałas drogowy związany z ruchem pojazdów samochodowych. Ogólny problem hałasu został zdiagnozowany w wielu krajach świata, a także Unii Europejskiej, gdzie w ustanowionym prawodawstwie [1] zawarto szereg wymagań w zakresie ochrony mieszkańców przed negatywnymi skutkami oddziaływania hałasu, których pewne elementy omówiono szerzej w [2, 3].

Jednym z najpowszechniej stosowanych rozwiązań w celu redukcji skutków hałasu komunikacyjnego są ekrany akustyczne, które definiowane są jako naturalne lub sztuczne przeszkody, sytuowane pomiędzy źródłem hałasu a obszarem chronionym. Zasada działania ekranów akustycznych polega na odbiciu, pochłonięciu i częściowo ugięciu fali dźwiękowej,

w wyniku czego obniżeniu ulega natężenie dźwięku w obszarze tzw. cienia akustycznego, obejmującego obszar chroniony. Rodzaje i przykłady różnych ekranów akustycznych omówiono szerzej w [4-8].

Rozwiązaniem, które idzie krok dalej w zakresie efektywności redukcji hałasu komunikacyjnego w stosunku do najpowszechniejszych typów ekranów akustycznych jest ich budowa w formie półtuneli akustycznych. Pierwsza w naszym kraju realizacja obiektu tego typu jest przedmiotem artykułu.

2. Uwarunkowania dotyczące realizacji ekranów półtunelowych

Ekrany akustyczne w formie półtuneli wykonano w Warszawie w ciągu trasy Armii Krajowej. Podstawową przyczyną ich wykonania na wspomnianej lokalizacji był wymóg redukcji poziomu hałasu drogowego jaki nakłada na obszary, w których poziom ten jest przekroczony tzw. Dyrektywa Hałasowa [1].

Jak wynika z map hałasowych analizowanego obszaru (rys. 1) poziom natężenia dźwięku przekracza wartości dopuszczalne i konieczne jest zastosowanie środków ochrony przed hałasem.

Koncepcja dotycząca modernizacji trasy Armii Krajowej przewidywała dostosowanie jej do parametrów drogi ekspresowej, co skutkowało wzmożonym ruchem samochodów. W efekcie zwiększeniu uległa uciążliwość akustyczna, co wymagać będzie zastosowania środków redukujących hałas komunikacyjny. Punktami newralgicznymi są węzły komunikacyjne i dlatego podjęto decyzję, aby w ich obszarze wybudować specjalne ochrony akustyczne w formie przeszkolonych zadaszeń w postaci półtuneli akustycznych.

Bezpośredni wymóg wykonania tuneli akustycznych zawarty został w Raporcie oddziaływania na środowisko opracowanym dla inwestycji polegającej na dostosowaniu trasy Armii Krajowej w Warszawie do parametrów drogi ekspresowej [10]. W opracowaniu tym stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych poziomów dźwięku w porze dnia i nocy w obrębie trasy Armii Krajowej, szczególnie na wyższych piętrach okolicznych budynków. Jednocześnie istniejące ekrany akustyczne nie zapewniają wymaganej redukcji hałasu. Zwrócono uwagę na zasadność przyjętych rozwiązań w zakresie redukcji hałasu – budowy ekranów akustycznych, które zawarto w projekcie budowlanym. Całkowita redukcja hałasu uzyskana zostanie również w wyniku modernizacji trasy obejmującej poprawę stanu nawierzchni drogowej, poprawy płynności ruchu jak również wprowadzonych ograniczeń prędkości pojazdów. Co najistotniejsze, w [10] zawarto wymóg zastosowania ekranów akustycznych w formie połowy tuneli na fragmentach trasy.

Dlatego też w ramach projektu inwestycji polegającej na dostosowaniu trasy Armii Krajowej w Warszawie do parametrów drogi ekspresowej zaplanowano działania ochronne polegające na budowie półtuneli akustycznych na odcinku ulicy Toruńskiej trasy między ulicami Wysockiego i Łabiszyńską, co pokazano na rysunku 2. Półtunel akustyczny oznaczono jako obszar zacieniowany.

Przeprowadzona prognoza na rok 2020 oddziaływania inwestycji na klimat akustyczny ukazuje redukcję poziomu hałasu w obszarze chronionym, co pokazano na rysunku 3.

3. Półtunelowe ekrany akustyczne wykonane w Warszawie

Ekrany akustyczne w formie półtuneli (rys. 4) ukończone zostały w lipcu 2012 roku. Jak już wspomniano wybudowano je w ramach jednego z etapów moderni-

zacji trasy Armii Krajowej w Warszawie. Akustyczne ekrany półtunelowe zlokalizowano na odcinku ulicy Toruńskiej pomiędzy węzłem Marywilska a węzłem Łabiszyńska, gdzie występuje największe natężenie ruchu. Warto odnotować, że rozwiązanie tego typu zastosowano w Polsce po raz pierwszy, gwarantując najwyższy poziom ochrony przed hałasem.

Lokalizacja półtuneli akustycznych w obrębie węzłów komunikacyjnych, która została dostosowana do klimatu akustycznego panującego na trasie Armii Krajowej, umożliwiła znacznie lepszą ochronę akustyczną budynków, szczególnie w obrębie wysokiej zabudowy, w porównaniu z konwencjonalnymi ekranami w formie ścian.

Konstrukcję półtuneli akustycznych zaprojektowano i wykonano w postaci stalowych łuków, o eliptycznym kształcie, na których zamontowano szklane panele akustyczne. Wysokość półtuneli akustycznych wynosi około 10 m, a ich długość dochodzi do około 1,2 km.

Jak już wspomniano, w decyzji środowiskowej zawarto wymóg zastosowania na odcinkach drogi Armii Krajowej ekranów półtunelowych [12]. W dokumencie tym określono również wytyczne w zakresie lokalizacji wszystkich typów ekranów w ramach realizowanej inwestycji, tj. ekranów pionowych, zakrzywionych i właśnie półtunelowych. Sprecyzowano również wymagania w zakresie funkcji ekranów półtunelowych, które w dolnej swej części oraz na wyjazdach mają za zadanie pochłaniać dźwięki, natomiast w części górnej dźwięki te odbijać (rys. 7).

Kluczowym zagadnieniem, było dobranie odpowiedniego materiału do wykonania obudowy akustycznej ekranów półtunelowych. Podstawowe wymaganie w zakresie minimalnych parametrów akustycznych wyrażonych przez jednoliczbowy ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej określono na poziomie $R_w = 39$ dB. Drugim kluczowym parametrem były względy bezpieczeństwa, w tym zminimalizowanie skutków uderzenia ptaków w obudowę. Uwzględniając te wymagania, zadaszenie półtuneli akustycznych wykonano jako przeszkłone z szyb zespolonych Pilkington Insulight™ Protect, które składa się z bezbarwnego szkła hartowanego gr. 6 mm od zewnątrz i laminowanego szkła bezpiecznego Pilkington Optilam™ gr. 8,8 mm od wewnątrz tunelu [12]. Przyjęte rozwiązanie klasyfikuje przegrodę na poziomie klasy P2A w zakresie jego bezpieczeństwa. Zastosowana technologia umożliwiła również w trakcie hartowania naniesienie metodą sitodruku znaków ostrzegających ptaki przed kolizją.

4. Podsumowanie

Przedstawiony w artykule ekran akustyczny w formie półtunelu stanowi rzadkie i nowatorskie rozwiązanie, które zostało po raz pierwszy zastosowane w naszym kraju. Należy mieć nadzieję, że wysokie koszty realizacji tego obiektu zostaną zrekompensowane znaczną redukcją hałasu w obrębie ich lokalizacji, dzięki czemu zmniejszeniu ulegną uciążliwości akustyczne na jakie narażeni są okoliczni mieszkańcy, w związku z dostosowaniem trasy Armii Krajowej do parametrów drogi ekspresowej.

LEGAL REGULATIONS FOR PROTECTION OF THE ENVIRONMENT FROM THE NOISE AND THE CURRENT REQUIREMENTS FOR PERMISSIBLE NOISE LEVEL IN POLAND

Abstract

The article describes the basic legal acts in Poland in the field of protection against the noise in the environment. Permissible noise levels associated with road and rail traffic and other activities, in areas with different purposes are described. The variations of the requirements that have taken place over the past years are also characterized. The permissible noise levels, defined by different acts, are compared. In addition, the basic acts associated with monitoring and management of noise pollution are presented.

Keywords: protection against the noise, legal regulations, permissible noise level

1. Introduction

Over the last century, mankind struggled with increasing environmental pollution. Noise is one of the most troublesome factors negatively affecting the environment, which causes that about half of the European population is at risk of losing health and even life.

The problem of noise pollution in many countries was recognized a few decades ago. The fight against noise pollution and its negative effects is a priority in the policy in the European Union, which resulted in the adoption in 2002, the so-called Noise Directive [1]. Some of its parts are explained in detail in [7, 9]. Legal effect of the introduction of the Directive [1] was harmonization of legislation concerning protection against the harmful effects of noise in the member countries, including Poland.

As a result of over ten years of the efficiency studies, concerning the requirements for protection against noise and, in particular, the use of methods for the construction of noise barriers, which are discussed in

[2, 5, 6, 8, 11], the liberalization of the requirements for permissible noise levels in the environment was adopted in 2012.

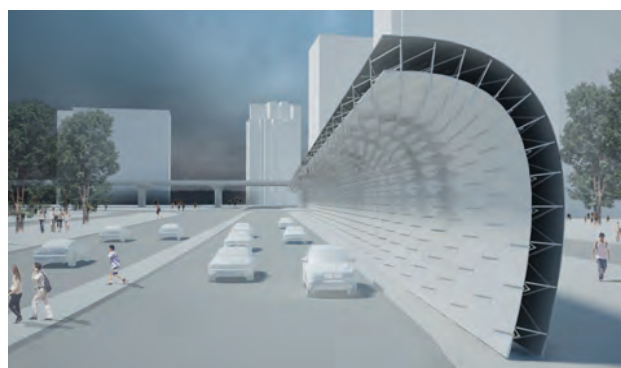


Fig. 1. A noise barrier [4]

Because of the importance of the issue and the wide-ranging discussions related to this problem, the article presents the current legal status of protection against the environmental noise as well as the recently revised regulations defining the specific requirements for acceptable levels of traffic noise in the environment.

2. Statutory regulations for the protection of the environment against noise

The main legislative document in Poland characterizing noise in the environment is the Environmental Protection Act [17]. The document was adopted to harmonize the national legislation with the law and the solutions adopted by the European Union. The scope of the Act covers the general principles of the protection of the environment and the conditions of use of its resources, taking into account the requirements of sustainable development. In particular, it defines the rules for determining the protection of environmental resources, the introduction of substances or energy into the environment, the cost of using the environment as well as the responsibilities of government, liability and sanctions [17].

Environmental Protection Act [17] defines and regulates a number of issues and requirements related to the protection against noise in the environment, which generally is defined as the sounds with frequencies from 16 Hz to 16 000 Hz.

Protection against noise in the Act [17] is based on providing the highest possible levels of acoustic environment. A key factor in this regard is to keep sound levels below permissible values or at least on that level. However, in the case of exceeding the permissible noise it should be reduced to a maximum tolerable level.

The Environmental Protection Act [17] contains a number of requirements for the spatial planning, which should be carried out taking into account the functions of the area in conjunction with the permissible noise levels set out in the detailed documents. In order to ensure adequate acoustic climate in the areas where the permissible sound level is exceeded, special programs of noise reduction should be adopted.

The Act [17] defines noise indicators which are the basic measures that allow the assessment of noise's negative effects. Noise indicators are defined as sound level expressed in decibels (dB). Noise indicators are used to conduct long-term policy for the protection of the environment against noise, used to prepare noise maps and noise protection programs. These indicators are:

- L_{DEN} – long-term average A sound level, which is determined during the whole year, every day (from 6.00 a.m. to 6.00 p.m.), evening (from 6.00 p.m. to 10.00 p.m.) and night (from 10.00

p.m. to 6.00 a.m.). The method of measurement and definition of L_{DEN} noise indicator is defined in [13].

- L_N – long-term average A sound level, determined during the year only at night (from 10.00 p.m. to 6.00 a.m.).

However, in order to determine and control acoustic conditions that prevail in the environment during one day, the following noise indicators are suggested:

- $L_{Aeq D}$ – equivalent A sound level for the day (from 6.00 a.m. to 10.00 p.m.).
- $L_{Aeq N}$ – equivalent A sound level for night time (from 10.00 p.m. to 6.00 a.m.).

The indicators described above are the basic ones that are referenced in anti-noise regulations and technical standards.

Thus, in accordance with [17], exceeding the permissible sound level is defined by exceeding the noise indicator $L_{Aeq D}$ or $L_{Aeq N}$. The area threatened by the noise is meant by the area where specified permissible noise levels indicators L_{DEN} or L_N are exceeded.

Environmental Protection Act [17] also imposes a requirement of state monitoring that enables the assessment of environmental noise and observing the changes taking place in it. This monitoring is carried out on the basis of the measured values of noise indicators L_{DEN} and L_N . It should also include other information, such as demographic information and data describing the way of the land use.

The Act [17] obliges to prepare noise maps every 5 years. An example of this type of map is shown in Figure 2.

Acoustic maps are documents that show the noise intensity in the particular area. They shall be made on copies of maps included in the state geodetic stock and based on measurements of traffic and industrial noise. Basic requirements for acoustic maps, as well as methods used in their preparation are described in detail in [9].

Act [17] defines three basic ranges of acoustic maps application:

- 1) informing the public about the dangers of noise,
- 2) development of data for the state environmental monitoring,
- 3) creation and update of programs protecting the environment against noise.

In conclusion, the Environmental Protection Act [17] is a basic and initial act concerning environmental noise. Many detailed regulations are contained in a

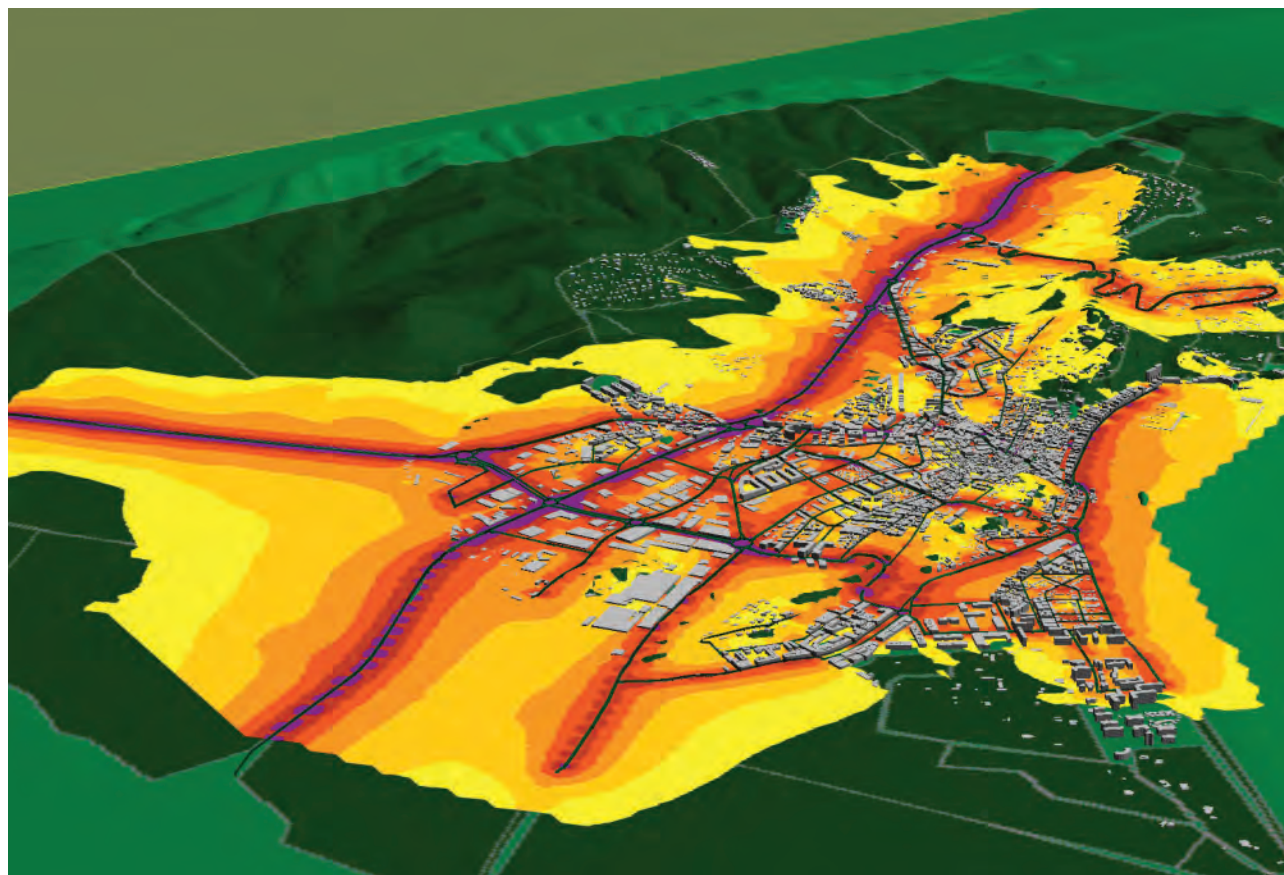


Fig. 2. Three-dimensional acoustic map of an agglomeration [3]

number of other regulations, as discussed below in relation to key documents.

3. Current requirements for permissible noise levels in Poland

Requirements for acceptable noise in Poland are set out in the Regulation of the Minister of Environment of 14th June 2007 On permissible levels of environmental noise [14]. This document clearly specifies noise limit values for different types of buildings and areas, depending on the time of day. Maximum noise levels [dB] are specified in this document in order to conduct a long-term policy on environmental noise. L_{DEN} , L_N , $L_{Aeq D}$ and $L_{Aeq N}$ indicators are used for assessing acoustic conditions that prevail in the environment during one day and night.

In October 2012 the requirements specified in [14] were liberalized, which resulted in the change [12]. Tables 1 and 2 show the current requirements for permissible noise levels in the environment caused by the different groups of noise sources, with exception of noise connected with power lines or starts and landings of aircrafts, for one day – ($L_{Aeq D}$ and $L_{Aeq N}$) and long – term assessment (L_{DEN} and L_N).

Comparative analysis of the data in Tables 1 and 2 [12] and the values specified in the previous regulation [14] shows that liberalization of requirements took place, for permissible noise levels for long term- and one day assessment, for roads and railways and all the types of area, excluding "A" protection zone of resorts and hospitals outside cities.

4. Other national legal regulations relating to the protection against noise

The Environmental Protection Act [17] suggests a number of other regulations detailing the various issues and requirements related to the protection against noise.

Thus, the level of penalties for exceeding the permissible noise level is given in the Announcement of the Minister of Environment of 27th September 2012 On the amount of fines for exceeding the maximum amount of sewage introduced into water or soil, and for exceeding the permissible sound level, in 2013 [10]. The amounts of these penalties are given in Table 3.

Table 1. Acceptable levels of noise in the environment caused by the different groups of noise sources, for one – day acoustic assessment, with exception of noise connected with power lines or starts and landings of aircrafts [12].

Type of an area	Acceptable noise levels [dB]			
	Roads or railways		Other objects and activities being a source of noise	
	$L_{Aeq D}$	$L_{Aeq N}$	$L_{Aeq D}$	$L_{Aeq N}$
	time reference interval equal to 16 hours	time reference interval equal to 8 hours	time reference interval equal to the least favorable 8 hours, succeeding	time reference interval equal to the least favorable 1 hour during the night
a) "A" protection zone of a resort b) Hospitals outside cities	50	45	45	40
a) Single-family housing areas b) Areas related to permanent or temporary residence of children and young people c) Nursing houses d) Hospitals in cities	61	56	50	40
a) Areas of multi-family housing and collective housing b) Areas of farm building c) Recreational areas d) Residential and service areas	65	56	55	45
Downtown areas in cities with over one hundred thousand inhabitants	68	60	55	45

Table 2. Permissible noise levels in the environment caused by the different groups of noise sources, for long-term acoustic assessment, with exception of noise connected with power lines or starts and landings of aircrafts [12].

Type of an area	Acceptable levels of A noise [dB]			
	Roads or railways		Other objects and activities being a source of noise	
	L_{DEN}	L_N	L_{DEN}	L_N
	time reference interval equal to all the days and nights in the whole year	time reference interval equal to all the nights in the whole year	time reference interval equal to all the days and nights in the whole year	time reference interval equal to all the nights in the whole year
a) "A" protection zone of a resort b) Hospitals outside cities	50	45	45	40
a) Single-family housing areas b) Areas related to permanent or temporary residence of children and young people c) Nursing houses d) Hospitals in cities	64	59	50	40
a) Areas of multi-family housing and collective housing b) Areas of farm building c) Recreational areas d) Residential and service areas	69	59	55	45
Downtown areas in cities with over one hundred thousand inhabitants	70	65	55	45

Table 3. Individual rates of penalties for exceeding the permissible sound level [10].

Excess over permissible level	in zloty for 1 dB of excess	
	During the day	During the night
from 1 to 5 dB	10.87	13.61
from 5 to 10 dB	19.03	23.12
from 10 to 15 dB	27.21	32.66
over 15 dB	40.79	48.99

The Decree of the Minister of Environment of 17th January 2003 [15] is also a regulation related to the Environmental Protection Act [17]. The document specifies types of measurements carried out in connection with the use of roads, railways, trams, airport and port. Results of measurements should be sent to the competent authorities of the environment. Deadlines for the results submission and the way of their presentation are described in detail in [15]. Regulation of the Minister of Environment of 25th April 2008 regulates the specific requirements of a register containing information about the acoustic state of environment [16].

5. Summary

The liberalization of the requirements for permissible noise levels in the environment caused by the different groups of sources, with the exception of noise from power lines and takeoffs, landing and departing aircrafts, which took place at the end of 2012, will have consequences in terms of the requirements imposed in studies related to environment carried out in connection with investments in the country. It is expected that the significant increase in noise levels by several decibels will result in a noticeable reduction in requirements for the use of protection barriers, especially in the need to build noise barriers.

References

- [1] Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise (Official Journal of the EC L 189/12, 18.07.2002).
- [2] Engel Z., Sadowski J., Stawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany akustyczne (Noise barriers)*. Wydawnictwa Ministerstwa Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Instytut Mechaniki i Wibroakustyki AGH, Kraków 1990.
- [3] <http://www.katowice.pios.gov.pl>
- [4] <http://www.vebidoo.de>
- [5] Kossakowski P.: *Ekran akustyczny o konstrukcji stalowej z wypełnieniem ziemnym (Steel noise barrier with ground filling)*. Materiały 58 Konferencji Naukowej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZiTb, Krynica – Rzeszów, 16-21 września 2012, pp. 338-339.
- [6] Kossakowski P.: *Ekran akustyczny o konstrukcji stalowej z wypełnieniem ziemnym (Steel noise barrier with ground filling)*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej Nr 283, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, zeszyt 59 (3/2012/IV), pp. 257-264.
- [7] Kossakowski P.: *Protection against noise in the European Union - general requirements, applied noise indicators and assessment methods*. Structure and Environment 3, 4 (2011), pp. 38-45.
- [8] Kossakowski P.: *Stalowo-ziemny ekran akustyczny (The steel-ground noise barrier)*. Drogi: budownictwo infrastrukturalne, 12 (2012), pp. 49-57.
- [9] Kossakowski P.: *Strategic noise maps*, Structure and Environment, 4, 3, 35-43, 2012.
- [10] Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2012 r. w sprawie wysokości stawek kar za przekroczenie warunków wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi oraz za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu, na rok 2013. (M.P. 2012 nr 0 poz. 705).
- [11] *Oslony przeciwhałasowe w ruchu drogowym (Anti-noise barriers in road traffic)*, Praca zbiorowa. Studia i materiały, zeszyt 64, IBDiM, Warszawa 2011.
- [12] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, (Dz.U. 2012 nr 0, poz. 1109).
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 4 czerwca 2007 r. w sprawie ustalania wartości wskaźnika hałasu L_{DWN} , (Dz.U. 2007 nr 106, poz. 729).
- [14] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, (Dz.U. 2007 nr 120 poz. 826).
- [15] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 stycznia 2003 r. w sprawie rodzajów wyników pomiarów prowadzonych w związku z eksploatacją dróg, linii kolejowych, linii tramwajowych, lotnisk oraz portów, które powinny być przekazywane właściwym organom ochrony środowiska, oraz terminów i sposobów ich prezentacji (Dz.U. 2003 nr 18, poz. 164).
- [16] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 kwietnia 2008 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących rejestru zawierającego informacje o stanie akustycznym środowiska (Dz.U. 2008 nr 82, poz. 500).
- [17] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 nr 62, poz. 627).

Paweł Kossakowski
Wiktor Wciślik

Regulacje prawne w zakresie ochrony środowiska naturalnego przed hałasem oraz aktualne wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu obowiązujące w Polsce

1. Wstęp

Na przestrzeni ostatniego wieku ludzkość zmagą się z coraz większym zanieczyszczeniem środowiska naturalnego. Jednym z najbardziej uciążliwych czynników negatywnie wpływających na otoczenie jest hałas, powodujący, że około połowa populacji Europy jest narażona na utratę zdrowia, a nawet życia.

Problem zagrożenia hałasem w wielu krajach został dostrzeżony już kilkadziesiąt lat temu. Walka z hałasem oraz jego negatywnymi skutkami jest jednym z priorytetów polityki prowadzonej w Unii Europejskiej, czego efektem było uchwalenie w 2002 roku tzw. Dyrektywy Hałasowej [1], której pewne elementy omówiono szerzej w [7, 9]. Skutkiem prawnym wprowadzenia Dyrektywy [1] było zharmonizowanie prawodawstwa w krajach członkowskich, w tym również w Polsce, w zakresie ochrony przed negatywnymi skutkami hałasu.

W wyniku prowadzonych przez kilkanaście lat analiz efektywności oraz zasadności wymogów w zakresie ochrony przed hałasem, a w szczególności stosowania metod polegających na budowie ekranów akustycznych, które omówiono w [2, 5, 6, 8, 11], pod koniec 2012 roku dokonano liberalizacji wymagań w zakresie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, zmieniając w tym zakresie obowiązujące przepisy.

Z uwagi na ważkość problematyki oraz szerokie dyskusje z nią związane, w artykule przedstawiono aktualny stan prawny w zakresie ochrony środowiska przed hałasem, jak również podano niedawno zmienione wymagania szczegółowe w zakresie dopuszczalnych poziomów hałasu komunikacyjnego w środowisku naturalnym, obowiązujące w polskim prawodawstwie.

2. Regulacje ustawowe w zakresie ochrony środowiska naturalnego przed hałasem

Podstawowym aktem prawnym w Polsce regulującym problematykę hałasu w środowisku naturalnym jest Ustawa Prawo ochrony środowiska [17]. Dokument ten został uchwalony między innymi w celu zharmonizowania przepisów krajowych z prawem i rozwiązaniami przyjętymi przez Unię Europejską w zakresie szeroko rozumianej ochrony środowiska naturalnego. Zakres tej ustawy obejmuje ogólne zasady ochrony środowiska, a także warunki korzystania z jego zasobów z uwzględnieniem wymagań zrównoważonego rozwoju.

Prawo ochrony środowiska [17] określa i reguluje szereg zagadnień oraz wymagań związanych z ochroną przed hałasem w środowisku, który generalnie definiowany jest w tym akcie jako dźwięki o częstotliwościach od 16 Hz do 16 000 Hz.

W ustawie [17] zdefiniowano wskaźniki hałasu będące podstawowymi miarami pozwalającymi na ocenę jego negatywnych efektów, definiowane poziomem dźwięku wyrażonym w decybelach (dB). Wskaźniki hałasu stosowane w celu prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony środowiska przed hałasem, używane m.in. przy sporządzaniu map hałasu oraz programów ochrony przed hałasem to:

- L_{DWN} – długookresowy średni poziom dźwięku A, który jest wyznaczany w ciągu całego roku, każdej doby w porze dnia (od godz. 6⁰⁰ do godz. 18⁰⁰), wieczoru (od godz. 18⁰⁰ do godz. 22⁰⁰) oraz nocy (od godz. 22⁰⁰ do godz. 6⁰⁰); sposób pomiaru i definicję wskaźnika hałasu L_{DWN} określono w [13].

- L_N – długookresowy średni poziom dźwięku A, wyznaczany w ciągu roku jedynie w porze nocy (od godz. 22⁰⁰ do godz. 6⁰⁰).

Natomiast w celu ustalania i kontroli warunków akustycznych jakie panują w środowisku w okresie jednej doby stosuje się następujące wskaźniki hałasu:

- $L_{Aeq D}$ – równoważny poziom dźwięku A dla pory dnia (od godz. 6⁰⁰ do godz. 22⁰⁰),
- $L_{Aeq N}$ – równoważny poziom dźwięku A dla pory nocy (od godz. 22⁰⁰ do godz. 6⁰⁰).

Powyższe wskaźniki są podstawowymi parametrami referencyjnymi przywoływanymi w rozporządzeniach dotyczących wymagań przeciwhałasowych oraz normatywach technicznych.

I tak, w myśl ustawy [17] za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu uważa się przekroczenie wskaźnika hałasu $L_{Aeq D}$ lub $L_{Aeq N}$. Z kolei przez teren zagrożony hałasem rozumie się teren, na którym są przekroczone dopuszczalne poziomy hałasu określone wskaźnikami L_{DWN} lub L_N .

Ustawa Prawo ochrony środowiska [17] narzuca również wymóg prowadzenia państwowego monitoringu, który umożliwia ocenę stanu akustycznego środowiska i obserwację zachodzących w nim zmian. Monitoring ten prowadzony jest w oparciu o wyniki pomiarów poziomów hałasu, na podstawie zmierzonych wartości wskaźników hałasu L_{DWN} i L_N . Należy również uwzględnić inne informacje, takie jak dane demograficzne oraz dane dotyczące sposobu zagospodarowania i użytkowania analizowanego terenu.

Ustawa [17] określa trzy podstawowe zakresy zastosowania map akustycznych, a mianowicie:

- 1) informowanie społeczeństwa o zagrożeniach środowiska hałasem,
- 2) opracowanie danych dla państwowego monitoringu środowiska,
- 3) tworzenie i aktualizacja programów ochrony środowiska przed hałasem.

Podsumowując, ustawa Prawo ochrony środowiska [17] to podstawowy i wyjściowy akt prawny w zakresie ochrony środowiska przed hałasem. Wiele szczegółowych regulacji zawarto w szeregu innych rozporządzeniach, co omówiono poniżej w odniesieniu do najważniejszych dokumentów.

3. Aktualne wymagania w zakresie dopuszczalnych poziomów hałasu w Polsce

Wymagania w zakresie dopuszczalnego hałasu obowiązujące w Polsce określono w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów

hałasu w środowisku [14]. W dokumencie tym precyzyjnie określono dopuszczalne wartości hałasu dla różnych rodzajów obiektów i terenów w zależności od pory dnia. Określono dopuszczalne poziomy hałasu w [dB] dla prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony środowiska przed hałasem wyrażone wskaźnikami L_{DWN} i L_N oraz dopuszczalne wskaźniki hałasu $L_{Aeq D}$ i $L_{Aeq N}$ dla oceny warunków akustycznych jakie panują w środowisku w okresie jednej doby.

W październiku 2012 roku wymagania określone w [14] zostały nieco zliberalizowane, czego efektem była ich zmiana [12]. Wymagania zawarte w [12] przedstawiono w tabelach 1 i 2.

4. Inne krajowe regulacji prawne związane z ochroną przed hałasem

Z zapisów ustawy Prawo ochrony środowiska [17] wynika szereg innych rozporządzeń szczegółowo określających poszczególne zagadnienia i wymogi związane z ochroną przeciw hałasowi.

I tak, wysokości kar za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu określone zostały w Obwieszczeniu Ministra Środowiska z dnia 27 września 2012 r. w sprawie wysokości stawek kar za przekroczenie warunków wprowadzania ścieków do wód lub do ziemi oraz za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu, na rok 2013 [10]. Wysokości tych kar podano w tabeli 3.

Aktami powiązanymi z ustawą Prawo ochrony środowiska [17] są również Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 stycznia 2003 r. określające rodzaje wyników pomiarów prowadzonych w związku z eksploatacją dróg, linii kolejowych, linii tramwajowych, lotnisk oraz portów, które powinny być przekazywane właściwym organom ochrony środowiska, oraz terminów i sposobów ich prezentacji [15] oraz Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 kwietnia 2008 r. regulujące szczegółowe wymagania dotyczących rejestru zawierającego informacje o stanie akustycznym środowiska [16].

5. Podsumowanie

Liberalizacja wymagań w zakresie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku spowodowanego przez poszczególne grupy źródeł, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, jaka miała miejsce pod koniec 2012 roku, będzie miała konsekwencje w zakresie wymagań narzucanych w opracowa-

niach związanych z ochroną środowiska wykonywanych w ramach realizowanych inwestycji w naszym kraju. Należy spodziewać się, że istotne podwyższenie dopuszczalnych poziomów hałasu o kilka decybeli będzie skutkowało zauważalną redukcją wymagań w zakresie stosowania środków ochrony przeciwhałasowej, w tym szczególnie w zakresie konieczności budowy ekranów akustycznych.

JUDYTA PIÓRCZYK¹
BARTOSZ JASIONOWSKI²
EWA STAŃCZYK³

Kielce University of Technology

¹jpiorczyk@tu.kielce.pl

²jasionowskibartosz@gmail.com

³ewajaroszek1@interia.pl

A BRIEF OVERVIEW OF THE APPLICABILITY OF FISH METHODS IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Abstract

Fluorescent in situ hybridization (FISH) is a commonly used method for the detection of microorganisms in heterogeneous environment. It is primarily used for quantitative analysis of microorganisms. FISH gives possibilities of evaluating activities of some bacteria and their physiological state in the environment. In the recent years, fluorescent in situ hybridization has been improved and adapted for the research on environmental samples.

Keywords: FISH (fluorescence in situ hybridization), technological research, environmental protection

1. Introduction

The molecular methods which are commonly used in medicine are increasingly used in environmental research. Although the implementation of many of them is a very time-consuming project, it appears to be profitable. The molecular method for microorganisms detection does not require medium for microbiological culture, which gives the possibility of an opportunity to expand range of analyzed bacteria. In addition, the analysis of a genetic material has a high repeatability and sensitivity. In environmental engineering, FISH is a new method which allows to make quantitative and qualitative characterization of the taxonomic structures of bacteria without the need for cultures. Originally developed in 1969, the FISH method was used for detection of nucleotides. Since 1980, the number of applications of this method in the research has increased, mainly due to the development of epifluorescence microscope associated with digital image processing [8]. Initially the method was used for detection of the presence or absence of the specific DNA sequences in chromosomes. Since the results of Amman et al. [3], this method has been applied in the studies of environmental samples. This article presents increasingly use of the FISH method.

2. Overview of the FISH methods

In the FISH method a specific fluorescent probes are used, prepared in the way that makes them complementary to DNA or RNA to be detected. These probes are labeled with fluorophores, fluorescent dyes, which allow the detection of the microorganisms to use the epifluorescence microscopes.

In research on bacteria the detection of 16S and 28S rRNA is mainly used, for which oligonucleotide probes (usually 15 to 30 nucleotides) are designed with fluorescent marker linked on the 5'-end. Markers are unimolecular dyes such as fluorescein, Oregon Green, Texas Red, indocarbocyanine, Nile red, Cy3 or Cy5 [15], [9]. Currently, probe creation is not a complicated process. The probe creation is an integration of the selected dye with the oligonucleotides complementary to genetic material to be marked. The databases useful in this area can be found on <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>. Many companies offer the production of selected fluorescent probes.

The basic FISH protocol includes four main steps. The first step is a conjugation and permeabilisation of the sample on the microscope slide. Second part is a probe hybridization with the material to be examined, which is preceded by denaturation of both target DNA/

RNA and probe. The hybridization conditions are adjusted accordingly in order to achieve a compromise between the nature and intensity of the signal and preservation of the morphology of the sample. This step may last several hours. The third step is rinsing of the material in order to wash out the unbound probes, probes nonspecifically bound to the target material and probes bound with not complementary, free bases. The last step involves detection with fluorescence microscope, immunochemical detection or by using a flow cytometry [15]. At present, the confocal and fluorescence microscopes are most commonly being used for detection. In these types of microscopes, the sample is illuminated with light of a suitable wavelength, which is absorbed by the fluorophore which then emits the beam of a higher wavelength, which is received by the detector and processed to an image. It should be remembered that many samples have self-luminous objects, and illumination beam should only stimulate the appropriate dyes [6]. For detection with fluorophores, the photobleaching of the sample should also be taken into account, such fast and efficient work and good knowledge of microscope handling are required. FISH is a relatively quick method in which results are available after few hours. It can be combined with standard methods of microorganisms counting.



Fig 1. Fluorescent Microscopy Research Position at Kielce University of Technology

In some materials structures showing autofluorescence may be present, which significantly disrupts and falsifies results. This effect might be eliminated – a special substance should be added during the separation of the sample in order to reduce the non-specific background signal. However, very often these methods are not sufficient. Increasingly, the images obtained by the FISH method are processed numerically, using the specialist computer software.

Increasing number of markers used in one experiment hinders the efficient detection of appropriate structures.

Using more than one dye, it should be chosen well, taking into account the intensity of the fluorophores emission and the possibility of overlapping of light signals derived from various dyes. The first two-color detection was carried out by the research team Hopmann et al in 1986 [15].

Microsensors combined with FISH are used in research of biological activity in the biofilms [4]. *Cyanodotyl tetrazolinum chloride* (CTC) with FISH is used for detection of activity of aerobic bacteria. CLASI-FISH (combinatorial labeling and spectral imaging) and DOPE-FISH (double labeling of oligonucleotide probes) appeared to be useful in identification of many microorganisms simultaneously [18], [5]. One of the newest variations is RCA-FISH (rolling circle amplification) used for detection of the genes responsible for denitrification process [19]. Probably the safest of FISH methods is FISH-BrdU (5-bromo2-deoxy-uridine) [12]. FISH-DVC (direct viable count) is a method used in the research of water with small number of bacteria [10].

3. Conclusion

The FISH method is used in medical research of many types of cells and tissues [14]. It is a basic technique in cytogenetic research such as chromosome mapping, identification of mutation site in karyotype [13], [1], in the research on neoplastic cells, and with PCR (polymorphism chain reaction) is used in preimplantation diagnosis and prenatal testing.

In environmental engineering, fluorescence in situ hybridization is used in identification and visualization of the species (bacteria) in environmental research. It is used to determine morphology and species composition of the soil, surface water [16], [2], the marine and oceanic bacterioplankton [11], and research on activated sludge and biofilms formed on surfaces in contact with natural or technological water or with waste [17]. It is possible to determine the structure of flocks and granules of activated sludge using FISH. Research on the active sludge is hindered by the uniqueness of the sludge structure [7], its extensive surfaces, and spatially heterogenic chemical composition and morphology. For this reason, in comparison with the number of articles about use of the method in medicine, there are relatively few papers concerning FISH method used in research on active sludge structure.

Acknowledgement

We are most grateful to Professor Janusz Łomotowski of Kielce University of Technology for his time, support, guidance and corrections.

References

- [1] Alba E. Vegaa, Teresa Alarcónb, Diego Domingob, Manuel López-Brea.: *Detection of clarithromycin-resistant Helicobacter pylori in frozen gastric biopsies from pediatric patients by a commercially available fluorescent in situ hybridization*, Diagnostic Microbiology and Infectious Disease 59, 2007.
- [2] Smyłka A.: *Zagrożenia bakteryjne wód powierzchniowych*, Zakład Mikrobiologii i Biotechnologii Akademii Jana Długosza Częstochowa.
- [3] Amann R.I., Binder B.J., Olson R.J., Chisholm S.W., Devereux R., Stahl D.A.: *Combination of 16S rRNA-Targeted Oligonucleotide Probes with Flow Cytometry for Analyzing Mixed Microbial Populations*, Appl. Environ. Microbiol., 1990.
- [4] Aoi Y.: *In Situ Identification of Miceroorganisms in Biofilm Communities*, J. Biosci. Bioeng., 2000.
- [5] Behnam F., Vilcinskas A., Wagner M., Stoecker K.: *Straightforward DOPE-FISH Method for Simultaneous Multicolor Detection of Six Microbial Populations*, Appl. Environ. Microbiol., 2012.
- [6] Carl Zeiss Microscopy GmbH, Operating manual LSM 700. May 2012.
- [7] Delatolla R., Tufenkji N., Comeau Y., Lamarre D., Gadbois A., Berk D.: *In situ characterization of nitrifying biofilm: Minimizing biomass loss and preserving perspective*, Wat. Res., 2009.
- [8] Jeffrey M. Levisky And Robert H. Singer.: *Fluorescence in situ hybridization: past, present and future*, Journal of Cell Science 116, 2003.
- [9] ZWIRGLMAIER KATRIN.: *Fluorescence in situ hybridisation [FISH] – the next generation*. FEMS Microbiology Letters 246, 2005.
- [10] Larsson S., Mezule L., Juhna T.: *Applicability of biofilm sampling for detection of pathogens in drinking water distribution networks*. Data from coupons and concentration methods. TECHNEAU, D.3.8.3, March 2009.
- [11] Michael Neumann, Detlef Gabel.: *Simple Method for Reduction of Autofluorescence in Fluorescence Microscopy.*, J Histochem Cytochem 2002.
- [12] Moralli D., Monaco Z.L. *Simultaneous Detection of FISH Signals and Bromo-Deoxyuridine Incorporation in Fixed Tissue Cultured Cells*. PLoS ONE, 2009.
- [13] Pinkel D.: *Fluorescence in situ Hybridization with Human Chromosome-Specific Libraries: Detection of Trisomy 21 and Translocations of Chromosome 4*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 1988.
- [14] Poppert, Sven, Riecker, Melanie, Essig, Andreas. *Rapid identification of Propionibacterium acnes from blood cultures by fluorescence in situ hybridization*. Diagnostic Microbiology and Infectious Disease 66, 2010.
- [15] Rudolf Amann, Bernhard M Fuchs, Sebastian Behrens.: *The identification of microorganisms by fluorescence in situ Hybridisation*. Current Opinion in Biotechnology 2001.
- [16] Stefano Fazi, Stefano Amalfitano, Ilaria Pizzetti, Jakob Pernthaler.: *Efficiency of fluorescence in situ hybridization for bacterial cell identification in temporary river sediments with contrasting water content*, Systematic and Applied Microbiology 30, 2007.
- [17] Traczewska T.M., Sitarska M.: *Development of biofilm on synthetic polymers used in water distribution*. Environ. Prot. Eng., 2009.
- [18] Wagner M., Haider S.: *New trends in fluorescence in situ hybridization for identification and functional analyses of microbes*. Curr. Opin. Biotechnol., 2012.

Judyta Piórczyk
Bartosz Jasionowski
Ewa Stańczyk

KRÓTKI PRZEGLĄD ZASTOSOWAŃ METOD FISH W INŻYNIERII ŚRODOWISKA

1. Wstęp

Metody badań molekularnych powszechnie wykorzystywane w medycynie coraz częściej znajdują zastosowanie w badaniach środowiskowych. Chociaż wdrożenie wielu z nich jest bardzo czasochłonnym przedsięwzięciem, okazuje się to opłacalne. Molekularne metody detekcji mikroorganizmów nie wymagają hodowli drobnoustrojów na podłożach bio-

logicznych, dzięki czemu możliwe jest rozszerzenie zakresu analizowanych bakterii. Analiza materiału genetycznego dodatkowo charakteryzuje się dużą powtarzalnością i czułością. FISH w inżynierii środowiska jest nową metodą umożliwiającą jakościową i ilościową charakterystykę struktur taksonomicznych bakterii bez konieczności ich hodowli. Pierwotnie, odkryta w 1969 roku, metoda FISH służyła do detekcji nukleotydów. Począwszy od 1980 roku

wzrosła liczba zastosowań tej metody w badaniach, głównie dzięki rozwojowi mikroskopów epifluorescencyjnych skojarzonych z cyfrową obróbką obrazów [8]. Stosowana pierwotnie do wykrywania obecności lub braku specyficznych sekwencji DNA w chromosomach począwszy od wyników prac Ammana i in. [3] znalazła zastosowanie do badań próbek środowiskowych.

2. Przegląd metod FISH

W metodzie FISH stosowane są specyficzne sondy fluorescencyjne przygotowane w taki sposób, iż są komplementarne do odcinków DNA lub RNA, które chcemy oznaczyć. Sondy te są znakowane fluoroforami, barwnikami fluorescencyjnymi, dzięki którym jest możliwa detekcja mikroorganizmów z wykorzystaniem mikroskopów epifluorescencyjnych.

W badaniach bakterii wykonuje się przeważnie detekcję 16S lub 23S rRNA, do których są projektowane sądy oligonukleotydowe z przyłączonymi znacznikami fluorescencyjnymi. Znacznikami są jednocząsteczkowe barwniki np. fluoresceiny, Oregon Green, Texas red, indokarbocyaniny, Nile red, Cy3 czy Cy5 [15], [9].

W podstawowym protokole wymienione są cztery procesy. Pierwszym etapem jest połączenie i permeabilizacja próbki na szkiełku mikroskopowym, drugim jest hybrydyzacja sondy z badanym materiałem, proces ten jest poprzedzony denaturacją zarówno badanego DNA/RNA jak i sondy. Trzecim procesem jest przymywanie materiału w celu wypłukania niezwiązanych sond, niespecyficznie związanych z materiałem badanym, oraz związanych z niezupełnie komplementarnymi, wolnymi zasadami. Ostatni, czwarty etap obejmuje detekcję za pomocą mikroskopu fluorescencyjnego, metod immunochemicznych, bądź z wykorzystaniem cytometru przepływowego [15]. Obecnie głównie dokonuje się detekcji za pomocą mikroskopów epifluorescencyjnych lub konfokalnych.

W niektórych materiałach mogą występować struktury wykazujące autofluorescencję znacznie zakłócającą i fałszującą wyniki. W celu eliminacji tego zjawiska w czasie izolacji próbek dodaje się specjalnych substancji, dzięki czemu zmniejsza się niespecyficzny sygnał tła. Bardzo często metody te jednak nie są w pełni wystarczające. Coraz częściej obrazy uzyskiwane metodą FISH poddaje się obróbce numerycznej z wykorzystaniem specjalistycznych programów komputerowych.

Zwiększająca się ilość używanych w jednym badaniu znaczników utrudnia również sprawną detekcję odpowiednich struktur. Wykorzystując więcej niż je-

den barwnik trzeba dobrze je dobrać, uwzględniając intensywność emisji fluoroforów oraz możliwość nakładania się sygnałów świetlnych pochodzących od różnych barwników. Pierwsza dwukolorowa detekcja przeprowadzona została przez zespoły badawcze Hopmann i inni w 1986 r. [15].

Wykorzystanie mikrosensorów z FISH znajduje zastosowanie w badaniach aktywności biologicznej w biofilmach [4]. Cyanodityryl tetrazolium chloride [CTC] razem z FISH służy do wykrywania aktywności tlenowych bakterii. Przydatne przy ocenie wielu mikroorganizmów jednocześnie okazały się CLASI-FISH (acombinatorial labeling and spectral imaging), oraz DOPE-FISH (double labeling of oligonucleotide probes) [18], [5]. Jedną z najnowszych odmian jest RCA-FISH (rolling circle amplification) wykorzystana w celu detekcji genów odpowiedzialnych za proces denitryfikacji [18]. Prawdopodobnie najbezpieczniejsza z odmian jest FISH-BrdU [5-Bromo 2-deoxy-uridine] [12]. FISH-DVC (direct viable count) jest metodą stosowaną do badań wody z małą liczbą bakterii [10].

3. Podsumowanie

W inżynierii środowiska fluorescencyjna hybrydyzacja in situ jest wykorzystywana w celu oznaczania i wizualizacji gatunków organizmów (bakterii) w badanym środowisku. Stosowany jest do określania morfologii i składu gatunkowego gleb, wód powierzchniowych [16], [2], morskich i oceanicznych bakterioplanktonu [11] oraz badaniach osadu czynnego i biofilmów powstających na powierzchniach kontaktujących się z wodami naturalnymi lub technologicznymi albo ściekami [17]. Dzięki FISH można dziś określać strukturę kłaczków i granul osadu czynnego [7]. Prowadzenie badań osadu czynnego jest utrudnione przez niepowtarzalność struktury osadu, rozbudowaną powierzchnię oraz niejednorodny przestrzennie skład chemiczny i morfologiczny. Z tego powodu, jak do tej pory w literaturze przedmiotu, w porównaniu z ilością artykułów z zakresu badań medycznych z zastosowaniem metod FISH, artykułów z zakresu badań struktur osadu czynnego jest stosunkowo niewiele.

THE TEMPERATURE DISTRIBUTION AROUND THE SINGLE VERTICAL GROUND HEAT EXCHANGER CALCULATED BY THE USAGE OF THE METHOD OF ELEMENTARY BALANCES

Abstract

The article describes the process of unsteady heat transfer that occurs between the vertical ground heat exchanger and the surrounding soil at a depth that is independent from the temperature on the ground surface. A mathematical model of this phenomenon and its exemplary solution using the method of elementary balances were presented. Numerical calculations using Mathcad were applied. As a result, the set temperature field is formed in the heat exchanger wall and the surrounding ground.

Keywords: vertical ground heat exchanger, heat transfer, non-stationary state, temperature field, the method of elementary balances

1. Introduction

These times, in order to cover the demand of the building to heat or cold are increasingly being used for compressor heat pump which uses the lower ground as a source of the heat. The most effective way of obtaining of low-temperature heat from the ground is to place a vertical ground heat exchanger, filled with intermediate fluid- circular. During the operation of the pump in the heating mode, the refrigerant that circulates in the vertical heat exchanger extracts heat from the surrounding ground. It causes, in the initial period of the operation, a significant drop in natural, undisturbed ground temperature under consideration for a given length of the exchanger. The duration of non-stationary conditions can be different. Only after a few decades of operation of geothermal heat pump stationary conditions occur. During the first years of the geothermal heat pump there is a primarily mechanism of heat conduction in the radial direction. After some time a process of a three-dimensional appears [1].

This project presents a single computational model of vertical ground heat exchanger for non-stationary conditions. The heat transfer using a cylindrical model is shown, which was established in order to facilitate a one-dimensional heat flow (only in the direction

to r). Between the ground heat exchanger wall and the surrounding ground there is the heat conduction, while the possible movement of deep water or groundwater is omitted. The driving force of the process of the heat transfer is the temperature gradient understood as the difference between the temperature of the heat exchanger wall and the undisturbed soil temperature profile. And the distance gradient defines the difference between radiuses of the heat exchanger and the ground at the site of undisturbed temperature. In order to determine the heat flux, to raise the potential of one meter from the hole, the case should be considered at limited only to what is happening on the surface of the borehole wall by taking the boundary condition of the third type, the convective heat transfer between the wall of the heat exchanger and the fluid which fills it. The heat flux taken from the ground and the temperature distribution in the wall of the heat exchanger and the surrounding ground always depends on the time, in the non-stationary processes.

2. A mathematical model of the heat transfer in the vertical ground heat exchanger

Unsteady one-dimensional heat conduction through the layer of soil, soil density, heat capacity and thermal

conductivity of the ground and the material from which the wall is made of the heat exchanger were founded. The solution to the equations of the heat exchange model [1] using the method of elementary balances was obtained. The test area was divided into geometric elements, for which the energy balance sheet based on the following assumptions was prepared:

- The temperature of the surrounding medium is always constant and unchanging $T_k = \text{const}$ (Fig. 1).
- The temperature of the transfer medium is always constant and unchanging $T_f = \text{const}$.
- A one-dimensional temperature field $\Rightarrow$ one-dimensional heat movement in the direction of r .
- Heat is supplied from the outer surface through convection with a constant thermal diffusion coefficient $\alpha = \text{const}$.
- The initial temperature of the system is equal to the initial temperature of the soil.
- An element with a length of 1 m, which is located on the depth at which the temperature is independent from the temperature on the ground surface is taken to determine the temperature field in the ground.
- Constant wall parameters (c_{pr} , ρ_r , λ_r) and ground (c_{pgr} , ρ_{gr} , λ_{gr}) are known.
- The ground is homogeneous.
- There are no internal heat sources.
- Each element is represented by a node that is located in the center of gravity of the element, which focuses the whole heat capacity of the element in question.
- The whole the area in question is symmetrical about an axis which is located in the core of the transfer medium.

With the foregoing assumptions, the governing equations of the problem can be written as follows:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_g \cdot (T_1 - T_f) = \lambda \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_{r=r_1} \\ c_{pr} \cdot \rho_r \cdot \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = \lambda_r \cdot \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial r} \right)_{r_1 > r > r_2} \\ \begin{array}{l} q_1 = q_2 \\ T_1 = T_2 \end{array} \\ c_{pgr} \cdot \rho_{gr} \cdot \frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \lambda_{gr} \cdot \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T_2}{\partial r} \right)_{r_2 > r > r_k} \\ T = T_k = \text{const}_{r=r_7} \end{array} \right. \quad (1)$$

where:

α – thermal diffusion coefficient, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,
 λ – thermal conductivity coefficient, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,
 ρ – density, kg/m^3 ,
 c_p – specific heat capacity, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,
 q – heat transfer rate per unit depth, (W/m) ,
 T – temperature, $(^\circ\text{C})$,

r – radius, (m),

$\Delta\tau$ – time (s),

The figure below shows the heat transfer simulation model created for the case. In the scheme a symmetrical division of ground accumulative layer into seven layers with thermal capacity was adopted. There are five identical and two smaller layers which are the result of the dimensions of the ground heat exchanger.

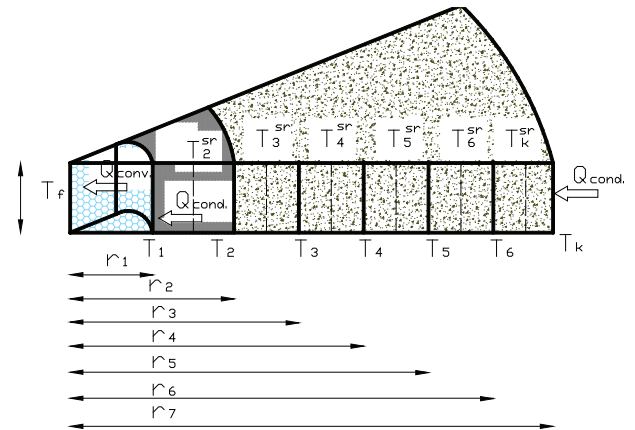


Fig. 1. The division of the analyzed segment of ground on the computational layer

In the non-stationary conditions, assuming isobaric heat flow, the heat inflow to the relevant node or nodes from the adjacent or surface of the body will increase in enthalpy. Energy balance equation in the nodes in each intervals of can be written as follows:

$$\begin{cases} Q_1 = Q_2 + \Delta Q \\ Q_2 = Q_3 + \Delta Q \\ Q_3 = Q_4 + \Delta Q \rightarrow \\ Q_4 = Q_5 + \Delta Q \\ Q_6 = Q_k + \Delta Q \end{cases}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha(T_1^i - T_f)2\pi l \frac{d_w}{2} - \frac{\lambda_r 2\pi l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (T_2^i - T_1^i) = \frac{2\pi (d_2^2 - d_1^2)}{4} l \rho_r c_r \Delta T_2^{gr} \\ \frac{\lambda_r 2\pi l}{\ln \frac{d_2}{d_1}} (T_2^i - T_1^i) - \frac{\lambda_{gr} 2\pi l}{\ln \frac{d_3}{d_2}} (T_3^i - T_2^i) = \frac{2\pi (d_3^2 - d_2^2)}{4} l \rho_{gr} c_{gr} \Delta T_3^{gr} \\ \frac{\lambda_{gr} 2\pi l}{\ln \frac{d_3}{d_2}} (T_3^i - T_2^i) - \frac{\lambda_{gr} 2\pi l}{\ln \frac{d_4}{d_3}} (T_4^i - T_3^i) = \frac{2\pi (d_4^2 - d_3^2)}{4} l \rho_{gr} c_{gr} \Delta T_4^{gr} \\ \frac{\lambda_{gr} 2\pi l}{\ln \frac{d_4}{d_3}} (T_4^i - T_3^i) - \frac{\lambda_{gr} 2\pi l}{\ln \frac{d_5}{d_4}} (T_5^i - T_4^i) = \frac{2\pi (d_5^2 - d_4^2)}{4} l \rho_{gr} c_{gr} \Delta T_5^{gr} \\ \frac{\lambda_{gr} 2\pi l}{\ln \frac{d_5}{d_4}} (T_5^i - T_4^i) - \frac{\lambda_{gr} 2\pi l}{\ln \frac{d_6}{d_5}} (T_6^i - T_5^i) = \frac{2\pi (d_6^2 - d_5^2)}{4} l \rho_{gr} c_{gr} \Delta T_6^{gr} \\ \frac{\lambda_{gr} 2\pi l}{\ln \frac{d_6}{d_5}} (T_6^i - T_5^i) - \frac{\lambda_{gr} 2\pi l}{\ln \frac{d_7}{d_6}} (T_7^i - T_6^i) = \frac{2\pi (d_7^2 - d_6^2)}{4} l \rho_{gr} c_{gr} \Delta T_7^{gr} \end{array} \right. \quad (2)$$

3. The example of calculation

The numerical calculations by means of Mathcad were presented. The following data were used. The

average temperature of the transfer medium (ethylene glycol – 38%) in the heat exchanger is $T_f = -3^\circ\text{C}$ and its parameters are: $c_{pg} = 3430 \text{ J/kg/K}$, $\rho_g = 1055 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_g = 0.45 \text{ W/(mK)}$ [2] and calculated $\alpha = 6970 \text{ W/(m}^2 \text{ K)}$. The adopted ground has following properties: $\lambda_{gr} = 0.45 \text{ W/(mK)}$, $c_{pgr} = 1440 \text{ J/kg/K}$, $\rho_{gr} = 1300 \text{ kg/m}^3$ and the heat exchanger of dimensions $d_w = 0.021 \text{ m}$ and $d_z = 0.025 \text{ m}$ made of material with the following parameters: $\lambda_r = 0.5 \text{ W/(mK)}$, $c_{pgr} = 4430 \text{ J/kg/K}$, $\rho_{gr} = 1155 \text{ kg/m}^3$. It is assumed that the constant undisturbed ground temperature at a distance $r_7 = 2.5 \text{ [m]}$ is $T_k = T_g = 10^\circ\text{C}$.

The Figure below shows the results of made simulations. The Figure 2 illustrates the temperature changes in the various nodes of the model in the subsequent time intervals.

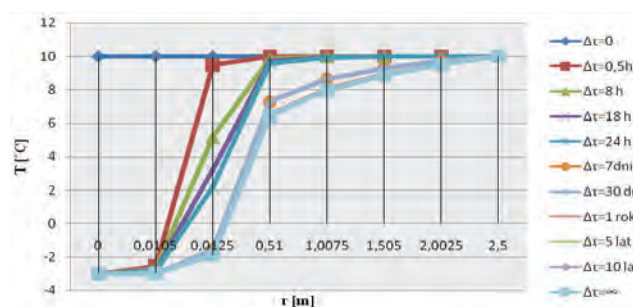


Fig. 2. The temperature distribution around a single vertical ground heat exchanger as a function of operating time of compressor heat pump

In Figure 3 the possibilities of getting the heat from the 1 m of vertical heat exchanger within the time can be observed.

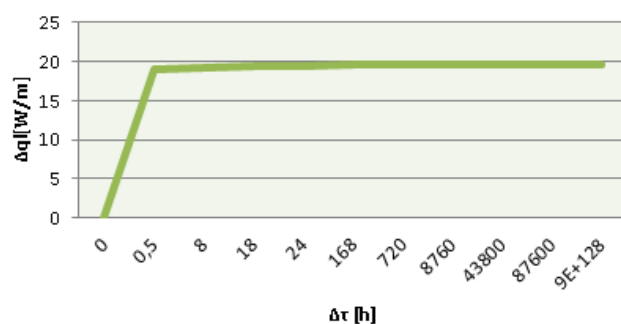


Fig. 3. The amount of heat extracted from ground q_l in $[\text{W/m}]$ as a function of the duration of the heat exchange process

4. Conclusion

Adopted computational model not only allows to analyse the heat exchange processes around a single ground heat exchanger, but also allows to match individual elements of the model parameters to optimize the work of the heat pump. The simulation can be made for example by selection the transfer medium (c_{pg} , ρ_g , λ_{gr}) or the appropriate rate of flow, but also the material with different physical characteristics (c_{pr} , ρ_r , λ_r) referring them to the ground conditions with which we deal with (c_{pgr} , ρ_{gr} , λ_{gr}). Determining the optimum operating conditions of ground heat exchanger is extremely important at the design stage, so that a clear understanding of the application process taking place around it is necessary.

References

- [1] Wajman M.: *Podstawy teoretyczne wymiany ciepła w pionowych sondach gruntowych*, Technika Chłodnicza i Klimatyzacyjna, Nr 9/2011, s. 438-444.
- [2] Zalewski W.: *Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne*, IPPU Masta Gdańsk, 2001.
- [3] Hobler T.: *Ruch ciepła i wymienniki*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1986.
- [4] Ashrae Handbook: HVAC Applications- Geothermal Energy (rozdz. 34, 2011).

Anna Jurek

Rozkład temperatury wokół pojedynczego pionowego wymiennika gruntowego obliczony metodą bilansów elementarnych

1. Wstęp

Obecnie w celu pokrycia zapotrzebowania budynku na ciepła bądź chłód coraz częściej stosuje się sprężarkowe pompy ciepła dla których dolnym źródłem ciepła jest grunt. Najbardziej efektywnym sposobem na pozyskanie ciepła niskotemperaturowego z gruntu jest umieszczenie sondy pionowej, wypełnionej cyrkulacyjnym płynem pośredniczącym. Podczas pracy pompy w trybie grzania, czynnik, który krąży w sondzie pionowej pobiera ciepło od otaczającego ją gruntu, powodując tym samym, w początkowym okresie pracy, znaczny spadek naturalnej, niezakłóconej temperatury gruntu rozważanej dla danej długości wymiennika. Czas trwania takich niestacjonarnych warunków może być różny, dopiero po paru dekadach pracy pompy mają miejsce warunki ustalone. Podczas pierwszych lat pracy pompy ciepła mechanizm przewodzenia ciepła występuje głównie w kierunku promieniowym, przechodząc po pewnym czasie w proces o charakterze trójwymiarowym [1].

W niniejszej publikacji przedstawiono model obliczeniowy pojedynczej gruntowej sondy pionowej dla warunków niestabilnych. Proces wymiany ciepła przedstawiono za pomocą modelu cylindrycznego, w którym w celu uproszczenia założono jednowymiarowy przepływ ciepła (tylko w kierunku r). Pomiedzy ścianą wymiennika gruntowego i otaczającym go gruntem następuje przewodzenie ciepła, podczas gdy możliwy ruch wody głębinowej lub gruntowej został pominięty. Siłą napędową procesu przepływu ciepła jest gradient temperatury rozumiany jako różnica pomiędzy temperaturą ściany wymiennika i niezakłóconym profilem temperaturowym gruntu. Zaś gradient odległości określa różnicę pomiędzy promieniami sondy i gruntu w miejscu występowania niezakłóconej temperatury. W celu określenia strumienia ciepła, możliwego do pozyskania z jednego metra odwiertu, rozważany przypadek należy ograniczyć tylko do tego co dzieje się na powierzchni ściany odwiertu, przyjmując warunek brzegowy trzeciego rodzaju, czyli

konwekcyjną wymianę ciepła pomiędzy ścianą sondy i wypełniającym ją płynem. W procesie niestabilnym ilość ciepła pobranego z gruntu oraz rozkład temperatur w ścianie wymiennika i w otaczającym go gruncie są wartościami zawsze zależnymi od czasu.

2. Model matematyczny wymiany ciepła w wymienniku

Założono niestabilne, jednowymiarowe przewodzenie ciepła przez warstwę gruntu, stałe wartości gęstości, ciepła właściwego i współczynnika przewodzenia ciepła gruntu oraz materiału, z którego wykonana jest ściana sondy. Rozwiązanie równań modelu wymiany ciepła [1] uzyskano stosując metodę bilansów elementarnych. Badany obszar podzielono na elementy geometryczne, dla których sporządzono bilanse energii na podstawie następujących założeń:

- cały czas stała i niezmienna temperatura otaczającego ośrodka $T_k = \text{const}$,
- cały czas stała i niezmienna temperatura czynnika pośredniczącego $T_f = \text{const}$,
- jednowymiarowe pole temperaturowe $\Rightarrow$ ruch ciepła jednowymiarowy w kierunku r ,
- z powierzchni zewnętrznej ciepło jest dostarczane na drodze wnikania ze stałą wartością współczynnika wnikania ciepła $\alpha = \text{const}$,
- początkowa temperatura układu równa jest początkowej temperaturze gruntu,
- do wyznaczenia pola temperatury w gruncie przyjmuje się wycinek o długości 1 m zlokalizowany na głębokości, na której temperatura jest niezależna od temperatury na powierzchni gruntu,
- znane są stałe parametry ścianki i gruntu: c_p , ρ , λ ,
- grunt jest jednorodny,
- brak obecności wewnętrznych źródeł ciepła,
- każdy element reprezentowany jest przez węzeł leżący w środku ciężkości elementu, w którym skupia się cała pojemność cieplna rozpatrywanego elementu,
- cały rozpatrywany obszar jest symetryczny względem osi zlokalizowanej w rdzeniu czynnika pośredniczącego.

Procesy cieplne zachodzące w rozważanym obszarze opisuje układ równań różniczkowych cząstkowych w postaci (1). Na rysunku 1 przedstawiono model symulacyjny utworzony dla rozpatrywanego przypadku wymiany ciepła. W schemacie przyjęto symetryczny podział akumulacyjnej warstwy gruntu na siedem warstw mających pojemności cieplne, pięć jednakowych oraz dwie mniejsze wynikające z wymiarów sondy gruntowej.

W warunkach nieustalonych, przy założeniu izobarycznego przepływu ciepła ciepło dopływające do rozpatrywanego węzła z węzłów sąsiadujących lub z powierzchni ciała powoduje przyrost entalpii. Równania bilansu energii w węzłach w poszczególnych odstępach czasu można zapisać w postaci (2).

3. Przykład obliczeniowy

Obliczenia numeryczne wykonano w programie Mathcad, przy zastosowaniu następujących danych. Średnia temperatura czynnika pośredniczącego (glikolu etylenowego – 38%) w wymienniku wynosi $T_f = -3^\circ\text{C}$ a jego parametry wynoszą: $c_{pg} = 3430 \text{ J/kg/K}$, $\rho_g = 1055 \text{ kg/m}^3$, $\lambda_g = 0,45 \text{ W/mK}$ [2] wyznaczone $\alpha = 6970 \text{ W/(m}^2\text{K)}$. Przyjęto grunt o następujących właściwościach: $\lambda_{gr} = 0,45 \text{ W/(mK)}$, $c_{pgr} = 1440 \text{ J/kg/K}$, $\rho_{gr} = 1300 \text{ kg/m}^3$ oraz wymiennik o wymiarach $d_w = 0,021 \text{ m}$ oraz $d_z = 0,025 \text{ m}$ wykonanego z materiału o parametrach: $\lambda_r = 0,5 \text{ W/(mK)}$, $c_{pgr} = 4430 \text{ J/kg/K}$, $\rho_{gr} = 1155 \text{ kg/m}^3$. Przyjęto, także że stała niezakłóco-

na temperatura gruntu w odległości $r_7 = 2,5 \text{ m}$ wynosi $T_k = T_z = 10^\circ\text{C}$.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wyniki wykonanych symulacji. Wykres (rys. 2) ilustruje zmiany temperatur w poszczególnych węzłach modelu w kolejnych odstępach czasu.

Na rysunku 3 można zaobserwować jak kształtuje się możliwość pozyskiwania ciepła z 1 m pionowego wymiennika gruntowego wraz z upływem czasu jego pracy.

4. Wnioski

Przyjęty model obliczeniowy pozwala nie tylko na dogłębne poznanie procesów złożonej wymiany ciepła wokół pojedynczej sondy gruntowej, ale umożliwia także dobieranie parametrów poszczególnych elementów modelu w celu optymalizacji pracy samej pompy ciepła. Symulacji można dokonywać poprzez np. dobór czynnika pośredniczącego (c_{pg} , ρ_g , λ_{gr}) czy też odpowiedniej prędkości jego przepływu, ale także materiału o innych właściwościach fizycznych (c_{pr} , ρ_r , λ_r) odnosząc je do warunków gruntowych z jakimi mamy do czynienia (c_{pgr} , ρ_{gr} , λ_{gr}). Określenie optymalnych warunków pracy wymiennika gruntowego jest niezwykle istotne już na etapie projektowania, stąd wnioski że dokładne poznanie procesów wokół niego zachodzących jest niezbędne.

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

Abstract

The abstract should not exceed 10 lines. It should provide information about the objectives of the work, methods used and test results obtained in the course of the experiments/analyses.

(Font size 10 pt Times New Roman Italic)

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

1. Introduction

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

2. Main text

2.1. General information

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

2.2. Figures

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

2.3. Tables

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

Table 1. Title of the table.

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

2.4. Equations

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

3. Conclusions

References (arranged in the citing order):

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

Maria Nowak

Tytuł w języku polskim

1. Wprowadzenie

2. Tekst artykułu

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

3. Wnioski

THE REVIEW PROCESS

The following requirements need to be met by the paper:

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

