

STRUCTURE AND ENVIRONMENT

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING, ENERGY AND GEOMATIC

No. 2/2018 vol. 10 PL ISSN 2081-1500 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents

structure

PRZEMYSŁAW CZAPIK, MATEUSZ CEBULSKI

THE PROPERTIES OF CEMENT MORTAR WITH NATURAL ZEOLITE AND SILICA FUME ADDITIONS WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAWY CEMENTOWEJ Z DODATKIEM ZEOLITU NATURALNEGO I PYŁU KRZEMIONKOWEGO	105
--	------------

ANNA SKAWIŃSKA, ALEKSANDRA TKOCZ, PELAGIA LASKA-JÓZEFczak, TOMASZ FOSZCZ

THE POSSIBILITY OF THE USE OF SECONDARY RAW MATERIALS FROM ENERGY AND IRON&STEEL INDUSTRIES FOR GLASS-CERAMICS PRODUCTION MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA SUROWCÓW WTÓRNYCH PRZEMYSŁU ENERGETYCZNEGO I HUTNICZEGO DO WYTWARZANIA SZKŁA-CERAMIKI	114
--	------------

MICHAIL VASILEVICH NEMCHINOV, ANNA GENNADIEVNA IVANOVA

SNOWDRIFT EXTENT ON MOTORWAYS WITH BUSY TRAFFIC ZASIĘG POKRYWY ŚNIEŻNEJ NA AUTOSTRADACH O DUŻYM NATĘŻENIU RUCHU	122
--	------------

ANNA BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA

GIS TECHNOLOGY AS A TOOL FOR PROTECTING LANDSCAPE AND CULTURAL VALUES IN SPATIAL PLANNING TECHNOLOGIA GIS NARZĘDZIEM OCHRONY KRAJOBRAZU I WARTOŚCI KULTUROWYCH W PLANOWANIU PRZESTRZENNYM	129
---	------------

LUCJAN W. KAMIONKA

THE IMAGE OF THE CONTEMPORARY ARCHITECTURE OF KIELCE – A REVIEW OF THE SELECTED BUILDINGS OBRAZ WSPÓŁCZESNEJ ARCHITEKTURY KIELC NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH OBIEKTÓW	138
--	------------

VADYM ABYZOV

ARCHITECTURE-&-BUILDING SYSTEMS IN CIVIL CONSTRUCTION SYSTEMY ARCHITEKTONICZNE I BUDOWLANE W BUDOWNICTWIE CYWILNYM	153
---	------------

environment

PAWEŁ LESIAK

PASSIVE ENERGY REDUCTION TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING TECHNOLOGIE PASYWNEGO OGRANICZANIA ZUŻYCIA ENERGII W INŻYNIERII ŚRODOWISKA	161
--	------------

ANDRZEJ BĄKOWSKI, LESZEK RADZISZEWSKI, PAWEŁ ŚWIETLIK, VLADIMIR DEKÝŠ

COMPARATIVE ANALYSIS OF MEASUREMENT DATA RECORDED BY TWO TRAFFIC MONITORING STATIONS ANALIZA PORÓWNAWCZA WYNIKÓW POMIARÓW ZAREJESTROWANYCH PRZEZ DWIE STACJE MONITORUJĄCE RUCH POJAZDÓW DROGOWYCH	170
--	------------

MILAN MALCHO, RICHARD LENHARD, MARTIN VANTÚCH, KATARÍNA KADUCHOVÁ, TOMÁŠ PUCHOR

WORKING PARAMETERS OF GAS HEAT PUMP IN USE WITH LOW-POTENTIAL GEOTHERMAL ENERGY PARAMETRY PRACY GAZOWEJ POMPY CIEPŁA WYKORZYSTUJĄCEJ GEOTERMALNĄ NISKIEJ ENTALPII	180
--	------------

MARTIN VANTÚCH, ANDREJ KAPJOR, MICHAL HOLUBČÍK

ALTERNATIVE METHODS OF OBTAINING GEOTHERMAL HEAT FROM THE EARTH ALTERNATYWNE METODY POZYSKIWANIA CIEPŁA Z WNETRZA ZIEMI	184
--	------------

ABSTRACTS	189
------------------------	------------

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT	195
--	------------

THE REVIEW PROCESS	196
---------------------------------	------------

Editor-in-Chief:

Prof. Zdzisław OWŚIAK – Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology (Poland)

International Advisory Board:

Chairman: Prof. Wiesław TRĄMPCZYŃSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Vadim ABIZOW – Kyiv's National University of Culture and Art (Ukraine)
Prof. Satoshi AKAGAWA – Hokkaido University, Sapporo (Japan)
Prof. Tomasz ARCISZEWSKI – George Mason University (USA)
Prof. Elżbieta BEZAK-MAZUR – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Mark BOMBERG – McMaster University (Canada)
Prof. Jan BUJNAK – University of Žilina (Slovakia)
Prof. Dorota CHWIEDUK – Warsaw University of Technology (Poland)
Prof. Barbara GOSZCZYŃSKA – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Krystyna GURANOWSKA-GRUSZECKA – Warsaw University of Technology (Poland)
Prof. Jerzy HOŁA – Wrocław University of Science and Technology (Poland)
Prof. Go IWAHANA – University of Alaska Fairbanks (USA)
Prof. Lucjan KAMIONKA – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Andrej KAPJOR – University of Žilina (Slovakia)
Prof. Zbigniew KOWAL – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Tomasz KOZŁOWSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Andrzej KULICZKOWSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Józef MELCER – University of Žilina (Slovakia)
Prof. Mikhail NEMCHINOV – Moscow State Automobile and Road Technical University MADI (Russia)
Prof. Andrzej S. NOWAK – Auburn University (USA)
Prof. Ana Cristina Dinis Vicente PARDAL – Polytechnic Institute of Beja (Portugal)
Prof. Wojciech G. PIASTA – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Jorge Cruz PINTO – Universidade de Lisboa (Portugal)
Prof. Jerzy Z. PIOTROWSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Karel POSPÍŠIL – The Transport Research Centre CDV (Czech Republic)
Prof. Claude VAN ROOTEN – Belgian Road Research Centre (Belgium)
Prof. Zbigniew RUSIN – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Wacław SERUGA – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Jacek SZEWCZYK – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Jerzy WAWRZENCZYK – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Bogdan WOLSKI – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Maria ŻYGADŁO – Kielce University of Technology (Poland)

Associate Editors:

Prof. Lidia DĄBEK – Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Marek IWĄŃSKI – Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kielce University of Technology (Poland)

Secretary of the Editor Board:

Łukasz ORMAN, Ph.D., D.Sc. – Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology (Poland)

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, 2018

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, tel. 41 34 24 581

www.wydawnictwo.tu.kielce.pl

Index Copernicus Value (ICV): 75,2.

The journal is listed in the scored journals list, with the MNiSW score = 9.



Kielce University of Technology
2018

INDEX  COPERNICUS
I N T E R N A T I O N A L



structure
structure

THE PROPERTIES OF CEMENT MORTAR WITH NATURAL ZEOLITE AND SILICA FUME ADDITIONS

WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAWY CEMENTOWEJ Z DODATKIEM ZEOLITU NATURALNEGO I PYŁU KRZEMIONKOWEGO

DOI: 10.30540/sae-2018-010

Abstract

This article reports the results of a study evaluating the effect of natural zeolite and silica fume on the properties of cement mortar. The study used binders in which 20% of portland cement was replaced with the pozzolanic admixtures. Both admixtures were studied separately and combined as a 1:1 blend. Reference samples were produced with non-modified cement binders. The tests were conducted for hydration kinetics on cement pastes, consistencies and strength in flexure and compression on mortars. The results indicated that different pozzolans affected the mortar differently. The effect of zeolite and silica fume blend on the properties of mortars is not an averaged effect of those admixtures used individually.

Keywords: Mortar, Pozzolans, Silica Fume, Zeolite

Streszczenie

Niniejsze opracowanie dotyczy wpływu zeolitu naturalnego i pyłu krzemionkowego na właściwości zaprawy cementowej. W tym celu sporządzono spoiwa, w których 20% cementu portlandzkiego zastępowano dodatkami pucolanowymi. Oba dodatki przebadano oddzielnie, jak i łącznie w formie mieszanki pucolan w stosunku 1:1. Próbkę odniesienia wykonano z niemodyfikowanego spoiwa cementowego. Wykonano badania kinetyki hydratacji na zaczynach oraz konsystencji, jak również wytrzymałości na zginanie i ściskanie na zaprawach. Wyniki badań wykazały, że wpływ różnych rodzajów pucolan na właściwości zaprawy jest odmienny. Wpływ mieszanki zeolitu i pyłu krzemionkowego na właściwości zaprawy nie jest uśrednionym wpływem, jaki wywierają te dodatki stosowane oddzielnie.

Słowa kluczowe: zaprawa, pucolana, pył krzemionkowy, zeolit

1. INTRODUCTION

Mineral admixtures commonly used for the production of cement and concrete are classified into chemically inert materials – fillers, and those which react chemically in the cement paste environment, producing cement composites with modified properties [1-21]. The latter type includes pozzolanic materials.

Pozzolans are a broad group of materials comprising both natural and synthetic types. Synthetic materials with pozzolanic properties include fly ash and silica fume [1-12]. Pumice, metakaolin, opal and zeolites are natural pozzolans [2, 13-23].

Pozzolans have an ability to enter into pozzolanic reaction, that is, to produce calcium silicate hydrates

1. WPROWADZENIE

Dodatki mineralne są obecnie powszechnie stosowane w produkcji cementu i betonu. Wśród nich wyróżnia się zarówno dodatki inertne chemicznie – wypełniacze, jak i takie, które w środowisku zaczynu cementowego wchodzi w reakcje chemiczne, na skutek których uzyskiwane są kompozyty cementowe o zmodyfikowanych właściwościach [1-21]. Do dodatków drugiego rodzaju zalicza się materiały wykazujące właściwości pucolanowe.

Pucolany stanowią szeroką grupę materiałów, spośród których wyróżnić można pucolany pochodzenia naturalnego oraz syntetyczne. Do materiałów sztucznych, posiadających właściwości pucolanowe, zalicza się popioły lotne i pył krzemionkowy [1-12].

(C-S-H) from the reaction with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [2-4, 13]. The progress of pozzolanic reaction depends on the form of silica, content of amorphous phase and its structure, and specific surface area of the pozzolan [5, 6, 15, 24]. The higher the specific surface area is, the faster chemical reactions are due to increased contact area [3, 5, 17, 24]. Considering the development of the specific area, special attention should be paid to volcanic ash, calcined clays (tras), metakaolin, silica fume and zeolites [3, 13-17].

Produced by arc electric furnaces during the production of silicon or ferrosilicon alloys, silica fume is characterized by high specific surface area due to very fine spherical particles made mostly of amorphous silica ($> 85\%$). Considering rheology and reinforcement protection in concrete, it is recommended not to use more than 10% of silica as cement replacement [1, 3, 4, 7].

Zeolites, which are components of volcanic tuffs, are aluminosilicates with a characteristic loose structure in which cage-like cavities and channels [25] can be distinguished, responsible for the significant nanoporosity of these materials. Because of their porosity, they may exhibit high surface area for pozzolanic reaction to occur. This is due to the dissolution of zeolites in a strongly alkaline environment, whereby silicon ions become available for reaction [4, 18, 25]. Cement can be replaced by zeolite up to 40% [18-20]. Higher zeolite fraction contributes to a significant deterioration of consistency and strength parameters [18-21]. It may also reduce concrete durability [19]. According to Ahmadi and Shekarchi [18], the use of zeolite in the amount of up to 10% by cement-zeolite binder mass may, however, result in a more gas-tight microstructure than with the use of silica fume.

Cement and concrete are often produced with only one of the known mineral admixtures. It is also possible to use a blend of several admixtures in one binder. Attention should be paid to the characteristics of these materials that may impair the properties of the fresh and hardened mortar [4, 7]. For zeolites used with other mineral admixtures, the results of studies of blends of zeolite and fly ash or granulated blast furnace slag [22] are reported in the literature. Silica fume used together with fly ash improves fly ash concrete properties [26, 27].

This article reports the effect of addition of natural zeolite and silica fume, used both separately and in the form of a mixture, on the properties of cement mortar.

Wśród pucolan naturalnych można wymienić pumeks, metakaolin, opał i zeolity [2, 13-23].

Pucolany to materiały zdolne do wchodzenia w reakcję pucolanową, czyli wytwarzania uwodnionych krzemianów wapnia (fazy C-S-H) na skutek reakcji z $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [2-4, 13]. Przebieg tej reakcji uzależniony jest od składu chemicznego, formy występowania krzemionki, zawartości fazy amorficznej i jej struktury oraz od powierzchni właściwej pucolany [5, 6, 15, 24]. Im większa jest powierzchnia właściwa materiału, tym reakcje chemiczne mogą zachodzić szybciej, gdyż większa jest powierzchnia kontaktu [3, 5, 17, 24]. Pod względem rozwinięcia powierzchni właściwej, na szczególną uwagę zasługują takie materiały pucolanowe, jak pyły wulkaniczne, prażone gliny (tras), metakaolin oraz pył krzemionkowy i zeolity [3, 13-17].

Powstający w piecach łukowych podczas produkcji krzemu lub stopów żelazokrzemowych pył krzemionkowy cechuje się dużą powierzchnią właściwą, ponieważ składa się z bardzo drobnych, kulistych cząstek. Zbudowane są one przede wszystkim ($> 85\%$) z amorficznej krzemionki. Ze względu na właściwości reologiczne i ochronę zbrojenia w betonie niezalecane jest stosowanie tego dodatku mineralnego do cementu w ilości przekraczającej 10% [1, 3, 4, 7].

Zeolity będące składnikami tufów wulkanicznych są glinokrzemianami o charakterystycznej luźnej strukturze, w której wyróżnić można komory i kanały [25] odpowiedzialne za znaczną nanoporowatość tych materiałów. Ze względu na porowatość mogą one wykazywać duże rozwinięcie powierzchni, na której dochodzi do reakcji pucolanowej. Następuje ona na skutek rozpuszczania się zeolitów w silnie zasadowym środowisku, dzięki czemu jony krzemotlenowe stają się dostępne dla reakcji [4, 18, 25]. Cement może być zastępowany przez zeolit w ilości do 40% [18-20]. Wyższy udział zeolitu przyczynia się do znacznego pogorszenia konsystencji i parametrów wytrzymałości [18-21]. Może też być przyczyną obniżonej trwałości betonu [19]. Według Ahmadi i Shekarchi [18] stosowanie zeolitu w ilości do 10% masy spoiwa cementowo-zeolitowego skutkować może jednak uzyskaniem bardziej gęstszej mikrostruktury niż podczas stosowania pyłu krzemionkowego.

Do produkcji cementów i betonów często wykorzystuje się tylko jeden ze znanych dodatków mineralnych. Możliwe jest też wykorzystanie w jednym spoiwie mieszaniny kilku dodatków. Podczas wprowadzania mieszaniny dodatków należy zwracać uwagę na te ich cechy, które mogą pogorszyć właściwości świeżej i stwardniałej zaprawy [4, 7]. W odniesieniu

2. MATERIALS AND METHODS

Cement CEM I 42.5R, Transcarpathian zeolite and silica fume, with chemical compositions as in Table 1, were used in this study. Transcarpathian zeolite, mined in the Transcarpathian region of western Ukraine [28, 29], is an aleurite-psammite vitrocrystalloclastic tuff, zeolitized due to the interaction of low-temperature hydrothermal solutions. It contains up to 84% clinoptilolite by weight, accompanied by volcanic glass [23, 25, 28, 29]. Quartz, plagioclase and biotite make up the remaining 16%. All of the above materials were sieved through a 0.063 mm sieve prior to application, and the pozzolans were examined for particle size distribution with a laser diffractometer.

Table 2 compiles the composition of binders made from the materials above. The binders were mixed with water to obtain the pastes for evaluating the progress of hydration. Consistency and strength in flexure and compression were determined on mortars. The pastes and mortars were made with water-binder ratio, $w/b = 0.5$.

Table 1. Chemical compositions of cement and pozzolans [%]

Tabela 1. Skład chemiczny cementu i pucolan [%]

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Cement	18.66	5.43	2.96	62.00	1.46	3.21	0.95	0.20	0.07	-	-	-
Zeolite	67.07	12.40	0.90	2.09	0.72	-	2.80	2.05	-	0.19	0.04	0.014
Silica Fume	93.77	2.36	1.42	0.30	0.84	0.20	1.11	-	-	-	-	-

Binder	Cement CEM I 42.5R	Transcarpathian Zeolite	Silica Fume
C	100	0	0
CZ	80	20	0
CSF	80	0	20
CZSF	80	10	10

The hydration kinetics was studied by semiadiabatic calorimetry [3]. For this purpose, 5 g of the binder sample was placed in plastic bags to which 2.5 ml of distilled water was injected. The bags were then placed in a calorimeter, where the heat released from the hydrating binder was monitored for 45 hours.

The consistency was tested in accordance with PN-EN 1015-3 [30].

Strength tests have been performed in accordance with PN-EN 196-1 [31]. The samples were prepared in the form of 40 × 40 × 160 mm bars which, after demoulding, were stored in water at 20°C. Flexure and compressive strength tests were performed after 2 and 28 days of curing. Three bars were made for each type of mortar.

do zeolitów stosowanych z innymi dodatkami mineralnymi, można znaleźć wyniki badań nad mieszankami zeolitu i popiołu lotnego albo granulowanego żużla wielkopiecowego [22]. Pył krzemionkowy stosowany wraz z pyłem lotnym poprawia z kolei właściwości betonu popiołowego [26, 27].

W prezentowanej pracy przedstawiono wpływ dodatku zeolitu naturalnego i pyłu krzemionkowego, stosowanych zarówno oddzielnie, jak i w formie mieszanki na właściwości zaprawy cementowej.

2. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

W badaniach zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R, zeolit zakarpacki i pył krzemionkowy o składach chemicznych podanych w tabeli 1. Zeolit zakarpacki to zeolit wydobywany na obszarze Zakarpacia położonego na zachodzie Ukrainy [28, 29]. Jest to zeolityzowany, wskutek oddziaływania niskotemperaturowych roztworów hydrotermalnych aleurytowo-psamitowy, tuf wiro-kryształoklastyczny. Zawiera on w swym składzie do 84% masy klinoptilolit, któremu towarzyszy szkliwo wulkaniczne [23, 25, 28, 29].

Table 2. Composition of binders in pastes and mortars [weight %]

Tabela 2. Skład spoiw w zaczynach i zaprawach [% masy]

Pozostałe 16% stanowią kwarc, plagioklasy i biotyt. Wszystkie powyższe materiały przed zastosowaniem przesiano przez sito 0,063 mm, a pucolany przebadano pod względem rozkładu uziarnienia dyfraktometrem laserowym.

Z tych materiałów wytworzono spoiwa o składzie przedstawionym w tabeli 2. Spoiwa zarabiano wodą aby otrzymać zaczyny do badania postępu hydratacji. Dla zapraw określono konsystencję oraz wytrzymałości na zginanie i ściskanie. Zaczyny i zaprawy sporządzono z zachowaniem współczynnika wodno-spoiwowego $w/s = 0,5$.

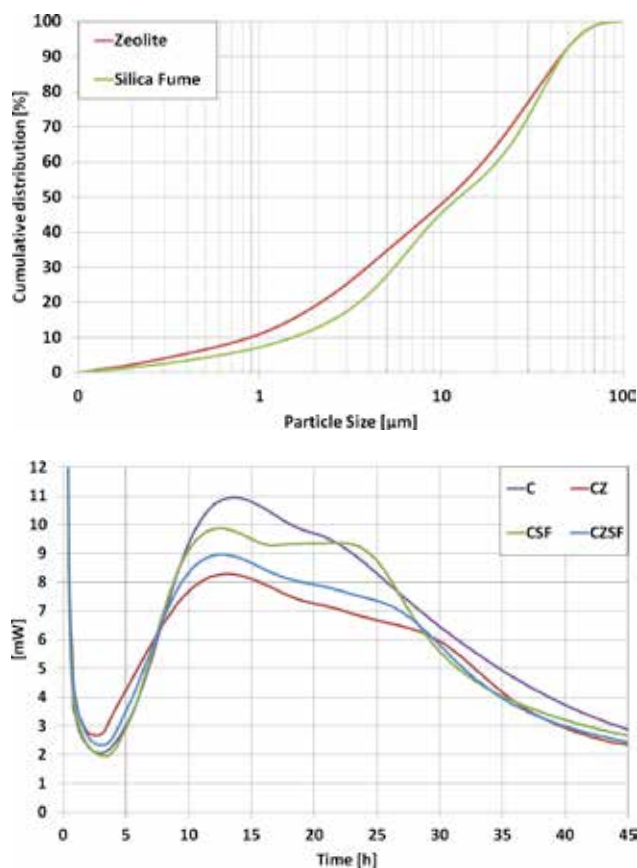
Badanie kinetyki hydratacji przeprowadzono metodą kalorymetrii semiadiabatycznej [3]. W tym celu 5 g

3. RESULTS

The particle size distribution of the zeolite and silica fume used in the tests (Fig. 1) are similar. Zeolite has slightly more 0-25 μm particles. Silica fume has less uniform particle size distribution than zeolite, as evidenced by the presence of a hump in the 3-20 μm range. Both materials have the particle size ranging from 0 to 100 μm . The presence of particles above 63 μm despite screening can be explained by aggregation.

The calorimetric curves (Fig. 2, Table 3) indicate that the pozzolanic materials used affect the kinetics of cement hydration. The additives both reduced and accelerated the occurrence of maximum of the main peak in the hydration heat release rate curve. This thermal effect is due to hydration of alite and tricalcium aluminate [32].

In the case of the CSF binder pastes, a distinct third hump peak between 17 h and 32 h of hydration is seen. Similar but significantly less prominent humps can be observed for the other two pozzolanic binders. As for silica fume, this thermal effect can be generated by silicon-rich calcium silicates formed as a result of pozzolanic reaction being initiated [3, 33]. In the zeolite case, the additional thermal effect is due to hydration of the aluminum component [3, 17, 33, 34].



próbki spoiwa były umieszczane w woreczkach foliowych, do których wstrzykiwano 2,5 ml wody destylowanej. Następnie woreczek z próbką umieszczano w kalorymetrze, w którym śledzono wydzielanie się ciepła z hydratyzującego spoiwa przez okres 45 godzin.

Konsystencja została zbadana zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 1015-3 [30].

Badania wytrzymałościowe zostały wykonane zgodnie z normą PN-EN 196-1 [31]. W tym celu przygotowano próbki w formie beleczek o wymiarach $40 \times 40 \times 160$ mm, które po rozformowaniu dojrzewały w wodzie o temperaturze 20°C . Badania wytrzymałości na zginanie i ściskanie zostały przeprowadzone po 2 oraz 28 dniach dojrzewania. Dla każdego rodzaju zaprawy wykonano po trzy beleczki.

3. WYNIKI BADAŃ

Uziarnienie zastosowanego zeolitu i pyłu krzemionkowego (rys. 1.) jest zbliżone. Zeolit posiada nieco więcej ziaren frakcji 0-25 μm . Pył krzemionkowy posiada mniej równomierne uziarnienie niż zeolit, o czym świadczy występowanie na krzywej uziarnienia garbu w zakresie 3-20 μm . W przypadku obu dodatków ich uziarnienie mieści się w przedziale 0-100 μm . Obecność ziaren powyżej 63 μm , mimo wcześniejszego przesiania przez sito, można tłumaczyć agregacją.

Na podstawie krzywych kalorymetrycznych (rys. 2, tab. 3) można stwierdzić, że zastosowane dodatki puculanowe wpływają na kinetykę hydratacji cementu. Wszystkie zastosowane dodatki spowodowały zarówno obniżenie, jak i przyspieszenie wystąpienia maksimum głównego pikę na krzywej szybkości wydzielania ciepła hydratacji. Ten efekt termiczny wy-

Fig. 1. Particle size distribution of pozzolans
Rys. 1. Uziarnienie pucolan

Fig. 2. The heat evolution curves of pastes, $dQ/dt = f(t)$ (notation as in Table 2)

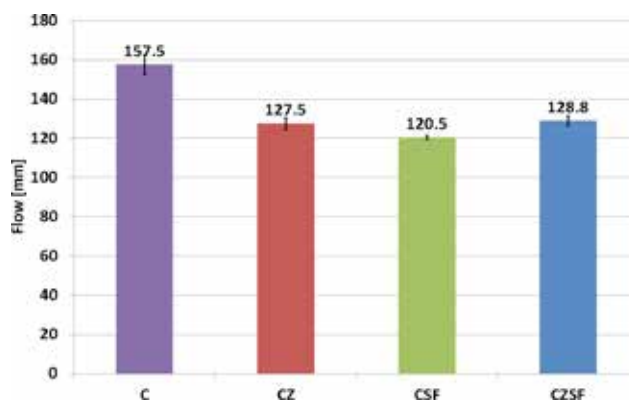
Rys. 2. Krzywe wydzielania ciepła zaczynów, $dQ/dt = f(t)$ (oznaczenia próbek jak w tabeli 2)

Binder	C	CZ	CSF	CZSF
End of induction period	225	200	245	220
Maximum of main peak	825	775	755	755
Hump maximum	–	1800	1450	1600

A relationship was observed between the type of pozzolanic admixture and the main peak reduction and period after which the additional thermal effect was generated. These reductions and periods were the smallest for silica fume and the largest for zeolite.

As a result of the use of zeolite additive, the induction period in the $dQ/dt = f(t)$ curve was shorter, decreasing with the increasing content of zeolite. In addition, the zeolite addition was found to contribute to greater heat release at this hydration stage. Silica fume extended the induction period.

Results of the mortar consistency tests, shown in Figure 3, indicate that the applied mineral additives reduced the flow of the mortar. The largest, 23% flow reduction was recorded for silica fume. By using zeolite alone or by replacing half of silica fume amount with zeolite, a larger flow was obtained. The reduction in the flow for these additives was 19 and 18%, respectively.



Figures 4 and 5 show the strength parameters of the mortars. These results indicate that the use of pozzolanic admixtures reduced early flexure and compression strengths. The highest reduction was observed in mortars containing only the zeolite addition. The findings from the tests performed after 28 days were also least favourable for the mortar with this binder.

Table 3. Comparison of times [min] of changes in pastes (notation as in Table 2)

Tabela 3. Porównanie czasów zachodzenia przemian w zaczynach [min] (oznaczenia próbek zgodne z tabelą 2)

ka z hydratacji alitu i glinianu trójwapniowego [32]. W przypadku zaczynu ze spoiwem CSF widoczny jest wyraźny trzeci pik w postaci garbu między 17 a 32 godziną hydratacji. W przypadku pozostałych dwóch spoiw z dodatkami pucolanowymi występują podobne, ale znacznie mniej wyraźne garby. Odnosząc się do pyłu krzemionkowego, ten efekt cieplny może powstawać wskutek tworzenia się bogatych w krzem krzemianów wapnia w wyniku zapoczątkowania reakcji pucolanowej [3, 33]. W przypadku zeolitu dodatkowy efekt cieplny jest skutkiem uwadniania składnika glinowego [3, 17, 33, 34].

Zauważyć tu można związek między rodzajem dodatku pucolanowego a obniżeniem głównego pik i okresem, po którym powstaje dodatkowy efekt cieplny. W przypadku zastosowania pyłu krzemionkowego są one najmniejsze, a w przypadku zeolitu największe.

Zaobserwowano też, że na skutek zastosowania dodatku zeolitu tzw. okres indukcji na krzywej $dQ/dt = f(t)$ uległ skróceniu i był tym krótszy, im spoiwo zawierało większą ilość zeolitu. Ponadto stwierdzono, że dodatek zeolitu przyczynił się do większego wydzielania ciepła na tym etapie hydratacji. W przypadku pyłu krzemionkowego stwierdzono wydłużenie okresu indukcji.

Fig. 3. Consistency of mortars (notation as in Table 2)

Rys. 3. Konsystencja zapraw (oznaczenia próbek jak w tabeli 2)

Wyniki badań konsystencji zapraw przedstawiono na rysunku 3. Wynika z niego, że zastosowane dodatki mineralne zmniejszyły płynność zaprawy. Największy, 23% spadek płynności odnotowano dla zaprawy z dodatkiem pyłu krzemionkowego. Stosując sam zeolit lub zamieniając połowę pyłu krzemionkowego na zeolit, uzyskano większy rozplływ. Spadek rozplwy dla tych dodatków wyniósł odpowiednio 19% i 18%.

Parametry wytrzymałościowe zapraw przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Wynika z nich, że stosowanie dodatków pucolanowych wpłynęło na obniżenie wytrzymałości wczesnej na zginanie i ściskanie. Największy spadek wytrzymałości odnotowano dla zapraw, w których zastosowano jedynie dodatek zeolitu.

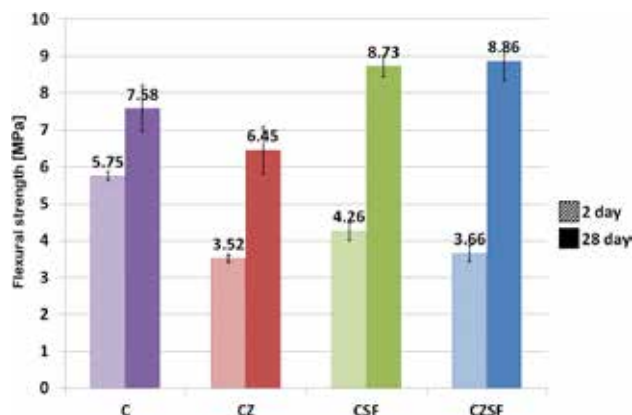
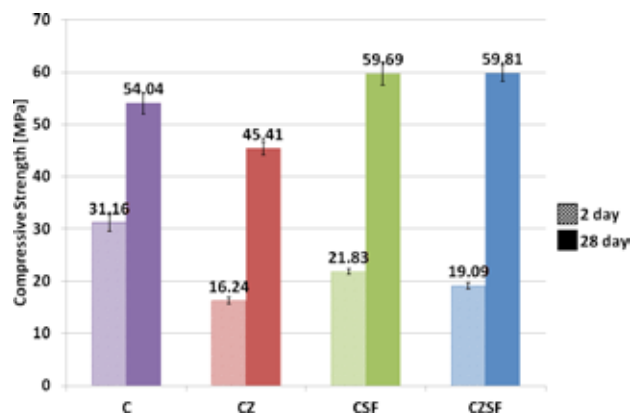


Fig. 4. Flexural strength of mortars (notation as in Table 2)
Fig. 4. Wytrzymałość zapraw na zginanie (oznaczenia próbek jak w tabeli 2)

A significant increase in strength between 2 and 28 days of curing was observed in other mortars with pozzolanic admixtures (Fig. 6). This can be explained by the pozzolanic reaction [8, 9, 18, 21], which increased both flexural and compressive strengths of the mortars with additives, greater than that in reference mortars made with Portland cement. Silica fume used alone was confirmed to be a suitable component of high strength concrete [3, 4, 10]. The greatest increase in strength, between 2 and 28 days, however, was observed in the CZSF mortar containing the mixture made with zeolite and silica fume. Averaged strength parameters of this mortar slightly exceeded the parameters of mortar with silica fume binder. The second greatest increase in compressive strength was recorded for the CZ mortar. This increase, however, was not large enough to reach the strength of the mortar without mineral additives after 28 days. The silica fume mortar had only slightly lower increase in compressive strength. Due to the higher strength after 2 days, after 28 days this mortar had higher compressive strength than mortar C. The silica fume mortar showed also a significant increase in flexural strength.



Wyniki badań przeprowadzonych po 28 dniach również są najmniej korzystne dla zaprawy z tym spoiwem.

W pozostałych zaprawach z dodatkami pucolanowymi stwierdzono znaczący przyrost wytrzymałości między 2 a 28 dniem dojrzewania (rys. 6), co może być tłumaczone reakcją puculanową [8, 9, 18, 21]. Reakcja ta doprowadziła do tego, że zaprawy z dodatkami miały zarówno wytrzymałość na zginanie, jak i ściszenie większą niż zaprawy kontrolne na cementie portlandzkim.

W przypadku zastosowania wyłącznie pyłu krzemionkowego, potwierdza ono jego przydatność jako składnika betonów o wysokiej wytrzymałości [3, 4, 10]. Największym przyrostem wytrzymałości, między 2 a 28 dniem, odznacza się jednak zaprawa CZSF z mieszkanką zeolitu i pyłu krzemionkowego. Uśrednione parametry wytrzymałościowe tej zaprawy przewyższyły nieznacznie również parametry zaprawy na spoiwie z dodatkiem pyłu krzemionkowego. Drugim co do wielkości przyrostem wytrzymałości na ściszenie cechowała się zaprawa CZ z dodatkiem zeolitu. Przyrost ten jednak nie był na tyle duży, by po 28 dniach osiągnąć wytrzymałość zaprawy bez dodatków mineralnych. Niewiele mniejszym przyrostem wytrzymałości na ściszenie cechowała się zaprawa z dodatkiem pyłu krzemionkowego. Jednakże, na skutek wyższej wytrzymałości po 2 dniach, po 28 dniach ta zaprawa miała wyższą wytrzymałość na ściszenie niż zaprawa C. Zaprawa z pyłem krzemionkowym cechowała się też znacznym przyrostem wytrzymałości na zginanie.

Fig. 5. Compressive strength of mortars (notation as in Table 2)

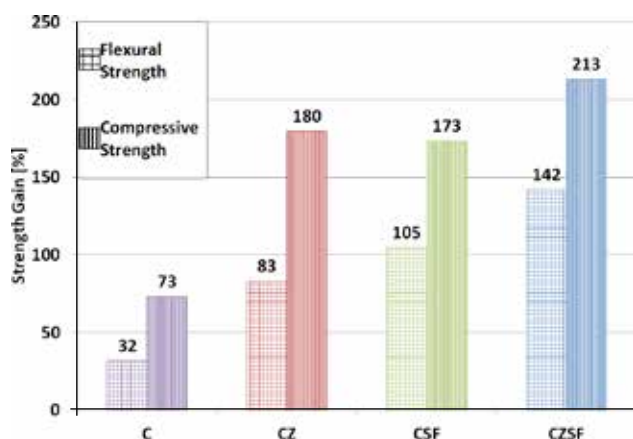
Fig. 5. Wytrzymałość zapraw na ściszenie (oznaczenia próbek jak w tabeli 2)

Higher flexural and compressive strengths of the mortar with silica fume compared to those of

Wyższe wytrzymałości na ściszenie i zginanie zaprawy z pyłem krzemionkowym od zaprawy z zeoli-

the mortar with zeolite can be explained by higher chemical activity of silica [3, 5, 6, 24]. Silica fume alone may be responsible for the high strength of the mixture with both zeolite and silica fume (10%), but a considerable strength increase between days 2 and 28 remains unexplained. The high strength of these mortars can also be related to the uniform distribution of pozzolan particles in the mixture, which additionally seals the mortar microstructure [3, 4]. Another factor may be the spread in time of pozzolanic processes, when silica fume reacts faster and zeolite react slower, as demonstrated by the results of calorimeter tests.

High strength of mortars is also correlated with an adequate consistency [10]. More flowable consistency contributes to easier mortar densification and air pore removal. The presented results indicate that the mortar containing a mixture of zeolite and silica fume also had the highest flow of all mortars being analysed.



4. CONCLUSIONS

The following conclusions summarize the findings of the tests:

1. A blend of zeolite and silica fume improves the parameters of the cement paste compared to the effects of the two materials used individually. Replacement of 20% cement by weight by the zeolite-silica fume mixture added at the 1:1 ratio provides the mortar with consistency similar to that when 20% zeolite is used, but with the strength of a 20% silica fume mortar. Addition of zeolite-silica fume blend will improve the strength of the mortar and decrease its flow compared to the mortar with silica fume used alone.
2. The effect of the zeolite-silica fume mixture on the consistency and flexural and compressive strength

tem można tłumaczyć większą aktywnością chemiczną amorficznej krzemionki [3, 5, 6, 24]. Za wysoką wytrzymałość zaprawy z mieszanką zeolitu i pyłu krzemionkowego mógłby odpowiadać sam pył, którego zwykle stosuje się w ilości do 10%, ale nie tłumaczy to znacznego przyrostu wytrzymałości między 2 i 28 dniem.

Wysoka wytrzymałość tych zapraw może być też związana z równomierniejszym rozłożeniem ziaren pucolan w mieszance, przez co lepiej mogą doszczelniać mikrostrukturę zaprawy [3, 4]. Korzystne może być też rozłożenie w czasie procesów pucolanowych, kiedy to szybciej przereagowuje pył krzemionkowy, a wolniej zeolit. Świadczą o tym wyniki badań kalorymetrycznych.

Wysoka wytrzymałość zapraw powiązana jest również z odpowiednią konsystencją [10]. Bardziej płynna konsystencja przyczynia się do łatwiejszego zagęszczania zaprawy i usuwania porów powietrznych. Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że największą płynnością spośród zapraw zawierających dodatki pucolanowe cechowała się również zaprawa z mieszanką zeolitu i pyłu krzemionkowego.

Fig. 6. Strength gain between 2 and 28 day (notation as in Table 2)

Rys. 6. Przyrost wytrzymałości między 2 a 28 dniem (oznaczenia próbek zgodne z tabelą 2)

4. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Stosowanie mieszanki zeolitu i pyłu krzemionkowego, zamiast każde z tych pucolan osobno, korzystnie wpływa na parametry zaprawy cementowej. Zastępując 20% masy cementu przez mieszankę zeolitu naturalnego i pyłu krzemionkowego o stosunku 1:1, otrzymuje się zaprawę o konsystencji zbliżonej do konsystencji zaprawy z dodatkiem 20% zeolitu, ale o wytrzymałości zaprawy z 20% udziałem pyłu krzemionkowego. Tym samym, stosując taki dodatek, zwiększeniu ulega wytrzymałość zaprawy przy mniejszym spadku jej płynności w porównaniu do zaprawy z pyłem krzemionkowym.
2. Wpływ mieszanki zeolitu naturalnego i pyłu krzemionkowego na konsystencję oraz wytrzymałość

of the mortar is not an averaged effect that either of the materials provides. Further studies are needed to have a better understanding of this phenomenon. The studies should also cover determining the long-term influence of the two admixtures on the strength of mortars, and their combined influence on the mortar properties when added at different ratios.

3. Partial replacement of silica fume by zeolite offers cost-related advantage due to limited availability and price of the silica fume [3, 4]. Lower flow reduction, compensated by the use of plasticizers and superplasticizers [4, 10, 18, 21], may contribute to the reduction in their use thus decreasing the mortar production costs.

na zginanie i ściskanie zaprawy nie jest uśrednionym wpływem, jaki wywiera na nie każda z tych pucolan z osobna. W celu wyjaśnienia tego zjawiska należy podjąć dalsze badania. Dalsze badania powinny też objąć swym zakresem, określenie długoterminowego wpływu zastosowanych dodatków mineralnych na wytrzymałość zapraw. Należy też przebadąć wpływ na właściwości zaprawy łącznego dodatku zeolitu i pyłu krzemionkowego mieszanych w innych proporcjach.

3. Możliwość częściowego zastąpienia pyłu krzemionkowego przez zeolit, ze względu na ograniczoną dostępność i cenę pyłu, jest korzystna ekonomicznie [3, 4]. Mniejszy spadek płynności, niwelowany przez stosowanie plastyfikatorów i superplastyfikatorów [4, 10, 18, 21], przyczynić się może do ograniczenia ich zużycia, a przez to również do ograniczenia kosztów produkcji zaprawy.

References

- [1] PN-EN 197-1:2012 *Cement. Composition, specifications and conformity criteria for common cements*.
- [2] Pacheco-Torgal F., Jalali S., Labrincha J., John V.M., *Eco-efficient concrete*, Elsevier, 2013.
- [3] Nocuń-Wczelik W., *Pył krzemionkowy – właściwości i zastosowanie w betonie*, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2005.
- [4] Kurdowski W., *Chemia cementu i betonu*, SPC, Kraków 2010.
- [5] Tkaczewska E., *Effect of size fraction and glass structure of siliceous fly ashes on fly ash cement hydration*, Journal of Industrial and Engineering Chemistry 20/1 (2014), pp. 315-321.
- [6] Tkaczewska E., Małolepszy J., *The properties of glass in siliceous fly ash*, Cement Wapno Beton 14 (2009), pp. 148-153.
- [7] Jasiczak J., Mikołajczak P., *Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami*, Politechnika Poznańska, Poznań 2003.
- [8] Kotwa A., Spychał E., *Influence of mineral additives properties of concrete*, Structure and Environment 8/2 (2016), pp. 15-20.
- [9] Owsiak Z., *The hydration of Portland cement with fly ash*, Cement Wapno Beton 5/1 (2000), pp. 29-31.
- [10] Jasiczak J., Wdowska A., Rudnicki T., *Betony ultrawysokowartościowe – właściwości, technologie, zastosowanie*, Polski Cement, Kraków 2008.
- [11] Nocuń-Wczelik W., Nowak M., Kapelusznia E., *Lightweight mortars with expanded perlite modified by admixtures*, Structure and Environment 9/2 (2017), pp. 102-111.
- [12] Owsiak Z., Wójcik A., *The influence of co-combusted biomass-coal fly ash on limiting alkali-silica reaction*, Structure and Environment 6/2 (2014), pp. 26-31.
- [13] Mansour M.S., Abadlia M. T., Jaubertie R., Messaoudene I., *Metakaolin as a pozzolan for high-performance mortar*, Cement Wapno Beton 17/2 (2012), pp. 102-108.
- [14] Małolepszy J., Pytel Z., *Effect of Metakaolinite on Strength and Chemical Resistance of Cement Mortars*, (in) Proc. of Fifth International Conference "Durability of Concrete, Vol I" Ed. by V.M. Malhotra, Spain, Barcelona 2000.
- [15] Wala D., Rosiek G., *The clay minerals as pozzolanic addition for water cements*, Cement Wapno Beton 8/1 (2003), pp. 27-33.
- [16] Pytel Z., Małolepszy J., *Effects of parameters of thermal treatment on the pozzolanic properties of burnt kaolin clay*, Cement Wapno Beton 4/3 (1999), pp. 80-83.
- [17] Czapik P., Czechowicz M., *Effects of natural zeolite particle size on the cement paste properties*, Structure and Environment 9/3 (2017), pp. 180-190.
- [18] Ahmadi B., Shekarchi M., *Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material*, Cement and Concret Composites 32/2 (2010), pp. 134-141.

- [19] Vejmelková E., Keppert M., Ondráček M., Černý R., *Effect of natural zeolite on the properties of high performance concrete*, Cement Wapno Beton 18/3 (2013), pp. 150-159.
- [20] Siemaszko-Lotkowska D., Gajewski R., *Właściwości zeolitu w aspekcie zastosowania w betonie* (2008), pp. 1101-1108.
- [21] Małolepszy J., Grabowska E., *Wpływ zeolitów na proces hydratacji spoiw mineralnych*, Budownictwo i Architektura 12/3 (2013), pp. 185-192.
- [22] Karakurt C., Topçu İ.B., *Effect of blended cements produced with natural zeolite and industrial by-products on alkali-silica reaction on sulfate resistance of concrete*, Construction and Building Materials 25/4 (2011), pp. 1789-1795.
- [23] Czapik P., *Aktywność zeolitu naturalnego w środowisku zaczynu cementowego*, (in) Proc. of 14th Conference of the Scientific Conference for Civil Engineering PhD Students „Wiedza i eksperymenty w budownictwie” Ed. by J. Bzówka, Politechnika Śląska, Gliwice 2014.
- [24] Broekmans M.A.T.M., *Structural properties of quartz and their potential role for ASR*, Materials Characterization 53/2-4 (2004), pp. 129-140.
- [25] Ciciszewski G.W., *Zeolity naturalne*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1990.
- [26] Gil D.M., Golewski G.L., *Wpływ dodatku pyłu krzemionkowego (SF) i krzemionkowych popiołów lotnych (FA) na krytyczny współczynnik intensywności naprężeń betonu*, Materiały Budowlane 1 (2017), pp. 48-49.
- [27] Giergiczny Z., *Cementy popiołowe z dodatkami pyłu krzemionkowego*, Cement Wapno Beton 1 (1995), pp. 17-22.
- [28] Pieczonka J., Piestrzyński A., Parańko I., *Geologia wybranych złóż surowców mineralnych Ukrainy*, AGH, Kraków 2011.
- [29] Barnat-Hunek D., Siddique R., Klimek B., Franus M., *The use of zeolite, lightweight aggregate and boiler slag in restoration renders*, Construction and Building Materials 142/1 (2017), pp. 162-174.
- [30] PN-EN 1015-3:2000 *Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*.
- [31] PN-EN 196-1:2016-07 *Methods of testing cement. Determination of strength*.
- [32] Zhang M.-H., Sisomphon K., Ng T.S., Sun D.J., *Effect of superplasticizers on workability retention and initial setting time of cement pastes*, Construction and Building Materials 24/9 (2010), pp. 1700-1707.
- [33] Taylor H.F.W., *Cement Chemistry*, Academic Press, London 1990.
- [34] Usharov-Marshak A.V.V., Ciak M.J., *Isothermal calorimetry in the standard ASTM C1679-08*, Cement Wapno Beton 15/2 (2010), pp. 108-110.

Acknowledgments:

This work was supported by Kielce University of Technology, Grant No. 02.0.05.00/2.01.01.02.0057 MNSC.BKTO.15.005

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, grant nr 02.0.05.00/2.01.01.02.0057 MNSC.BKTO.15.005

THE POSSIBILITY OF THE USE OF SECONDARY RAW MATERIALS FROM ENERGY AND IRON&STEEL INDUSTRIES FOR GLASS-CERAMICS PRODUCTION

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA SUROWCÓW WTÓRNYCH PRZEMYSŁU ENERGETYCZNEGO I HUTNICZEGO DO WYTWARZANIA SZKŁA-CERAMIKI

DOI: 10.30540/sae-2018-011

Abstract

An effective way to glass strengthening is controlled crystallization, which results in obtaining the material with very favourable mechanical properties compared to parent glass. Crystallization process is conducted between glass transformation temperature and liquidus temperature. Information concerning the production of glass-ceramics material, as well as materials, which are the most commonly used in its production, were analyzed in this paper.

Keywords: wastes, glass-ceramics, blast-furnace slag, siliceous fly ash

Streszczenie

Skutecznym sposobem wzmocnienia szkła jest kontrolowana krystalizacja, co skutkuje otrzymaniem materiału o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych w porównaniu do szkła macierzystego. Proces krystalizacji prowadzony jest pomiędzy temperaturą transformacji szkła a temperaturą likwidusu. W artykule przeanalizowano informacje dotyczące otrzymywania tworzywa szkło-ceramiki, jak również materiałów najczęściej wykorzystywanych podczas produkcji tego materiału.

Słowa kluczowe: odpady, szkło-ceramika, żużel wielkopiecowy, popiół lotny krzemionkowy

1. INTRODUCTION

The wastes have always accompanied people. For many years, they have been thrown directly into the surrounding environment, which caused contamination with toxic substances. Materials defined as “wastes” are subject to strict legal regulations. In accordance with the Act of 27 April 2001 on wastes (Journal of Laws 2007, No. 39, item 251 – consolidated text) “wastes” shall mean all substances or objects in the categories set out in Annex 1 of the Act, which the holder discards (or is required to discard) [1]. Siliceous fly ash and granulated blast-

1. WPROWADZENIE

Odpady towarzyszą człowiekowi od zawsze. Przez lata były wyrzucane bezpośrednio do otaczającego środowiska, przez co dochodziło do skażenia substancjami toksycznymi. Materiały charakteryzowane jako „odpady” podlegają ścisłym uregulowaniom prawnym. Zgodnie z ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 roku o odpadach (Dz.U. z 2007 r., nr 39, poz. 251 – tekst jednolity) odpady oznaczają każdą substancję lub przedmiot należący do jednej z kategorii, określonych w załączniku nr 1 do ustawy, których posiadacz pozbywa się (lub do ich pozbycia jest zobowiązany) [1].

furnace slag are classified as ecologically safe green wastes, according to Waste Shipment Regulation No 1013/2006 [2].

The use of green listed wastes in contemporary production technologies is part of the sustainable development strategy, in which environmental protection is one of the assumptions. Definition of sustainable development, which was approved in Rio de Janeiro in 1992 on Earth Summit, is as follows: „Development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”. Currently, it is expected that manufacturing industry does not emit harmful substances to the environment, and obtained products are friendly and suitable for recycling. Glass is both human and environmental friendly, but it is material with some defects. The main problem is glass fragility, which is the reason of striving for the improvement of mechanical properties by controlled crystallization. Additionally, secondary raw materials are increasingly used due to environmental protection and obtaining better mechanical properties of glass-ceramics [3-5].

Fly ash is one of the by-products of energy industry, which can be used in glass-ceramics production. The production of electricity in Poland is mainly based on coal (96%), and the side effect is huge amount of furnace wastes. From this reason, the main aim and the priority of environmental policy of the state is protection of natural environment by searching for new ways of waste management. Various types of coal and varieties of power boilers cause that fly ash has variable properties, which is very important in their re-use in industry. Currently, fly ash is used on a large scale in cement industry, road construction, ceramics, agriculture or plastics and paint industries [6-8].

The most common and the most important hydraulic additive used in cement production is granulated blast-furnace slag. Despite the fact that it is a waste, it is also used in the production of masonry mortars, slag bricks and as a material for the construction of roads and highways. Granulated blast-furnace slag was one of the first secondary raw materials used in glass-ceramics production [9].

Glass strengthening by controlled crystallization is not used on large scale in Poland, and therefore this paper focuses on the possibility of using the aforementioned secondary raw materials in glass-ceramics production.

Popiół lotny krzemionkowy oraz granulowany żużel wielkopiecowy klasyfikowany jest według Dyrektywy Nr 1013/2006 „Waste Shipment Regulation” jako ekologicznie bezpieczne odpady zielone [2].

Zastosowanie zielonych surowców odpadowych we współczesnych technologiach produkcji wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju, w której jednym z założeń jest ochrona środowiska naturalnego. Definicja zrównoważonego rozwoju, którą przyjęto w Rio de Janeiro w 1992 r. na „Szczycie Ziemi”, jest następująca: „Rozwój zaspokajający potrzeby dzisiejszej generacji bez konieczności ograniczania możliwości zaspokajania potrzeb przyszłych pokoleń”. Obecnie dąży się do tego, aby przemysł produkcyjny nie emitował substancji szkodliwych dla środowiska, a otrzymany wyrób był przyjazny i nadawał się do recyklingu. Szkło jest materiałem przyjaznym zarówno dla człowieka, jak i środowiska naturalnego, jednak nie jest materiałem pozbawionym wad. Głównym problemem jest jego kruchość, w związku z tym w technologii materiałowej dąży się do poprawy właściwości mechanicznych tego materiału przez kierowaną krystalizację. Dodatkowo, ze względu na ochronę środowiska oraz uzyskanie lepszych właściwości mechanicznych szkła-ceramiki, coraz częściej stosowane są surowce wtórne [3-5].

Jednym z ubocznych produktów przemysłu energetycznego, które mogą być stosowane w produkcji szkło-ceramika, są popioły lotne. Produkcja energii elektrycznej w Polsce bazuje głównie na węglu (96%), a efektem ubocznym jest ogromna ilość odpadów paleniskowych. Dlatego też głównym celem oraz priorytetem polityki ekologicznej państwa jest ochrona środowiska naturalnego przez poszukiwanie nowych sposobów zagospodarowania odpadów. Różne gatunki węgla oraz odmiany kotłów energetycznych przyczyniają się do tego, że popioły lotne mają różnorodne właściwości, co ma istotne znaczenie do ich ponownego wykorzystania w przemyśle. Obecnie popioły są wykorzystywane na szeroką skalę w przemyśle cementowym, drogownictwie, ceramice, rolnictwie czy też w przemyśle tworzyw i farb [6-8].

Najpowszechniejszym i najważniejszym dodatkiem hydraulicznym stosowanym w produkcji cementu jest granulowany żużel wielkopiecowy. Mimo tego że jest to odpad, znajduje on zastosowanie również w produkcji zapraw murarskich, cegieł żużlowych, jak również jako materiał do budowy dróg i autostrad. Granulowany żużel wielkopiecowy był jednym z pierwszych surowców wtórnych stosowanych podczas produkcji szkło-ceramika [9].

2. PRODUCTION OF GLASS-CERAMICS MATERIAL

Glass-ceramics material was discovered in 1953. It is polycrystalline material obtained by controlled crystallization, which results in formation of a material with very favourable mechanical, chemical and thermal properties [3].

Glass devitrification is heterogeneous transformation, which consists of two stages: nucleation stage and crystallization stage (Fig. 1). Nucleation stage involves material heating to the maximum nucleation temperature, and then its holding in furnace by specified time. During nucleation stage, small, stable crystalline products are formed in positions previously occupied by parent glass or free spaces. The latter are usually undesirable, because large oriented crystals, which are formed, are detrimental to mechanical properties of glass-ceramics material. Nucleation stage ends when stable nucleus has been formed and the crystals growth has been occurred, thus the movement of atoms/molecules from the glass, across the glass-crystal interface, and into the crystal. Then, temperature increases to T_G . Nucleation (T_N) and crystallization temperatures (T_G) are determined on the basis of differential thermal analysis – DTA [3].

Glass-ceramics material is not fully crystalline – typical microstructure of glass-ceramics consists of crystalline products from 55% to 95%, while the rest is residual glass. One or more phases are formed during controlled crystallization. The quantity and also the type of formed phases mainly depend on composition of parent glass and used reaction accelerators [3].

W Polsce wzmocnienie szkła przez kierowaną krystalizację nie jest wykorzystywane na szeroką skalę, dlatego w artykule skupiono się nad możliwością wykorzystania wyżej wymienionych surowców wtórnych w produkcji szkło-ceramika.

2. OTRZYMYWANIE MATERIAŁU SZKŁO-CERAMIKA

Tworzywo szkło-ceramika zostało odkryte w 1953 roku. Jest to materiał polikrystaliczny, otrzymywany przez kierowaną krystalizację, która prowadzi do otrzymania tworzywa o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych, chemicznych i termicznych [3].

Dewitryfikacja szkła jest reakcją heterogeniczną, która przebiega w dwóch etapach: zarodkowanie (nukleacja) oraz krystalizacja (rys. 1). Etap nukleacji polega na wygrzewaniu materiału do maksymalnej temperatury zarodkowania, a następnie przebywaniu materiału przez określony czas w piecu. Podczas zarodkowania powstają niewielkie, stabilne produkty krystaliczne w miejscach szkła macierzystego lub w wolnych przestrzeniach. Te ostatnie są zwykle niepożądane, ponieważ powstające duże zorientowane kryształy wpływają na pogorszenie właściwości mechanicznych tworzywa szkło-ceramika. Etap zarodkowania kończy się, gdy powstanie stabilne jądro oraz dojdzie do wzrostu kryształów, czyli ruchu atomów/molekuł ze szkła przez powierzchnię międzyfazową do kryształu. Następnie ma miejsce wzrost temperatury do T_G . Temperaturę zarodkowania (T_N) oraz krystalizacji (T_G) wyznacza się na podstawie analizy termicznej DTA [3].

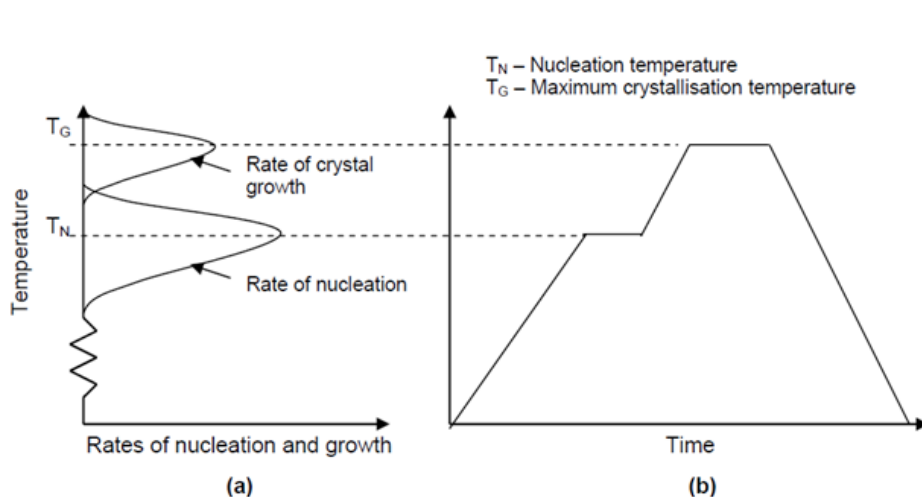


Fig. 1. Glass crystallization results in glass-ceramics formation [3]

Rys. 1. Krystalizacja szkła prowadząca do otrzymania szkła-ceramiki [3]

3. WASTE MATERIALS USED DURING GLASS-CERAMICS PRODUCTION

Many papers presenting various examples of the use of secondary raw materials for glass-ceramics production are available. It is important that such secondary raw materials contain alkali oxides (Na_2O , K_2O) and minor oxides (e.g. TiO_2). The occurrence of these oxides affects, for example, the reduction of temperature of glass formation. It should be underlined that properties of glass-ceramics material depend on recrystallization degree, microstructure and properties of glassy phase remaining in the material.

There are several basic reasons for the utilization and re-use of secondary raw materials in the production of glass-ceramic material. One of them concerns the reduction of costs of secondary raw materials removal, the second is associated with minimizing of the use of natural resources, and the other one concerns the possibility of obtaining the material with better physical or mechanical properties compared to the material without waste materials [3-10].

The use of granulated blast-furnace slag and siliceous fly ash for glass-ceramics production is described in this paper.

3.1. Granulated blast-furnace slag

Metallurgical slag is one of the most differential secondary raw materials. Chemical composition of granulated blast-furnace slag is changeable and depends on the type of raw material used in a given metallurgical process. Complex nature of raw material depends on chemical composition of final product and waste material formed at the same time. Exemplary chemical composition and microstructure of blast-furnace slag are presented in Table 1 and Figure 2.

Chemical composition	[%]
L.O.I.	0.02
SiO_2	40.39
Al_2O_3	7.77
Fe_2O_3	0.99
CaO	43.69
MgO	3.77
Na_2O	0.53
K_2O	0.54
TiO_2	0.33
P_2O_5	0.02
SO_3	1.62
Mn_2O_3	0.29
SrO	0.04

Tworzywo szkło-ceramika nie jest w pełni materiałem krystalicznym – typowa mikrostruktura szkło-ceramika to od 55% do 95% produkty krystaliczne, zaś resztę stanowi szkło szcążkowe. Podczas kontrolowanej krystalizacji powstaje jedna bądź więcej faz. Ilość, jak również rodzaj powstających faz zależy głównie od składu szkła wyjściowego oraz użytych katalizatorów reakcji [3].

3. MATERIAŁY ODPADOWE STOSOWANE PODCZAS PRODUKCJI SZKŁO-CERAMIKA

W literaturze można znaleźć wiele przykładów wykorzystania surowców wtórnych przy produkcji szkła-ceramiki. Ważne jest to, aby takie surowce zawierały tlenki alkaliów (Na_2O , K_2O) oraz tlenki akcesoryczne (np. TiO_2). Obecność tych tlenków wpływa między innymi na obniżenie temperatury powstawania szkła. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że na właściwości tworzywa szkło-ceramicznego wpływać będzie stopień przekrystalizowania, mikrostruktura oraz właściwości pozostale w materiale fazy szklistej.

Istnieje kilka zasadniczych przesłanek za utylizacją i ponownym wykorzystaniem surowców wtórnych w produkcji tworzywa szkło-ceramicznego. Jeden z nich dotyczy zmniejszenia kosztów usuwania surowców wtórnych, drugi odnosi się do zminimalizowania wykorzystania surowców naturalnych, zaś kolejny do możliwości uzyskania materiału o lepszych właściwościach fizycznych bądź mechanicznych, w porównaniu do tworzywa bez dodatku surowców odpadowych [3-10].

W niniejszym artykule zostanie omówione wykorzystanie granulowanego żużla wielkopiecowego oraz popiołów lotnych krzemionkowych do produkcji szkło-ceramika.

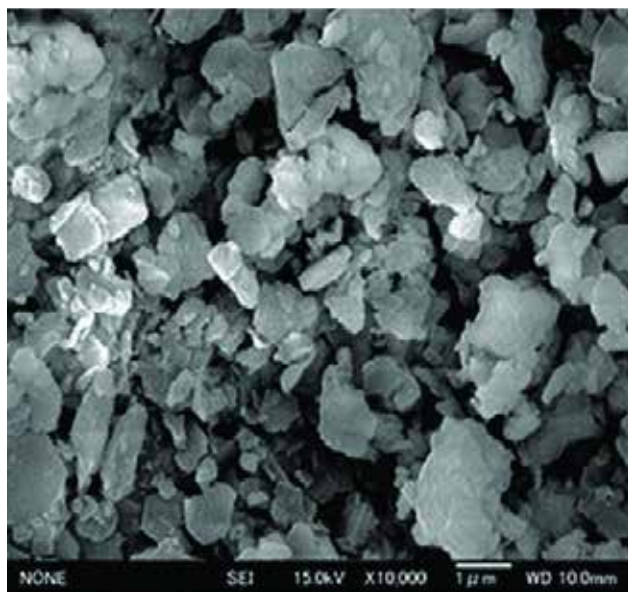
3.1. Granulowany żużel wielkopiecowy

Żużle hutnicze stanowią jeden z najbardziej zróżnicowanych surowców wtórnych. Skład chemiczny granulowanego żużla wielkopiecowego jest zmienny i zależy od rodzaju materiału wsadowego stosowanego w danym procesie hutniczym. Złożony charakter materiału wsadowego wpływa na skład chemiczny produktu końcowego oraz powstającego równolegle

Table 1. Chemical composition of granulated blast-furnace slag. Source: own elaboration

Tabela 1. Skład chemiczny granulowanego żużla wielkopiecowego. Źródło: opracowanie własne

Granulated blast-furnace slag was the first waste material used in glass-ceramics production in 1960, known as „Slagceram”. Slag mainly consists of such oxides as CaO , SiO_2 , Al_2O_3 and MgO , the rest are oxides occurring in small amounts. Small content of titanium oxide has a beneficial effect of the first stage of controlled crystallization, thus nucleation, which includes the entire volume. In the case of absence of TiO_2 the crystallization proceeds only on the surface. Nucleation temperature of slag is about 725°C , and crystallization temperature is $950\text{--}1100^\circ\text{C}$. The crystallization is not completed below 950°C . Small amounts of gehlenite ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) and merwinite [$\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$] are observed as final product. In the case of titanium oxide addition from 2% to 5%, melilites containing gehlenite and akermanite ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$) are observed [3, 9, 11].



materiału odpadowego. Przykładowy skład oraz mikrostrukturę żużla wielkopiecowego zestawiono odpowiednio w tabeli 1 oraz na rysunku 2.

Granulowany żużel wielkopiecowy był pierwszym materiałem odpadowym stosowanym w produkcji szkło-ceramika w roku 1960, znanym pod nazwą Slagceram. Żużel składa się głównie z takich tlenków jak CaO , SiO_2 , Al_2O_3 oraz MgO , resztę stanowią tlenki występujące w małych ilościach. Niewielka zawartość tlenku tytanu wpływa korzystnie na pierwszy etap kontrolowanej krystalizacji, czyli zarodkowanie, który przebiega w całej objętości. W przypadku braku TiO_2 krystalizacja przebiega wyłącznie na powierzchni. Temperatura nukleacji żużli wynosi około 725°C , zaś krystalizacji $950\text{--}1100^\circ\text{C}$. Poniżej temperatury 950°C krystalizacja nie przebiega do końca. Jako produkt końcowy obserwuje się niewielkie ilości gehlenitu ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) i merwinitu ($\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$). Przy dodatku od 2% do 5% tlenku tytanu obserwuje się w układzie melility zawierające gehlenit oraz akermanit ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$) [3, 9, 11].

Fig. 2. Microstructure of granulated blast-furnace slag [11]

Rys. 2. Mikrostruktura granulowanego żużla wielkopiecowego [11]

3.2. Fly ash

Siliceous fly ash is the most widely used material in technology of cement and concrete. In Poland, it is primarily obtained from black coal. Main components of fly ash given as oxides are SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , K_2O and Na_2O . Chemical composition of siliceous fly ash is presented in Table 2.

Well visible spherical various sizes particles of fly ash are observed on micrograph taken from the scanning electron microscope (Fig. 3).

3.2. Popioły lotne

Najszerze zastosowanie w technologii cementu oraz betonu mają popioły lotne krzemionkowe. W warunkach krajowych otrzymuje się je przede wszystkim z węgla kamiennych. Głównym składnikiem popiołów w przeliczeniu na tlenki są SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , K_2O i Na_2O . Skład chemiczny popiołu lotnego krzemionkowego zamieszczono w tabeli 2.

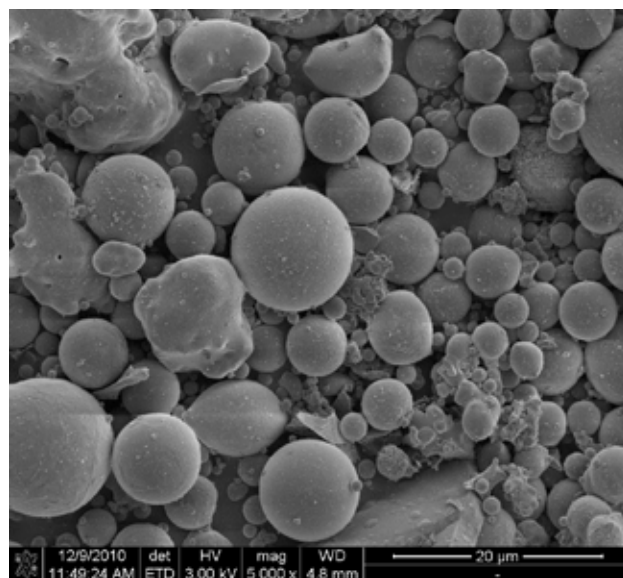
Na obrazie z elektronowego mikroskopu skaningowego zaobserwowano dobrze widoczne kuliste ziarna popiołu lotnego o różnej wielkości (rys. 3).

Chemical composition	[%]
L.O.I.	2.44
SiO ₂	49.57
Al ₂ O ₃	27.96
Fe ₂ O ₃	9.03
CaO	3.21
MgO	2.09
Na ₂ O	1.42
K ₂ O	2.59
TiO ₂	1.19
ZnO	0.05
SO ₃	0.03
P ₂ O ₅	0.31
Mn ₂ O ₃	0.06
SrO	0.05

Table 2. Chemical composition of siliceous fly ash. Source: own elaboration

Tabela 2. Skład chemiczny popiołu lotnego krzemionkowego. Źródło: opracowanie własne

Fig. 3. Microstructure of siliceous fly ash [12]
 Rys. 3. Mikrostruktura popiołu lotnego krzemionkowego [12]



The first attempts to produce glass-ceramics from fly ash were taken in the 1980s by DeGuire and Risbud. Siliceous fly ash was melted at temperature of 1500°C, and then controlled crystallization was conducted at temperature of 650-700°C and 1000°C, respectively for 2 and 5 hours. As the authors have observed, content of crystalline products was low (about 25%), which they attributed to the limited amount of TiO₂ as a factor facilitating nucleation (heterogeneous nucleation). Cumpston et al., by using 20% of CaCO₃ and TiO₂ as nucleators, have obtained material with content of crystalline products over 40%, in which anorthite Ca[Al₂Si₂O₈] was the main phase. Additionally, the occurrence of calcium carbonate influenced the decrease of viscosity and glass melting temperature by 100°C (1400°C). Small TiO₂ addition influences the microstructure change, as well as the reduction of temperature of glass devitrification (Fig. 4) [3, 4, 6-8, 10].

Pierwsze próby otrzymania szkła-ceramiki z popiołów zostały podjęte w latach 80. przez DeGuire i Risbuda. Popioły lotne krzemionkowe zostały stopione w temperaturze 1500°C, a następnie poddane kontrolowanej krystalizacji w temperaturze 650-700°C oraz 1000°C, odpowiednio przez 2 i 5 godzin. Jak zauważyli autorzy, zawartość produktów krystalicznych była mała (około 25%), co przypisywali ograniczonej ilości TiO₂ jako czynnika ułatwiającego zarodkowanie (nukleacja heterogeniczna). Cumpston i inni, przy użyciu 20% CaCO₃ oraz TiO₂ jako nukleatorów, otrzymali ponad 40% zawartość produktów krystalicznych, w której główną fazą był anortyt Ca[Al₂Si₂O₈]. Dodatkowo obecność węglanu wapnia wpłynęła na obniżenie lepkości oraz temperatury topnienia szkła o 100°C (1400°C). Niewielki dodatek TiO₂ wpływa na zmianę mikrostruktury, jak również na obniżenie temperatury dewitryfikacji szkła (rys. 4) [3, 4, 6-8, 10].

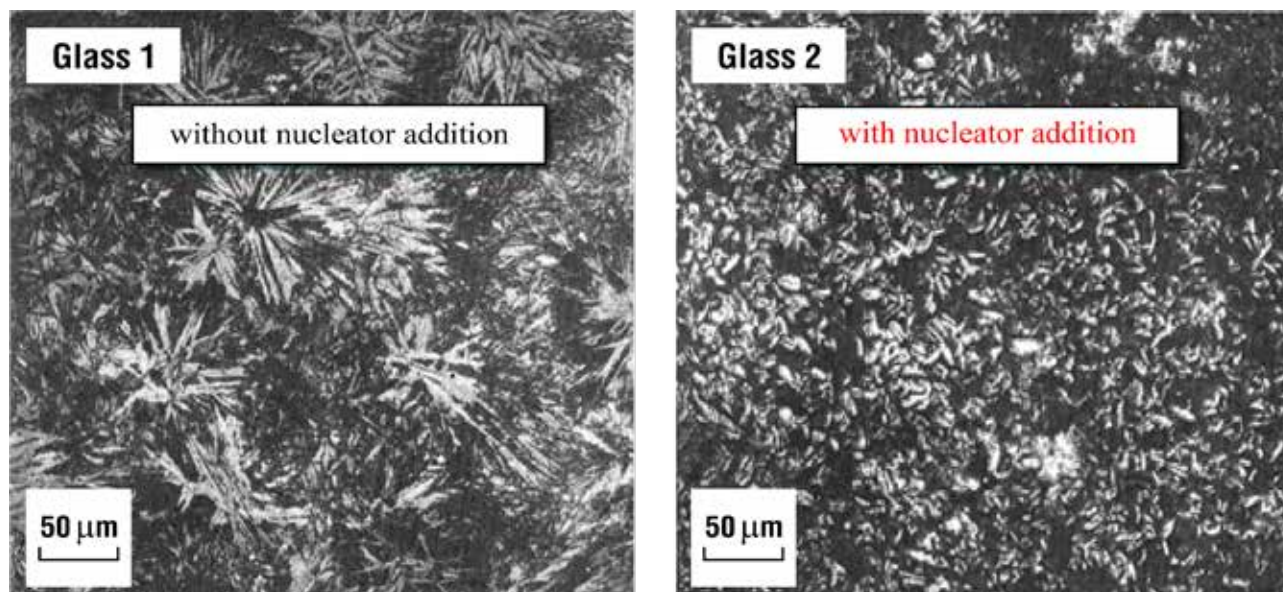


Fig. 4. Comparison of glass with nucleator (right) and without nucleator addition (left) [8]

Rys. 4. Porównanie szkła bez i z dodatkiem nukleatora [8]

4. APPLICATION

Glass-ceramics material has high mechanical strength, good resistance to temperature changes at values of 800-1000°C. This material has practically no thermal expansion coefficient. It transmits visible and infrared radiation easily.

Due to its favourable properties, glass-ceramics material is used as heating plates, fireplace glass and radiator covers.

5. SUMMARY

Granulated blast-furnace slag and siliceous fly ash have been used in glass-ceramics production from many years. However, due to difficulties in obtaining adequate quantities of high-quality siliceous fly ash and granulated blast-furnace slag during periods of the highest cement demand in Poland, interest in other green recyclables increased – for example calcareous fly ash. Extremely important is further development of glass-ceramics material in view of its unquestionable technical advantages. Research works concerning the use of green secondary raw materials are aimed at improving certain properties or obtaining special properties of this material.

4. ZASTOSOWANIE

Materiał szklano-ceramiczny charakteryzuje się dużą wytrzymałością mechaniczną, odpornością na zmiany temperatury rzędu 800-1000°C. Materiał ten ma praktycznie zerowy współczynnik rozszerzalności cieplnej. Dobrze przepuszcza promieniowanie widzialne i podczerwone.

Dzięki swoim szerokim właściwościom tworzywo szklano-ceramiczne znajduje zastosowanie jako płyty grzejne, szyby kominkowe oraz osłony grzejników.

5. PODSUMOWANIE

Granulowany żużel wielkopiecowy oraz popioły lotne krzemionkowe stosowane są w produkcji szkła-ceramiki od lat. Jednak trudności w pozyskaniu w Polsce odpowiednich ilości wysokiej jakości popiołów lotnych krzemionkowych oraz granulowanego żużla wielkopiecowego w okresach największego zapotrzebowania na cement spowodowały wzrost zainteresowania innymi zielonymi surowcami wtórnymi – między innymi popiołami lotnymi wapiennymi. Niezwykle ważny jest dalszy rozwój tworzywa szklano-ceramicznego, ze względu na jego niekwestionowane zalety techniczne. Prowadzenie prac badawczych nad zastosowaniem zielonych surowców wtórnych ma na celu poprawę pewnych właściwości lub uzyskanie specjalnych właściwości tego materiału.

References

- [1] Dziennik Ustaw z 2007, nr 39, poz. 251.
- [2] Rozporządzenie (WE) Nr 1013/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 czerwca 2006. www.eurlex.europa.eu w sprawie przemieszczania odpadów, odwiedzone 25.10.2017 r.
- [3] Rawlings R.D., Wu J.P., Boccaccini A.R., *Glass-ceramics: Their production from wastes- A Review*, Journal of Materials Science, vol. 41, Issue 3, 2006, 733-761.
- [4] Erol M., Küçükbayrak, Ersoy-Merigöyü A., *Production of glass-ceramics obtained from industrial wastes by means of controlled nucleation and crystallization*, Chemical Engineering Journal 132, 2007, 335-343.
- [5] Zanotto E.D., *A bright future for glass-ceramics*, The American Ceramic Society Bulletin 89, 8, 2010, 19-27.
- [6] Erol M., Genç A., Öveçoğlu M.L., Yücelen E., Küçükbayrak, Taptık Y., *Characterization of a glass-ceramic produced from thermal power plant fly ashes*, Journal of European Ceramic Society 20, 2000, 2209-2214.
- [7] Leroy C., Ferro M.C., Monteiro R.C.C, Fernandes M.H.V., *Production of glass-ceramics from coal ashes*, Journal of European Ceramic Society 21, 2001, 195-202.
- [8] Bernardo E., Castellan R., Hreglich S., *Sintered glass-ceramics from mixtures of wastes*, Ceramics International 33, 2007, 27-33.
- [9] Liu H., Lu H., Chen D., Wang H., Xu H., Zhang R., *Preparation and properties of glass-ceramics derived from blast-furnace slag by a ceramic-sintering process*, Ceramics International 35, 2009, 3181-3184.
- [10] Peng F., Liang K., Hu A., *Nano-crystal glass-ceramics obtained from high alumina coal fly ash*, Fuel 84, 2005, 341-346.
- [11] Khan S.U., Nuruddin M.F., Ayub T., Shafiq N., *Effects of Different Mineral Admixtures on the Properties of Fresh Concrete*, The Scientific World Journal, 2014, 1-11.
- [12] Chaipanich A., Nochaiya T., Wongkeo W., Torkittikul P., *Compressive strength and microstructure of carbon nanotubes-fly ash cement composites*, Materials Science and Engineering A 527, 2010, 1063-1067.

Acknowledgments:

This work was supported by Ministry of Science and Higher Education, Grant No. 3NS11K17 – Institute of Ceramics and Building Materials, Glass and Building Materials Division in Cracow

Podziękowania:

Praca finansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, praca statutowa nr 3NS11K17 – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie

SNOWDRIFT EXTENT ON MOTORWAYS WITH BUSY TRAFFIC

ZASIĘG POKRYWY ŚNIEŻNEJ NA AUTOSTRADACH O DUŻYM NATEŻENIU RUCHU

DOI: 10.30540/sae-2018-012

Abstract

The paper examines the problem of snow-drafts on roads and ways of mitigating them. The results of theoretical analyses of development of snow-drafts and experimental investigations with road models are presented. Authors examined low and high blowing snows with different wind velocities, roads with road bed at terrain elevation and situated on an embankment, with and without snow protective facilities and with variable amount of traffic. Based on the conducted analyses a set of recommendations for snow protection of roads are provided.

Keywords: snow-drift, snow-fall, wind velocity, snow-protection, snow removal, roadway, car, traffic, model, experiment

Streszczenie

W artykule dokonano analizy problemu występowania zaśnieżania dróg oraz opisano sposoby ich ochrony przed tym zjawiskiem. Przedstawiono także wyniki analizy teoretycznej przyczyn zaśnieżania dróg oraz wyniki badań eksperymentalnych z wykorzystaniem modeli dróg. Badano wpływ małych i dużych opadów śniegu występujących przy różnej prędkości wiatru na drogę usytuowaną w poziomie terenu (zero niwelety) i na nasypie, z uwzględnieniem wpływu obecności zasłon przeciwsnieżnych oraz niewielkiego ruchu pojazdów. Na podstawie wykonanych analiz sformułowano zalecenia dotyczące ochrony drogi przed opadami śniegu.

Słowa kluczowe: zaspas śnieżne, opady śniegu, prędkość wiatru, ochrona przed śniegiem, odśnieżanie, jezdnia, samochód, ruch drogowy, model, eksperyment

1. INTRODUCTION

Russia is a northern country with long winters, low below-zero temperatures, harsh winds, snow falls and snowstorms. Hence, it has a vast experience successfully preventing and removing snow drifts from auto roads. In recent years, however, it has become clear that all this is no longer enough: the main auto roads equipped with powerful snow removing systems and protection means against snow drifts witness prolonged many kilometers long traffic jams caused by snow drifts on the traffic bearing part of auto roads. This means that old, tried-and-true methods and ways do not suffice any more. Why is it?

2. THEORETICAL ANALYSIS

Presence of cars on the traffic-bearing surface of the road affects snow relocation over the road drastically. Most diagrams describing wind-blown snow stream

coming across road bed of the motorways and snow-retaining barriers along the roads work for the cases when there is no traffic on the road [5-10]. Hardly any diagram features a car. Safety barriers are also predominantly absent. That was true at times when traffic was small. Nowadays, however, the conditions have changed drastically – even local roads in winter have relatively busy car traffic. Taking into account fast-paced motorization of the society we can expect further increase in traffic. This feature – lack or presence of a car, several rows of cars on the traffic-bearing surface of the road – changes the aerodynamic system on the road bed drastically and therefore changes blowing snow accumulation. A car on the road, safety barriers on the road shoulders (mandatory for embankments 2 and more m high), on motorways in the centre of the road bed – all of them obstruct wind-blown snow stream with the expected results.

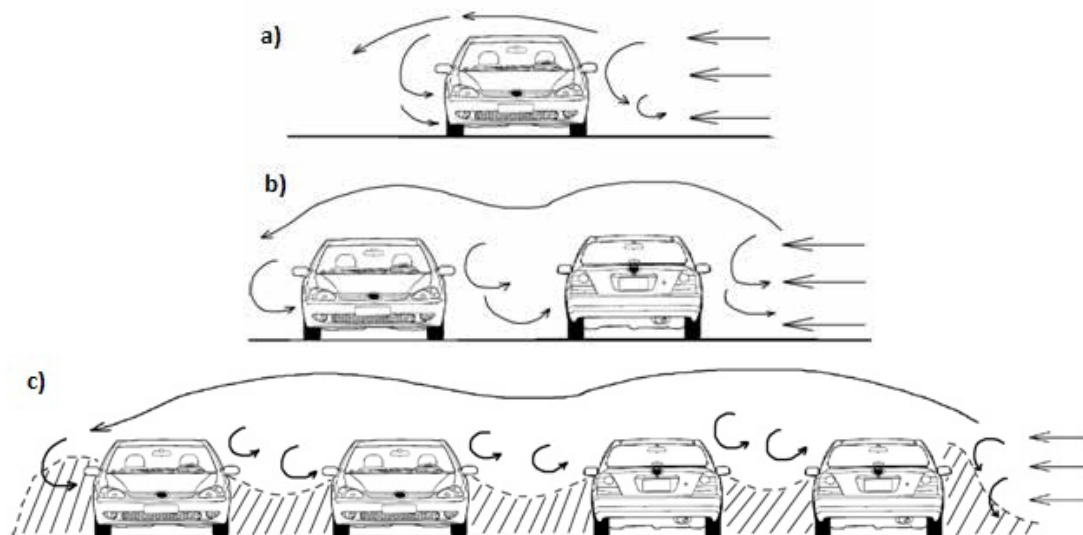


Fig. 1. A diagram of snow and wind flow movement over the road traffic bearing surface with cars moving on it. Cross profile: a) one row of cars on the traffic-bearing surface, b) two rows of cars on a two-lane road, c) cars moving in four rows

These obstacles are located directly on the road bed (barriers 0.5 m away from the embankment edge) and on the traffic-bearing surface (cars). As a result the whole point of the embankment construction (from the snow protection point of view) disappears. This is why it is not feasible to build embankments more than 2 m high. Lower embankments (up to 1.5 m high) and shallow slopes (from 1:3 to 1:8-1:10) providing gentle shapes to the road bed are fairly rare. Barriers 0.5-0.6 m high serve as standard snow-retaining fences. Cable barriers retain very little windblown snow.

Traffic flow on the road in its essence is a close barrier with gaps that are formed not within the sheets, but between the cars, i.e. along the length of the road (between the continuous sheets). On roads with multiple lanes there are as many rows of barriers as there are car lanes. These barriers are also located very small distance 1-2 m apart. Car movement does not play any significant role.

As a result we get a brand new picture of wind-blown snow flow over the traffic-bearing surface of the road (Fig. 1).

3. MODELLING OF THE WAY WIND-BLOWN SNOW COMES ACROSS OBSTACLES

Dynamic processes modelling is based on the provisions of the dimensional analysis. Ensure similarity of the model and actual conditions to examine hydraulic and aerodynamic phenomena. The phenomena are considered to be similar if they take place within geometrically similar systems, featuring processes of the same physical nature and the relation between the same-name values is maintained.

Newton's condition (Ne) shall be observed to ensure hydraulic similarity of the systems hydraulics- and aerodynamics-wise:

$$F_a l_a / M_a V_a^2 = F_m l_m / M_m V_m^2 \quad (1)$$

where: F – energy, l – geometrical dimensions, M – mass, V – speed, a – actual parameters, m – model parameters.

This condition may be satisfied if the following four criteria are met:

- For systems under gravity – Froude number (Fr): $V_a^2/g l_a = V_m^2/g l_m$, g – gravitation acceleration. For these systems the relation between speed and length scale is expressed by the functional connection $\alpha_v^2 = \alpha_l$, where α_v – scale of velocity, α_l – scale of length.
- For systems under the internal friction force – Reynolds number (Re): $l_a V_a / \nu_a = l_m V_m / \nu_m$, ν – viscosity. For these systems the relation between speed and length is expressed by the functional connection $\alpha_v \alpha_l = \alpha_\nu$, α_ν – scale of viscosity.
- To ensure homochronicity of the systems make sure that Strouhal number is observed (Sh or H_0): $l_a / V_a t_a = l_m / V_m t_m$, t – time.
- Euler number (Eu): for pressures $\Delta p_a / \rho_a V_a^2 = \Delta p_m / \rho_m V_m^2$, Δp – drop in pressures, ρ – density. For potentially bulk forces $g \Delta Z_a / V_a^2 = g \Delta Z_m / V_m^2$, ΔZ – drop in pressures.

Strouhal number applies to transient processes. For steady-state processes homochronicity is not relevant and is excluded from the similarity conditions.

For negligibly small viscosities Euler number shall remain constant and shall not depend on the Reynolds number. This lack of dependency means that similarity

in this case is established automatically provided similarity condition and geometrical similarity of the systems are observed. The main indication that the systems are similar is the equality of the resistance factors of the model and actual flows.

Years-long practice of modelling hydraulic and aerodynamic processes shows that all similarity criteria cannot be achieved simultaneously. This is why we will examine the listed criteria in relation to the examined scenario and will chose the most determinant one.

In this case we are examining a set air flow regime (hence, Strouhal number is excluded from the similarity conditions). Wind-blown snow viscosity is negligibly small, which means that Euler number does not depend on Reynolds number. So Euler number may also be excluded from the similarity condition.

Reynolds number reflects the effect of inner friction forces (i.e. viscosity of the moving medium) on the dynamic process. For wind-blown snow stream air flow friction against ground surface free from any obstacles shall be evaluated in different ways: for ground blizzards (low drifting snow) it is quite high as it tears snow particles away from the snow cover and relocates them (movement by saltation); for upper drifting snow it is low, as the snow mainly enters air flow through snowfall. In case there are obstacles (bushes, trees, fences, etc.) the friction increases sharply which affects dynamics and travel time characteristics of the air (wind-blown snow stream) flow. Cars on the traffic bearing surface of the road also serve as considerable obstacles generating the flow. This is why Reynolds number shall be taken into consideration during modelling of blizzards on the roads.

Froude number which reflects gravity effects and therefore snow sedimentation and snowbanks formation shall also be taken into account during modelling of snowdrifts.

Hence, the analysis has showed that there are two primary similarity criteria: Reynolds number (reflecting travel time characteristics of the flow) and Froude number (reflecting the turbulence of the flow and flow particles settling). However the correlation of modelling scales for these criteria and geometrical scale (mandatory for each case) is different:

- as per Froude $\alpha_v = \sqrt{\alpha_l}$,
- as per Reynolds $\alpha_v \alpha_l = \alpha_v$.

Same similarity criteria are also used in aerodynamics: Froude number, Reynolds number $Fr = V^2/L g$,

$$Re = L V_\infty / \nu \quad (2)$$

For example, for airborne vehicles actual drag “X” and model drag are connected through an equation $X_a = X_m c_a q_a S_a / c_m q_m S_m$, where: c – drag factor; q – velocity head pressure ($V^2/2g$); S – reference area. Main parameters of the oncoming flow are: speed (V_∞), pressure (p_∞), density (ρ_∞), temperature (T_∞), dynamic viscosity coefficient (μ_∞) or kinematic viscosity coefficient (ν_∞).

For aerodynamic processes like an air vehicle air flow Froude number is fairly insignificant as the effect of gas weight on the motion is negligibly small. However, for wind-blown snow stream with a large number of snow particles this criterion is as important as it is in hydrodynamics.

Main purpose of the Reynolds number is to predict flow pattern of a laminar or turbulent flow. For eddy flow turbulence degree is assessed (based on Re). Reynolds number evaluation requires availability of the kinematic viscosity coefficient. Its values in water and air are significantly different (Fig. 2).

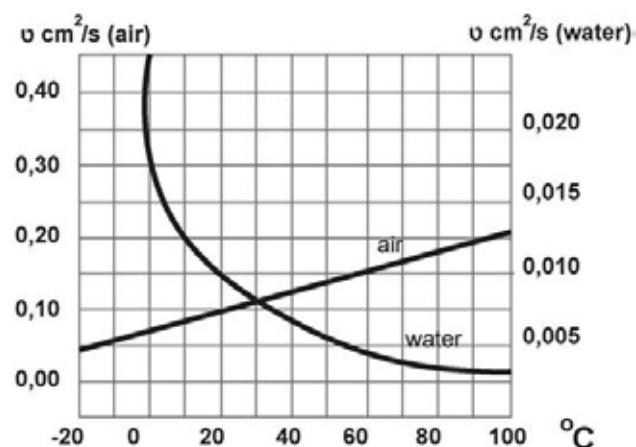


Fig. 2. Kinematic viscosity coefficient of water and air Dotted line – author's forecast for the below-zero temperatures

Viscosity – value reflecting friction forces in liquids and gases. For jet liquids and gases N.P. Petrov proposes to use the following correlation

$$T = \pm \mu F dU/dn \quad (3)$$

where: T – full friction; F – surface area of the bodies in rubbing contact; dU – drop in the speed of the stream during the transition from one layer to another; μ – dynamic viscosity factor: $|\mu| = |(T/F) dU/dn|$.

Kinematic viscosity coefficient ν :

$$\nu = \beta V l, \text{ m}^2/\text{s (cm}^2/\text{s)} \quad (4)$$

where: $\beta = 0.31 \dots 0.49$ – coefficient depending on the velocities distribution law and the way gas molecules

collide during their thermal movement; l – length of the free path of gas particles between two collisions; μ – dynamic viscosity coefficient.

Length of the molecules' free path $l = 1/(\sqrt{2} n_0 \delta)$, where: n_0 – number of molecules in a volume unit; δ – molecule effective cross section: $\delta = \pi d^2$, d – effective diameter of the molecule (for Oxygen O_2 – $d \times 10^{10} = 2.9 \dots 3.6$ m); d decreases as the temperature increases: $d_t = d (1 + C/T)^{-2}$; T – temperature in K; C – gas constant: for Oxygen $C = 138$ K.

After an examination of the equation in terms of Froude and Reynolds numbers we get an equation to assess the speed of movement:

– asper Froude

$$V_{\text{mod}} = V_{\text{act}} \sqrt{L_{\text{mod}} / L_{\text{act}}} \quad (5)$$

– asper Reynolds

$$V_{\text{mod}} = V_{\text{act}} L_{\text{act}} / L_{\text{mod}} \quad (6)$$

Hence, «as per Reynolds» modelled speed shall be higher than the actual speed (which falls in line with the equivalent results in aerodynamics).

Snow particles (snowflakes) in the air flow may be treated as suspended load in a water flow. Suspension is a result of flow turbulence.

In upper and overall drifting snow creating largest snow depositions (snowbanks) air flow carries a lot of snowflakes. They join the air flow as a result of snowfall (snow falling from the clouds) and partially as a result of snowflakes being torn away from the snow cover on the ground and lifted by a turbulent flow to the height of several meters. These particles are transported by wind. Snow relocation intensity I is defined by the wind speed V :

$$I = C V^3 \quad (7)$$

Decrease in speed causes a drop in the wind ability to transport and maintain snow content in the air flow. Increased turbulence areas before and after wind-blown snow stream obstacles make the flow speed drop drastically, causing snow sedimentation (falling).

For liquid flows transporting snow drifts (i.e. for double-phase liquids) M.A. Velikanov proposed to introduce fluidization action into the stream force equation, reflecting it through an average speed of particles falling w . This speed is considered equal to the hydraulic size of the snow drifts' particles (w_0).

It has been established that for the fluidization processes in geometrically similar systems to be similar the following equation shall be observed

$$\alpha_v = \alpha_{w_0} \alpha_s \quad (8)$$

where: s – mean value of the suspended materials concentration in the examined volume; α_{w_0} α_s – modelling scale.

Particles sedimentation speed W depends on their size and relative weight. The following three criteria shall be observed during modelling of snow drifts:

$$1. Re = V d / \nu > Re_m.$$

$$2. V / w_0 = \text{idem}.$$

$$3. V^2 / (g \rho d) = \text{idem},$$

where: Re_m – threshold Reynolds number value; V – speed; d – diameter (size) of particles, ν – kinematic viscosity coefficient; w_0 – hydraulic size of particles; ρ – density of particles. The size of snow particles (snowflakes) falls within 0.1 to 5, sometimes 10 mm (and different shapes). Snow density in freshly fallen deposit can be as high as $0.07 \dots 0.12$ g/m³.

If the actual $Re_a > Re_m$, then the flow past an obstacle regime will be squared and Re_m shall also be higher than Re_m . If $Re_a < Re_m$, similarity may be achieved only in case $Re_a = Re_m$.

Criterion $V^2 / (g \rho d)$ belongs to the conditions of bottom drag of solid particles and requires equal scales of $\alpha_{w_0} = \alpha_v = \sqrt{\alpha_h}$, which is a result of kinematic similarity.

Suspended sediment concentration of a flow S depends on the geometric dimensions of the particles (d), values of V and w_0 . As the diameter of particles becomes more disperse (D/d_{cp}) suspended sediment concentration of the flow is achieved at higher values of V/w_0 .

$$S = 0.009 (V_{\text{lim}} / w_0)^6 (d_{cp} / D)^{3.5} \quad (9)$$

where: V_{lim} – speed required to relocate a given number of suspended solid particles of a certain granulometric texture.

4. EXPERIMENTAL STUDY

We have examined a 1:60 scale road bed model of a motorway constructed at zero elevation and on an embankment (model – 3 cm, actual size – 1.8 m) operating during ground blizzard at wind speeds from 5.0 m/s to 1.3 m/s (actual speed 38.7-10.1 km/h) with and without a snow-retaining barrier at the windward side of the road (fence). Traffic bearing part of the road has two lanes where: there are no cars; there is one row of cars (i.e. cars use one lane); there are two rows of cars (i.e. cars use two lanes). Snow imitation has been added to the air flow.

For modelling results see diagrams showing how the speed of the air flow changed as it came across the motorway.

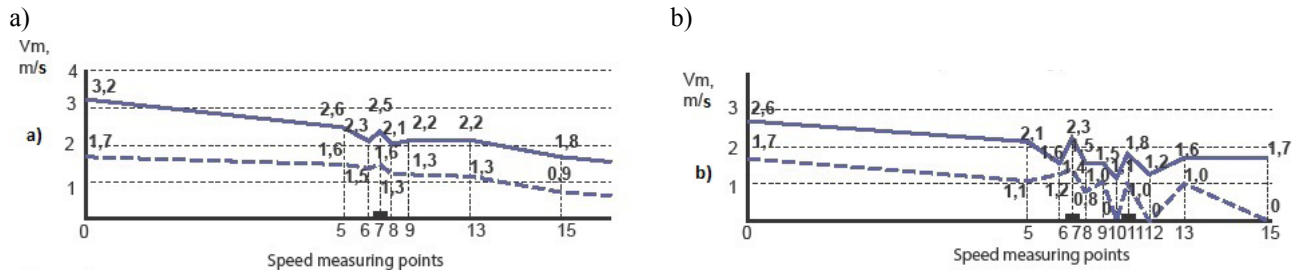


Fig. 3. Ground blizzard. Road bed at 'elevation zero'. No snow-retaining barrier. Cars form 1 (Fig. 3a) and 2 (Fig. 3b) rows. There are 2 curves on the diagram showing velocity profile of the air flow for different initial air flow speeds

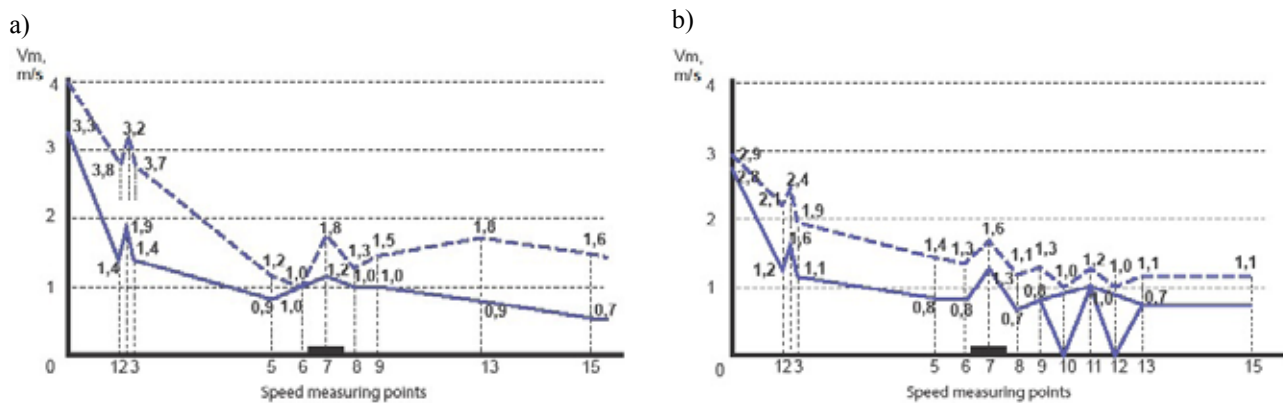


Fig. 4. Ground blizzard. Road bed at 'elevation zero'. There is a snow-retaining barrier in front of the road. Cars on the road form 1 (Fig. 4a) and 2 (Fig. 4b) rows

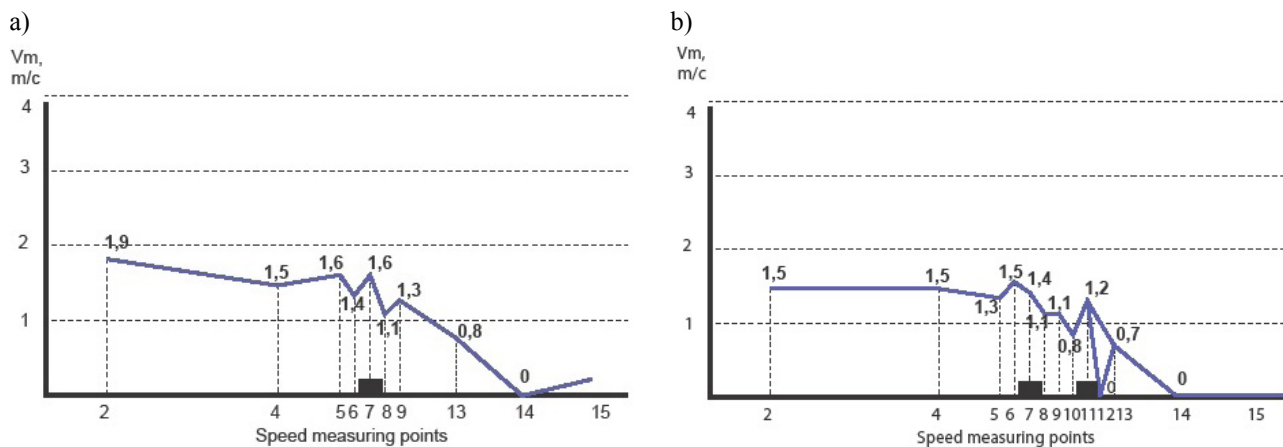


Fig. 5. Ground blizzard. Road bed on an embankment. No snow-retaining barrier. Cars form 1 (Fig. 5a) and 2 (Fig. 5b) rows

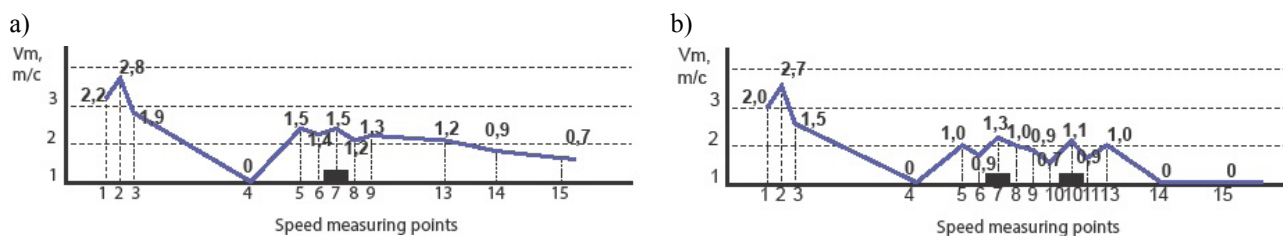


Fig. 6. Ground blizzard. Road bed on an embankment. There is a snow-retaining barrier in front of the road. Cars form 1 (Fig. 6a) and 2 (Fig. 6b) rows

For visual representation of snow drifts sedimentation refer to Figures 7-9.



Fig. 7. Top view of the snow drift build-up close to cars on the traffic-bearing surface of the road. Road bed at 'elevation zero', no snow-retaining barrier



Fig. 8. Sedimentation of snow drifts on the traffic-bearing surface of the road (embanked section) during ground blizzard. No snow-retaining barrier



Fig. 9. Sedimentation of snow drifts on the traffic-bearing surface of the road built on an embankment with a snow-retaining barrier. Ground blizzard

5. RESULTS

Changes in the air speed over traffic-bearing surface of the road showed that in ground blizzard (air flow height up to 2...3 m) car flow on the surface of the road contributes to blizzard drifts and therefore – formation of snow drifts. Regardless whether there is a snow-retaining barrier in front of the road or not. The number of car rows is important. Two occupied lanes creates several sharp speed drop areas: before and after the first lane, before and after the second one. The rate at which the wind speed decreases grows (sometimes down to 0 m/s). The lower the wind speed during snow drift, the more prominent this drop becomes. At high wind speeds solid particles are blown away from the traffic-bearing surfaces through the space between the cars in the lane and while the amount of snow is larger, on the whole the amount of solid drifts is less than with blizzards with relatively low wind speed. The study goes on. However already it is safe to say that snow barriers placed to the windward side of roads with busy traffic shall be retained to catch the snow carried by low drifts and ground blizzards; they shall be reinforced with blow-over snow fences (with or without a clearance in the bottom part) on the edge of the road bed – like noise-abatement walls – to ensure protection against snow carried by the high-up drifting snow.

References

- [1] Mihailovsky E.V., *Aerodynamics of a car*. Mashinostroenie, Moscow 1973.
- [2] Krasnov N.F., *Aerodynamics*. Vysshaya Shkola, Moscow 1971.
- [3] Hucho W.-H., *Aerodynamik des Automobils*. Vogel-Verlag, Wurzburg 1981.
- [4] Dunin A.K., *Road maintenance in winter*. Transport, Moscow 1983.
- [5] Reference book for road engineers. Road maintenance and reconditioning. Transport, Moscow 1974.

- [6] Leonovich I.I., *Road use and traffic management*. Vysheishaya Shkola, Minsk 1988.
- [7] Alder B., Ferbaneh S., Rotenberg M., *Fundamental Methods in Hydrodynamics*. Academic press, New York and London 1964.
- [8] Chugaev R.R., *Hydraulics*. Gosenergoizdat, Leningrad 1963.
- [9] Bogomolov A.B., Mihailov K.A., *Hydraulics*. Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, Moscow 1965.
- [10] Levi I.I., *Model analysis of hydraulic phenomena*. Gosenergoizdat, Moscow – Leningrad 1960.
- [11] Ushakov V.V., Korneeva D.Yu., *Protection Of High Speed Roads And Trailers From Snow Drum*. Transport construction. 2014. № 5, pp. 27-28.
- [12] Gladysheva O.V., Shiryaeva S.M., *The Broadcasting Of The Authority Of The Streets Of Automobile Roads*. Roads and bridges. 2013. Vol. 1, No. 29, pp. 125-137.
- [13] Stolyarov V.V., Trusikhin A.V., *The Account Of The Effects Of The Demand Height Of A Road Site On The Risk Of Its Family Darkeness*. Mathematical methods in engineering and technology – MMTT. 2014. No. 9 (68).

GIS TECHNOLOGY AS A TOOL FOR PROTECTING LANDSCAPE AND CULTURAL VALUES IN SPATIAL PLANNING

TECHNOLOGIA GIS NARZĘDZIEM OCHRONY KRAJOBRAZU I WARTOŚCI KULTUROWYCH W PLANOWANIU PRZESTRZENNYM

DOI: 10.30540/sae-2018-013

Abstract

The issue of a landscape protection is quite a significant element of municipal spatial policy. Currently, there is no legal obligation to implement, within the statutory activities of institutions responsible for the landscape protection, guidance documents prior to work on the development of the municipality. Space management, through planning a development and land use or the landscape protection, requires access to comprehensive and reliable information. The use of GIS technology in spatial analysis and monitoring changes in space, for the landscape and cultural values protection, provides opportunities to assist decisions on the destination and land use in spatial planning carried out using planning documents (A study of the conditions and directions of the spatial planning and the local zoning plan).

Keywords: landscape protection, GIS, spatial planning, planning documents

Streszczenie

W odniesieniu do polityki przestrzennej gmin, problematyka ochrony krajobrazu stanowi element dość znaczący. Aktualnie brak jest prawnego obowiązku realizacji, w ramach działań statutowych instytucji odpowiedzialnych za ochronę krajobrazu, dokumentów o charakterze wytycznych wyprzedzających prace nad kierunkami rozwoju gminy. Zarządzanie przestrzenią, przez planowanie rozwoju oraz sposobu zagospodarowania terenu lub ochrony krajobrazu wymaga dostępu do wszechstronnej i wiarygodnej informacji. Wykorzystanie technologii GIS w ramach analiz przestrzennych oraz monitoringu zmian zagospodarowania przestrzeni na potrzeby ochrony krajobrazu i wartości kulturowych daje możliwości wspomagające decyzje dotyczące przeznaczenia i sposobu zagospodarowania przestrzeni w planowaniu przestrzennym, realizowanym za pomocą dokumentów planistycznych gmin (studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy i miejscowego planu zagospodarowania).

Słowa kluczowe: ochrona krajobrazu, GIS, planowanie przestrzenne, dokumenty planistyczne

1. INTRODUCTION

Municipal spatial policy, characterized through historical and cultural values and landscape protection is based on the Polish legal system, on the Act on Spatial Planning and Development [1] and the Construction Law act [2]. Both documents along with implementation rules are the foundations of an investment process. With regard to the municipal spatial policy, based primarily on records of planning documents, including a Study of the Conditions and Directions of Spatial Planning and a Zoning Plan, the issue of protection of cultural values and the landscape seems to have a significant impact. The lack

1. WPROWADZENIE

Polityka przestrzenna gmin, charakteryzowana przez pryzmat wartości historycznych i kulturowych oraz ochronę krajobrazu, w obowiązującym w Polsce systemie prawnym, oparta została przez ustawodawcę o treść ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [1] oraz ustawy Prawo budowlane [2]. Oba akty prawne, wraz z przepisami wykonawczymi, stanowią w Polsce fundamenty prawne procesu inwestycyjnego. W odniesieniu do polityki przestrzennej gmin, opartej przede wszystkim na zapisach dokumentów planistycznych, do których należą studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzen-

of regulations on the obligation to implement, within statutory activities of public administration institutions (regional or municipal Restorer, Town/City Mayor) guideline documents, which indicate conditions for the development of municipalities, is highly negative for items requiring protection, and for the investment process. Acknowledging the legislators' view that the stage of agreement on a zoning documentation project, will verify the mentioned arrangements are a mistake. The complexity of the issues and the scope of the findings of planning documents indicate that the phase of implementing the mentioned documents containing condition-like elements should precede planning activities.

Regardless, land destination and restrictions on the land use are the foundation for spatial information, that undoubtedly affects the economic value of an area, determines the development of a region and results directly in the way of human functioning in terms of investment, economics, environmental protection, nature conservation, security, or the protection of the landscape and cultural values. The use of GIS technology in planning design, in the local, regional or national scale enables, considering the accessible information on land and its use, to develop simulations of individual variants of spatial development models (3D and 4D) while maintaining the principles of sustainable development and respect for natural resources and the cultural values. Such form of spatial planning also becomes a helpful tool in the presentation of planning solutions in public. GIS technology, as an integrated system of management and presentation of spatial data, can be a tool to solve problems and achieve a compromise. It is primarily due to the presentation of various studies results that take into account the aspects of space impossible to be presented in a 2D model (physiography, terrain models, technical infrastructure, formal considerations, landscape attractiveness, elements of spatial composition, a perception of cityscapes from certain viewpoints).

2. LEGAL STATUS

According to the Spatial Planning and Land Development Act [1], here referred to as the SPaLD Act, a study of the conditions and directions of spatial planning, as the document shaping the municipal spatial policy, shall take into account conditions arising in particular from: previous destination, land use and land utilities, spatial order and the requirements of its protection, the condition of the

nego gminy oraz miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, problematyka ochrony wartości kulturowych i krajobrazu stanowi element mający dość znaczny wpływ. Brak prawnych uregulowań dotyczących obowiązku realizacji, w ramach działań statutowych poszczególnych instytucji administracji publicznej (wojewódzki lub miejski konserwator zabytków, wójt, burmistrz, prezydent miasta), dokumentów o charakterze wytycznych, stanowiących swego rodzaju wskazanie uwarunkowań dla kierunków rozwoju gmin, uznać należy za wysoce niekorzystny zarówno na przykład dla elementów wymagających ochrony, jak i dla samego procesu inwestycyjnego. Przyjęcie bowiem za ustawodawcą, iż etap uzgodnień projektu dokumentacji planistycznej zweryfikuje ostatecznie ustalenia w ww. zakresie jest błędem. Złożoność problematyki i zakres ustaleń dokumentów planistycznych wskazują, iż etap realizacji opracowań zawierających elementy stanowiące swego rodzaju uwarunkowania powinien wyprzedzać działania planistyczne.

Przeznaczenie terenu oraz obostrzenia dotyczące jego sposobu zagospodarowania stanowią fundament informacji przestrzennej, która niewątpliwie wpływa na wartość ekonomiczną przestrzeni, determinuje rozwój regionu, jak również przekłada się bezpośrednio na sposób funkcjonowania człowieka w rozumieniu inwestycyjnym, ekonomicznym, ochrony środowiska, ochrony przyrody, bezpieczeństwa czy ochrony krajobrazu i wartości kulturowych. Wykorzystanie technologii GIS w lokalnej, regionalnej czy krajowej skali projektowania planistycznego daje możliwość, przy uwzględnieniu dostępnych informacji o terenie i sposobie jego zagospodarowania, opracowania symulacji poszczególnych wariantów modeli (3D i 4D) zagospodarowania przestrzeni, z zachowaniem zasad zrównoważonego rozwoju i poszanowania zasobów naturalnych oraz zasobów stanowiących wartości kulturowe. Taka forma planowania przestrzennego staje się również pomocnym narzędziem w procesie prezentowania rozwiązań planistycznych na forum publicznym.

Technologia GIS, jako zintegrowany system zarządzania i prezentacji danych przestrzennych, może stanowić narzędzie rozwiązania problemów oraz osiągnięcia kompromisu, głównie przez sposób prezentacji wyników określonych analiz, uwzględniających aspekty przestrzeni niemożliwe do zaprezentowania w modelu 2D (fizjografia, model terenu, infrastruktura techniczna, uwarunkowania formalnoprawne, atrakcyjność krajobrazowa, elementy kompozycji urbanistycznej, sposób odbioru panoram miasta z określonych punktów widokowych).

environment, including, inter alia, the requirements of protecting the environment, nature, cultural landscape, the condition of cultural heritage and historical monuments and contemporary cultural property.

Given the findings of the study, it must be assumed that considering the issue of the landscape protection, it reflects the records of the Act on the protection and care of monuments [3]. It must be noted that article 145 of the mentioned act expands the scope of the arrangements introduced to a study by conservation protection authorities virtually without limitations. By making the character and scope of claims, regarding a planning document, dependent on the date of the founding of the municipal register of historical monuments.

The conclusions of the conservation protection services, required by law, collected in accordance with the SPaLD Act, containing cultural values and indicated an optimal way of protection, necessary to include in the study project, play a significant role in determining the municipal spatial policy that is included on the next stage of the study implementation [4, p. 6]. The same applies to the implementation procedure of the local zoning plan.

This is a direct cause of situations when under the Act on the protection and care of monuments, an assessment authority-a Restorer indicates that, in order to conform to applicable law, at the stage of implementation of the study, a study of the cultural landscape of the municipality should be drawn up as a supporting document. A cultural landscape, as defined in art. 3 point 14 of the Act on the protection and care of monuments is understood as space historically shaped as a result of human activity, including the creations of civilization and natural elements. According to the authority on the protection of monuments, the conclusions in the study of the cultural landscape of the municipality are required to be included in the study of the conditions and directions of the spatial planning of the municipality [5, p. 55-60].

The complexity of the issues of the protection of cultural landscape, the conclusions of monuments' protection services, on considering the work on the study of the cultural landscape protection while implementing the study, seem to be reasonable, regardless of the fact that the obligation of having the mentioned documents is considered to be illegal. It is far from being applicable to any laws.

2. STAN PRAWNY

Na podstawie zapisów ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym [1], zwanej dalej ustawą o pizp, w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, jako dokumencie kształtującym kierunki polityki przestrzennej gminy, uwzględnia się uwarunkowania wynikające w szczególności z: dotychczasowego przeznaczenia, zagospodarowania i uzbrojenia terenu, stanu ładu przestrzennego i wymogów jego ochrony, stanu środowiska, w tym między innymi wymogów ochrony środowiska, przyrody i krajobrazu kulturowego, stanu dziedzictwa kulturowego i zabytków oraz dóbr kultury współczesnej.

Biorąc pod uwagę zakres ustaleń studium, przyjąć należy, iż w odniesieniu do tematyki związanej z ochroną krajobrazu jest on odzwierciedleniem zapisów zawartych w ramach ustawy o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami [3]. Przy czym zaznaczyć należy, iż art. 145 ww. ustawy rozszerza zakres ustaleń wprowadzanych przez organy ochrony konserwatorskiej do studium praktycznie bez ograniczeń, uzależniając charakter i rozmiary roszczeń, w stosunku do dokumentu planistycznego, od terminu założenia gminnej ewidencji zabytków.

Ustawowo wymagane od służb ochrony konserwatorskiej wnioski, zbierane w myśl zapisów ustawy o pizp, zawierające konieczny do uwzględnienia w projekcie studium zasób wartości kulturowych i wskazany optymalny sposób jego ochrony, pełnią znaczącą rolę w określeniu polityki przestrzennej gminy uwzględnionej na kolejnym etapie realizacji studium [4, s. 6]. Podobnie rzecz się ma w przypadku procedury realizacji miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego.

Przedstawiony stan jest bezpośrednią przyczyną sytuacji, w których, w myśl ustawy o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami, organ opiniujący – konserwator zabytków – wskazuje, iż w celu dostosowania do obowiązujących przepisów prawa, na etapie realizacji studium, należy sporządzić dokument pomocniczy, jakim jest studium krajobrazu kulturowego gminy. Za krajobraz kulturowy, zdefiniowany w art. 3 pkt 14 ustawy o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami, uznaje się przestrzeń historycznie ukształtowaną w wyniku działalności człowieka, zawierającą wytwory cywilizacji oraz elementy przyrodnicze. Zgodnie ze stanowiskiem organu ochrony zabytków, wnioski zawarte w studium krajobrazu kulturowego gminy mają obowiązek zostać uwzględnione w studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy [5, s. 55-60].

3. SPACE MANAGEMENT – MODEL 2D

Poland is a country with a diversity of space functioning which is distinctive in Europe, but at the same time, with severe processes of spatial order and landscape physiognomy degradation and growing problems with management of cities and municipalities land use [6, pp. 5-18]. It is caused, inter alia, by the lack of clear assumptions indicating and interpreting ways of acting spaces eg. valuable culturally and historically, as well as the absence of a system of analysis and monitoring of changes in land development, taking into account the elements which are especially valuable and require protection. A way of regulating interactions plays a very important role in landscape systems. A mechanism based on an adaptation of the system to the conditions arising from changes in the environment, seems to be most appropriate. However, to make this mechanism work, a clear definition of the circumstances, indicating e.g., elements which must be regarded as protected, is necessary.

Management of space by planning for its way of use or protection requires access, and considering comprehensive and reliable information. Linking a number of databases and their correlation are the basis for the implementation of the analysis, then creating variants of the solutions and modeling changes in space, finally monitoring its transformations over time.

The records of planning documents for the city of Zielona Góra of 2015 can be an example of thinking about space limited to 2D model. Based on the findings of the study of the conditions and directions of the city spatial planning (Fig. 1), a zoning plan has been developed (Fig. 2), concerning with its arrangements, a part Zielona Góra center, including the area which covers quarters adjacent directly to the old market. The north frontage of Konstytucji 3 Maja street was characterized by the view into the W. Sikorskiego street ended by dominating tower of the City Hall (Fig. 3). The introduction of the detailed findings of the plan and the arrangements on the obligatory course of buildings and the maximum height of buildings, but without a broader analysis, in this case concerning the terrain, the relative height of buildings, or the composition of urban planning, has led to the accomplishment of the Kepler's Science Center project, losing completely the original layout of W. Sikorskiego street (Fig. 4). The above example indicates a strong correlation between spatial policy document and a local law. Effects of negligence or lack of relevant studies seem irreversible.

Złożoność problematyki związanej z ochroną krajobrazu kulturowego oraz wnioski służb ochrony zabytków, dotyczące uwzględnienia w ramach realizacji studium wyników prac nad studium ochrony krajobrazu kulturowego, wydają się być jak najbardziej uzasadnionymi, niezależnie od faktu, iż procedurę wymagalności tych dokumentów uznać należy za bezprawną. Niepoparta jest ona bowiem żadnym z obowiązujących przepisów prawa.

3. ZARZĄDZANIE PRZESTRZENIĄ – MODEL 2D

Polska jest krajem o wyróżniającej się w Europie różnorodności sposobu funkcjonowania przestrzeni, ale jednocześnie o bardzo nasilonych procesach degradacji ładu przestrzennego i fizjonomii krajobrazu oraz narastających problemach zarządzania zagospodarowaniem obszarów miast i gmin [6, s. 5-18]. Przyczyną takiego stanu jest między innymi brak jasnych założeń wskazujących i interpretujących sposób działania przestrzeni, np. cennych kulturowo i historycznie, a także brak systemu analiz i monitorowania zmian w zagospodarowaniu przestrzeni, przy uwzględnieniu elementów szczególnie cennych i wymagających ochrony.

Bardzo ważną rolę w systemach krajobrazowych odgrywa sposób regulacji wzajemnych oddziaływań. Mechanizm oparty na adaptacji dostosowującej system do warunków wynikających ze zmian zachodzących w otoczeniu wydaje się najwłaściwszy.

Aby jednak ten mechanizm zadziałał, potrzebna jest jasno określona definicja uwarunkowań wskazujących na przykład na to, które elementy bezwzględnie należy uznać za podlegające ochronie.

Zarządzanie przestrzenią przez planowanie jej sposobu zagospodarowania lub ochrony wymaga dostępu oraz uwzględnienia wszechstronnej i wiarygodnej informacji. Powiązanie ze sobą szeregu baz danych i ich wzajemna korelacja stanowią podstawę do realizacji analiz, następnie tworzenia wariantów rozwiązań i modelowania zmian zachodzących w przestrzeni, aż po możliwość monitorowania jej przekształceń w czasie.

Przykładem sposobu myślenia o przestrzeni, w ograniczonym do modelu 2D systemie, mogą być zapisy dokumentów planistycznych dla miasta Zielona Góra z 2015 r. Na podstawie ustaleń studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta (rys. 1) opracowany został miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego (rys. 2), obejmujący swoimi ustaleniami część śródmieścia miasta Zielona Góra, w tym obszar, w skład którego wchodziły kwartały sąsiadujące bezpośrednio ze Starym Rynkiem. Widok wnętrza ulicy W. Sikorskiego zakończony dominantą w po-



Fig. 1. Map extract from the study of the conditions and directions of spatial planning of Zielona Góra [7]

Rys. 1. Wyrys ze studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta Zielona Góra [7]

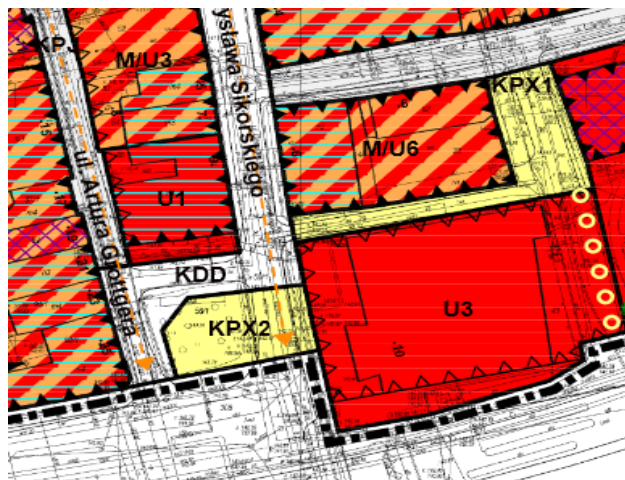


Fig. 2. Map extract from the local plan of land use in Zielona Góra – Śródmieście 9 [8]

Rys. 2. Wyrys z miejscowego plan zagospodarowania przestrzennego w Zielonej Górze – Śródmieście 9 [7]



Fig. 3. View of the Town Hall from the side of Gen. W. Sikorskiego street in Zielona Góra. Year 2013. Source: <https://www.google.pl/maps/@51.935545,15.506222,3a,75y,90t/data=!3m4!1e1!3m2!1sSa2oUtzSsKGwmXXlRaXZUQ!2e0>, date of access: 14.05.2015)

Rys. 3. Widok na wieżę Ratusza od strony ul. gen. W. Sikorskiego w Zielonej Górze. Rok 2013. Źródło: <https://www.google.pl/maps/@51.935545,15.506222,3a,75y,90t/data=!3m4!1e1!3m2!1sSa2oUtzSsKGwmXXlRaXZUQ!2e0>, data dostępu: 14/05.2015r.)



Fig. 4. View of the Town Hall from the side of Gen. W. Sikorskiego street in Zielona Góra. Year 2015. Source: author

Rys. 4. Widok na wieżę Ratusza od strony ul. gen. W. Sikorskiego w Zielonej Górze. Rok 2015. Źródło: autor

4. EXAMPLE OF THE USE OF GIS TECHNOLOGY – 3D MODEL

Taking into account the development of GIS technology, the use of its capabilities in spatial policy and space management seems inevitable. Implementation of the zoning plan, limited only to legalizing new investment should be in the present state of knowledge, treated as an abuse in relation to the public space owned by its users- residents. The perception of an object due to its relationship with the environment, mainly through the financial implications related to the execution of a planning document, should be one of the elements affecting the final location decision.

Analysis of effects and aspects of the spatial implementations of individual investments in internal or external views rendering panorama layout, using GIS models (3D) seem to be already an indispensable a tool to help in the selection of the most advantageous variant of the space management. Selection of views and indicating viewpoints, topographical analysis of land, protection of open and closed landscapes, height of buildings and its harmonious combination with greenery complemented by architectural accents, identifying and distinguishing the space [9], enable to analyze the properties of space in a way incomparable to the 2D model (Fig. 5 and Fig. 6).

Local law, also regarding municipal spatial policy, is next to common law, the most important tool for the implementation of, inter alia, the protection of cultural heritage. To ensure the effectiveness of these activities, it is necessary to take an attitude that the protection of cultural values, including the cultural landscape is



Fig. 5. Analysis of the terrain and the height of the city-model 3D. Source: PA Nova S.A.

Rys. 5. Model ukształtowania terenu i wysokości zabudowy. Źródło: PA Nova S.A.

staci wieży Ratusza charakteryzował pierzeję północną ulicy Konstytucji 3 Maja (rys. 3). Wprowadzenie ustaleń szczegółowych planu miejscowego, jak i ustaleń dotyczących przebiegu obowiązującej zabudowy oraz wysokości maksymalnej budynków, jednak bez szerszych analiz dotyczących w tym wypadku ukształtowania terenu, wysokości względnych budynków czy elementów kompozycji urbanistycznych, doprowadziło w konsekwencji do realizacji obiektu Centrum Nauki Keplera, zaburzając całkowicie pierwotny układ ulicy W. Sikorskiego (rys. 4). Przykład ten wskazuje na silne współzależności między dokumentem polityki przestrzennej a prawem lokalnym. Skutki niedopatrzeń lub braku stosownych analiz wydają się nieodwracalne.

4. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA TECHNOLOGII GIS – MODEL 3D

Biorąc pod uwagę rozwój technologii GIS, wykorzystanie jej możliwości w polityce przestrzennej i systemie zarządzania przestrzenią wydaje się nieuniknione. Realizacja planu miejscowego w mieście, ograniczona jedynie do zalegalizowania nowo powstającej inwestycji, powinna być w obecnym stanie wiedzy traktowana jako nadużycie w odniesieniu do przestrzeni publicznej, której właścicielami są jej użytkownicy – mieszkańcy. Postrzeganie obiektu ze względu na jego relacje z otoczeniem, głównie za sprawą skutków finansowych związanych z realizacją dokumentu planistycznego, powinno stanowić jeden z elementów wpływających na ostateczną decyzję lokalizacyjną.

Analizy aspektów i skutków przestrzennych realizacji poszczególnych inwestycji w widokach wewnętrznych czy też zewnętrznych wewnątrz urbanistycznych eksponujących panoramę układu, przy wykorzystaniu modeli GIS (3D), wydają się być już dzisiaj nieodzownym narzędziem, pomocnym w wyborze najkorzystniejszego wariantu zagospodarowania przestrzeni. Selekcja widoków i wyszczególnienie punktów widokowych, analiza topograficzna terenu, ochrona krajobrazów otwartych i domkniętych, wysokość zabudowy i jej harmonijne połączenie z zielenią, uzupełnione przez akcenty architektoniczne, wyróżniające i identyfikujące przestrzeń [9], dają możliwość analizy właściwości przestrzeni w sposób niewspółmierny do modelu 2D (rys. 5 i rys. 6).

Prawo miejscowe, w tym odnoszące się do polityki przestrzennej gminy, jest obok prawa powszechnego najważniejszym narzędziem realizacji między innymi ochrony dziedzictwa kulturowego. Dla zapewnienia skuteczności działań niezbędnym jest przyjęcie sposobu myślenia, w ramach którego ochrona warto-



Fig. 6. Analysis of the topographical model of the city and the height of buildings. Source: <http://fotogrammetrik.com/pl/uslugi/>
 Rys. 6. Model topograficzny miasta i wysokości zabudowy. Źródło: <http://fotogrammetrik.com/pl/uslugi/>

an important public interest, and the element of the sustainable development of the municipality. Such type of thinking indicates the need for an extension of the social participation and involvement, as a local group in the processes of creating a local law in the name of protection of common interests that is, local identity. In this case, using the GIS model (3D), inter alia, through presentations and data generation, offers great possibilities regarding a problem of social participation in land-use planning.

Given the above, it should be assumed that a local zoning plan, as a local law, can be seen as a cultural or urban landscape protection tool, despite the corrections in the rules of law, provided that the execution will be preceded by efforts to identify conditions and conclusions of the analysis carried out to optimize land use, taking into account the traditions of the place or the needs of the inhabitants, and the relationship between urban structure and the surrounding undeveloped land will be shaped in accordance with the logic of spatial systems. Along with the development of measurement techniques, that enable fast acquisition of 3D model data (in this case, the individual buildings and spatial elements) and linking them with the descriptive data base, becomes a helpful tool in spatial planning at the so-called intelligent urban development [11,12].

5. CONCLUSIONS

It seems that, regarding a process of designing planning documents, a requirement for studies like landscape study or landscape plans, following the example of Germany or the UK, is an obligation. These documents, as starting materials for planning studies, implemented on the basis of executory orders, along with the eco-physiography, or forecasts

ści kulturowych, w tym krajobrazu kulturowego, stanowi ważny interes publiczny, a tym samym element zrównoważonego rozwoju gminy. Tego typu myślenie wskazuje na potrzebę rozszerzenia partycypacji społecznej i zaangażowania społeczeństwa, jako grupy lokalnej, w procesy tworzenia prawa lokalnego w imię ochrony wspólnych interesów, a tym samym tożsamości lokalnej. Wykorzystanie w tym przypadku modelu GIS (3D), między innymi przez sposoby prezentacji i generowania danych, daje ogromne możliwości w odniesieniu do problemu partycypacji społecznej w planowaniu przestrzennym.

Przyjąć należy, iż miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, jako prawo miejscowe, może być rozpatrywany w kategorii narzędzia ochrony krajobrazu kulturowego czy urbanistycznego, niezależnie od korekt w obowiązujących przepisach prawa, pod warunkiem że jego realizację poprzedzą działania mające na celu wskazanie uwarunkowań i wniosków z przeprowadzonych analiz, skutkiem których będzie optymalizacja zagospodarowania przestrzeni z uwzględnieniem tradycji miejsca i potrzeb samych mieszkańców, a sam związek struktury zespołu urbanistycznego z otaczającym terenem niezabudowanym, kształtowany będzie zgodnie z logiką układów przestrzennych.

Wraz z rozwojem technik pomiarowych, pozwalających na szybkie pozyskanie danych modelowych 3D, w rozpatrywanym przypadku poszczególnych budynków i elementów przestrzennych, oraz powiązanie ich z danymi baz opisowych, staje się pomocnym narzędziem w planowaniu przestrzennym przy tzw. inteligentnym rozwoju miast [11, 12].

5. WNIOSKI

Wydaje się, że obowiązkowym, z punktu widzenia procesu projektowego dokumentów planistycznych,

of impacts of the plan on the environment, may become guidelines to a plan or a study. They may stress the importance of such things as: nature and landscape values protection (use of land zones requires specifying rules for maintenance of the landscape characteristics and forms), conservatory protection zones (panoramas protection, monument or area exposure zone protection, designation of areas excluded from development on the basis of observation analyses which also determine zoning and land use), or areas of cultural values protection zones (rural and urban, clear spatial structure building and greenery areas).

From the above point of view, the content of the applicable law on municipal spatial policy, considering solutions that affect the space functioning, including forms depicting cultural values, taking into account their mutual ties and the feasibility of the introduced documents, is only an introduction to a discussion on space. Local plan, just like a building, reflects the state of civilization. It is important, however, not to lose in its content the goal of respect for cultural values, that is a respect for the users of the space to which it applies.

It is important that local plans, as tools for spatial policy in a municipality, are constructed competently, and used properly. Local plans considering: non-existent in the current legislation e.g. cultural landscape studies indicating cultural heritage protection by area with the use of panoramas, viewpoints, foreground protection. Planning documents pointing out the elements of space such as wooded areas, alleys, or lines of trees. Development composition, taking into account the density and intensity, based on the grid of streets characteristic for the area, including thinking about communication, as a system.

GIS technology-3D and 4D models offer great opportunities for data access and analysis for decisions about the directions of the development of urban systems. Techniques of coordination of knowledge resulting from the data analysis and building models of potential solutions associated, e.g. with the economic aspects of this type of activity, or practice activities based on consensus, seem appropriate approach to spatial planning, which also allows time monitoring of changes in space cities. Cadastral systems, using the GIS applications can be found in a variety of applications-however, the 3D and 4D techniques allow present data and visualize models giving the potential to improve space

jest wymagalność realizacji opracowań typu studium krajobrazu czy planów krajobrazu, idąc za przykładem Niemiec czy Wielkiej Brytanii. Dokumenty te, na zasadzie materiałów wyjściowych do opracowań planistycznych, realizowane na podstawie rozporządzeń wykonawczych do obowiązujących ustaw razem z ekofizjografią czy prognozą skutków wpływu ustaleń planu na środowisko, mają szansę, jako wytyczne do planu czy studium, podkreślić wagę takich elementów przestrzeni, jak: ochrona przyrody i walorów krajobrazowych (zagospodarowanie stref wymaga określenia zasad utrzymania cech i form krajobrazu), stref konserwatorskich ochrony ekspozycji (ochrona panoram, stref ekspozycji zabytku czy obszaru, wyznaczenie terenów wyłączonych spod zabudowy na podstawie analiz widokowych określających równocześnie warunki zabudowy i zagospodarowania terenu) czy strefy ochrony obszarów przedstawiających wartości kulturowe (układy ruralistyczne i urbanistyczne, zespoły zabudowy i zieleni o czytelnej strukturze przestrzennej).

Wychodząc z powyższego punktu widzenia, treść obowiązujących przepisów prawa w odniesieniu do polityki przestrzennej gmin, uwzględniającej rozwiązania wpływające na sposób funkcjonowania przestrzeni, w tym form przedstawiających wartości kulturowe, przy uwzględnieniu ich wzajemnych powiązań oraz wykonalności wprowadzanych nimi dokumentów, stanowi jedynie wstęp do rozważania o przestrzeni. Plan miejscowy, podobnie jak obiekt budowlany, stanowi odzwierciedlenie stanu systemu cywilizacyjnego. Ważnym jest jednak, aby nie zatracił w swej treści celu, jakim jest poszanowanie wartości kulturowych, a tym samym poszanowanie użytkowników przestrzeni, której dotyczy.

Istotnym jest, by plany miejscowe, jako narzędzie polityki przestrzennej w gminie, były właściwie konstruowane i wykorzystane. Powinny one uwzględniać, nieistniejące w obecnym stanie prawnym np. studia krajobrazu kulturowego, wskazujące na obszarową ochronę dziedzictwa kulturowego z wykorzystaniem formy, jaką jest ochrona: panoram, ekspozycji widokowych, czy przedpola. Dokumenty planistyczne powinny uwzględniać w ramach swoich ustaleń elementy przestrzeni typu: zadrzewienia, aleje, czy szpalery drzew. Kompozycja zabudowy wskazywana w planach odnosić powinna się z większym poszanowaniem wskaźników typu: gęstość, chłonność, chropowatość i intensywność zabudowy, nie pomijając myślenia o strukturze urbanistycznej, opartej na charakterystycznej dla danej przestrzeni siatce ulic, z uwzględnieniem komunikacji, jako jednego z systemów przestrzeni zurbanizowanej.

management system, and thus also the possibility of elimination of mistakes in spatial planning at the stage of analysis and modeling. That seems to be a particularly valuable aspect, due to the fact that planning decisions determine a city function in a virtually unrecoverable way.

Technologia GIS – modele 3D i 4D – dają duże możliwości dostępu do danych oraz analiz na potrzeby decyzji dotyczących kierunków rozwoju systemów miejskich. Techniki koordynacji wiedzy wynikającej z analiz danych oraz budowanie modeli potencjalnych rozwiązań powiązanych na przykład z ekonomicznymi aspektami tego typu działalności czy też praktyka działań oparta na konsensusie, wydaje się adekwatnym do problematyki planowania przestrzennego podejściem, umożliwiającym również monitorowanie w czasie zmian zachodzących w przestrzeni miast. Systemy katastralne wykorzystujące aplikacje GIS można znaleźć w różnych aplikacjach – jednak technika 3D i 4D pozwala na prezentację danych i wizualizację modeli, dając potencjał do poprawy systemu zarządzania przestrzenią, a tym samym również możliwości eliminacji ewentualnych błędów w planowaniu przestrzennym na etapie analiz i modelowania, co wydaje się szczególnie cennym aspektem, biorąc pod uwagę fakt, iż decyzje planistyczne przesądzą o sposobie funkcjonowania przestrzeni miasta w sposób praktycznie nieodwracalny.

References

- [1] The act of 27 March 2003 on spatial planning and development (Off. J. of 2015 item 199 as amended).
- [2] The Act of 7 July 1994-construction law (Off. J. of 2013 item 1409 as amended).
- [3] The Act of 23 July 2003. on the protection and care of monuments (Off. J. of 2003. no 162, item. 1568- as amended).
- [4] Welc-Jędrzejewska J., Kulesza-Szerniewicz E., Makowska B., Stieler E., Jagielska E., *Wnioski w zakresie ochrony dziedzictwa kulturowego i zabytków do projektów studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gmin i projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego*, Kurier Konserwatorski, Nr 4, 2009.
- [5] Bazan-Krzywoszańska A., *Ochrona krajobrazu w aspektach rozwoju źródeł energii odnawialnej i polityki przestrzennej gmin, na przykładzie gminy Krotoszyce*, Architektura Krajobrazu: Studia i prezentacje, nr 3, 2012, s. 55-60.
- [6] Chmielewski T.J., *Wyzwania zarządzania systemami krajobrazowymi w Polsce*, Problemy Ekologii Krajobrazu, Vol XXXV, 2013, p. 5-18, <http://paek.ukw.edu.pl/pek/index.php/PEK/article/viewFile/31/11> [dostęp: 01.07.2017].
- [7] The study of the conditions and directions of the spatial planning of Zielona Góra, adopted by the resolution of Zielona Góra City Council No. XVIII.139.2015 of 30 June 2015, http://www.zielona-gora.pl/binary /planowanie/zm_studium_2015.jpg, [access: 19.07.2015].
- [8] Zoning plan in Zielona Góra-Śródmieście (Downtown) 9, adopted by resolution of the City Council of Zielona Góra No. LXXIX. 709.2014 of 23 December 2014, <http://dzienniki.luw.pl/ActDetails.aspx?year=2014&book=0&poz=2464> [access: 19.07.2015].
- [9] Czyńska K., *Zabudowa wysoka a harmonijne kształtowanie krajobrazu miejskiego*, http://www.pif.zut.edu.pl/pif-13_pdf/D-02_Czynska.pdf [access: 01.07.2017].
- [10] Kowalska-Jamrózek D., *Wykorzystanie aplikacji GIS w planowaniu przestrzennym Kielc*, Miejski System Informacji Przestrzennej w Kielcach, Biuro Planowania Przestrzennego Urzędu Miasta w Kielcach, http://www.um.kielce.pl/gfx/kielce2/userfiles/images/gis/aktualnosci/2010_11_18/dominika_kowalska.pdf [access: 01.07.2017].
- [11] Miller J.S., Hoel L.S., *The „smart growth” debate: best practices for urban transportation planing*, Socio-Economic Planning Sciences, (36) 2002, pp. 1-24.
- [12] Guo R. et al., *Developing a 3D cadastre for the administration of urban land use: A case study of Shenzhen, China*, Computers, Environment and Urban Systems, (40) 2013, pp. 46-55.
- [13] Guney C. et al., *Tailoring a geomodel for analyzing an urban skyline*, Landscape and Urban Planning, (105) 2012, pp. 160-173.

Acknowledgments:

The work was financed by the University of Zielona Góra as part of the statutory work No. 220570/E-545/S/2017

Podziękowania:

Praca finansowana przez Uniwersytet Zielonogórski w ramach pracy statutowej nr: 220570/E-545/S/2017

THE IMAGE OF THE CONTEMPORARY ARCHITECTURE OF KIELCE – A REVIEW OF THE SELECTED BUILDINGS

OBRAZ WSPÓŁCZESNEJ ARCHITEKTURY KIELC NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH OBIEKTÓW

DOI: 10.30540/sae-2018-014

Abstract

Modernist architecture has grown out of the possibility of using new construction materials as well as a widespread criticism of historical architectural styles. The development of contemporary architecture in Kielce is consonant with the development trends in architecture throughout Poland and in Europe. In order to characterise the facets of contemporary architecture in Kielce, the author of the paper has focused on the selection of the most distinctive and valuable buildings. The image of Kielce's contemporary architecture presented here evinces its diversity and great value. The city's fabric holds noteworthy objects of modernist and postmodernist architecture.

Keywords: contemporary architecture, architecture of Kielce

Streszczenie

Architektura modernistyczna wyrosła na gruncie możliwości stosowania nowych materiałów konstrukcyjnych i powszechnej krytyce stylów historycznych. Rozwój współczesnej architektury w Kielcach odpowiada tendencjom rozwojowym w architekturze w Polsce i w Europie. Aby scharakteryzować oblicza architektury współczesnej w Kielcach, autor skupił się na wybranych przykładach obiektów najbardziej charakterystycznych i wartościowych. Zaprezentowany obraz architektury współczesnej Kielc świadczy o jej zróżnicowaniu i dużych walorach. W tkance miasta znajdują się znaczące obiekty architektury modernistycznej i postmodernistycznej.

Słowa kluczowe: architektura współczesna, architektura Kielc

1. INTRODUCTION

The nineteenth century was a period of an unusually dynamic development of civilisation. Over the past one hundred years, a significant number of inventions were patented, which revolutionised the modern world.

The invention of cast iron, steel and reinforced concrete proved to be pivotal to the development of contemporary architecture. The new structural solutions used in institutional buildings were initially hidden under a traditional revival-style exterior.

Both the new construction technologies and the departure of artists from historical architecture fostered the rise of a new architecture, Modernism. Modernist architecture was created from 1918 to 1975.

The contemporary architecture of Kielce followed the same patterns of influence as the architecture

1. WPROWADZENIE

XIX wiek to okres niezwykle dynamicznego rozwoju cywilizacyjnego. Na przestrzeni tych stu lat opatentowano znaczącą liczbę wynalazków, które zrewolucjonizowały współczesny świat.

Dla rozwoju nowoczesnej architektury najważniejsze wydaje się wynalezienie żeliwa, stali i żelbetonu. Nowe konstrukcje stosowane w budynkach użyteczności publicznej początkowo ukrywane były pod tradycyjną neostylową obudową.

Nowe technologie w budowaniu i odwrócenie się przez twórców od architektury historycznej sprzyjało powstaniu nowej architektury – modernistycznej. Modernizm w architekturze przypada na lata 1918-1975.

Architektura współczesna w Kielcach podlegała tym samym wpływom, którym podlegała architekту-

of other cities in Poland and in Europe. Modernist buildings were constructed from the 1930s onwards, whereas postmodernist and neo-modernist objects began to appear around the turn of the second millennium. It should be noted that after World War II, in the 1950s and the 1960s, the so called socialist realism architecture was created both in Kielce and throughout Poland. This style, however, is not included in the paper since it does not belong to the mainstream of creative architecture.

In order to characterise the facets of contemporary architecture in Kielce in a brief, concise article form, the focus had to be given to selected buildings solely. The selection process is subjective by nature. Therefore, only the most distinctive and valuable buildings were chosen.

2. THE NEW ARCHITECTURE – ITS DETERMINANTS AND EXAMPLES

2.1. Modernism

The erection of the Crystal Palace in London's Hyde Park was a major breakthrough in the history of modern architecture. The improvement on iron structures paralleled the development of the technology of cast iron and steel smelting. Mass production of steel began after the year 1850. This rendered the construction of highly elaborate structures possible. Iron-framed structures started to appear in the USA on a large scale in the mid-nineteenth century. Concrete and reinforcement were first set together by Joseph-Louis Lambot. In 1892, the idea of reinforcing concrete was scientifically developed by a French engineer, Francois Hennebique. The first ever building to feature a fully reinforced concrete frame was erected in Greenburg, Pennsylvania in 1903. Pre-stressed members were first used in 1920 by Eugène Freyssinet.

Eclecticism and Art Nouveau were the dominant styles in architecture at that time. Art Nouveau resulted from both the pursuit of liberation of the building form from an out-and-out imitation of ancient epochs (historicism) and the desire to create a fresh style. An Austrian architect, Adolf F.K.V.M. Loos, who created his work at the time of Art Nouveau, in 1913 wrote an essay entitled *Ornement et crime* [9], in which he argued for the dispensability of ornamentation in architecture. With this manifesto, he became a precursor of Modernism.

In the years following World War I, already a relic, Art Nouveau met severe criticism of the avant-garde of that time. Many of the architects who had initially found inspiration in Art Nouveau for their works turned into its radical opponents.

ra w Polsce i Europie. Począwszy od lat trzydziestych XX wieku powstawały budowle modernistyczne, a pod koniec wieku XX i w wieku XXI – postmodernistyczne i neomodernistyczne. Należy zaznaczyć, że po drugiej wojnie światowej w latach 50. i 60. powstawały w Kielcach, podobnie jak i w całej Polsce, budowle w stylu tzw. socrealistycznym, które w tym artykule pominięto jako niebędące w głównym nurcie architektury twórczej.

Aby scharakteryzować oblicza architektury współczesnej w Kielcach, w ramach krótkiej formy artykułu, należało skupić się na wybranych przykładach. Wybór z natury rzeczy jest subiektywny. Autor starał się dokonać wyboru budowli najbardziej charakterystycznych i wartościowych.

2. OBRAZ NOWEJ ARCHITEKTURY – UWARUNKOWANIA, PRZYKŁADY

2.1. Modernizm

Przełomowym wydarzeniem w historii architektury nowoczesnej było wzniesienie w londyńskim Hyde Parku Pałacu Kryształowego. Ulepszanie konstrukcji żelaznych przebiegało równolegle z rozwojem technologii wytopu, najpierw żeliwa, a potem stali. Masową produkcję stali rozpoczęto po roku 1850, dało to możliwość realizowania bardzo rozbudowanych konstrukcji. Mniej więcej od połowy XIX stulecia zaczęto w Stanach Zjednoczonych stosować na dużą skalę budownictwo szkieletowe, posługując się żelazem jako materiałem. Beton ze zbrojeniem jako pierwszy połączył Joseph-Louis Lambot. Koncepcję zbrojenia betonu uzasadnił naukowo w 1892 roku francuski inżynier Francois Hennebique. W 1903 roku w Greenburg (Pensylwania) powstał pierwszy budynek o całkowicie żelbetowej konstrukcji szkieletowej. Elementy sprężone jako pierwszy zastosował w 1920 roku Eugène Freyssinet.

W architekturze w owym czasie panował eklektyzm i secesja. Secesja była rezultatem poszukiwań wyzwolenia formy budynku z czystego naśladownictwa dawnych epok (historyzmu) i chęci wytworzenia nowego stylu. Austriacki architekt Adolf F.K.V.M. Loos, tworzący w okresie panowania secesji, w roku 1913 napisał esej *Ornement et crime* [9], w którym dowodził zbędności ornamentu w architekturze, stając się prekursorem modernizmu.

Po I wojnie światowej, secesja, która już wcześniej wydawała się przeżytkiem, spotykała się prawie wyłącznie z surową krytyką ze strony ówczesnej awangardy. Wielu architektów, którzy tworzyli początkowo w stylu secesyjnym, stało się radykalnymi jej przeciwnikami.

In the second decade of the 20th century, the newly emerging architectural style began to be referred to as modernist. The term 'Modernism' is of Latin origin and denotes 'modernity' [1] (in French – 'le moderne', in German – 'die Moderne').

The term 'Modernism' encompasses a wide range of architectural aspects. It covers a variety of currents and trends, e.g. functionalism, radicalism and sceptical humanism, which depart from the historical styles and focus mainly on the functionality of the premises. The first buildings bearing the signs of Modernism were constructed in Germany and the Netherlands. The Fagus shoe factory established in 1911 based on a design plan by Walter Gropius is considered the first fully modernist object.

Modernism developed simultaneously in various European countries as well as in America. The advances in engineering permitted a large-scale application of glass, steel and reinforced concrete in architecture, which opened up new possibilities in shaping buildings.

The most famous manifestos of Modernism include *Five Points of Architecture* by Le Corbusier (1922) [2] as well as *The Athens Charter* (1933) [8] prepared under his supervision. Modernist architects, however, usually avoided drawing up programmes and making clear-cut assumptions. On the contrary, they relied on the concept of functionality as well as general mottos setting out the directions in design. One such slogan was "Form follows function" by L.H. Sullivan (1856-1924). The idea conveyed here is that the form should be subordinate to the function. It is the function of the building that ought to determine and define its appearance. In his *Space, Time and Architecture* [3], Sigfried Giedion characterised the evolution of architectural and urbanist thought since the Renaissance until the contemporary times, and demonstrated the development trends in that field.

2.2. Modernist architecture in Kielce

The first modernist building was erected in Kielce in 1933-1935. It was the Marshal Józef Piłsudski House of Physical Education and Military Training. Interesting modernist buildings continued to be constructed in Kielce after World War II, despite the unfavourable political circumstances.

The Józef Piłsudski Provincial House of Culture

In 1935, the Marshal Józef Piłsudski House of Physical Education and Military Training was opened to the public, as a result of the efforts of an association

W drugiej dekadzie XX wieku nową rodzącą się architekturę zaczęto określać terminem modernistyczna. Termin „modernizm” ma swoje źródło w języku łacińskim „modern” i oznacza „nowoczesność” [1] (w języku francuskim „moderne”, w języku niemieckim „die moderne”).

Określenie „modernizm” w odniesieniu do architektury ma bardzo szeroki zakres i obejmuje różnorodne prądy i kierunki (np. funkcjonalizm, radykalizm, sceptyczny humanizm), które zrywają ze stylami historycznymi i kładą główny nacisk na funkcjonalność budynku. Pierwsze budynki noszące znamiona modernizmu powstały w Niemczech i Holandii. Za pierwszy w pełni modernistyczny obiekt uznaje się powstałą w 1911 roku fabrykę obuwia Fagus projektu Waltera Gropiusa.

Modernizm rozwijał się równolegle w różnych krajach Europy i w Ameryce. Rozwój inżynierii pozwalał na stosowanie w architekturze na szeroką skalę szkła, stali i betonu zbrojonego, co otworzyło nowe możliwości w kształtowaniu budowli.

Najbardziej znane manifesty modernizmu to: *Pięć punktów nowoczesnej architektury* Le Corbusiera (1922) [2] oraz przygotowana pod jego kierownictwem *Karta Ateńska* (1933) [8]. Moderniści jednak generalnie unikali tworzenia formalnych programów i przyjmowania jednoznacznych założeń. Opierali się na idei funkcjonalności i ogólnych hasłach wytyczających kierunki projektowania. Jednym z takich haseł było: „Form follows function” L.H. Sullivana (1856-1924), co oznacza, że forma powinna być podporządkowana funkcji. To przeznaczenie budynku powinno determinować jego wygląd. Sigfried Giedion w swym dziele *Przestrzeń, czas, architektura* [3] scharakteryzował rozwój myśli architektonicznej i urbanistycznej od okresu odrodzenia do czasów współczesnych oraz zaprezentował tendencje rozwojowe w tej dziedzinie.

2.2. Architektura modernistyczna w Kielcach

Pierwszy budynek modernistyczny w Kielcach powstał w latach 1933-1935. Był to Dom Wychowania Fizycznego i Przysposobienia Wojskowego im. Marszałka Józefa Piłsudskiego. Również po drugiej wojnie światowej, mimo niesprzyjającym uwarunkowaniom politycznym, powstawały w Kielcach interesujące budynki modernistyczne

Wojewódzki Dom Kultury im. Marszałka Józefa Piłsudskiego

W roku 1935, dzięki staraniom zawiązanego specjalnie w tym celu stowarzyszenia, oddano do użytku Dom Wychowania Fizycznego i Przysposobienia



Photo 1. The building of the Marshal Józef Piłsudski Provincial House of Culture in Kielce (source: www.kielce-foto.blogspot.com)

Foto 1. Gmach Wojewódzkiego Domu Kultury im. Marszałka Józefa Piłsudskiego w Kielcach (źródło: www.kielce-foto.blogspot.com)

set up solely for this purpose. The building was designed by Edgar Aleksander Norwerth (1884-1950), a prominent architect, city planner, theorist of modernist architecture, professor of the Warsaw University of Technology and the author of the design of the Central Institute of Physical Education in Bielany, Warsaw. Norwerth proposed a unique design of a monumental modernist edifice to the citizens of Kielce.

In 1935, the gymnasium hall was ready for the public, followed by the opening of the Mirror Hall in 1936 and the cinema in 1937. The cinema room was fitted with an air-conditioning system (presumably, the first such system in Poland), the elements of which have survived to this day. The building interiors had congenial décor, and the original characteristic panels of Chęciny marble, the mosaic floors and the ceiling stucco have also remained unaffected till today.

In 1938, the Statue of the Legions' Deed was unveiled in the square in front of the building. Professor Jan Raszka, the sculptor and a soldier of the Legions' himself, did not manage to produce the bronze cast, and only a patinated gypsum model was placed on the marble pedestal. In 1939, the monument was destroyed by the Germans. It was recreated from scratch and unveiled in 1991. The original styling of the building, including the colours of the walls and the details of the fences, was maintained throughout the whole post-war period. A greenhouse, a parachute tower and tennis courts were additional attractive attributes of the building.

Wojskowego im. Marszałka Józefa Piłsudskiego w Kielcach. Projekt gmachu opracował Edgar Aleksander Norwerth (1884-1950), wybitny architekt, urbanista i teoretyk architektury epoki modernizmu, profesor Politechniki Warszawskiej, autor m.in. projektu Centralnego Instytutu Wychowania Fizycznego na Bielanych w Warszawie. Norwerth zaproponował kielczanom wyjątkowy projekt monumentalnego, modernistycznego gmachu.

W 1935 roku oddano do użytku salę gimnastyczną, w 1936 – Salę Lustrzaną, a w 1937 – kino. Sala kinowa wyposażona była w klimatyzację, którą można uznać za pierwszą klimatyzację w Polsce, a której elementy zachowały się do dziś, podobnie jak charakterystyczne zdobienia z chęcińskich marmurów, mozaikowe posadzki i stiuki na sufitach.

W 1938 roku na skwerze przed gmachem odsłonięto pomnik Czynu Legionowego. Rzeźbiarz – legionista, profesor Jan Raszka – nie zdążył wykonać odlewu w brązie i na marmurowym cokole stanął tylko patynowany model gipsowy. W 1939 roku pomnik zniszczyli Niemcy. Odtworzony został od podstaw i odsłonięty w 1991 roku. Przez cały okres powojenny utrzymana była stylistyka budynku, łącznie z kolorystyką ścian oraz detalami ogrodzeń zewnętrznych. Dodatkową atrakcją budowli były: ciepłarnia, wieża spadochronowa i korty tenisowe.

Gmach Domu Wychowania Fizycznego i Przysposobienia Wojskowego im. Marszałka Józefa Piłsud-



Photo 2. The building of a Health Centre at Wesola 52, Kielce in the 1960s (source: końskie.fotopolska.eu)
Foto 2. Gmach Przychodni Zdrowia w Kielcach, ul. Wesola 52, lata 60. (źródło: końskie.fotopolska.eu)



Photo 3. The building of the Board of the Provincial National Council in Kielce at the beginning of the 1970s (source: s-media-cache-pining.com)
Foto 3. Gmach Prezydium Wojewódzkiej Rady Narodowej w Kielcach, początek lat 70. (źródło: s-media-cache-pining.com)

The building of Marshal Józef Piłsudski House of Physical Education and Military Training (the Provincial House of Culture at present) is one of the best preserved examples of interwar modernist architecture in Poland.

After the war, in the 1950s and the 1960s, significant modernist buildings were still created in Kielce, in spite of the adverse political situation.

The building at Wesola 52

A very interesting modernist building is located at Wesola 52. It was designed as new premises for the diocesan curia in 1958 by two Warsaw architects, Andrzej Rostkowski and Mieczysław Gliszczynski. When the building was in a core-and-shell state, it was adapted for a health centre based on the design of Edward Modrzejewski, an architect from Kielce. The body of the building used to be a fine example of modernist architecture before 1990, when further conversions commissioned by the Higher School of Insurance largely obliterated the modernist features.

The building of the Province Office

At the beginning of the 1960s, a team of the B.P.B. *Miastoprojekt-Kielce* (*Miastoprojekt-Kielce* Design and Research Bureau) under the supervision of an engineer Stanisław Skibniewski developed a design plan of a building complex for the Board of the Provincial National Council.

The foundation stone of the complex of the Board of the Provincial National Council was laid on 30th June, 1967. The representative buildings were constructed by the *Kieleckie Przedsiębiorstwo Budownictwa Miejskiego* (Kielce Office of Urban Development).

In the autumn of 1971, after several years of construction works, the process of gradual opening of the buildings began. The three-building complex with a total area of over 20,000 m² was put into use in stages. Building A, the main ten-storey object with a floor area of 10,000 m², was completed in 1970. The seven-storey Building C, with a floor area of 8,000 m², was ready in 1971, and the smallest, yet the most characteristic Building B, with a floor area of 2,000 m², was finished two years later.

The premises of the Province Office in Kielce is an interesting monumental example of modernist architecture. Peter Zumthor, the world-famous architect, appreciated its form and spoke highly of its architecture during his visit in Kielce on 1st March, 2011.

Noteworthy is the building of the coach station, which has become a symbol of the post-war

skiego (obecnie Wojewódzki Dom Kultury) jest jednym z najlepiej zachowanych w Polsce przykładów międzywojennej architektury modernistycznej.

Po wojnie w Kielcach, w latach 1950-1960, mimo trudnych uwarunkowań politycznych powstały jednak znaczące budowle architektury modernistycznej.

Gmach przy ulicy Wesolej 52

Bardzo interesujący budynek modernistyczny zlokalizowano przy ulicy Wesolej 52, a zaprojektowali go w 1958 roku, z przeznaczeniem na nową siedzibę kurii biskupiej, dwaj warszawscy architekci: Andrzej Rostkowski i Mieczysław Gliszczynski. Gdy budynek był w stanie surowym, został adaptowany według projektu kieleckiego architekta Edwarda Modrzejewskiego na przychodnię zdrowia. Bryła budynku stanowiła znakomity przykład architektury modernistycznej; stanowiła, ponieważ późniejsze adaptacje (Wyższa Szkoła Ubezpieczeń, 1990) walory te w znacznym stopniu zniweczyły.

Gmach Urzędu Wojewódzkiego

Na początku lat sześćdziesiątych zespół pracowni B.P.B. *Miastoprojekt-Kielce* pod kierunkiem inż. Stanisława Skibniewskiego opracował projekt kompleksu gmachów Prezydium Wojewódzkiej Rady Narodowej.

Kamień węgielny pod budowę kompleksu budynków PWRN uroczyście wmurowano 30 czerwca 1967 roku. Reprezentacyjne budynki wzniosło *Kieleckie Przedsiębiorstwo Budownictwa Miejskiego*.

Po kilkuletnim okresie budowy, jesienią 1971 roku, rozpoczęto sukcesywne zasiedlanie budynków. Składający się z trzech gmachów kompleks, o łącznej powierzchni ponad 20 tys. m², oddawano do użytku stopniowo. Budynek główny A, o dziesięciu kondygnacjach i ponad 10 tys. m² powierzchni użytkowej, ukończono w 1970 roku, siedmiokondygnacyjny budynek C, z 8 tys. m² powierzchni – w 1971 roku, a dwa lata później – najmniejszy, ale najbardziej charakterystyczny budynek B z powierzchnią ponad 2 tys. m².

Gmach Urzędu Wojewódzkiego w Kielcach stanowi interesujący monumentalny przykład architektury modernistycznej. Bardzo pozytywnie o architekturze kompleksu wyraził się światowej sławy architekt Peter Zumthor podczas wizyty w Kielcach (marzec 2011).

Na uwagę zasługuje również gmach dworca PKS, który z woli mieszkańców stał się symbolem powo-



Photo 4. The coach stadion, see [7] (source: uwas.edu.pl)

Foto 4. Budynek dworca PKS, patrz [7] (źródło: uwas.edu.pl)

architecture of Kielce by the will of the citizens. More information about the fate of the building, which was entered in 2013 on the list of monuments in [7].

The Kielce Centre of Culture

In the early 1970s, a multifunctional building was designed for the Stefan Żeromski Theatre by the architect Daniel Olędzki and the specialists from *Miastoprojekt* in Gdynia. It is a twin-project of the Music Theatre in Gdynia. The interior of the centre was designed by local fine artists under the supervision of Andrzej Grabiwoda. The bas-reliefs and artistic details were created by Adam Wolski. The construction of the theatre complex began in 1975. It should be noted that the choice of the location of the building was highly inappropriate. The beginning of the construction works brought about the necessity of demolishing the well-preserved Leonard Building, which was registered as a heritage property.

The completion of the new theatre building was planned for 1980. In that very year, however, the construction works were put on hold due to the economic and political crisis. The works were resumed, and in 1992, the theatre building was

jennej architektury Kielc. Więcej informacji o losach budynku, który został wpisany w roku 2013 na listę zabytków w [7].

Gmach Kieleckiego Centrum Kultury

Wielofunkcyjny gmach dla teatru im. Stefana Żeromskiego na początku lat 70. zaprojektował arch. Daniel Olędzki wraz ze specjalistami z „Miastoprojektu” w Gdyni. Jest to bliźniaczy projekt Teatru Muzycznego w Gdyni. Wnętrze obiektu zaprojektowali kieleccy artyści plastycy pod kierunkiem Andrzeja Grabiwody. Płaskorzeźby i artystyczne detale wykonał Adam Wolski. W roku 1975 przystąpiono do budowy kompleksu teatralnego. Należy zaznaczyć, iż lokalizacja gmachu została wybrana niewłaściwie. Rozpoczęcie budowy wiązało się z koniecznością wyburzenia dobrze zachowanego Gmachu Leonarda, który był wpisany do rejestru zabytków.

Zakończenie budowy nowego gmachu teatru planowano na rok 1980. Jednak w tymże roku nastąpiło wstrzymanie robót budowlanych ze względu na kryzys ekonomiczno-polityczny. Roboty budowlane zostały wznowione i w roku 1992 nastąpiło przemianowanie



Photo 5. The building of the Kielce Centre of Culture in the second half of the 1990's (source: wikipedia.org)
 Foto 5. Gmach KCK, druga połowa lat 90. (źródło: wikipedia.org)

renamed the Kielce Centre of Culture. In 1996, the building was put into use, and a celebratory opening ceremony of the Centre's large stage took place.

In the years 2011-2012, energy efficiency renovation works were conducted in the building, and the Kielce Centre of Culture was given a new, interesting architectural expression without losing its architectural values.

Both the coach station and the Kielce Centre of Culture display features characteristic of modernist architecture.

2.3. Postmodernist architecture

Postmodernism has been evolving into a mature protest against Modernism since the mid-1950s in architecture created by people rejecting traditionalism. In the new architecture, the historical motifs and allusions have been used to create a specific mood, frequently with elements of perverse humour.

Postmodernism was fully born around 1965. The breakthrough took place with the publication of Jane Jacob's *The Death and Life of Great American Cities* [4] and Robert Venturi's *Complexity and Contradiction in Architecture* [12] as well as *Learning from Las*

gmachu teatru na Kieleckie Centrum Kultury. W 1996 roku oddano do użytku gmach i uroczystą inauguracją rozpoczęło działalność dużej sceny KCK.

W latach 2011-2012 przeprowadzono termomodernizację budynku, który otrzymał nowy interesujący wyraz architektoniczny, zachowując wartości architektoniczne budowli.

Zbudowany gmach dworca PKS, jak również gmach KCK wykazują pewne cechy architektury po modernistycznej.

2.3. Architektura postmodernistyczna

Postmodernizm rozwijał się jako dojrzały protest przeciwko modernizmowi od połowy lat 50. w tworzonej przez odrzucających tradycjonalizm twórców architektury, w której motywy i aluzje historyczne nadawały jej specyficzny nastrój, często z elementami przewrotnego humoru.

Za właściwą datę narodzin postmodernizmu można uznać okolice roku 1965. Przełomem było ukazanie się publikacji Jane Jacobs *The Death and Life of Great American Cities* [4] i Roberta Venturiego *Complexity and Contraddiction in Architecture* [12]

Vegas [13]. Modernism was criticised for its lack of expression and sensitivity. The growing criticism of Modernism, and Brutalism above all, found its culmination on 15th July 1972, when a complex of multi-family residential blocks made up of prefabricated large panels, designed by a Japanese architect, Minoru Yamasaki, less than 20 years earlier, was blown up in Saint Louis, Missouri. In textbooks, this act is still regarded as a symbolic end of Modernism – the burial of Le Corbusier's concept of "a dwelling machine".

Postmodernist architecture has no uniform ideology. It is characterised by parallel tendencies to set a building in context, frequently by using eclectic references to both historical forms and stylistic pluralism. The major postmodernist currents in philosophy say that reality is unrecognisable and there is nothing objective around. Everything, including scientific cognition, depends on the individuals experiencing existential fear. Therefore, postmodernist architecture is characterised by pluralism and complexity. Architecture, as maintained by postmodernists, does not have to succumb to the spirit of time or the technical progress. Above all, it should depend on the context, the mood and, in the end, the personal preferences of the architect and the investor.

Postmodernism is an architectural style that refers to the archetype and reminiscence. The modernist rebellion against the historical tradition has given way to the discovery that tradition itself is an inexhaustible source from which various motifs can be drawn. However, the references to early architecture do not perform the same role as they did in the historical models. Frequently, they are but artificial add-ons to a building. Postmodernism is not a type of historicism, as it usually does not imitate one particular style, but freely blends the adopted motifs with the creators' own ideas as well as the determinants dictated by the current function. It is, therefore, sometimes referred to as Mannerism of Modernism.

The façade of a postmodernist building makes it significant, frequently giving it a symbolic meaning, and places the building within an appropriate typology without relating directly to the location and layout of the function. Functionalism is discarded, and architecture is treated as art detached from reality. Ornament and symbol as well as symmetry are regarded with a favourable eye. Irony, surprise and absurdity become the means of shaping architecture.

The contemporary, postmodernist architecture is also a pro-ecological trend [5], [6], which is also reflected in the examples of contemporary architecture

oraz *Learning from Las Vegas* [13]. Modernizmowi zarzucano brak wyrazu i bezduszość. Narastająca krytyka modernizmu, a zwłaszcza brutalizmu, miała swój kulminację 15 lipca 1972 roku (w Saint Louis wysadzono w powietrze bloki z wielkiej płyty, zbudowane zaledwie niecałe 20 lat wcześniej przez japońskiego architekta Minoru Yamasaki). Do dzisiaj w podręcznikach uważa się ten fakt za symboliczny koniec modernizmu – moment pogrzebania idei „maszyny do mieszkania” Le Corbusiera.

Architektura postmodernistyczna nie posiada jednolitej ideologii. Występują w niej równoległe tendencje do wpisania obiektu w kontekst, często przy eklektyzującym nawiązywaniu do form historycznych, jak i do stylistycznego pluralizmu. Główne prądy postmodernistyczne w filozofii twierdziły, że rzeczywistość jest nierozpoznawalna i nie ma nic obiektywnego, wszystko (w tym poznanie naukowe) zależy od odczuwających lęk egzystencjonalny jednostek. Dlatego też architektura postmodernistyczna cechuje się pluralizmem i złożonością. Zdaniem postmodernistów architektura nie musi ulegać duchowi czasu i postępowi technicznemu, zaś przede wszystkim powinna zależeć od kontekstu, nastroju czy wreszcie osobistych upodobań architekta i inwestora.

Postmodernizm to styl architektoniczny odwołujący się do archetypu i reminiscencji. Modernistyczny bunt wobec tradycji historycznej został zastąpiony odkryciem, że jest ona niewyczerpanym źródłem, z którego można czerpać rozmaite motywy. Cytaty z architektury dawnej nie pełnią jednak tej samej roli, co w historycznych wzorcach, często są do budynku sztucznie dołączone. Postmodernizm nie jest rodzajem historyzmu, gdyż nie naśladuje zazwyczaj konkretnego stylu, lecz swobodnie łączy zapożyczone motywy z własnymi pomysłami twórców i uwarunkowaniami współczesnej funkcji. Niekiedy określa się go jako manieryzm modernizmu.

Fasada budynku postmodernistycznego nadaje mu znaczenia (nieraz symbolicznego) i umieszcza go we właściwej typologii, nie ma zaś bezpośredniego związku z rozmieszczeniem funkcji. Funkcjonalizm jest odrzucany, architektura jest traktowana jako sztuka oderwana od realiów. Ornament i symbol, a także symetria wracają do łask. Środkami kształtowania architektury stają się ironia, zaskoczenie, absurd.

Architektura współczesna, postmodernistyczna to również nurt proekologiczny [5], [6], znajdujący odzwierciedlenie w realizacji architektury współczesnej również w Kielcach. Problem zastosowania

in Kielce. The issue of solar energy application and its impact on contemporary architecture was presented by S. Wehle-Strzelecka [10], [11].

2.4. The architecture of Kielce after Modernism

As it has been pointed out, the buildings that were constructed in Kielce in the second half of the 1970s, the 1980s and afterwards (the coach station, the Kielce Centre of Culture) already displayed certain features of postmodernist architecture.

At the beginning of the 21st century, several interesting buildings, which can be classified as post-modernist, were created in Kielce. The qualitative change of architecture was related to the transformations of the political and the economic systems that had taken place in our country. The newly designed and constructed buildings were financed by both private investors and public institutions. Large areas of the city were revitalised with the support of EU funds. In this analysis of the architecture of Kielce after Modernism the focus has been laid on several selected buildings influencing the architectural value of the city.

The Philharmonic House

The competition for a detailed architectural design of the philharmonic house in Kielce at Żeromskiego 12 was settled in May 2006. The competition was won by the PIW-PAW Architekci Sp. z o.o. from Gdańsk. By the end of November 2007, a building permit design along with an approximate budget estimate was provided so that an application for financial aid from the UE could be prepared.

In October 2009, a construction works contract was signed for the investment project under the title *Construction of the International Centre of Cultures in Kielce*. The contractor of the new seat of the Oskar Kolberg Świętokrzyska Philharmonic Orchestra was selected by open tender procedure. The most favourable tender was provided by a consortium of companies, UNIBEP S.A. from Bielsk Podlaski and a partner of the consortium, UNIMAX Sp. z o.o. from Kielce.

The construction of the building lasted from 2009 to 2012. The grand opening of the International Centre of Cultures, the seat of the Oskar Kolberg Świętokrzyska Philharmonic Orchestra, took place on 19th January 2012. The project covers the area of 3,823 m², and the footprint is 3,358 m². The building houses a concert hall with 515 seats and a stage for 300 performers, a chamber music hall with 200 seats, a 150-seat rehearsal room sectioned from the foyer and a conference room with 50 seats. Within the building, there is also an

energii słonecznej i jej wpływ na formę architektury współczesnej zaprezentowała S. Wehle-Strzelecka [10], [11].

2.4. Architektura po modernizmie w Kielcach

Jak już wspomniano, obiekty realizowane w Kielcach w drugiej połowie lat 70. i 80. i kontynuowane w okresie późniejszym (dworzec PKS, KCK) posiadały już pewne cechy architektury postmodernistycznej.

Na początku XXI wieku powstało w Kielcach kilka interesujących budowli, które możemy zaliczyć do architektury po modernistycznej. Zmiana jakościwa architektury wiązała się ze zmianami ustrojowo-ekonomicznymi, jakie miały miejsce w naszym kraju. Powstawały obiekty finansowane zarówno przez inwestorów prywatnych, jak i obiekty finansowane przez instytucje publiczne. Znaczne obszary miasta zostały poddane rewitalizacji przy wsparciu funduszami europejskimi. Analizując architekturę w Kielcach po modernizmie, autor ograniczył się do kilku wybranych obiektów mających wpływ na walory architektoniczne miasta.

Gmach filharmonii

W maju 2006 r. rozstrzygnięto Konkurs na opracowanie szczegółowej koncepcji architektonicznej budynku Filharmonii w Kielcach przy ul. Żeromskiego 12. Konkurs wygrała pracownia PIW-PAW ARCHITEKCI Sp. z o.o. z Gdańska. Z końcem listopada 2007 roku opracowany został projekt budowlany wraz z kosztorysem szacunkowym, który pozwoli przygotować wniosek o przyznanie środków unijnych.

W październiku 2009 roku została podpisana umowa o roboty budowlane dla inwestycji pod nazwą *Budowa Międzynarodowego Centrum Kultur w Kielcach* – nowa siedziba Filharmonii Świętokrzyskiej im. Oskara Kolberga z wykonawcą wyłonionym w trybie przetargu nieograniczonego. Najkorzystniejszą ofertę złożyło konsorcjum firm UNIBEP S.A. z Bielska-Podlaskiego i UNIMAX Sp. z o.o. z Kielc – partner konsorcjum.

Budowa gmachu trwała od roku 2009 do 2012. 19 stycznia 2012 roku nastąpiło uroczyste otwarcie Międzynarodowego Centrum Kultur – nowej siedziby Filharmonii Świętokrzyskiej im. Oskara Kolberga. Inwestycja zajmuje teren o powierzchni 3 823 m², powierzchnia zabudowy obejmuje 3 358 m². W budynku znajduje się 515 miejsc na widowni,страда dla 300 wykonawców, sala kameralna na 200 miejsc, sala prób – wydzielona z foyer – 150 miejsc, sala konferencyjna – 50 miejsc. Wewnątrz obiektu



Photo 6. The building of the International Centre of Cultures in Kielce in 2012 (source: kropnikatygodnia.pl)
Foto 6. Gmach Międzynarodowego Centrum Kultur w Kielcach, 2012 (źródło: kropnikatygodnia.pl)

enclosed concert yard with 150 seats, which can be roofed in the event of adverse weather conditions.

The Philharmonic House has had a positive impact on the architecture of that part of the city.

The Centre of Geoeducation

The Centre of Geoeducation was established as a result of an open architectural competition launched by Geopark Kielce and the Kielce Branch of the Association of Polish Architects (Stowarzyszenie Architektów Polskich Oddział Kielce). The competition was won by PALK Architekci, a design studio from Gdańsk. The award-winning design was completed in 2010-2011. Over 75% of the investment costs came from the EU subsidies. The footprint of the Centre is 2,340 m², the floor area is 2,778 m², and the volume of the building is 16,090 m³.

In 2011, the Centre of Geoeducation established within the *Wietrznia* reserve received an award of the Association of Polish Architects for the best implemented project in Poland.

The award was presented for:

- the pro-ecological approach to space characterised by high aesthetic and practical values, conveying a significant humanistic message in the age of global ecological crisis,
- the excellent, spatial and material blending of the building into the surrounding natural landscape, which became its cultural complement,

znajduje się także dziedziniec koncertowy, z możliwością zadaszenia w razie niepogody z widownią na 150 miejsc.

Gmach filharmonii korzystnie wpłynął na walory architektoniczne tej części miasta.

Centrum Geoedukacji

Centrum Geoedukacji powstało w wyniku otwartego konkursu architektonicznego ogłoszonego przez Geopark Kielce oraz Stowarzyszenie Architektów Polskich Oddział Kielce. Konkurs wygrała pracownia projektowa PALK Architekci z Gdańska. Autorzy nagrodzonego projektu zrealizowali go w latach 2010-2011. Ponad 75% kosztów inwestycji zostało dofinansowanych z dotacji Unii Europejskiej. Powierzchnia zabudowy Centrum to 2340 m², powierzchnia użytkowa – 2778 m², kubatura – 16090 m³.

Centrum Geoedukacji zrealizowane w Kielcach na terenie rezerwatu „Wietrznia” w roku 2011 otrzymało nagrodę Stowarzyszenia Architektów Polskich dla najlepszego zrealizowanego projektu w Polsce.

Nagrodę przyznano za:

- proekologiczną kreację przestrzeni o wysokich walorach estetycznych i użytkowych, będącą tym samym ważnym, w dobie globalnego kryzysu ekologicznego, przesłaniem humanistycznym,
- znakomite, przestrzenne i materiałowe wkomponowanie obiektu w otaczający naturalny krajobraz, który stał się jego kulturowym dopełnieniem,



Photo 7. The building of the Centre of Geoeducation in 2011 (source: geopark-kielce.pl)

Foto 7. Budynek Centrum Geoedukacji, 2011 (źródło: geopark-kielce.pl)

- the unique solution provided for the building layout, consisting in spatial integration of the functions of the interiors and the longitudinal corridor that can fuse and divide the functions of the building, utilising various types of natural lighting by means of wall and roof openings.

The jurors also emphasised the wise management of energy.

Galeria Echo Shopping and Entertainment Mall

In the first two decades of the 21st century, big shopping and entertainment malls were built in downtown Kielce. Their architecture has enriched and complemented the city's fabric.

Galeria Echo was built in 2001-2002, in the immediate vicinity of the campus of the Kielce University of Technology. It was redeveloped and enlarged in the years 2009-2010. The architectural concept was prepared by the *Open Architekci* studio, the building permit design was drawn up by the *Detan* studio, and the detailed design was developed by the *Chodor-Projekt* and the *Open Architekci* studios. The architect L. Kamionka was the chief designer of the detailed design. Currently, *Galeria Echo* Shopping and Entertainment Mall is one of the largest centres in Poland.

The commercial floor area is over 87,380 m², and the volume of the building is 396,922 m³.

In 2011, the completed building won the main MAPIC Award for the "Best Enlarged Retail

- niepowtarzalne rozwiązanie struktury budynku, polegające na nanizaniu przestrzennym funkcji wewnątrz na podłużny korytarz-hol, mogący łączyć i dzielić funkcje obiektu wykorzystujące różne typy oświetlenia naturalnego otworami w ścianach i dachach.

Jurorzy podkreślili mądre gospodarowanie energią.

Centrum Handlowo-Rozrywkowe „Galeria Echo”

W pierwszej i drugiej dekadzie XXI wieku w śródmieściu Kielc powstały duże centra rozrywkowo-handlowe, które swą architekturą wpisują się i wzbo- gacają strukturę miasta.

Galeria Echo została zrealizowana w latach 2001-2002 w bezpośrednim sąsiedztwie kampusu Politechniki Świętokrzyskiej. W latach 2009-2011 została znacznie rozbudowana i powiększona. Koncepcję architektoniczną przygotowała pracownia „Open Architekci”, projekt budowlany pracownia „Detan”, a projekt wykonawczy „Chodor-Projekt” i „Open Architekci” (główny projektant projektu wykonawczego – arch. L. Kamionka). Obecnie Centrum Handlowo-Rozrywkowe „Galeria Echo” należy do jednej z największych w Polsce.

Powierzchnia użytkowa, handlowo-usługowa to ponad 87 380 m², a kubatura – 396 922 m³.

Zrealizowany obiekt otrzymał główną nagrodę Mapic Awards w Cannes (Francja) w kategorii „Best



Photo 8. Galeria Echo Shopping and Entertainment Mall, the general view (source: Open Architekci)
Foto 8. Centrum Handlowo-Rozrywkowe „Galeria Echo” – widok ogólny (źródło: Open Architekci)

Development” in Cannes, France. It also received the Prime Property Price 2012 in the category of the Investment of the Year – Retail Space Market.

Infill buildings woven into the urban fabric

The infill buildings inserted successfully in the architectural urban fabric of Kielce city centre have earned attention and praise among the numerous structures constructed in the analysed period.

The commercial building at Sienkiewicza 4

In 2011, a commercial building was constructed at Sienkiewicza 4, filling a spatial gap in the frontage of the main pedestrian thoroughfare of Kielce. Architectural solutions incorporating the prominent determinants and features of the neighbouring housing development were applied there. The designed building was integrated into the existing urban layout, matching its scale and establishing a dialogue with the contemporary character of that part of the city. It gave the urban layout individual character. The wave-shaped glass façade of the building reflects an evangelical church raised in the late 18th century.

The building has a floor area of 1040 m² and a volume of 4105 m³. L. Kamionka from the APP Ekoart architectural design studio is the author of the project.

The commercial-residential building at Wspólna

In the years 2013-2014, a residential and commercial building was constructed at Wspólna 2. building has a floor area of 1353 m², including 450 m² of office space and the commercial premises on the ground floor. It has five and a half storeys. Its elevation is made of

enlarged retail development” w 2011 oraz nagrodę Prime Property Price 2012 w kategorii Inwestycja Roku Rynku Powierzchni Handlowej.

Budynki „plombowe” uzupełniające tkankę miejską

Wśród wielu zrealizowanych obiektów w analizowanym przedziale czasowym na uwagę zasługują budynki plombowe, udanie uzupełniające tkankę architektoniczno-urbanistyczną śródmieścia Kielc.

Budynek usługowy przy ulicy Sienkiewicza 4

W roku 2011 przy ulicy Sienkiewicza 4 został zrealizowany budynek handlowo-usługowy, wypełniający istniejącą lukę przestrzenną w pierzei głównego „deptaka” Kielc. Zastosowano rozwiązania architektoniczne wykorzystujące istniejące uwarunkowania zabudowy. Zaprojektowany budynek został wkomponowany w istniejący układ urbanistyczny, nawiązując do skali i współczesnego w tej części miasta charakteru zabudowy – nadając jej indywidualny charakter. W przeszklonej elewacji, ukształtowanej w formie „fali”, odbija się kościół ewangelicki zbudowany pod koniec XVIII wieku.

Powierzchnia użytkowa obiektu – 1040 m², kubatura – 4105 m³, autor projektu – L. Kamionka, APP „Ekoart”.

Budynek usługowo-mieszkalny przy ul. Wspólnej 2

Przy ulicy Wspólnej 2, w latach 2013-2014, zrealizowano budynek mieszkalno-usługowy oferujący 1353 m² powierzchni użytkowej, w tym 450 m² powierzchni biurowej oraz na parterze lokale usługowe. Budynek ma pięć i pół kondygnacji. Elewacja



Photo 9. The commercial-residential building at Sienkiewicza 4 (source: photograph from the author's private collection)
 Foto 9. Budynek usługowo-mieszkalny przy ulicy Sienkiewicza 4 (źródło: zdjęcie własne)

graphite titanium-zinc sheet, and the coloured glass panels of the balcony balustrades have an animating and leavening effect on the façade. The ground floor front is clad with bright sandstone and wood. The project was created by the architectural studio, *Kamiński Bojarowicz Architekci*.

3. SUMMARY

The contemporary architecture in Kielce is varied and interesting. The city's fabric holds significant modernist and postmodernist buildings. The Józef Piłsudski Provincial House of Culture (current name), built in the interwar period, is a pearl of Modernism. Time has not tarnished the architectural values of this building. However, not all refurbishment and redevelopment works carried out in modernist buildings have been successful. The character of some buildings has been destroyed irreversibly, e.g., the building at Wesola 52. On the other hand, the coach station is an example of a successful design. This characteristic and original structure has been widely accepted by the citizens of Kielce, and it has become a permanent landmark in the panorama of the city.



Photo 10. The commercial-residential building at Wspólna 2 (source: kielce.wyborcza.pl)
 Foto 10. Budynek usługowo mieszkalny przy ulicy Wspólnej 2 (źródło: kielce.wyborcza.pl)

została wykonana z grafitowej blachy tytanowo-cynkowej, a dodatkowo rozświetlają ją balustrady balkonów wykonane z kolorowego szkła. Front parteru pokryty został jasnym piaskowcem i drewnem. Autorzy projektu – pracownia „Kamiński Bojarowicz Architekci”.

3. PODSUMOWANIE

Architektura współczesna w Kielcach jest zróżnicowana i interesująca. W tkance miasta znajdują się znaczące obiekty architektury modernistycznej i postmodernistycznej. Perłą modernizmu jest zrealizowany w okresie międzywojennym Wojewódzki Dom Kultury im. Józefa Piłsudskiego (nazwa obecna). Czas nie zaszkodził walorom architektonicznym tej budowli. Nie wszystkie jednak prace remontowo-modernistyczne budynków modernistycznych były udane, niektóre wręcz zniszczyły ich walory (np. budynek przy ul. Wesolej 52). Dworzec PKS to bardzo udana realizacja, charakterystyczna i oryginalna budowla, która została powszechnie zaakceptowana przez mieszkańców miasta i w sposób trwały wpisała się w panoramę miasta.

The Kielce Centre of Culture is another building that has effectively grown into the city's fabric. Completed already in the 21st century with the support of EU funds, the buildings such as the International Centre of Cultures in Kielce, based in the Oskar Kolberg Philharmonic House, or the Centre of Geoeducation constructed in the *Wietrznia* reserve are structures that have significantly improved the architectural attractiveness of the city. Private investors are increasingly carrying out projects of interesting examples of commercial and residential architecture. Such projects are frequently awarded by international bodies, e.g., *Galeria Echo* Shopping and Entertainment Mall.

When assessing the contemporary architecture of Kielce, it should be said that the failure to modernise the former synagogue and convert it into a centre of cultural and religious encounters is a powerful loss of opportunity. The design of the development was prepared by the world-renowned Swiss architect Peter Zumthor, and the building could have become a genuine pearl and a tourist attraction.

Bearing in mind the fact that since 2008 the Kielce University of Technology has been running a course in Architecture with a view to educating prospective architects, both the contemporary and the future architecture of Kielce should be approached with optimism. The architectural environment in Kielce will play a significant role in the shaping of the architectural character of Kielce in the nearest future.

Również gmach Kieleckiego Centrum Kultury udanie wpisał się w tkanę miasta. Zrealizowane już w XXI wieku, przy udziale funduszy europejskich, budowle, takie jak Międzynarodowe Centrum Kultur w Kielcach z siedzibą Filharmonii Świętokrzyskiej im. Oskara Kolberga czy Centrum Geoedukacji wybudowane na terenie rezerwatu „Wietrznia”, są budowlami znaczącymi, podnoszącymi walory architektoniczne miasta. Inwestorzy prywatni z coraz większym rozmachem realizują ciekawe obiekty architektury usługowej, handlowej czy mieszkalnej. Realizacje te są niejednokrotnie nagradzane przez międzynarodowe gremia (np. Centrum Handlowo-Rozrywkowe „Galeria Echo”).

Oceniając architekturę współczesną w Kielcach, należy wyrazić żal, że nie doszło do planowanej realizacji modernizacji budynku po dawnej synagodze na centrum spotkań kultur i religii zaprojektowanej przez światowej sławy szwajcarskiego architekta Petera Zumthora. Obiekt ten mógłby być prawdziwą perłą i atrakcją turystyczną.

Na architekturę współczesną Kielc, jak i na tę zrealizowaną w przyszłości, należy patrzeć z optymizmem, mając na uwadze m.in. fakt kształcenia (od roku 2008) na kieleckiej wyższej uczelni – Politechnice Świętokrzyskiej – przyszłych architektów. Kielecki ośrodek architektoniczny w przyszłości, już tej najbliższej, będzie odgrywał znaczącą rolę w kształtowaniu oblicza architektonicznego Kielc.

References

- [1] *Dictionarium latino-polonicum, polonico-latinum*, Słownik polsko-łaciński, łącińsko-polski. Level Trading, 2013.
- [2] *Five Points for a New Architecture*, Le Corbusier i Pierre Jeanneret, in: *Bau und Wohnen*, Stuttgart, Fr. Wederkind & Co., 1927.
- [3] Giedion S., *Przestrzeń, czas, architektura*. PWN, 1968.
- [4] Jacobs J., *The Death and Life of Great American Cities*, Vintage, 2000.
- [5] Kamionka L., *Architektura zrównoważona i jej standardy na przykładzie wybranych metod oceny*. Monografie, Studia, Rozprawy M30, Kielce University of Technology, Kielce 2012.
- [6] Kamionka L. (red.), *Projektowanie zrównoważone jako paradygmat kształtowania przestrzeni w XXI wieku*. Monografie, Architektura 3. Kielce University of Technology, Kielce 2016.
- [7] Kamionka L., *The issue of transience in architecture and the problems of conservation protection in the selected modernist buildings*. Structure and Environment, No 1/2018, vol 10, DOI:10.30540/sae-2018-004, pp. 39-49
- [8] Karta ateńska: urbanistyka C.I.A.M. Grupa CIAM Francja, translated by Krystyna Szeranos, Wydawnictwo Koło Naukowe Wydziału Architektury Wnętrz ASP.
- [9] Ornament et crime in „Cahiers d'aujourd'hui” no. 5/1913, (essay by Adolf Loos, based on the lecture given on 21 January, 1910 in Vienna).
- [10] Wehle-Strzelecka S., *Architektura słoneczna w zrównoważonym środowisku mieszkaniowym*, Monografia, 312, PK, Kraków 2004.
- [11] Wehle-Strzelecka S., *Energia słońca w kształtowaniu środowiska mieszkaniowego – ewolucja koncepcji na przestrzeni wieków*, Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej, Kraków 2014.
- [12] Venturi R., *Complexity and Contradiction in Architecture*. The Museum of Modern Art. Papers on Architecture. 1966.
- [13] Venturi R., *Learning from Las Vegas*. MIT Press Ltd., 1977.

Acknowledgments:

This work was supported by Kielce University of Technology, Grant No. 02.0.07.00/2.01.01.01.0020 MNBP.BKAU.15.002.

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, grant nr 02.0.07.00/2.01.01.01.0020 MNBP.BKAU.15.002.

ARCHITECTURE-&-BUILDING SYSTEMS IN CIVIL CONSTRUCTION

SYSTEMY ARCHITEKTONICZNE I BUDOWLANE W BUDOWNICTWIE CYWILNYM

DOI: 10.30540/sae-2018-015

Abstract

The article deals with the role of Architecture-&-Building systems in Residential and Public Construction. The concept and definition of the Architecture-&-Building systems are determined and reviewed. The structural model of Architecture-&-Building systems that have signs of integrity, the hierarchy of structure and openness is proposed. They include three main subsystems, which are in organic unity and interaction: functional-spatial (architectural and planning); constructive (tectonic); technological (production-building).

Keywords: Civil Construction, Architecture-&-Building Systems, structural model

Streszczenie

Artykuł dotyczy roli systemów architektonicznych i budowlanych w budownictwie mieszkaniowym i publicznym. Koncepcja i definicja systemów architektonicznych i budowlanych są określone i przejrane. Zaproponowano model strukturalny systemów architektonicznych i budowlanych o oznakach integralności, hierarchii struktury i otwartości. Te systemy obejmują trzy główne podsystemy, które są w organicznej jedności i interakcji: funkcjonalno-przestrzenne (architektoniczne i planistyczne), konstruktywny (tektoniczny), technologiczny (produkcja-budynek).

Słowa kluczowe: budownictwo cywilne, systemy architektoniczne i budowlane, model strukturalny

1. INTRODUCTION

Housing is one of the most important social and economic problems. It has become a priority task, as well as the creation of modern environment, which would enable a Sustainable Development. It is obvious now, that the solution of Housing and Urban Development problems is impossible without new approaches and methods of designing, development, management, and co-ordination of architectural, engineering, technological and industrial decisions. Architecture-&-Building Systems (ABSs) play here the main role. This term is used to refer to a system of coordinated architectural, constructive, and technological decisions, which proceed from a universal methodology. The ABSs are directed at forming a friendly environment and simultaneously are the material and technical means of realizing such environment of the system of material entities [1].

At the same time, the need to create a fully-fledged living environment and solve the problems of the

complexity and aesthetic qualities of residential development depends largely on the use of advanced architectural and urban development solutions and the implementation of efficient building structures, materials, products, and technologies, and the improvement and transformation of the material and technical base of construction [2, 3, 4]. It should be noted the availability of modern methods for the integrated assessment of such solutions in the context of sustainable design in the works of Professor L. Kamionka [4, 5]. At the same time the key issue is determining the development strategy and prospects for improving the architectural and construction systems of civilian buildings.

Such systems are known in housing practice. It's basically like prefabricated large-panel systems, prefabricated framework systems, modular cell systems, block systems, monolithic systems, and their combinations, but they do not always meet modern social and economic requirements and

constantly improving. At present the building market is changing and growing, featuring new diverse construction decisions. [1-9]. For a holistic view and a comprehensive solution for this problem, it is necessary to consider and define the concept, definition and structural model of the ABS, what is the purpose of this article.

2. THE CONCEPT AND DEFINITION OF THE ARCHITECTURE-&BUILDING SYSTEM

The term “Architecture-&Building system” (ABS) is not new in design and construction practice. It is widely used in various studies and publications, normative and methodological documents, mostly in Eastern Europe. However, there is no clear definition of this term. Along with this, terms such as industrial systems, building design and construction systems, prefabricated systems, framework systems and others are used [1, 3, 6, 7, 8, 10]. At the same time in the most part of various publications buildings and structures and their constructive components and elements as systems are considered. Before giving the terminological definition of ABS, one should consider the existing terminology of related concepts.

The most common and stable term is “constructive system” (CS). However, this term is interpreted differently in various studies. The following definitions of the CS are known:

- “a set of solutions supporting and protecting structures that provide spatial rigidity and stability of buildings” [10];
- “spatial bearing skeleton which consists of vertical and horizontal elements that provide a static work of building, its stability” [11].

As the functional and architectural aspects are usually crucial for the CS, the most reliable interpretation of it as a subsystem of the architectural system is given in the studies by Professor B.G. Barkin: “The constructive subsystem is realized by material and technical means and provides stability, strength, durability and fire safety” [12]. In other words, a constructive system should be considered as part of more complex systems – architectur & constructive (architectural & structural) and architecture & building (architectural & construction), in which no constructive element or part can be constructed and evaluated in isolation. Ignoring such design leads to serious mistakes, failures, violations of the relationship between structure and form, worsening conditions of buildings and so on. Examples of this may be the first prefabricated large-panel and frame-

panel buildings in Eastern Europe, designed only on terms of statics, technology and economy of materials. Correction of such errors in the conditions of factory homebuilding requires a restructuring of production and leads to economic and moral losses.

In this regard, it is logical and justified, in our opinion, the emergence and spread of the term architecture and constructive system (ACS), which subsequently became applied in farther researches and design [10]. However, despite this, the definition of this term is absent. Along with this became the extension of a term as a building system (BS), which is a combination of a certain construction method with a certain constructive system in the application of specific technology. In turn, the construction method is a way of erection of buildings, for example, a large-panel or monolithic method (Fig. 1).

It is worth to mention here the definition of the term as a “combined building (construction) system” – “the combination of two or more building systems or their individual elements, for example, a building constructed by one construction method, in which vertically and/or horizontally combines different constructive systems, or vice versa, the application of one constructive system uses a combination of different methods of erection. [13]. In addition, other definitions and terms that belong to the subject of research and reflect its essence (mainly a technical point of view) are known – structural and technological systems, design and production systems, systems of industrial residential houses, etc. [1-9].

The given terminology does not exhaust all the definitions adopted by different experts, which often complement each other, but generally have a local character, since in most of them lack such an important and comprehensive concept as the architecture, which underlies both constructive and building systems. This largely reflects not only the functional aspect from the point of view of terminology, but also its essential aspect.

Since the formation of each building is impossible without a complex of architectural requirements and urban conditions, it is most expedient to operate such terms as architecture & constructive systems and architectural & building systems. At the same time, the latter most accurately and fully reflects the phenomenon of the integration of architecture and industrial homebuilding and embodies in its name the whole complex of not only urban, architectural, constructional, but also construction and technology issues (Fig. 1).

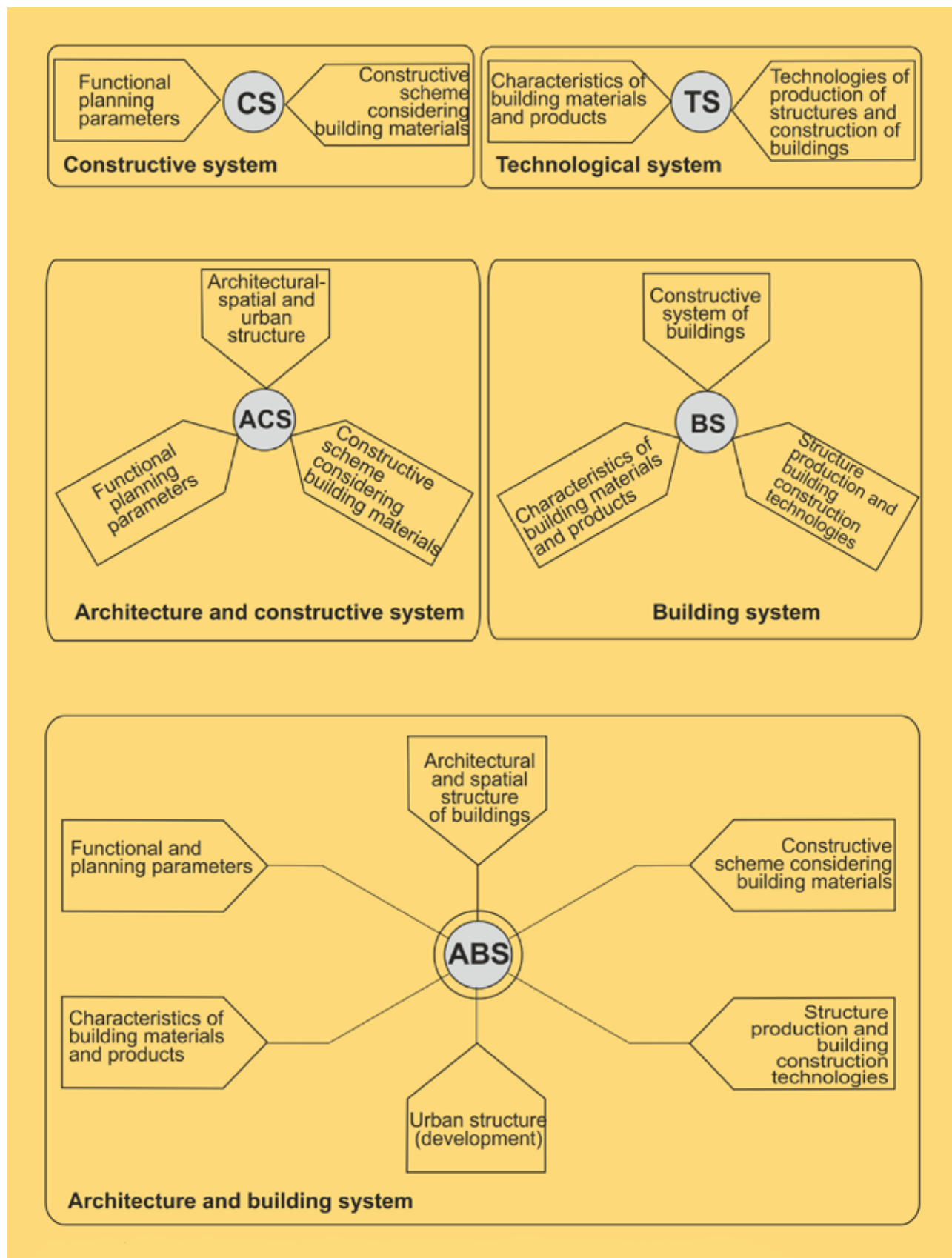


Fig. 1. Main characteristics of systems of residential and public construction

Rys. 1. Główne cechy systemów w budownictwie mieszkaniowym i publicznym

The author understands the architecture & building system as a set of interrelated architectural, constructive and technological solutions, which are based on uniform methodological principles of housing environment formation and provide realization of a complex of socio-demographic, urban planning, functional and lay out, technical, technological, environmental, economic, aesthetic and other requirements [1].

It should be noted that in fact the concept of ABS is two aspects of one phenomenon. The first is material and technical aspect, which is included in the system of material formations and technical means of realization of the living environment – from building to the apartment, and the second aspect is organizational and informational, which is examined in the system of public relations and management of urban planning as a certain program of appropriate targeted actions.

3. ARCHITECTURE & BUILDING SYSTEM MODEL STRUCTURE AND IT SUBSYSTEMS

In accordance with the terminology we adopt, architecture & building systems of civil engineering, intended to form a residential environment, should be presented in three main aspects: functional-spatial, constructive, and construction-technological. It can clearly define the range of phenomena associated with the organization and design of the material and spatial environment, which has an important methodological significance.

Author of this article believes that the ABS model (Fig. 2) should be considered as a complex system, which includes three subsystems: functional-spatial (architectural-lay out), constructive (tectonic), technological (production-building).

Each of these subsystems has a hierarchical range of its own interrelated structural elements, the further classification of which has an open nature that takes into account the multidimensional information and the degree of its interaction with other elements and their groups in solving specific architectural and construction tasks. Construction of the model structure of architecture & building systems and its operation will provide an opportunity to determine the nature of the system's behavior, predict its future state, trends and development prospects.

Functional-spatial subsystem (FSS) reflects the functional purpose of architecture & building systems, the main urban-planning characteristics, typological and architecture-spatial properties and

includes the following main blocks: “urban structure” (development) and “buildings”.

Block “urban structure” describes the new territories and the territories of the existing buildings, which in turn, further divided into zoning on functional grounds, belonging to the protected areas, etc.

Block “building” is divided into sub-blocks “function” and “architecture and lay out structure”. In the sub-block “function” distinguished by features of functional typology of residential buildings, public, industrial, multi-functional buildings (integrated complexes). Then these objects acquire a more detailed typological classification (Fig. 2). Thus, the typology of residential buildings covers apartment buildings and individual dwellings, which in turn are divided into: multi-apartment buildings – sectional, corridor, gallery and others; individual – separate, locked, duplex, etc. The typology of public buildings includes educational, commercial, cultural, sports, recreational, administrative and other types of public buildings. In the future, they have further and smaller classifications. Similarly, various industrial buildings and multifunctional complexes can be dissected according to functionally typological features.

The sub-block “architectural and lay out structure” includes fine-cell, big-celle, mixed-cell structures, which in turn can be divided into their varieties (Fig. 2).

Functional-spatial subsystem has its implementation in a constructive subsystem.

Constructive subsystem (CS) is a collection of interconnected vertical and horizontal structural elements, united in a single system according to the laws of building mechanics. At the same time, it has two main blocks, covering the decision of bearing and non-bearing structures. The latter block, in turn, contains a solution of the elements of the wall fences and the division of the interior space of the building (fencing and dismembering/separating structures). Thus, the constructive subsystem includes bearing, fencing and dismembering/separating structures. They, in turn, are divided into:

- bearing – on a planar (wall), frame (skeleton), volumetric (shell);
- fencing – on self-supporting, mounted;
- dismembering – on stationary, non-stationary, etc.

Fencing structures can also be used as bearing walls, but in this case they should be classified as bearing structures of the buildings. Further, the following division of these elements is possible according to the types of used building materials, methods of fastening and work of structures, etc.

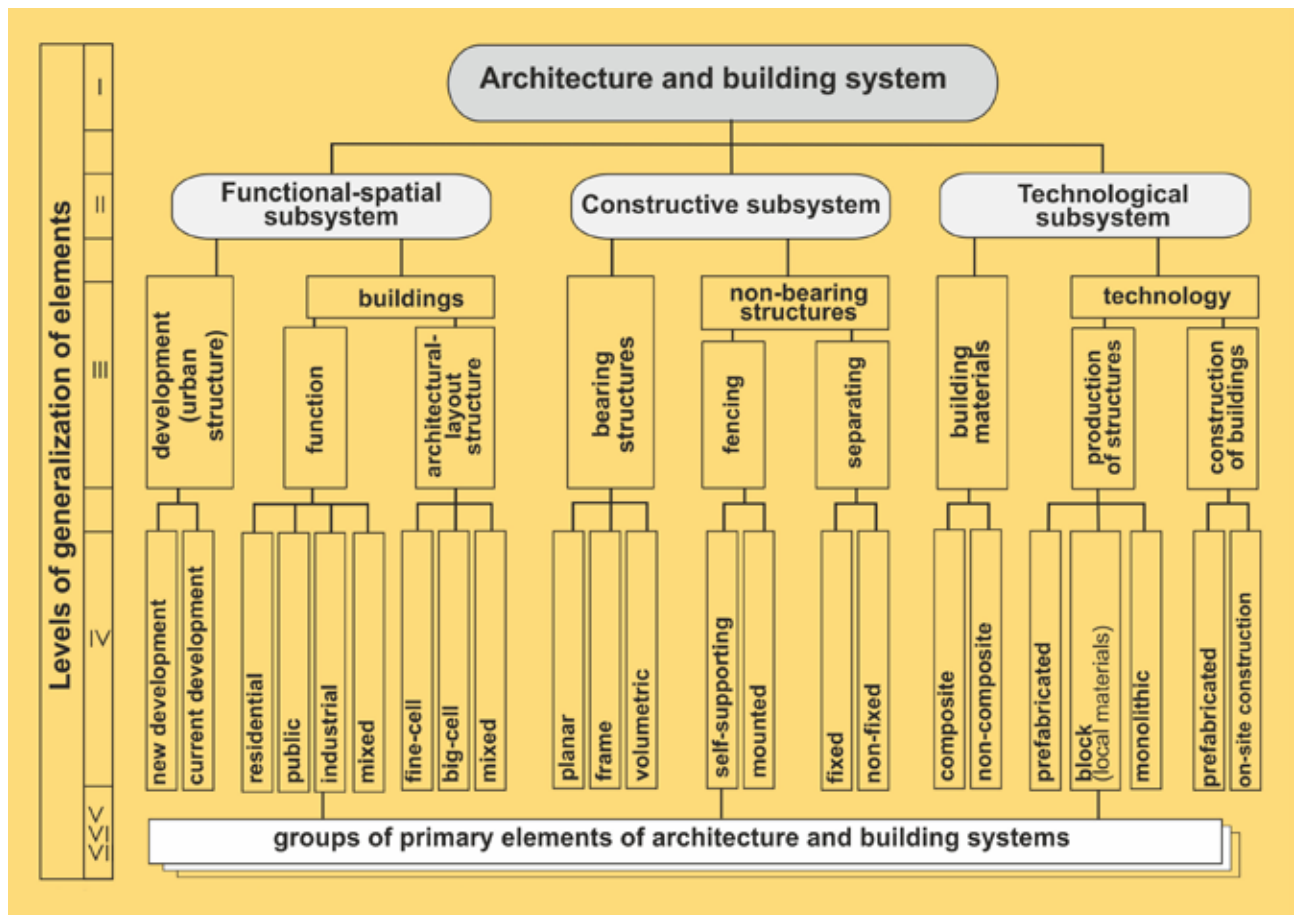


Fig. 2. The structure of Architecture-&-Building System model

Rys. 2. Struktura modelu systemów architektonicznych i budowlanych

Constructive subsystems that are the elements of the artificial environment system can not be considered separately. Their formation is determined by the typology of buildings, urban planning conditions, architectural design, i.e. the elements of the functional-spatial subsystem. Together, the functional-spatial and constructive subsystems form an architecture and constructive system (ACS), which is a subsystem of the architecture and building system of a higher hierarchical level. However, ACS as well as the CS does not include the specifics of varieties of building materials, technologies for the production of structural elements and construction methods, on the basis of which houses are erected. Each constructive system can be implemented in brick, prefabricated or monolithic reinforced concrete, etc. (Fig. 2).

Technological subsystem (TC) reflects the concrete production conditions for the implementation of architectural and design systems and includes the following blocks: “building materials”, “technology”. The latter in turn is divided into the technology of

manufacturing building products and technology of building methods (construction).

The block “building materials” includes non-composite (homogeneous) and composite (non-uniform) materials. In the sub-block “technology” of the production is allocated TO the production of structures and construction of buildings. The sub-block “production of structures” (technology as methods of construction) is divided into prefabricated, monolithic, block (from local materials), mixed (combined) methods of construction. These sub-blocks have such divisions. Factory technologies (production of structures) are divided into stand, cassette, aggregate-current, vibrio-rolling, conveyor, conveyor-cassette, etc. “Construction of buildings” (building technology) has its own specific varieties. The prefabricated method includes large-panel, frame, modular cell construction, as well as various combined methods of prefabricated construction, as for example, frame-large-panel, modular cell-panel, and others. Monolithic building includes construction

with the use of removable formworks of multiple use and fixed formworks. Block method includes large block and small-brick construction.

These kinds of basic construction methods have in turn smaller division. The mixed (combined) method has a large variety of construction methods, which include various combinations of the above methods. Varieties of building materials and technologies in turn are divided into the classifications of lower levels of elements' generalization (Fig. 2).

The combination of building methods and materials with a certain constructive system is a constructive-technological or building system (BS). That is, the constructive and technological subsystems are the building system. And together with the functional-spatial subsystem it forms an architecture and building system [1].

4. CONCLUSIONS

The concept of architecture and construction system, which is distributed in professional language and literature, is defined in this article. The proposed structure of the ABS model consists of three hierarchically subordinate subsystems and provides classification at the lower levels of elements' generalization – up to the primary elements of architecture & building systems. It has an open character that allows it to be operated. This gives also possibility to consider the prospects of further development and improvement of systems and a wide range of architectural and engineering tasks. Examined terminology and ABS model and its structure is also the basis for determining the basic types and classification of architecture & building systems.

References

- [1] Abyzov V., *Theory of Architecture-&-Construction Systems Development*. Monograph, Kyiv: KNUKiM, 2010.
- [2] Abyzov V., *Modern Conditions and the Impacts of the Creation of Architectural Environment*, World Multidisciplinary Civil Engineering – Urban Planning Symposium WMCAUS 2017, Published articles, - Prague – Czech Republic.
- [3] Abyzov V., *Multivariate Architecture-&-Constructive System on the basis of Beamless Framework*, Structure and Environment, Kielce University of Technology, 2015, vol. 7, pp. 15-19.
- [4] Kamionka L., *Projektowanie zrównoważone – próby określenia parametrów*, [w:] Projektowanie zrównoważone jako paradygmat kształtowania przestrzeni w XXI wieku. Monografia, Architektura 3, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2016, s. 11-18.
- [5] Kamionka L., *Architektura zharmonizowana z otoczeniem – aspekt wybranych metod oceniających*, [w:] Architektura zharmonizowana w przestrzeni miasta. Monografia, Architektura 4, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2016, s. 21-29.
- [6] *Building Design and Construction Systems*. Handbook. F. Merritt, editor, J. Ricketts, editor, – 6th ed. McGraw-Hill, 2001.
- [7] Tofiluk A., *Systemy prefabrykacji dla wielorodzinnego budownictwa mieszkaniowego – “wielka płyta” wczoraj i dziś*, Prefabrykacja – jakość, trwałość, różnorodność, Warszawa 2017, zeszyt 5, s. 39-49.
- [8] www.archiexpo.com/cat/construction-systems-PJ. Html.
- [9] Deplazes A., *Constructing Architecture: Materials, Processes, Structure*, Handbook, Birkhäuser – Publishers for Architecture, Basel - Boston - Berlin, 2005.
- [10] Yezhov V., Sleptsov O., Guseva E.V., *Architecture & Constructive Systems of Civil Buildings*, Kyiv, LICENSEArch, 1998.
- [11] Tsirik Y., *Combined Construction Systems*, Housing construction, 1986, No. 1, pp. 6-9.
- [12] Barkhin B., *Methodology of Architectural Design*, Moscow, Stroyizdat, 1982.
- [13] Kvashnin-Samarin S., *Combined Systems of Industrial Houses*, L.: Stroyizdat, 1986.

Acknowledgments:

This work was supported by Kielce University of Technology, Grant No. 02.0.07.00/2.01.01.01.0020 MNSP.BKAU.15.002.

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, grant nr 02.0.07.00/2.01.01.01.0020 MNSP.BKAU.15.002.



environment
environment

PASSIVE ENERGY REDUCTION TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

TECHNOLOGIE PASYWNEGO OGRANICZANIA ZUŻYCIA ENERGII W INŻYNIERII ŚRODOWISKA

DOI: 10.30540/sae-2018-016

Abstract

The paper presents a review of passive techniques used in environmental engineering and construction, aimed at reducing energy consumption for heating or cooling purposes. These are: green facades, cooling coatings, thermopaints, heater screens, shutters and other solutions. Their disadvantages, advantages and working methods were discussed. The heat gain calculations for the exemplary building whose baffles were painted with pigmented pigment with varying degrees of dilution resulted in a facade of varying color intensity. It has been found that by applying bright colors, nearly 30 percent of energy consumption for cooling purposes for heat gains through opaque seams compared to dark colors has been reduced.

Keywords: passive technologies, cooling, cooling coatings, green facades

Streszczenie

W pracy przedstawiono przegląd technik pasywnych stosowanych w inżynierii środowiska i budownictwie, których zadaniem jest ograniczenie zużycia energii na cele grzewcze lub chłodnicze. Są to: zielone fasady, powłoki chłodzące, termofarby, ekrany zagrzejnikowe, żaluzje oraz inne rozwiązania. Przedyskutowano ich wady, zalety oraz sposób pracy. Przedstawiono również obliczenia zysków ciepła dla przykładowego budynku, którego przegrody zostały pomalowane farbą zabarwioną pigmentem o różnym stopniu rozcieńczenia, czego wynikiem jest fasada o różnej intensywności koloru. Stwierdzono, że przez zastosowanie jasnego koloru doszło do obniżenia o blisko 30 procent zużycia energii na cele chłodnicze dla zysków ciepła przez przegrody nieprzezroczyste w porównaniu z ciemną barwą.

Słowa kluczowe: technologie pasywne, chłodzenie, powłoki chłodzące, zielone fasady

1. INTRODUCTION

One of the objectives of the discipline of science as Environmental Engineering is to find new ways of saving energy, which as a result of exploitation of energy resources becomes increasingly difficult to access and their combustion causes negative effects on the environment. Their limitation requires radical action. This is primarily the case for the largest non-renewable energy consumer, which is construction, industry and transport. One way to reduce fuel consumption is to replace them with others, including renewables. The search for new resources from renewable sources focuses on the use of solar, wind, hydro, geothermal and biofuels.

1. WPROWADZENIE

Jednym z celów inżynierii środowiska jest poszukiwanie nowych metod oszczędzania energii, która na skutek eksploatacji surowców energetycznych staje się coraz trudniej dostępna, a ich spalanie powoduje negatywne skutki dla środowiska. Ich ograniczenie wymaga zastosowania radykalnych działań. Dotyczy to przede wszystkim największych konsumentów energii nieodnawialnej, którymi są budownictwo, przemysł i transport. Jednym ze sposobów ograniczenia zużycia paliw jest ich zastąpienie innymi, w tym odnawialnymi. Poszukiwania nowych zasobów w obszarze źródeł odnawialnych koncentrują się na wykorzystaniu energii słonecznej, wiatrowej, wodnej, geotermalnej i różnego rodzaju biopaliw.

The easiest to acquire is solar radiation, which is widely used in nature. The described examples of the use of radiation are passive methods, which are spontaneous and require no additional energy.

2. PASSIVE TECHNOLOGIES OF ENERGY SAVINGS

Passive cooling methods are a very broad group of different types of means, building techniques, architectural techniques as well as methods of decorating buildings that influence thermal comfort. They include a whole spectrum of different techniques such as:

- green facades,
- cooling coatings,
- thermosiphon and heat pipes,
- thermochromic paints,
- heater screens,
- blinds, awnings, etc.

One of the ideas for changing the thermal state of buildings is the use of coatings with the desired emission characteristics of external building baffles. The simplest solution is to use a color paint which, depending on the desired effect, can have a different absorption coefficient. Generally, it is possible to choose dark colors for radiative heat gains, and for light colors to be limited. In the example of three buildings in Shanghai, it has been found that the use of special reflective coatings can reduce the surface temperature of the southern wall, depending on the coating, from 4.6°C to as much as 20°C. Three coverings were tested: one for basic and two for comparison, with selective responses to falling sunlight. Also tested are specially prepared acrylic paints with different emissivity and absorption properties. The literature results show that it is possible to lower the surface temperature by more than 10°C [3].

Thermopaints for facades and roofs are also available. Their chemical composition and manufacturing technology is protected and only general information is available in the literature. It is known, for example, that one of the components used is titanium dioxide. In the study [4] eleven aluminum samples painted with various titanium dioxide thermochromatic paints were tested and compared with samples painted without additives. The results show that thermochromic paints effectively improve reflective properties by increasing the reflection of sunlight by as much as 43%.

Najłatwiejszym do pozyskiwania jest promieniowanie słoneczne, którego wykorzystanie jest szeroko spotykane w przyrodzie. Opisane przykłady wykorzystania promieniowania należą do metod pasywnych, a więc takich, które zachodzą samorzutnie i nie wymagają dodatkowej energii.

2. METODY PASYWNE

Pasywne metody chłodzenia to bardzo szeroka grupa różnego rodzaju środków, technik budowlanych, architektonicznych, jak i metod wystroju budynków wpływająca na komfort cieplny. Zalicza się do nich całe spektrum różnorodnych technik, takich jak:

- zielone fasady,
- powłoki chłodzące,
- termosyfony i rurki cieplne,
- farby termochromowe,
- ekrany zagrzejnikowe,
- żaluzje, markizy itp.

Jednym ze sposobów na zmianę stanu termicznego budynków jest zastosowanie powłok o pożądanych właściwościach emisyjnych zewnętrznych przegród budowlanych. Najprostszym rozwiązaniem jest użycie kolorowej farby, która w zależności od pożądanego efektu może charakteryzować się różnym współczynnikiem absorpcji. Można przyjąć, że aby zwiększyć radiacyjne zyski ciepła, należy wybierać kolory ciemne, a dla ich ograniczenia kolory jasne. Na przykładzie trzech budynków w Szanghaju [2] stwierdzono, że zastosowanie specjalnych powłok refleksyjnych może przyczynić się do zmniejszenia temperatury powierzchni zewnętrznej ściany południowej, w zależności od pokrycia, od 4,6°C do nawet 20°C. Badano tam trzy pokrycia: jedno podstawowe i dla porównania dwa o cechach selektywnej reakcji na padające promieniowanie słoneczne. Prowadzone są badania specjalnie spreparowanych farb akrylowych o różnych właściwościach emisyjno-absorpcyjnych. Podawane w literaturze wyniki badań wskazują, że możliwe jest obniżenie temperatury powierzchni o ponad 10°C [3].

Na rynku dostępne są termofarby do elewacji i dachów. Ich skład chemiczny i technologia wytwarzania są chronione i tylko ogólne informacje są dostępne. Wiadomo na przykład, że jednym z wykorzystywanych składników jest dwutlenek tytanu. W pracy [4] przeprowadzono badania na 11 próbkach aluminiowych pomalowanych różnymi farbami termochromatycznymi z dodatkiem dwutlenku tytanu i dla porównania z próbkami pomalowanymi farbą bez dodatków. Wyniki wykazały, że farby termochromatyczne poprawiają właściwości refleksyjne, zwiększając odbicie promieniowania słonecznego nawet o 43%.

2.1. Green facades

One of the oldest methods is to limit the penetration of sunlight by planting different types of plants to produce a leaf layer that absorbs sunlight. Plants used for this purpose are various types of vines, and in particular various varieties of vines, hops or bulrushes. This method is very old – used in construction for several thousand years. Until today, it is used in countries with high levels of irradiation. The use of such green covers can reduce the surface temperature by up to 4°C [5].

According to research conducted in Singapore, the demand for cooling after application of the plant layer has decreased by 10% [7]. An experiment in Beijing has shown that thick ivy covering the western wall can reduce peak demand for cooling by 28% on a sunny summer day [8]. It is assumed that the thermal resistance of the plant layer is small and is about 0.7 m²/KW. Figures 1 and 2 show an example of a green facade.



Fig. 1. Building of district Court in Toruń [15]
 Rys. 1. Budynek Sądu Okręgowego w Toruniu [15]

2.2. Cool coatings

One of the variants of broadly understood passive technologies are so-called cool coatings. The following types of coatings are distinguished:

- cooling roofs and facade coverings,
- cooling coatings (paint),
- waterproof membrane,
- cooling plates,
- natural cooling materials.

2.1. Zielone fasady

Jedną z najstarszych metod jest ograniczenie przenikania promieniowania słonecznego przez nasadzenie różnego rodzaju roślin mających wytworzyć warstwę liści, która absorbuje promieniowanie słoneczne. Roślinami wykorzystywanymi do tego celu są najróżniejsze rodzaje pnączy, a w szczególności różne odmiany winorośli, chmielu czy powojów. Metoda ta jest stosowana w budownictwie od kilku tysięcy lat. Do dnia dzisiejszego jest wykorzystywana w krajach o występującym wysokim napromieniowaniu. Użycie zielonych osłon może obniżyć temperaturę powierzchni nawet o 4°C [5].

Według badań prowadzonych w Singapurze zapotrzebowanie na chłód po zastosowaniu warstwy roślinnej zmalało o 10% [7]. Eksperyment przeprowadzony w Pekinie wykazał, że gruby bluszcz pokrywający zachodnią ścianą, może zmniejszyć szczytowe zapotrzebowanie na chłodzenie o 28% w słoneczny letni dzień [8]. Przyjmuje się, że opór cieplny warstwy roślinnej jest niewielki i wynosi około 0,7 m²/KW. Na rysunkach 1 i 2 pokazano przykładową przegrodę z zieloną fasadą.



Fig. 2. Consorcio Santiago Building in Santiago de Chile during day and night [14]
 Rys. 2. Consorcio Santiago Building w Santiago de Chile w dzień oraz w nocy [14]

2.2. Powłoki chłodzące

Jednym z wariantów szeroko pojętych technologii pasywnych są tak zwane powłoki chłodzące. Wyróżnia się następujące rodzaje tych powłok:

- chłodzące dachy i pokrycia fasad,
- chłodzące pokrycia (farby),
- wodoodporne membrany,
- płytki chłodzące,
- naturalne materiały chłodzące.

Cooling roofs are usually covered with various types of membranes, gravel, paint or metal plates. Typically, cooling roofs are a one-layered structure. Typical liquid used for cooling coatings consists of white paint, polyurethane, elastomeric or acrylic coatings and can also be made of other plastics such as EPDM, PVC or CPE. It was found that the black roof covered with asphalt after applying the cooling coating changed its reflectivity coefficient from 0.04 to 0.8 [9]. The material that heats up to 75-80°C after using of cool coating heating is heated to 45°C.

These elements use selective absorption and emission of solar radiation. Their use in building construction reduces the building's cooling load, improves the thermal comfort of the building, increases the roof's resistance due to the reduction of stress caused by the temperature. Such coating properties result in increased reflectivity and lower absorption. Therefore, such coatings are a good way to weaken the effect of the City Heat Island.

Crafted surfaces are characterized by a reflection coefficient greater than 80% and a high emissivity of about 0.8-0.9 [9]. Both of these values are used to calculate the Solar Reflectance Index (SRI).

Cooling paints are the most common and effective way of shaping the outside temperature of a building. They also have better cooling properties compared to materials such as white marble or white mosaics. Most of these paints are based on zinc dioxide or titanium dioxide, whose reflectivity is in the range of 0.7-0.85. The use of this type of coating allows the absorption coefficient to be reduced to about 0.2. A similar effect can be achieved by the addition of suitable pigments, which improve the reflective properties of the coating, especially in the field of infrared radiation. In the literature it is stated that the difference in surface temperature between the painted black reflective paint and the ordinary black paint reaches more than 10°C [9, 11]. Figure 3 shows an example application of this technology.

Instead of painting, waterproof membranes made of plastics are used. Zinc dioxide and ceramics are added to them. Their standard reflectivity is about 0.81-0.84. Standardized coatings can improve energy efficiency, which is understood to reduce energy consumption by up to 19.3% [9].

Coatings can also be covered with ceramic tiles, made of silicate gel, combined with thin aluminum foil with low emissivity (Fig. 4). This plate design allows for increased resistance to thermal conditions, and additionally allows control of heat loss in winter and summer gains. The reflectance in literature is about 0.75. This results in a cooling cost reduction of over 50% [9]. Their performance

Dachy chłodzące są zazwyczaj pokrywane różnego rodzaju membranami, żwirami, farbami lub metalowymi płytkami. Zazwyczaj dachy chłodzące są strukturą jednowarstwową. Typowy płyn używany do chłodzących powłok składa się z białej farby, poliuretanowych, elastomerowych lub akrylowych powłok, a także może być wykonany z innych tworzyw sztucznych, jak EPDM, PVC czy CPE. Stwierdzono, że czarny dach pokryty asfaltem, po nałożeniu powłoki chłodzącej, zmienił swój współczynnik refleksyjności z 0,04 do 0,8 [9]. Materiał nagrzewający się do temperatury 75-80°C, po zastosowaniu powłoki, nagrzewa się do temperatury 45°C.

Elementy te wykorzystują zjawiska selektywnej absorpcji i emisji padającego na nie promieniowania słonecznego. Ich zastosowanie w budownictwie na elementach budynków pozwala na zmniejszenie obciążenia chłodniczego budynku, poprawienie komfortu cieplnego we wnętrzu obiektu oraz zwiększenie odporności dachu na skutek zmniejszenia naprężeń wywołanych temperaturą. Takie właściwości powłok skutkują zwiększoną refleksyjnością i niższą absorpcją. Z tego względu takie powłoki są dobrym sposobem do osłabienia efektu miejskiej wyspy ciepła.

Opisane w literaturze najkorzystniej spreparowane powierzchnie charakteryzują się współczynnikiem odbicia powyżej 80% i wysoką emisyjnością wynoszącą około 0,8-0,9 [9]. Obie te wartości są wykorzystywane do obliczenia zastępczego współczynnika emisji (Solar Reflectance Index – SRI).

Farby chłodzące są najbardziej rozpowszechnionym i skutecznym sposobem kształtowania temperatury zewnętrznej budynku. Mają też korzystniejsze właściwości chłodzące w porównaniu do takich materiałów jak biały marmur czy białe mozaiki. W większości skład takich farb jest oparty na bazie dwutlenku cynku lub tytanu, którego współczynnik odbicia zawiera się w przedziale 0,7-0,85. Stosowanie tego rodzaju pokryć umożliwia ograniczenie współczynnika absorpcji do wartości około 0,2. Podobny efekt można osiągnąć przez dodanie odpowiednich pigmentów, których zadaniem jest poprawa właściwości refleksyjnych pokrycia, szczególnie w zakresie promieniowania podczerwonego. W literaturze podaje się, że różnica w temperaturze powierzchni między pomalowaną czarną farbą refleksyjną a farbą czarną zwykłą dochodzi do ponad 10°C [9, 11]. Na rysunku 3 pokazano przykładową aplikację tej technologii.

Zamiast malowania stosuje się zabarwienia wodoszczelnych membran wykonywanych z tworzyw sztucznych. Dodaje się do nich cząsteczki dwutlen-



Fig. 3. Roof painted with cool paint [17]

Rys. 3. Dach pokryty białą farbą chłodzącą [17]



Fig. 4. Roof with mounted cool tiles [17]

Rys. 4. Dach z zamontowanymi płytkami chłodzącymi [17]

in the form of a traditional tile keeps the aesthetic qualities of the roof. A similar effect is obtained by spraying a latex lacquer onto the concrete surface.

In countries with high sunshine, such as in the Mediterranean, gravel, light marble and light stones are used. These materials are characterized by relatively high reflectivity ratios (for example, about 79% for marble [9]). In addition, such natural cooling materials have low cost of acquisition, production and assembly.

The use of these solutions in new and existing buildings contributes to the energy efficiency of buildings in times of excessive heat. In work [9] it is stated that energy savings are in the range of 2-44%, their average value is 20%. These values depend on local climate, sky conditions and ventilation and air conditioning systems. US research shows that cooling energy gains are 12-25% for single family housing, 5-18% for office buildings and 7-17% for utility buildings. Estimates show that for the 50-year cooling roof, the profits generated by the construction are approximately \$ 25 per square meter compared to the black roof (ie, covered with tarpaulin, etc.).

2.3. Heater screen

Various heater surfaces are of particular importance in passive technologies. For example, increasing the

ku cynku i ceramiki. Ich standardowa refleksyjność promieniowania wynosi około 0,81-0,84. Standardowo dostępne powłoki mogą zwiększyć efektywność energetyczną, rozumianą jako zmniejszenie zużycia energii na chłodzenie nawet o ponad 19,3% [9].

Powłokami takimi mogą być również powierzchnie pokryte płytkami ceramicznymi, wykonanymi z silikatowego żelu połączonego z cienką folią aluminiową o niewielkiej emisyjności (rys. 4). Taka konstrukcja płytki umożliwia podwyższenie odporności na warunki termiczne, a dodatkowo umożliwia kontrolę strat ciepła zimą i zysków latem. Podawany w literaturze współczynnik odbicia wynosi około 0,75. Prowadzi to do obniżenia kosztów chłodzenia o ponad 50% [9]. Ich wykonanie w formie tradycyjnej dachówki utrzymuje walory estetyczne dachu. Podobny efekt uzyskuje się przez natrysk lakierem lateksowym na powierzchnię betonu.

W krajach o dużym nasłonecznieniu, np. w basenie Morza Śródziemnego, stosuje się żwir, jasny marmur i jasne kamienie. Materiały te w stosunku do innych charakteryzują się stosunkowo wysokimi współczynnikami odbicia (np. dla marmuru jest to około 79% [9]). Dodatkowo takie naturalne materiały, chłodząc, mają niskie koszty pozyskania, produkcji i montażu.

Stosowanie tego rodzaju rozwiązań w nowych i istniejących budynkach przyczynia się do poprawy efektywności energetycznej obiektów w okresie nadmiernych temperatur. W pracy [9] podano, że oszczędności energii zawierają się w przedziale 2-44%, a ich przeciętna wartość wynosi 20%. Wartości te są zależne od lokalnego klimatu, stanu nieba, jak i systemów wentylacyjno-klimatyzacyjnych. Prowadzone w Stanach Zjednoczonych badania dowodzą, że zyski energii chłodzenia wynoszą 12-25% dla budownictwa jednorodzinne, 5-18% dla budynków biurowych i 7-17% dla budynków użytkowych. Szacunkowe obliczenia wskazują, że dla 50-letniego okresu pracy dachu chłodzącego zyski generowane przez konstrukcję wynoszą około 25\$ dla metra kwadratowego, w porównaniu do dachu czarnego (np. pokrytego papą itp.).

2.3. Wykładziny zagrzejnikowe

Szczególną rolę w technologiach pasywnych pełnią różnorakie wykładziny zagrzejnikowe. Na przykład zwiększenie chropowatości powierzchni przez zastosowanie faktury ząbków piły i materiałów o wysokiej emisyjności powoduje wyższą burzliwość przepływu powietrza, a tym samym wzrost wymiany ciepła nawet o 26% [6]. Dodatkowo ilość ciepła przenikające

surface roughness by using a saw tooth texture and high emissivity materials results in a higher airflow turbulence, which results in an increase in heat exchange by up to 26% [6]. In addition, the amount of heat penetrating the outer baffle decreases by 54%. The result is an increased heat output of the heater by approximately 12%. This is especially recommended for uninsulated or poorly insulated compartments.

2.4. Blinds

The bulk of the heat gains or losses in the building have transparent bulkheads. One way to limit these phenomena is to use different types of shutters, awnings and shutters. Such elements are made as internal or external, sometimes with varying vertical or horizontal inclination. In the literature it is stated that when in the warmest and strongest sunshine periods, when the surface of the absorbing baffle is facing outward, the temperature can be reduced by about 1K at the facade at a distance of about 0.5 m [10]. This result was obtained using appropriately directed aluminum overlays.

2.5. Thermosiphones and heat pipes

One of the most interesting solutions is the systems based on heat pipes or thermosiphons which are used for, among others, heat transfer, temperature stabilization and density regulation of heat flux. In construction and environmental engineering, in solar collectors, heat exchangers, wall heating and radiation wall panels [12].

Heat pipes can be divided by the way the condensate is transported to the evaporator. There are thermosiphons, rotating heat pipes and capillary tubes, where the condensate transport occurs as a result of the capillary pressure.

In transport and construction, for the sake of cost, the use of thermosiphon was mainly used. Where heat transport is to be independent of the direction of gravity, heat pipes are used. They are applied to:

- ground stabilization around foundations and supports in arctic areas,
- defrosting icy roads,
- preparation of hot water in heat exchangers,
- accumulation of solar energy in solar collectors,
- wall and floor heating,
- ventilation of air in combination with ecological energy sources [13].

An example of the use of heat pipes is the stabilization of the soil that was carried out during the construction of the railway line between China and Tibet. They are located in sections where there

go przez przegrodę zewnętrzną maleje o 54%. Wynikiem takiego zabiegu jest zwiększona wydajność cieplna grzejnika o około 12%. Takie rozwiązanie jest szczególnie polecane przy nieizolowanych lub słabo izolowanych przegrodach.

2.4. Żaluzje

Największy wpływ na zyski lub straty ciepła w budynku mają przegrody przezroczyste. Jedną z metod ograniczenia tych zjawisk jest stosowanie różnego rodzaju żaluzji, markiz i rolet. Elementy takie są wykonywane jako wewnętrzne lub zewnętrzne, czasami o zmiennym kącie pochylenia w pionie lub poziomie. W literaturze podaje się, że gdy w okresach najcieplejszych i przy silnej operacji promieniowania słonecznego, kiedy powierzchnia przegrody absorbującej jest skierowana na zewnątrz, temperatura może zostać zredukowana o około 1 K przy fasadzie w odległości około 0,5 m [10]. Wynik ten uzyskano przy zastosowaniu odpowiednio skierowanych nakładek aluminiowych.

2.5. Termosyfony i rurki cieplne

Jednym z ciekawszych rozwiązań są układy pracujące w oparciu o rurki cieplne lub termosyfony, które stosowane są między innymi do transportu ciepła, stabilizacji temperatur oraz regulacji gęstości strumienia ciepła. W budownictwie i inżynierii środowiska znalazły swoje zastosowanie m.in. w kolektorach słonecznych, wymiennikach ciepła, systemach ogrzewania ściennego i radiacyjnych panelach ściennych [12].

Rurki cieplne można podzielić ze względu na sposób transportu skroplin do parownika. Wyróżnia się tu termosyfony, wirujące rury cieplne oraz rury ze strukturami kapilarnymi, gdzie transport kondensatu następuje w wyniku działania ciśnienia kapilarnego.

W transporcie i budownictwie, ze względu na koszty, zastosowanie znalazły przede wszystkim termosyfony. W przypadkach kiedy transport nośnika ciepła ma być niezależny od kierunku grawitacji, stosuje się rurki cieplne. Wykorzystywane są one do:

- stabilizacji temperatury gruntu wokół fundamentów i podpór w obszarach arktycznych,
- rozmrażania oblodzonych dróg,
- przygotowania ciepłej wody użytkowej w wymiennikach ciepła,
- akumulacji energii słonecznej w kolektorach słonecznych,
- ogrzewania ściennego i podłogowego,
- podgrzewania powietrza wentylacyjnego w połączeniu z ekologicznymi źródłami energii [13].

is eternal permafrost. During the thaw, the ground under the railway sleepers was thawing, which caused the tracks to collapse or even break the rails. The condensation section of the tube has been ribbed and extended over the surface of the ground, where it draws heat from the ground to the air. This has led to a decrease in the temperature of the soil which, even during the thaw, has a negative temperature, which excludes the possibility of catastrophe [18]. Similar solutions were used in the construction of a pipeline that transported oil north to south of Alaska [19]. A number of heat pipes have been installed along the route of this pipeline, which protects the ground from drenching and the pipeline from damage. In Scandinavia, heat pipes are used to heat the road. They are installed directly below the road surface to maintain a constant, positive asphalt temperature [18]. Similar solutions are used to heat surfaces of bridges and viaducts. In such cases they may be passive or active systems [12].

3. FINDINGS

Painting exterior facade of the building with the same pigmented pigment of different colors results in different radiative gains, which directly translates into winter and cooling summer heat load. Further research is needed to determine the optimum building colors and thermochromic colors.

Based on the proposed methodology discussed in [1] and [11], the absorption and emission coefficients for the four samples were determined. Three of them were covered with a paint of this composition, but dyed with different dye, the fourth with a 99.9% purity. The results are shown in Table 1.

Przykładem zastosowania rurek ciepła jest stabilizacja gruntu, którą przeprowadzono przy budowie linii kolejowej między Chinami a Tybetem. Umieszczono je na odcinkach, gdzie występuje wieczna zmarzlina. W czasie odwilży grunt pod podkładami kolejowymi ulegał rozmrożeniu, co było powodem zapadania się konstrukcji torów, a nawet łamania szyn. Sekcja skraplająca rurek została ożebrowana i wysunięta nad powierzchnię gruntu, gdzie oddaje pobrane z ziemi ciepło do powietrza. Spowodowało to obniżenie temperatury gruntu, który nawet podczas odwilży ma ujemną temperaturę, co wykluczyło możliwość występowania katastrof [18]. Podobne rozwiązania były wykorzystywane przy budowie rurociągu, którym transportowana jest ropa naftowa z północy na południe Alaski [19]. Wzdłuż trasy tego rurociągu zainstalowano szereg rurek ciepła, które zabezpieczają grunt przed rozmarzaniem, a rurociąg przed uszkodzeniem. W krajach skandynawskich rurki ciepła służą do ogrzewania jezdni. Instaluje się je bezpośrednio pod powierzchnią drogi, aby utrzymywały stałą, dodatnią temperaturę asfaltu [18]. Podobne rozwiązania wykorzystuje się do podgrzewania powierzchni mostów i wiaduktów. W takich przypadkach mogą być to systemy w układzie pasywnym lub aktywnym [12].

3. WYNIKI BADAŃ

Malowanie elewacji zewnętrznej budynku tą samą farbą, zabarwioną pigmentem o różnym kolorze, powoduje różne zyski radiacyjne, co bezpośrednio przekłada się na obciążenie cieplne zimą i chłodnicze latem. Dlatego istnieje potrzeba przeprowadzenia dalszych badań w celu wyznaczenia optymalnych barw budowlanych oraz kolorów termochromowych.

W oparciu o zaproponowaną metodykę omówioną w pracy [1] i [11] wyznaczono współczynniki absorpcji i emisji dla czterech próbek. Trzy z nich pokryto farbą o tym samym składzie, lecz zabarwionych różnym barwnikiem, czwartą zaś proszkiem węglowym o czystości 99,9%. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

Table 1. Summary of absorption and emission factors

Tabela 1. Zestawienie współczynników absorpcji i emisji

Colour of surface	Coefficient of emission ϵ			Coefficient of absorption α
	heating	cooling	average value	
White	0.765	0.755	0.760	0.51
Light blue	0.861	0.859	0.860	0.74
Green	0.89	0.887	0.888	0.73
Coal	0.957	0.937	0.947	0.95

Using the values in Table 1, the radiation gains for the sample barrier of the analyzed building were calculated. It was assumed that the object is located in Kielce, where detailed meteorological data are needed to estimate daily heat gains. It was assumed that the room was 3.7 m long, 3.4 m wide and 3.2 m high. Its ceiling is covered with tarpaulin and the heat transfer coefficient for the ceiling is $0.248 \text{ W/m}^2\text{K}$ and for the wall is $0.350 \text{ W/m}^2\text{K}$ respectively. Sample cooling load calculations were carried out for the non-transparent partitions to the south for the month of June. Using the measured values of the coefficients according to Table 1, the maximum daily load of the partition was calculated, which for white is 57.11 W/m^2 , 68.35 W/m^2 , light blue 68.86 W/m^2 , and black 79.6 W/m^2 .

4. CONCLUSIONS

Passive methods are an important method of reducing energy consumption in buildings. They are a relatively inexpensive way of building comfort in buildings relative to traditional air conditioning systems. Their appropriate application can significantly improve the performance of air conditioning systems in buildings. They are characterized by different characteristics. They also differ in the cost of the investment. It is assumed that traditional passive methods such as green facades and roofs are the cheapest and requiring the least work, the latest, most innovative and experimental methods are the most expensive. Selection of the most advantageous method requires careful economic analysis.

The effects of the use of cooling coatings are very broad and, depending on the type, lead to:

- energy savings,
- mitigating the effects of urban heat islands,
- building comfort inside the premises,
- improve the external environment,
- prolonged working time of roof elements,
- optimizing ventilation and air conditioning.

The results show that the emission and absorption properties of the baffles can be used to create the appropriate thermal comfort. During the winter season, high-emission coatings can be used, while in the low summer months. The ideal would be a coating that adapts its properties to the currently prevailing thermal conditions, which requires further research, which is carried out in many scientific means.

Korzystając z wartości zamieszczonych w tabeli 1, obliczono zyski radiacyjne dla przykładowej przegrody analizowanego budynku. Przyjęto, że obiekt jest położony w Kielcach, gdzie dostępne są szczegółowe dane meteorologiczne, niezbędne do oszacowania dobowych zysków ciepła. Przyjęto również, że pomieszczenie ma 3,7 m długości, 3,4 m szerokości oraz 3,2 m wysokości. Jego stropodach jest pokryty papą, a współczynnik przenikania ciepła dla stropu wynosi $0,248 \text{ W/m}^2\text{K}$, natomiast dla ściany $0,350 \text{ W/m}^2\text{K}$. Przykładowe obliczenia obciążenia chłodniczego przeprowadzono dla przegrody nieprzezroczystej skierowanej na południe, dla miesiąca czerwca. Wykorzystując zmierzone wartości współczynników według tabeli 1, obliczono maksymalne dzienne obciążenie przegrody, które dla koloru białego wynosi $57,11 \text{ W/m}^2$, dla zielonego $68,35 \text{ W/m}^2$, jasnoniebieskiego $68,86 \text{ W/m}^2$, a dla czarnego $79,6 \text{ W/m}^2$.

4. WNIOSKI

Metody pasywne stanowią ważną metodę ograniczania zużycia energii w budynkach. Stanowią one relatywnie tanią w stosunku do tradycyjnych systemów klimatyzacyjnych metodę kształtowania komfortu cieplnego w budynkach. Ich odpowiednie zastosowanie może wydatnie zwiększyć wydajność systemów klimatyzacji w obiektach. Charakteryzują się różnymi cechami. Różnią się także kosztami inwestycji. Przyjmuje się, że tradycyjne metody pasywne, jak zielone fasady i dachy, są najtańsze i wymagają najmniejszego wkładu pracy, metody najnowsze, najbardziej innowacyjne i eksperymentalne są najdroższe. Wybór najkorzystniejszej metody wymaga dokładnej analizy ekonomicznej.

Efekty, jakie daje stosowanie powłok chłodzących, są bardzo szerokie i w zależności od typu prowadzą do:

- oszczędności energii,
- łagodzenia efektów miejskich wysp ciepła,
- budowy komfortu cieplnego wewnątrz pomieszczeń,
- poprawy warunków zewnętrznych,
- wydłużenia czasu pracy elementów dachowych,
- optymalizacji pracy urządzeń wentylacyjnych i klimatyzacyjnych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że właściwości emisyjne i absorpcyjne przegród mogą zostać użyte do odpowiedniego kształtowania komfortu cieplnego. W okresie zimowym można używać powłoki o wysokim współczynniku emisji, zaś latem o niskim. Idealnym byłaby powłoka dostosowująca swe właściwości do aktualnie panujących warunków termicznych, co wymaga dalszych badań, które są prowadzone w wielu ośrodkach naukowych.

References

- [1] Bergman T.L., Lavine A.S., Incropera F.P., Devitt D.P., *Fundamentals of heat and mass transfer*, Wiley 2011.
- [2] Shen H., Tan H., Tzempelikos A., *The effect of reflective coatings on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption – An experimental study*. Energy and Buildings, 43 (2011), pp. 573-580.
- [3] Uemoto K.L., Sato N.M.N., Vanderley M.J., *Estimating thermal performance of cool colored paints*. Energy and Buildings, 42 (2010), pp. 17-22.
- [4] Karlessi T., Santamouris M., Apostolakis K., Synnefa A., Livada I., *Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures*. Solar Energy, 83 (2009), pp. 538-551.
- [5] MacIvor J.S., Margolis L., *Cooling of a South-Facing Wall Using a Double-Skin Green Façade in a Temperate Climate*.
- [6] Shati A.K.A., Blakey S.G., Beck S.B.M., *The effect of surface roughness and emissivity on radiator output*. Energy and Buildings, 43 (2011), pp. 400-406.
- [7] Wong N.H., Kwang Tan A.Y., Chen Y., Sekar K., Tan P.Y., Chan D., Wong, N.C. (2010), *Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls*. Building and Environ. 45:663-672.
- [8] Di H.F., Wang D.N. (1999), *Cooling effect of ivy on a wall*. Experimental Heat Transfer 12:235-245.
- [9] Pisello L., *State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities*. Solar Energy 144 (2017), pp. 660-680.
- [10] Frontinia F., Kuhn T.E., *The influence of various internal blinds on thermal comfort: A new method for calculating the mean radiant temperature in office spaces*. Energy and Buildings, 54 (2012), pp. 527-533.
- [11] Orzechowski T., Lesiak P., *Wpływ koloru elewacji budynku na zużycie energii. The influence of color on the facade of the building energy consumption*, Współczesne problem termodynamiki, Gliwice 2017, s. 368-378.
- [12] Tyburczyk A., *Zjawiska zmiany fazy w pasywnym odszranianiu fragmentów dróg*, Logistyka, nr 4/2015, ISSN 1231-5478, s. 6313-6319.
- [13] Wiśniewski T.S., *Wymiana ciepła*, wydanie III, WNT, Warszawa 1995.
- [14] Welch A., *Consortio Santiago: Chile Offices Building*. <https://www.e-architect.co.uk/chile/consorcio-santiago-building>. Data dostępu 16.07.2017.
- [15] <http://www.garnet.pl/masytor/2588185/sad-okregowy-w-toruniu>. Data dostępu 16.07.2017.
- [16] Strona internetowa firmy Perfect – Contracting & fire systems. <http://perfectcfs.com/services/cool-roof/>. Data dostępu 16.07.2017.
- [17] Strona internetowa firmy Indianmart, <https://www.indiamart.com/proddetail/cool-roof-tiles-11502802130.html>. Data dostępu 16.07.2017.
- [18] <http://en.sunpower.com.cn/> Data dostępu 2.09.2017.
- [19] <http://www.alyeska-pipeline.com/> Data dostępu 2.09.2017.

Acknowledgments:

This work was supported by Kielce University of Technology, Grant No. 05.0.07.00/2.01.01.0015 MNSP.IKSI.14.001

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, grant nr 05.0.07.00/2.01.01.0015 MNSP.IKSI.14.001

COMPARATIVE ANALYSIS OF MEASUREMENT DATA RECORDED BY TWO TRAFFIC MONITORING STATIONS

ANALIZA PORÓWNAWCZA WYNIKÓW POMIARÓW ZAREJESTROWANYCH PRZEZ DWIE STACJE MONITORUJĄCE RUCH POJAZDÓW DROGOWYCH

DOI: 10.30540/sae-2018-017

Abstract

The paper reports statistical analysis of the data recorded by two stations monitoring traffic noise in a medium-sized city, such as Kielce. One station is located beside the national road, the other beside the provincial road. The results under analysis included the equivalent sound levels recorded in 2013. The coefficient of variation, quartile deviation and deviations from the mean were proposed for comparing the dependencies recorded.

Keywords: traffic noise, noise measurements, urban traffic

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę statystyczną wyników pomiarów zarejestrowanych przez dwie stacje monitorujące hałas drogowy w mieście średniej wielkości takim jak Kielce. Jedna stacja znajduje się przy drodze krajowej, a druga przy drodze wojewódzkiej. Analizowane wyniki dotyczą równoważnego poziomu dźwięku zarejestrowanego w roku 2013. Współczynnik zmienności odchylenia standardowego, odchylenie ćwiartkowe, współczynnik zmienności odchylenia od wartości średnich zostały zaproponowane do porównywania zarejestrowanych zależności.

Słowa kluczowe: hałas drogowy, pomiary hałasu, ruch pojazdów w mieście

1. INTRODUCTION

The Resolution of the European Committee on the requirement of developing, making accessible and updating noise maps has again drawn the attention of communities to environmental noise defined as a factor greatly affecting comfort of life. Noise assessment relies on short- or long-term noise indicators [1]. Acoustic measurements are made at selected sites of the assessment area and last from a few hours to several days [2]. Determining long-term indicators, which should be representative of the whole calendar year, is especially cumbersome [3]. Road traffic noise measurements and vehicle monitoring systems use permanent monitoring terminals that record the data

1. WPROWADZENIE

Rozporządzenie Komisji Europejskiej w sprawie obowiązku opracowania, udostępniania oraz aktualizowania map hałasu ponownie zwróciło uwagę społeczeństwa na ten czynnik, który zanieczyszcza środowisko i obniża komfort życia. Do oceny tego zjawiska wykorzystuje się wskaźniki hałasu krótko- lub długoterminowe [1]. W tym celu przeprowadzane są pomiary akustyczne w wybranych punktach badanego obszaru, których czas wykonywania najczęściej wynosi od kilku godzin do kilku dni [2]. Szczególnie kłopotliwe jest wyznaczanie wskaźników długoterminowych, które powinny być reprezentatywne dla całego roku kalendarzowego [3]. W celu monitorowania hałasu komuni-

throughout the year [4]. Statistical analysis of these measurements is the focus of this paper.

2. NOISE MEASURING STATIONS

The paper reports the results of a statistical analysis of the sound level measurements recorded by permanent automatic sound and traffic volume monitoring stations in Kielce. The city of Kielce was selected as an example of a medium-sized city (with a population of about 200,000), located in the southern part of central Poland, in the margins of the Świętokrzyskie Mountains. Temperatures within a year range approximately from -5°C in January to $+17^{\circ}\text{C}$ in July. Average monthly precipitation is from 34 mm in October to 96 mm in July. The wind, predominantly from the south and west, reaches an average speed of about 10 km/h over a year. Kielce gets on average 70 days a year of snow on the ground. The data under analysis were recorded by two of such stations, one located in Krakowska Road (S1) and the other in Warszawska Road (S2).

Krakowska Road, with four lanes of traffic separated by a 3-m grass median, is the major part of the Kraków-bound thoroughfare functioning as both the transit route and the city street. The structural condition of the bituminous pavement is good. The noise monitoring station is located at the site with the following coordinates $50^{\circ}51'37.8''\text{N}$ and $20^{\circ}35'41.2''\text{E}$. Figure 1 shows the location of the S1 station in the urban layout of Kielce. It is situated between two busy intersections but at substantial distance. Opposite the road, there is a large handball hall and the bus depot of the Municipal Public Transport Service. The database of the recorded data comprises 905 records in the form of calculated values of the equivalent sound level. Due to technical difficulties, the database covers only the period between 8 January and 6 December 2013 split into three sub-intervals of a 24-hour interval: day time, evening time and night time.

Warszawska Road is a two-lane road out of Kielce. The function of this road has changed. It was originally designed for heavy vehicle loads. Currently, after transformation, the road is being used mainly for municipal transport and, to a slight extent, as a transit route to Warszawa. The structural condition of the bituminous pavement is good. The noise monitoring station is located at the site with the following coordinates $50^{\circ}54'15''\text{N}$ and $20^{\circ}40'32''\text{E}$. Figure 2 shows the location of the S2 station in the urban layout of Kielce. The measured equivalent sound level data from this station cover the period between 26-09-2012 and 12-11-2013, with the sample of 1022 records.

kacyjnego drogowego oraz ruchu środków transportu budowane są w niektórych miastach systemy stacjonarnych stacji pomiarowych, rejestrujących wartości tych mezurandów przez cały rok [4]. Analiza statystyczna wyników pomiarów stacji jest celem niniejszej pracy.

2. STACJE POMIARU HAŁASU

W artykule przeprowadzono analizę statystyczną wyników pomiarów poziomu dźwięku pochodzących ze stacjonarnych, automatycznych stacji monitorowania poziomu dźwięku i natężenia ruchu pojazdów, znajdujących się w Kielcach. Kielce zostały wybrane jako przykładowe miasto średniej wielkości (około 200 tys. mieszkańców), położone w południowej części centralnej Polski. Miasto leży na obrzeżu Gór Świętokrzyskich. Temperatura w ciągu roku zmienia się od około -5°C w styczniu do około $+17^{\circ}\text{C}$ w lipcu. Średnie miesięczne opady atmosferyczne sięgają od 34 mm w październiku do 96 mm w lipcu. Średnia prędkość wiatru wynosi w ciągu roku około 10 km/h. Dominują wiatry zachodnie i południowe. Śnieg zalega przez około 70 dni w roku. Analizowane wyniki zostały zarejestrowane przez dwie stacje znajdujące się przy ulicach Krakowskiej i Warszawskiej.

Ulica Krakowska, składająca się z czterech pasów ruchu, oddzielonych od siebie pasem zieleni o szerokości około 3 m, stanowi główną część trasy wyjazdowej z centrum Kielc w kierunku Krakowa. Ulicą tą odbywa się zarówno ruch tranzytowy, jak i miejski. Stan techniczny nawierzchni bitumicznej jest dobry. Stacja monitorująca hałas znajduje się w punkcie o współrzędnych $50^{\circ}51'37.8''\text{N}$ i $20^{\circ}35'41.2''\text{E}$. Stacja znajduje się między dwoma skrzyżowaniami o dużym natężeniu ruchu, lecz w znacznej odległości od nich (rys. 1). Po drugiej stronie jezdni znajduje się duża hala sportowa do gry w piłkę ręczną oraz zajezdnia autobusowa Miejskiego Przedsiębiorstwa Komunikacji. Baza wyników pomiarów poziomu dźwięku została utworzona w formie wyliczonych wartości równoważnego poziomu dźwięku. Baza ta składa się z 905 zarejestrowanych danych. Z powodu różnych problemów technicznych baza obejmuje okres od 8 stycznia do 6 grudnia 2013 roku, z uwzględnieniem trzech pór doby: dnie, wieczory i noce.

Ulica Warszawska jest dwupasmową drogą wyjazdową z Kielc (rys. 2). Wcześniej z drogi tej korzystało wiele pojazdów ciężarowych. Obecnie, po modernizacji układu komunikacyjnego Kielc, przeznaczona jest głównie dla ruchu miejskiego, jak i w nieznacznym stopniu dla ruchu tranzytowego w kierunku Warszawy. Stan techniczny nawierzchni bitumicznej jest dobry. Stacja monitorująca przy ulicy Warszawskiej znajduje się



Fig. 1. Location of the noise measuring station in Krakowska Road in the urban layout of Kielce (source: Geoportal Idea Kielce)
 Rys. 1. Położenie stacji pomiaru hałasu przy ulicy Krakowskiej, w układzie urbanistycznym Kielc (źródło: Geoportal Idea Kielce)



Fig. 2. Location of the noise measuring station in Warszawska Road in the urban layout of Kielce (source: Geoportal Idea Kielce)
 Rys. 2. Położenie stacji pomiaru hałasu przy ulicy Warszawskiej, w układzie urbanistycznym Kielc (źródło: Geoportal Idea Kielce)

The monitoring terminals mounted in Kielce include a sound level meter, a safety camera and a weather station. The traffic volume was measured by WAVE TRONIX digital radar with an operating frequency of 245 MHz. The weather data were recorded by means of a VAISALA WTX 510 automatic weather station. The acoustic measurements were carried out using SVAN 958A device, which is a four-channel digital vibration analyser and a class 1 sound level meter, operating within the measuring frequency range 0.5 Hz to 20 kHz, depending on a microphone used. The microphone for the acoustic pressure measurements is mounted at a distance of 4 m from the edge of the road at a height of 4 m. The measuring microphone used in this study was a Microtech Gefell MK250 free-field, prepolarised

w miejscu o współrzędnych 50°54'15"N i 20°40'32"E. Dane pomiarowe równoważnego poziomu dźwięku zarejestrowane przez stację obejmowały okres od 26 września 2012 do 12 listopada 2013 roku. Liczebność próby wyniosła 1022 wyników pomiarów.

Stacje monitoringu zainstalowane w Kielcach zawierają miernik poziomu dźwięku, radar drogowy oraz stację pogodową. Do pomiaru natężenia ruchu użyto radaru drogowego o częstotliwości roboczej 245 MHz firmy WAVE TRONIX. Dane pogodowe zbierano za pomocą automatycznej stacji meteo VAISALA WTX 510. Pomiary akustyczne przeprowadzano przyrządem SVAN 958A, który jest czterokanałowym, cyfrowym miernikiem poziomu drgań i dźwięku klasy 1. Zakres częstotliwości pomiarowych zawiera się w przedziale od 0,5 Hz do 20 kHz, w zależności od użytego mikro-

1/2" condenser microphone with a sensitivity of 50 mV/Pa, SV 12L preamplifier, a frequency range 3.5 Hz to 20 kHz and a dynamic range from 15 dB to 146 dB. The temperature range within which the device is operable is from -50°C to 100°C. The resolution of the signal RMS detector is 0.1 dB. The measurements were carried out 24 hours a day. The RMS values of the A sound level were registered in the buffer every 1 s and the results were recorded every 1 minute. The equivalent sound level was calculated on this basis for three time intervals, i.e., from 6:00 to 18:00, from 18:00 to 22:00 and from 22:00 to 6:00.

3. MEASUREMENT RESULTS

The authors of [4] analysed the A-weighted equivalent sound levels (denoted $L_{Aeq,T}$) expressed in terms of decibels, recorded by the selected stations. This parameter can be determined as follows [5]:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \quad (1)$$

where: $p_A(t)$ – is the A-weighted acoustic pressure, p_0 – is a reference acoustic pressure, standardized as 20 μ Pa, T – is the entire measurement time interval.

The Shapiro-Wilk test and the Jarque-Bera test provided sufficient evidence to reject the null hypothesis about normal distribution of the data under analysis (expressed in dB) at the significance level of 0.05 in all the cases considered – for the Warszawska Road site. The same tests applied to the data from the Krakowska Road site did not provide enough evidence to reject the null hypothesis in four cases: for the night time on Mondays and Thursdays and for the day time and evenings on Sundays.

The equivalent sound level can also be determined using:

$$\begin{aligned} L_{Aeq,T} &= 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i \cdot \left(\frac{p_{Ai}}{p_0} \right)^2 \right] \\ &= 10 \cdot \log \left[\left(\frac{p_A}{p_0} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (2)$$

fonu. Mikrofon do pomiaru ciśnienia akustycznego znajduje się w odległości 4 m od krawędzi jezdni i na wysokości 4 m. W badaniach zastosowano mikrofon pola swobodnego, pojemnościowy prepolaryzowany 1/2" firmy Microtech Gefell MK250, o czułości 50 mV/Pa, wraz z przedwzmacniaczem SV 12L, zakres częstotliwości wynosi od 3,5 Hz do 20 kHz. Zakres dynamiki wynosi od 15 dB do 146 dB. Przyrząd może pracować w zakresie temperatur od -50°C do 100°C. Rozdzielczość detektora parametru RMS sygnału wynosi 0,1 dB. Pomiary prowadzono przez 24 godziny na dobę. Podczas badań rejestrowano w buforze wartość RMS poziomu dźwięku A co 1 sekundę, a wyniki zapisywano co 1 minutę. Na podstawie tych rejestracji prowadzone były obliczenia równoważnego poziomu dźwięku dla trzech przedziałów czasowych, tj. od 6:00 do 18:00, od 18:00 do 22:00 oraz od 22:00 do 6:00.

3. WYNIKI POMIARÓW

W pracy [4] poddano analizie wartości równoważnego poziomu dźwięku (ozn. $L_{Aeq,T}$) wyrażanego w decybelach, zarejestrowanego przez wybrane stacje. Parametr ten wyznaczyć można w następujący sposób [5]:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \quad (1)$$

gdzie: $p_A(t)$ – wartość ciśnienia akustycznego, skorygowana według charakterystyki częstotliwościowej A, p_0 – ciśnienie akustyczne odniesienia wynoszące 20 μ Pa, T – całkowity czas pomiaru.

Przeprowadzone testy statystyczne Shapiro-Wilka i Jarque-Bera pozwoliły na odrzucenie hipotezy zerowej H_0 o zgodności rozkładu analizowanych danych (wyrażonych w dB) z rozkładem normalnym, na poziomie istotności 0,05, we wszystkich rozważanych przypadkach – dla ulicy Warszawskiej. Analogiczne testy przeprowadzone dla danych zarejestrowanych na ulicy Krakowskiej nie dawały podstaw do odrzucenia tej hipotezy w czterech przypadkach: dla danych zarejestrowanych w poniedziałkowe i czwartkowe noce oraz w niedzielne dni i wieczory.

Równoważny poziom dźwięku można wyznaczyć również w oparciu o następujące równanie:

$$\begin{aligned} L_{Aeq,T} &= 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i \cdot \left(\frac{p_{Ai}}{p_0} \right)^2 \right] \\ &= 10 \cdot \log \left[\left(\frac{p_A}{p_0} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (2)$$

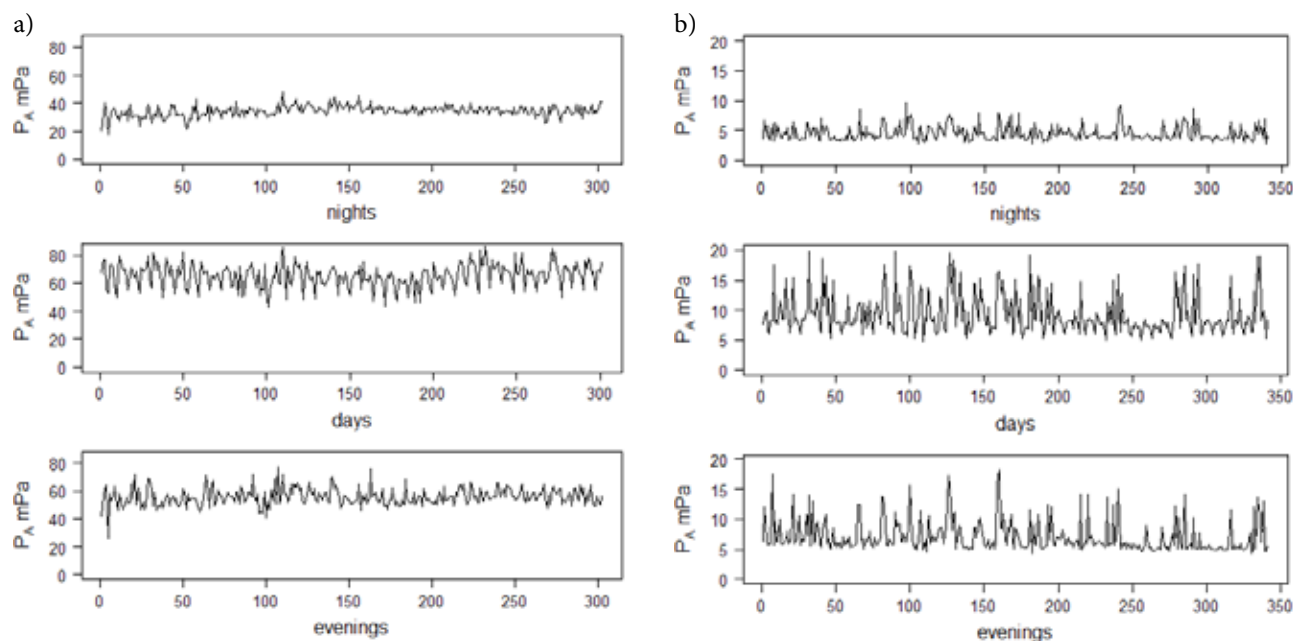


Fig. 3. Acoustic pressure changes in sub-intervals of the 24h interval for: a) Krakowska Rd, b) Warszawska Rd
Rys. 3. Zmiany ciśnienia akustycznego z uwzględnieniem pory doby dla ulic: a) Krakowskiej, b) Warszawskiej

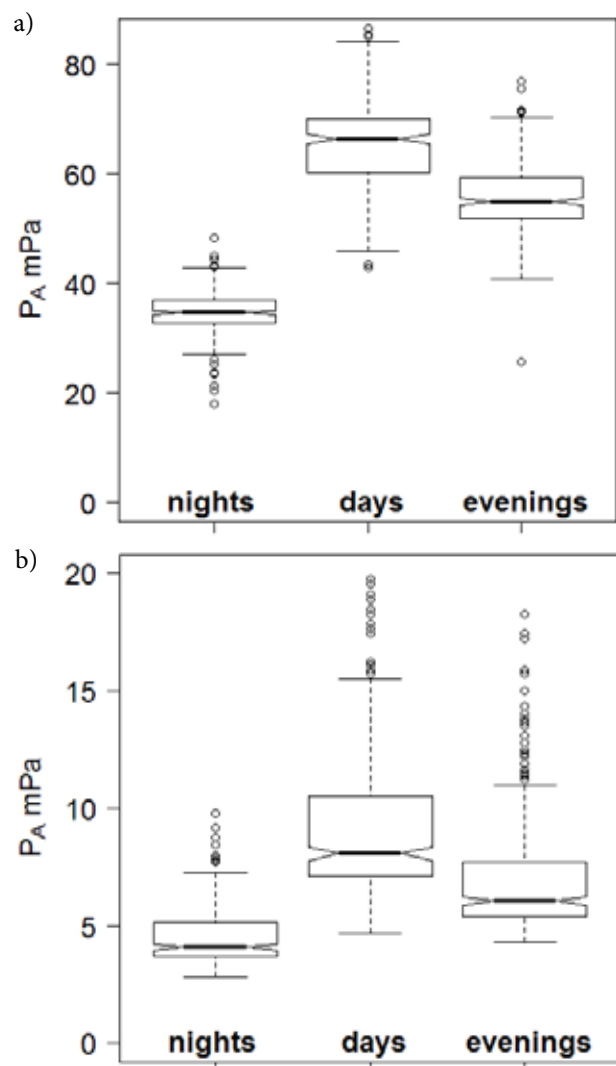


Fig. 4. Box plots of p_A for all measurement intervals in 2013 split into sub-intervals: a) Krakowska Rd, b) Warszawska Rd
Rys. 4. Wykresy pudełkowe p_A dla wszystkich dni pomiarowych w roku 2013 z uwzględnieniem pory doby: a) dla ulicy Krakowskiej, b) dla ulicy Warszawskiej

where: $\sum_{i=1}^N t_i = T$

Equation (2) provides a possibility to determine the acoustic pressure p_A at time interval T corresponding to N recorded values:

$$p_A = p_{A_{RMS}} = \sqrt{10^{(0.1 \cdot L_{Aeq,T})} \cdot p_0^2} \quad (3)$$

In this study, the authors analysed the measurement data expressed in terms of Pa to be able to compare the fixed components (the mean and the median) and variable components (deviation from the mean) of the signals recorded.

The logarithmic scale of the equivalent sound level ($L_{Aeq,T}$) can hinder a direct comparison of the measurement results. This scale also affects the distribution of the variables and thus the Shapiro-Wilk and Jarque-Bera test results. This paper reports the results recorded on arbitrarily chosen days of the week (two working days, i.e., Mondays and Thursdays, and Sundays), split into three time sub-intervals (night time, day time and evenings).

Examples of p_A for all measurement days in 2013, split into three time sub-intervals are shown in Figure 3.

The Shapiro-Wilk test and the Jarque-Bera test provided sufficient evidence to reject the null hypothesis about normal distribution of the data under analysis at the assumed significance level of 0.05. It follows from Figure 3 that in the case of the Krakowska Road site, parameter p_A is substantially higher than that for the Warszawska Road site.

Analysis of the box plots in Figure 4 shows that for both roads, some data can be regarded as atypical. Because no causes were indicated for the occurrence of atypical data, these data were taken into account in further analysis of the recorded samples. A larger number of outlier data was recorded at the Warszawska Road site.

The acoustic pressure variation was determined using the coefficient of variation and quartile deviation. The coefficient can be calculated from:

$$COV_{P_a} = COV = \frac{\sigma_{P_A}}{P_A} \cdot 100\% \quad (4)$$

This coefficient is a relative, dimensionless measure of acoustic pressure dispersion. The quartile deviation was determined from:

gdzie: $\sum_{i=1}^N t_i = T$

Wzór (2) daje możliwość wyznaczenia wartości ciśnienia akustycznego p_A panującego w badanym okresie T , odpowiadającym N zarejestrowanym wartościom:

$$p_A = p_{A_{RMS}} = \sqrt{10^{(0.1 \cdot L_{Aeq,T})} \cdot p_0^2} \quad (3)$$

W niniejszym opracowaniu autorzy poddali analizie wyniki pomiarów wyrażone w paskalach. Uzasadnieniem tego podejścia jest zamiar porównania składowych stałych (rozumianych jako wartość średnia lub mediana) oraz składowych zmiennych (odchyłki od wartości średniej) zarejestrowanych sygnałów.

Logarytmiczna skala wartości równoważnego poziomu dźwięku ($L_{Aeq,T}$) może utrudniać bezpośrednie porównanie wyników pomiarów. Skala ta również ma wpływ na rozkład analizowanych zmiennych, a co za tym idzie na wyniki testów Shapiro-Wilka i Jarque-Bera. W pracy analizie poddano wyniki zarejestrowane w wybranych arbitralnie dniach tygodnia (dwa dni robocze, tj. poniedziałki i czwartki, oraz niedziele), z uwzględnieniem podziału na trzy pory doby (noce, dnie i wieczory).

Przykładowe wykresy obliczonych według zależności (3) wartości p_A dla wszystkich dni pomiarowych w roku 2013, z podziałem na pory doby, pokazano na rysunku 3.

Przeprowadzone testy statystyczne Shapiro-Wilka i Jarque-Bera pozwoliły na odrzucenie hipotezy zerowej H_0 o zgodności rozkładu danych pomiarowych z rozkładem normalnym (na przyjętym poziomie istotności 0,05). Widać również, że w przypadku ulicy Krakowskiej parametr p_A osiąga znacznie wyższe wartości niż dla ulicy Warszawskiej.

Analiza wykresów pudełkowych przedstawionych na rysunku 4 pokazuje, że w przypadku obu ulic wystąpiły dane, które można uznać za nietypowe. Ponieważ nie określono przyczyn występowania danych nietypowych, w dalszych badaniach były one uwzględniane w analizie zarejestrowanych prób. Większa liczba wartości odstających wystąpiła w przypadku ulicy Warszawskiej.

Do oceny zmienności wartości ciśnienia akustycznego zastosowano współczynnik zmienności odchylenia standardowego i odchylenie ćwiartkowe. Współczynnik zmienności odchylenia standardowego można wyznaczyć według następującej zależności:

$$COV_{P_a} = COV = \frac{\sigma_{P_A}}{P_A} \cdot 100\% \quad (4)$$

Współczynnik ten jest względną, niemianowaną miarą dyspersji ciśnienia akustycznego. Odchylenie ćwiartkowe wyznaczono natomiast jako:

$$Q_{31} = 0.5 \cdot (Q_3(p_A) - Q_1(p_A)) \quad (5)$$

Quartile deviation is an absolute but dimensional measure of acoustic pressure dispersion. The calculation results of sound pressure parameters for both roads are summarized in Tables 1 and 2.

$$Q_{31} = 0.5 \cdot (Q_3(p_A) - Q_1(p_A)) \quad (5)$$

Odchylenie ćwiartkowe jest bezwzględną, lecz mianowaną miarą dyspersji ciśnienia akustycznego. Wyniki obliczeń wartości parametrów dotyczących ciśnienia akustycznego dla ulic Krakowskiej i Warszawskiej przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Table 1. Parameters of acoustic pressure p_A determined for Krakowska Rd

Tabela 1. Wartości parametrów ciśnienia akustycznego p_A wyznaczone dla ulicy Krakowskiej

Time interval	Med, mPa	Mean, mPa	SD, mPa	COV, %	SW test	JB test	Q_{31} , mPa
Mondays							
24 h periods	52.67	52.18	15.32	29.36	0.00	0.03	14.53
Nights	34.48	33.89	3.59	10.60	0.20	0.11	2.15
Days	68.36	68.19	7.19	10.54	0.24	0.70	3.46
Evenings	53.34	54.89	5.96	10.86	0.19	0.21	3.89
Thursdays							
24 h periods	55.98	53.85	15.10	28.03	0.00	0.01	14.78
Nights	35.28	35.14	2.84	8.07	0.96	0.74	2.02
Days	68.87	68.62	7.59	11.06	0.04	0.02	3.88
Evenings	57.39	57.80	5.61	9.71	0.23	0.39	3.68
Sundays							
24 h periods	50.64	46.07	11.45	24.85	0.00	0.00	10.51
Nights	32.06	31.15	4.10	13.18	0.03	0.01	2.29
Days	53.89	53.34	4.58	8.58	0.95	0.89	2.78
Evenings	53.03	53.72	4.42	8.23	0.70	0.80	3.10
Denotation: med. – median, mean – arithmetic mean, SD – standard deviation, SW test – Shapiro-Wilk test, JB test – Jarque-Bera test							

Table 2. Parameters of acoustic pressure p_A determined for Warszawska Rd

Tabela 2. Wartości parametrów dotyczących ciśnienia akustycznego p_A wyznaczone dla ulicy Warszawskiej

Time interval	Med, mPa	Mean, mPa	SD, mPa	COV, %	SW test,	JB test	Q_{31} , mPa
Mondays							
24 h periods	6.18	7.06	3.34	47.28	0.00	0.00	1.75
Nights	4.01	4.47	1.15	25.82	0.00	0.00	0.52
Days	8.24	9.65	3.42	35.39	0.00	0.00	1.71
Evenings	5.97	7.04	2.66	37.76	0.00	0.00	1.17
Thursdays							
24h periods	6.58	7.33	3.42	46.57	0.00	0.00	1.88
Nights	4.01	4.43	1.01	22.68	0.00	0.00	0.53
Days	8.48	10.03	3.23	32.22	0.00	0.00	2.00
Evenings	6.40	7.54	2.83	37.52	0.00	0.00	1.49
Sundays							
24h periods	5.51	5.79	2.19	37.91	0.00	0.00	0.90
Nights	3.68	4.08	1.13	27.75	0.00	0.00	0.49
Days	6.01	6.99	2.34	33.52	0.00	0.00	0.74
Evenings	5.64	6.25	1.78	28.51	0.00	0.00	0.68

Analysis of the acoustic pressure distribution in Table 1 allows the inference that for the 24 h interval in each case, there is sufficient evidence to reject the null hypothesis H_0 (at the significance level of 0.05), whereas for the sub-intervals no such evidence exists. This finding is confirmed by the limiting values of probabilities (allowing the rejection of the H_0) determined based on the Shapiro-Wilk and Jarque-Bera tests, and by small differences between the expected values and medians. The results support the conclusions concerning normal distribution of the equivalent sound levels expressed in dB, as presented in [4]. The analysis of the coefficient of variation did not allow defining clearly the sub-interval for which the variable components of the signal referred to its mean value were the lowest.

Analysis of the data in Table 2 allows the inference that in all the cases considered, there is sufficient evidence to reject the null hypothesis H_0 (at the significance level of 0.05). The results support the conclusions concerning normal distribution of the equivalent sound levels expressed in dB, as presented in [4]. In the case of the Warszawska Road site, the differences between the expected values and medians are greater. The lowest coefficients of variation were obtained for the data recorded at night.

The analysis of acoustic pressure deviations from the mean was performed due to difficulties in using the COV for clearly defining the sub-intervals for which its values were the lowest. The deviations can be calculated from the equation:

$$\Delta p_{A_i} = p_{A_i} - \overline{p_A} \quad (6)$$

This parameter can be used for analysing the variable components of the signal. The authors of this paper decided to determine the expected value of the magnitude of these deviations (denoted $|\Delta p_{A_i}|$) and their root-mean-square value (denoted RMS). It has to be noted that the coefficient of variation cannot be used for this purpose because the mean value of the deviations $\overline{\Delta p_A} = 0$.

Table 3 compiles the parameters calculated for the acoustic pressure deviations from the mean value Δp_A for both locations, Krakowska Road and Warszawska Road.

Analiza wyników dotyczących rozkładów ciśnienia akustycznego przedstawionych w tabeli 1 prowadzi do wniosku, że dla pory-doby w każdym przypadku są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 (na poziomie istotności 0,05), natomiast dla innych pór w kilku analizowanych przypadkach brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 . Fakt ten potwierdzają wartości granicznych prawdopodobieństw (pozwalaających na odrzucenie H_0), wyznaczonych w oparciu o testy Shapiro-Wilka i Jarque-Bera, jak również niewielkie różnice między otrzymanymi wartościami oczekiwanymi i medianami. Rezultaty te potwierdzają wnioski dotyczące normalności rozkładów wartości równoważnych poziomów dźwięku wyrażonych w dB, przedstawione w pracy [4]. Analiza wartości współczynnika COV nie pozwoliła na jednoznaczne określenie pory dnia, dla której składowe zmienne sygnału, odniesione do jego wartości średniej, są najmniejsze.

Analiza danych przedstawionych w tabeli 2 prowadzi do wniosku, że dla wszystkich rozważanych przypadków istnieją podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 (na poziomie istotności 0,05). Rezultaty te potwierdzają wnioski dotyczące normalności rozkładów wartości równoważnych poziomów dźwięku wyrażonych w dB, przedstawione w pracy [4]. W przypadku ulicy Warszawskiej większe są również różnice między otrzymanymi wartościami oczekiwanymi i medianami. Najmniejsze wartości współczynników COV otrzymano dla danych zarejestrowanych w nocy.

Ze względu na trudności związane z wykorzystaniem współczynnika COV do jednoznacznego wskazania pór doby, dla których osiągał on wartości najmniejsze, przeprowadzono analizę odchyłek ciśnienia akustycznego od jego wartości średniej. Odchyłki te można wyznaczyć według następującego równania:

$$\Delta p_{A_i} = p_{A_i} - \overline{p_A} \quad (6)$$

Jest to parametr, który można wykorzystać do badania składowych zmiennych analizowanego sygnału. Dla tak wyznaczonych odchyłek autorzy postanowili wyznaczyć wartość oczekiwaną ich modułu (oznaczenie $|\Delta p_{A_i}|$) oraz ich wartość skuteczną (oznaczenie RMS). Należy zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku analizowania odchyłek sygnału ciśnienia akustycznego od jego wartości średniej nie można wykorzystać współczynnika COV , ponieważ wartość średnia odchyłek $\overline{\Delta p_A} = 0$.

W tabeli 3 przedstawiono wartości parametrów wyznaczonych dla odchyłek ciśnienia akustycznego od jego wartości średniej Δp_A dla ulic Krakowskiej i Warszawskiej.

Table 3. Parameters of acoustic pressure deviations from the mean determined for Krakowska and Warszawska roads, split into measurement intervals

Tabela 3. Wartości parametrów dotyczących odchyłek ciśnienia akustycznego od wartości średnich w poszczególnych porach wyznaczone dla ulic Krakowskiej i Warszawskiej

Time interval	Med, mPa	$\overline{ \Delta p_{A_i} }$, mPa	RMS, mPa	Med, mPa	$\overline{ \Delta p_{A_i} }$, mPa	RMS, mPa
Mondays	Krakowska			Warszawska		
24h periods	0.49	13.13	15.26	-0.88	2.49	3.32
Nights	0.59	2.73	3.55	-0.46	0.85	1.14
Days	0.17	5.18	7.10	-1.41	2.62	3.38
Evenings	-1.56	4.85	5.89	-1.07	2.02	2.63
Thursdays						
24 h periods	2.13	13.12	15.04	-0.75	2.60	3.40
Nights	0.14	2.27	2.81	-0.42	0.79	1.00
Days	0.25	5.35	7.50	-1.55	2.62	3.20
Evenings	-0.41	4.60	5.55	-1.14	2.20	2.80
Sundays						
24 h periods	4.57	10.07	11.40	-0.28	1.48	2.19
Nights	0.92	3.10	4.06	-0.40	0.82	1.12
Days	0.55	3.58	4.52	-0.98	1.75	2.32
Evenings	-0.69	3.54	4.37	-0.62	1.20	1.77

In the case of Warszawska Rd, the deviations from the mean were noticeably lower. Among the three acoustic pressure deviation parameters shown in Table 3, the highest variation for different time intervals was observed in the RMS value. It has to be noted that here, the RMS value was the same as that of the loaded estimator of standard deviation. The highest RMS values for all the time intervals studied were obtained for the daytime data.

4. CONCLUSIONS

Analysis of the results obtained for the distribution of acoustic pressure, expressed in terms of Pa or dB, in Krakowska Rd leads to the conclusion that for the 24-hour interval, there are grounds to reject the null hypothesis in each case analysed (at the significance level of 0.05), whereas no grounds were found to reject the H0 in the case of the sub-intervals. This finding is confirmed by the limiting values of probabilities (that allow the rejection of the H0) determined based on the Shapiro-Wilk and Jarque-Bera tests and by slight differences between the expected values and medians. In the case of Warszawska Road, there is enough evidence to reject the H0 in all the cases under analysis.

The coefficient of variation is a parameter that satisfactorily describes a variable component of an

Znacznie mniejsze wartości odchyłek ciśnienia akustycznego od jego wartości średniej otrzymano w przypadku ulicy Warszawskiej. Spośród trzech parametrów sygnału odchyłek ciśnienia akustycznego przedstawionych w tabeli 3 najbardziej zróżnicowane wartości dla różnych pór-doby ma wartość skuteczna sygnału. Warto zwrócić uwagę, że w rozważanym przypadku wartość parametru RMS jest taka sama jak obciążonego estymatora odchylenia standardowego. Największe wartości parametru RMS dla wszystkich analizowanych pór doby uzyskano dla danych zarejestrowanych dla pory-dnie.

4. WNIOSKI

Analiza wyników dotyczących rozkładów wartości ciśnienia akustycznego wyrażonego w paskalach lub decybelach, przy ulicy Krakowskiej, prowadzi do wniosku, że dla pory-doby w każdym przypadku są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej H0 (na poziomie istotności 0,05), natomiast dla innych pór w kilku analizowanych przypadkach brak jest podstaw do odrzucenia tej hipotezy. Fakt ten potwierdza wartości granicznych prawdopodobieństw (pozwalających na odrzucenie H0) wyznaczonych w oparciu o testy Shapiro-Wilka i Jarque-Bera, jak również niewielkie różnice między otrzymanymi wartościami oczekiwanymi i medianami. W przypadku ulicy War-

acoustic pressure signal. This coefficient is not suitable for analysing deviations of the variable from its mean. The use of the median for determining coefficients of variation seems to be an option worth considering. For analysis of acoustic pressure deviations from the mean, the RMS value can be successfully used.

szawskiej we wszystkich badanych przypadkach są podstawy do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 .

Parametrem zadowalająco opisującym składową zmienną sygnału ciśnienia akustycznego jest współczynnik COV . Współczynnik ten nie nadaje się do analizy odchyłek analizowanej zmiennej od jej wartości średniej. Można jednak rozważyć wykorzystanie do wyznaczania współczynników COV odchyłek ich medianę. W przypadku analizy odchyłek ciśnienia akustycznego od wartości średniej ich zmienność dobrze opisuje parametr RMS .

References

- [1] Batko W., Stępień B., *Type A Standard Uncertainty of Long-Term Noise Indicator*, "Arch. Acoust.", Vol. 39, Issue 1, 2014, pp. 25-36, DOI: 10.2478/aoa-2014-0004.
- [2] Gardziejczyk W., Motylewicz M., *Noise level in the vicinity of signalized roundabouts*, "Transportation Research Part D: Transport and Environment", Volume 46, July 2016, pp. 128-144, DOI :10.1016/j.trd.2016.03.016.
- [3] Przysucha B., Batko W., Szeląg A., *Analysis of the Accuracy of Uncertainty Noise Measurement*, "Arch. Acoust.", Vol. 40, No. 2, 2015, pp. 183-189, DOI: 10.1515/aoa-2015-0020.
- [4] Bąkowski A., Radziszewski L., Skrobacz Zb., *Assessment of uncertainty in urban traffic noise measurements*, "Procedia Engineering 177", Vol. 177, 2017, pp. 281-288.
- [5] Wszolek T., Kłaczyński M., *Effect of traffic noise statistical distribution on $L_{Aeq,T}$ measurement uncertainty*, "Arch. Acoust.", Vol. 31, Issue 4 (Supplement), 2016, pp. 311-318.

Acknowledgments:

This work was supported by Kielce University of Technology, Grant No. 01.0.04.00/2.01.01.01.0019 MNSP.MKME.17.001

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, grant nr 01.0.04.00/2.01.01.01.0019 MNSP.MKME.17.001

WORKING PARAMETERS OF GAS HEAT PUMP IN USE WITH LOW-POTENTIAL GEOTHERMAL ENERGY

PARAMETRY PRACY GAZOWEJ POMPY CIEPŁA WYKORZYSTUJĄCEJ GEOTERMALNĄ NISKIEJ ENTALPII

DOI: 10.30540/sae-2018-018

Abstract

The article presents the operating parameters of the heat pump for gas with low potential geothermal energy. It describes the measurement device and implementations of the experimental measurements resulted in a database of relevant data on the conversion of primary energy to natural gas to GHP heat, using low potential energy from a deep well.

Keywords: technological scheme diagram, heat pumps, heat exchanger, heating system

Streszczenie

W artykule przedstawiono parametry pracy gazowej pompy ciepła, korzystającej z energii geotermalnej niskiej entalpii. Zaprezentowano wykorzystywane stanowisko pomiarowe, a także zastosowanie wyników pomiarów do budowy bazy danych eksperymentalnych na temat konwersji energii pierwotnej gazu ziemnego w ciepło, przy użyciu pompy ciepła współpracującej z pionowym wymiennikiem gruntowym.

Słowa kluczowe: schemat technologiczny, pompa ciepła, wymiennik ciepła, system grzewczy

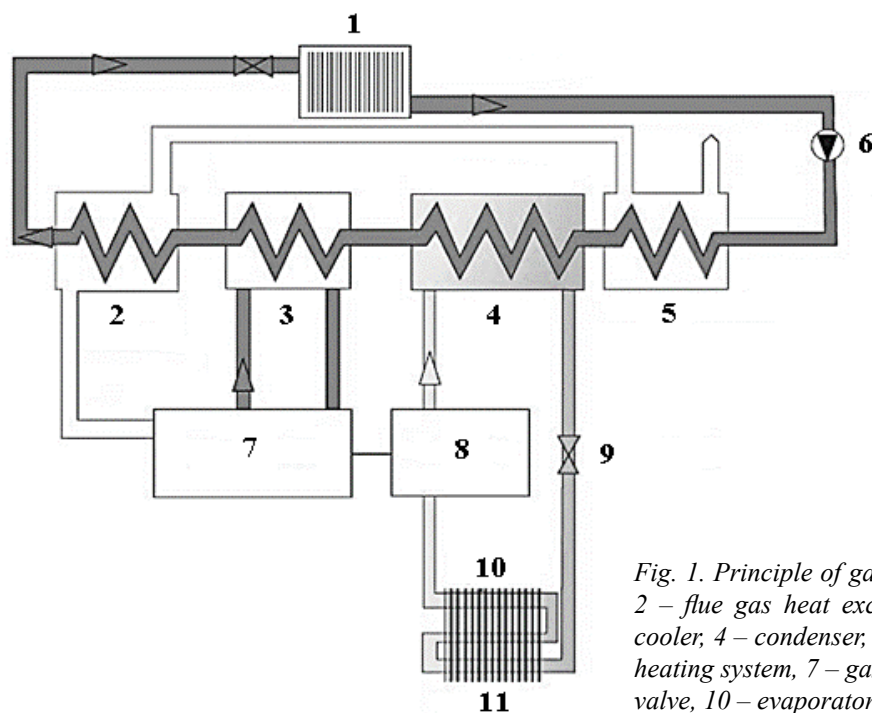


Fig. 1. Principle of gas heat pumps [1]: 1 – heating element, 2 – flue gas heat exchanger, 3 – heat exchanger – engine cooler, 4 – condenser, 5 – flue gas condenser, 6 – pump of the heating system, 7 – gas engine, 8 – compressor, 9 – expansion valve, 10 – evaporator, 11 – ambient air

1. INTRODUCTION

Frequently used alternative heat sources include heat pumps. Heat pumps are devices that acquire energy from the surrounding environment and use the physical changes of the working fluid (refrigerant) to transform it to a higher level – practically usable for heating. It is a wasteless technology using renewable energy sources that can fully replace conventional heat sources. One of the most promising applications is gas heat pumps. The advantage of gas heat pumps is the ease of their integration into the current energy infrastructure and the reduction of carbon dioxide emissions. The gas heat pump utilizes a plurality of heat sources that derive heat not only from the ambient air but also from the engine cooling circuit and the flue gas produced as shown in Figure 1. For this reason, the gas heat pump is a highly energy-efficient device.

2. CHARACTERISTICS AND CONNECTION OF THE GAS HEAT PUMP

As gas heat pumps exist only in air/water systems, a modification of the original type of gas heat pump to the ground/water system was carried out according to the scheme in Figure 2. By implementing experimental equipment with the necessary instrumentation, a unique device has been obtained that can verify different heat sources for a gas heat pump and perform detailed energy balance measurements and thermal performances in real conditions.

The experimental device is installed in the University of Žilina Campus. It is a model AISIN Toyota 10 HP model AXYGP 280 EI with a heating output of 33.5 kW. The primary side of the heat pump is connected to a 150 m deep ground bore where the earth probe is

built. The earth probe consists of a double U-profile of the PE-Xa pipe system (polyethylene formed under high pressure) which is commonly used in practice for the purpose of high efficiency earth heat collection. The working medium of U-heat exchangers is a 50/50 mixture of ethylene glycol and water. This mixture is anti-freeze, which prevents freezing in the evaporator of the heat pump. The ground probe circuit is connected to a heat exchanger in which the low-potential terrestrial energy is delivered to the refrigerant in the primary circuit of GHP. The gas heat pump consists of an external and an internal unit that are interconnected with the refrigerant circuit (R410a). The outdoor unit also contains the original air-refrigerant evaporators, fans, a gas-fueled combustion engine with a heat exchanger for pre-heating the refrigerant and the compressor shown in Figure 2. The indoor unit of the experimental device is located in the BI 412 laboratory. In it, the thermal energy recovered from the earth is transferred to the heating system using a heat exchanger (condenser). The heating medium at the outlet of the indoor unit serves to heat the NI corridor around the laboratories, through several water heaters, the fan coils. A heat exchanger from the engine cooling is also involved in the heat production, HOTKIT. In this case, HOTKIT was not involved in total heat production.

3. RESULTS OF EXPERIMENTAL MEASUREMENT

The experimental measurement took place from 19.3 to 25.3 and the gas heat pump was operating for the entire heating time, with a pre-set heating temperature of $43^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. The individual measured parameters needed to evaluate the energy efficiency

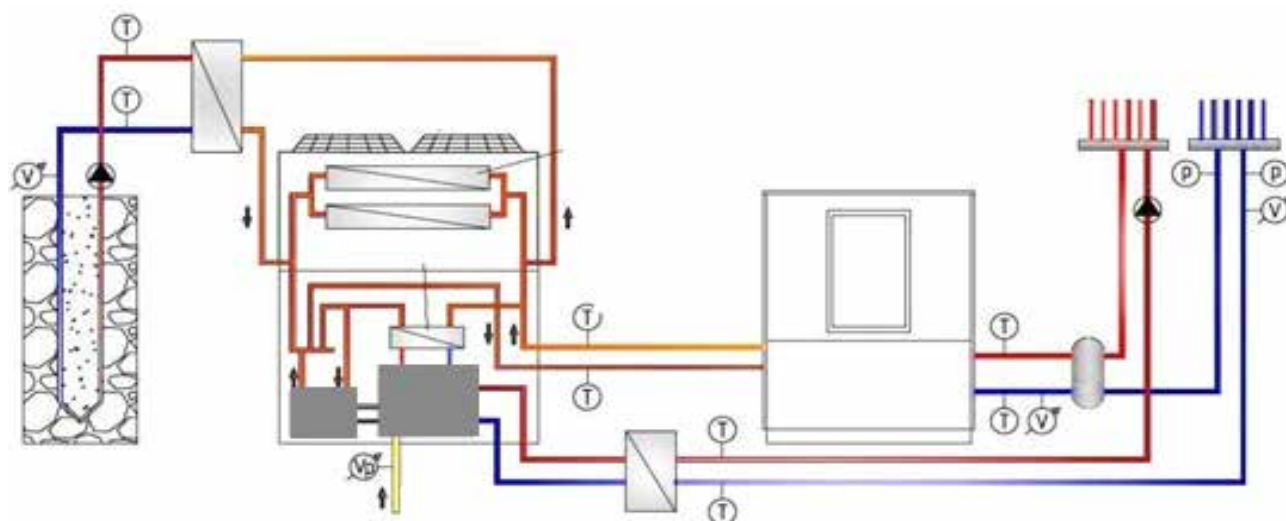


Fig. 2. Technological scheme diagram of the experimental apparatus

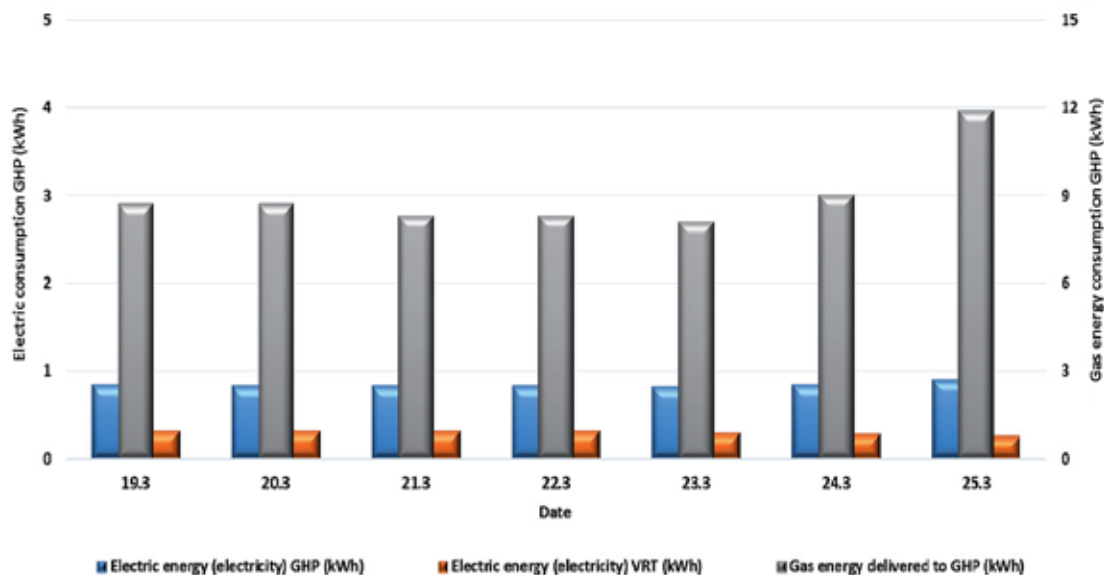


Fig. 3. The average daily consumption of energy consumed by the gas heat pump

Table 1. Average daily temperature and media flow rate for the primary and secondary side

Date	Temperature VRT output, °C	Temperature VRT input, °C	Flow VRT, m ³ ·h ⁻¹	Temperature AWS output, °C	Temperature AWS input, °C	Flow AWS, m ³ ·h ⁻¹
19.3	9.72	3.34	5.58	45.00	41.15	4.84
20.3	9.87	2.52	5.58	44.84	41.21	5.52
21.3	9.98	2.53	5.58	44.87	41.22	5.24
22.3	10.05	2.52	5.58	44.73	41.26	5.55
23.3	10.03	2.20	5.58	44.70	41.28	5.53
24.3	10.00	2.26	5.58	44.77	41.28	5.55
25.3	9.85	2.50	5.58	44.93	41.20	5.55
Average	9.93	2.55	5.58	44.83	41.23	5.40

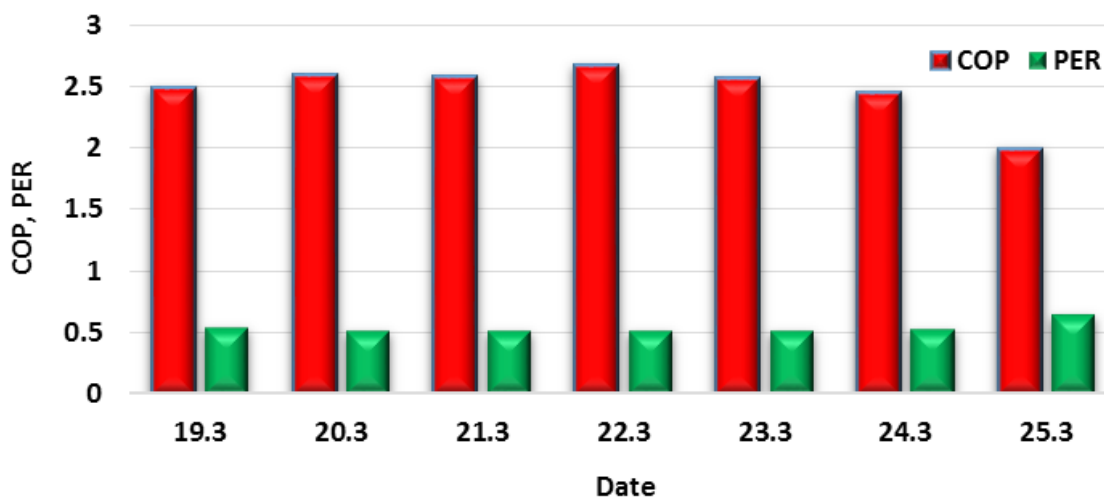


Fig. 4. COP and PER gas-water heat pump

of the GHP were recorded at minute intervals and the hourly averages were then calculated. From the measured data, the charts were created for the individual measurement days and the whole measurement time was finally evaluated.

Figure 3 shows the average daily consumption of energy consumed by the gas heat pump. Daily gas consumption averaged 9 kWh/24 h. Electricity consumption for primary pump (0.83 kWh/24 hours) and secondary (0.32 kWh/24 hr) was constant during the measurement period.

The average daily temperatures and flow rates of the working medium on the primary and secondary side are shown in Table. 1. On the primary side (deep borehole) there was the difference in temperature $\Delta t = 7.3^{\circ}\text{C}$ and the working medium flow $5.58 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. On the secondary side was determined the average difference of the heating water temperatures $\sim t = 3.6^{\circ}\text{C}$ and the flow was $5.4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

After measuring and evaluating the necessary parameters, the energy efficiency of the experimental device was determined. Energy efficiency Assessed against two Coefficients of Performance (COP) and PER (Primary Energy Ratio).

4. CONCLUSION

By modifying the air-to-ground GHP system to the ground-water system, the Earth heat analysis was confirmed as a potential heat source suitable for gas heat pumps. Throughout the measurement period, the heating factor ranged from $\text{COP} = 2$ to 2.68, corresponding to the $\text{PER} = 0.52$ to 0.64. Implementation of the experimental measurements has resulted in a database of relevant data on the conversion of primary energy to natural gas to GHP heat, taking low-potential energy from deep borehole.

REFERENCES

- [1] Bakker E. et al., *Gas heat pump*. Netherlands: GassTerra/Castel International Publishers, 2010.
- [2] Baehr H.D., Stephan K., *Heat and mass transfer*. Berlin: Springer, 2006, p. 688.
- [3] Lenhard R., Malcho M., *Numerical simulation device for the transport of geothermal heat with forced circulation of media*. Mathematical and Computer Modelling, 2013, 57, 1-2, pp. 111-125, ISSN 0895-7177.
- [4] Lenhard R., Gavlas S., Malcho M., *Numerical simulation of borehole model which utilizes low-potential geothermal heat*. Czech Republic, Proc. of Conf. Experimental fluid mechanics, 2011.
- [5] Malcho M. et al., *Modifikácia plynového tepelného čerpadla vzduch – voda pre iné druhy nízopotenciálneho tepla*. Bratislava, 2012, ISBN 978-80-89216-45-1.
- [6] Plynové tepelné čerpadlá, www.yzamer.sk.
- [7] Janovcová M., *Výskum činnosti premeny primárnej energie v tepelných čerpadlách s elektrickým a plynovým pohonom v reálnych podmienkach*. Diploma work. 2015.

Acknowledgement

This publication is the result of the project implementation: Device for the use of low-potential geothermal heat without forced circulation of the heat carrier in deep boreholes, ITMS 26220220057 supported by the Operational Programme Research and development funded by the ERDF.

ALTERNATIVE METHODS OF OBTAINING GEOTHERMAL HEAT FROM THE EARTH

ALTERNATYWNE METODY POZYSKIWANIA CIEPŁA Z WNĘTRZA ZIEMI

DOI: 10.30540/sae-2018-019

Abstract

The paper describes the possibility of obtaining low-potential heat of the earth from deep borehole. It describes the possibilities of using a heat pump in combination with a heat pipe. The gravity heat pipe with the working substance represents an alternative and more efficient heat transfer technique from the vertical earth borehole. The article describes the possibilities and measurements of using this method on the primary side of the ground / water heat pump.

Keywords: geothermal energy, heat pumps

Streszczenie

Artykuł przedstawia możliwości odzysku niskotemperaturowego ciepła z wnętrza ziemi przy użyciu pionowego wymiennika gruntowego. Opisuje on zastosowanie pompy ciepła współpracującej z rurą ciepła. Takie rozwiązanie w przypadku wymiennika pionowego stanowi interesującą koncepcję. Prezentowany wymiennik ciepła w takim przypadku cechuje się większą wydajnością. Praca przedstawia możliwości i wyniki pomiarów dla pierwotnej strony układu pompy ciepła.

Słowa kluczowe: energia geotermalna, pompy ciepła

1. INTRODUCTION

Development and introduction of new energy technology is very important for safeness delivery, tenability and competitiveness energy sectors. Research pertinent to energetics considerably contribute for energy effectiveness (e.g. in the engine of cars) and diversification of energy through piggybacking on revivable source of power. Balk renewable energy sources range from too low – potentially heat contained in the surface and those situated more deeply below neutral zone (10-20 m away from the levels of surface earth). Heat is possible to gain in several ways. One of them is the system of vertical heat exchangers (earth probes). The system with vertical heat – exchanger does not require big jerked – in – fillings and is independent from the intense solar radiation, which impinges topsides earth. Vertical heat – exchangers effectively work virtually in all the geological environments, besides soils with low thermic conductivity (for example they are in dry sand or dry gravel).

In the surrounding of ZU there are two boreholes of 150 m depths for retrieving low – potential heat on principle vertical exchangers through the medium:

- forced circulation heat carrier substance (with brine circulation),
- circulation heat carrier substance (heat pipes technology) on thermosyphon principle.

2. IMPLEMENTATION BOREHOLE FOR LOW-POTENCIAL HEAT TRANSPORT

Laboratory results from measuring on simulation field prepared for laboratory measurement, provided information for the next progress realization in the real conditions.

Two boreholes of over 150 meters depth were drilled at distance approximately 25 meters apart to avoid mutual thermic influenced. By the realization propeller with forced circulation with brine media was treated the same way as is used to heat the pump type of ground-water. This means U-type pipe PE

100 RC is embedded in the soil massif with special sensors temperature. Sensors were attached to the pipe axis grouting duct designated for supply of bentonite to the bottom of the borehole. Liquid bentonite is then filled to the free space and air bubbles in the borehole from the bottom up to the surface of the tubes are removed. Contact surface of the tubes will provide more efficient heat transfer to vertical heat exchangers. Temperature sensors were positioned to detect high temperatures accelerate changes in four different depth of the borehole and in the range 150, 100, 50 meters and 2 m close to the ground surface. The thermocouples type K (NiCr-Ni) series TFAU were used. There being it is an thermocouple wires, it should provide safe berth of the measurement ends so as not to damage when the pipes set into the ground. For this reason, these thermocouples were attached to removal ribbons of short sections of pipe for injection, which is held in the middle of the piping system of PE 100 RC geothermal probes.

Thermocouples are so protected in the pipe to collect heat. Heat pipe of the second hole is made in the same way, but on the surface of the borehole they will be equipped with specially designed heat exchanger for heat pipes of this type. Gravitational heat pipe working on the principle of phase transition working substance of CO_2 will work under high pressure because at 0°C exists saturated vapor pressure of this substance around 35 bar. It is 5 times more than in ammonia NH_3 (R717), which is also part of the experiment using heat pipe.

This method of obtaining low-potential heat by HP is a method in the research stage. It is therefore necessary to have a detailed overview of all the thermodynamic processes in its operation. Stainless steel heat exchanger for HP will be planted about 1.5 meters in the ground in sewage shaft on the concrete surface.

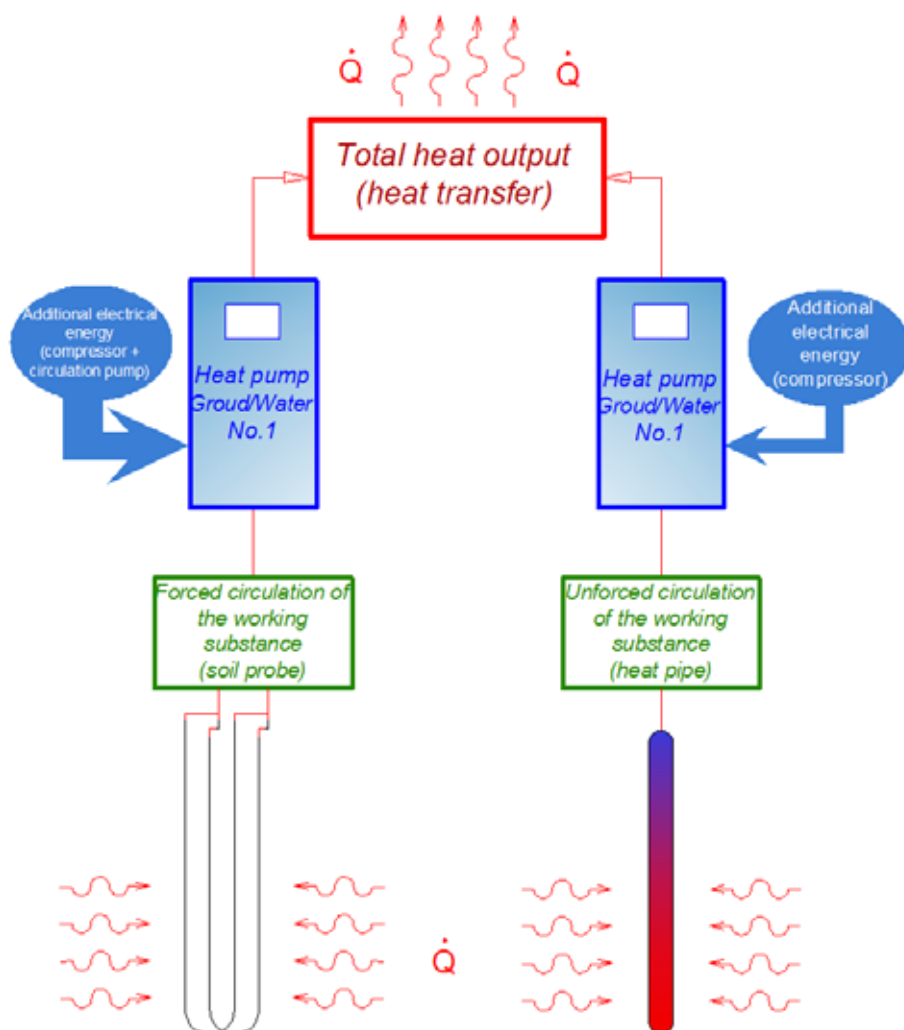


Fig. 1. Scheme for obtaining low-power heat

3. MEASUREMENT OF GROUND/WATER HEAT PUMP (HP) WITH FORCED CIRCULATION MEDIUM ON PRIMARY SIDE

During the first two days only a circulation pump was in operation. Temperatures in the borehole slowly stabilized as temperature of the working substance. Temperature range of substances has stabilized at a value between 16.5°C to 17°C. Temperatures at different depths of the well stabilized at values of: 11.7°C in 150 meters depth, 10.8°C at 100 and 40 meters deep and 5.3°C at five meters.

In the middle of the third day the heat pump started and its onset can be observed for changes in temperature. After a full-on heat pump performance, we have seen increased short-term performance of heat pumps as a result of higher initial potential of accumulated heat of the earth. Over time, the pump performance measurement has stabilized at a constant value of about 8 kW, as indicated by the manufacturer. Temperatures at all depths gradually decreased and as a reduction potential of water temperature on secondary circuit was recorded. Due to low ambient temperature overnight to reduce the temperature of heating water returns to the secondary circuit HP. There were even more marked hypothermia of the working substance at the inlet and the outlet of the

primary circuit of the heat pump and a slight increase in heat output obtained from the ground. Improves performance on the primary side just cause for the low temperature of the heat pump condenser (due to low night temperatures dropped and the temperature in the heated room and, thus to an increase in heat loss of the building). The refrigerant in the condenser is cooled to a lower temperature than usual, which resulted in an increase in heat flow evaporation of refrigerant in evaporator heat pump.

On the other days there are significant variations in temperature during the days. These fluctuations cause changes in temperatures of working substance in the primary and secondary side. In the last phase of measurements there was a significant warming weather which resulted in a slight stabilization of working substance of primary circuit and rise of working substance secondary circuit HP. During the measurement there was a slight descent working temperatures of substances on the primary and secondary circuits. This was caused by pumping heat from the ground and reducing potential temperature in the immediate vicinity of borehole. On subsequent days, the low-potential heat flow stabilized at a constant value or value with minimum decrease output.

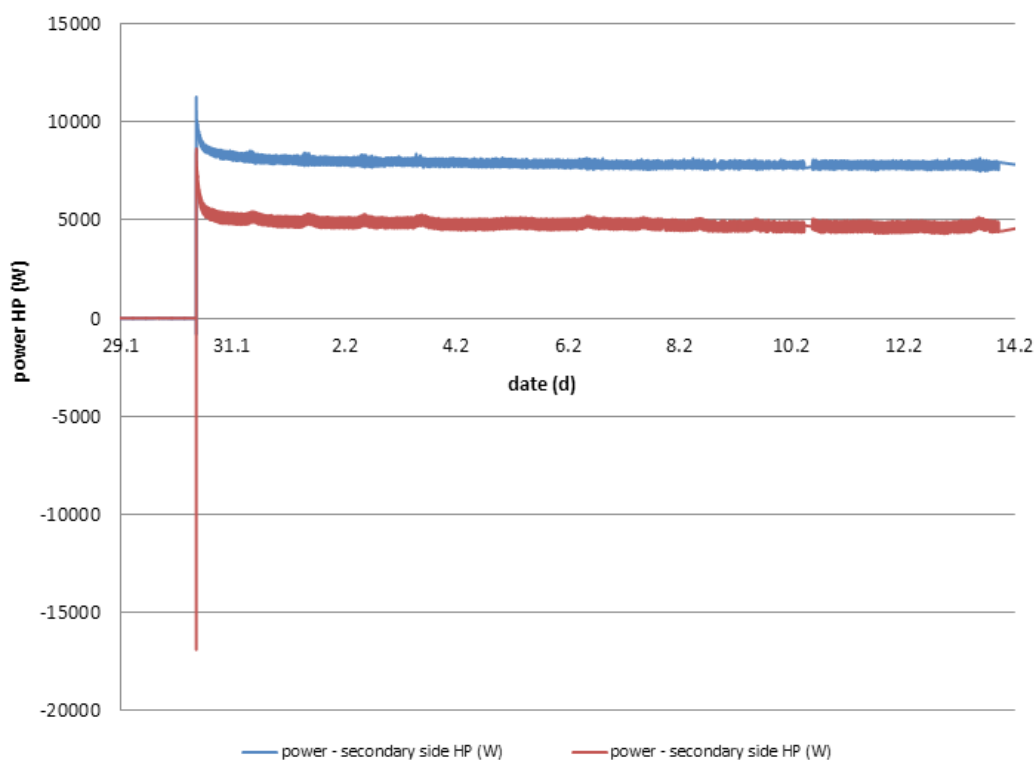


Fig. 2. Measuring performance of the heat pump

4. MEASUREMENT OF GROUND/WATER HEAT PUMP (HP) WITH HEAT PIPE ON PRIMARY SIDE

The difference between the output obtained by a classical method of a forced circulation of the working substance and the one obtained by the heat pipe was considerable (Tab. 1).

Table 1. Measurement of heat output from a deep bore hole

	Forced circulation of the heat transfer medium – bore hole	Heat pipe – measurment
Max. measured power*	7922 W	3200 W
Min. measured power*	4950 W	1550 W
Average power*	4980 W	1900 W

* measured power on the heat pump primary circuit

It is obvious that the heat pipe did not continuously work with the designed heat transfer. This fact can be attributed to more factors having influence on the correct operation of the heat pipe. One problem was removed at the introductory measurement of the heat pipe and the output considerably increased and the heat pipe began working.

5. CONCLUSION

In a real experiment, NH_3 was used as a working substance because of a lower operating pressure in the heat pipe. The measured performance characteristics for both methods were significantly different. Using a heat pipe, the heat gain was much faster than that of the standard probe. This is due to the immediate phase conversion of NH_3 into the heat pipe and hence faster heat transfer. Later performance decreased and overall measured gains were lower than with a standard probe. This was due to the incorrect design of heat exchanger on condensing side of the heat pipe.

The measurement, however, has shown that heat pipes are an effective solution for the extraction of low Earth's heat. If the right design is to achieve a more efficient heat transfer and circulation of the non-fueled working substance. It is important to consider the choice of the substance from environmental, safety and heat transfer properties.

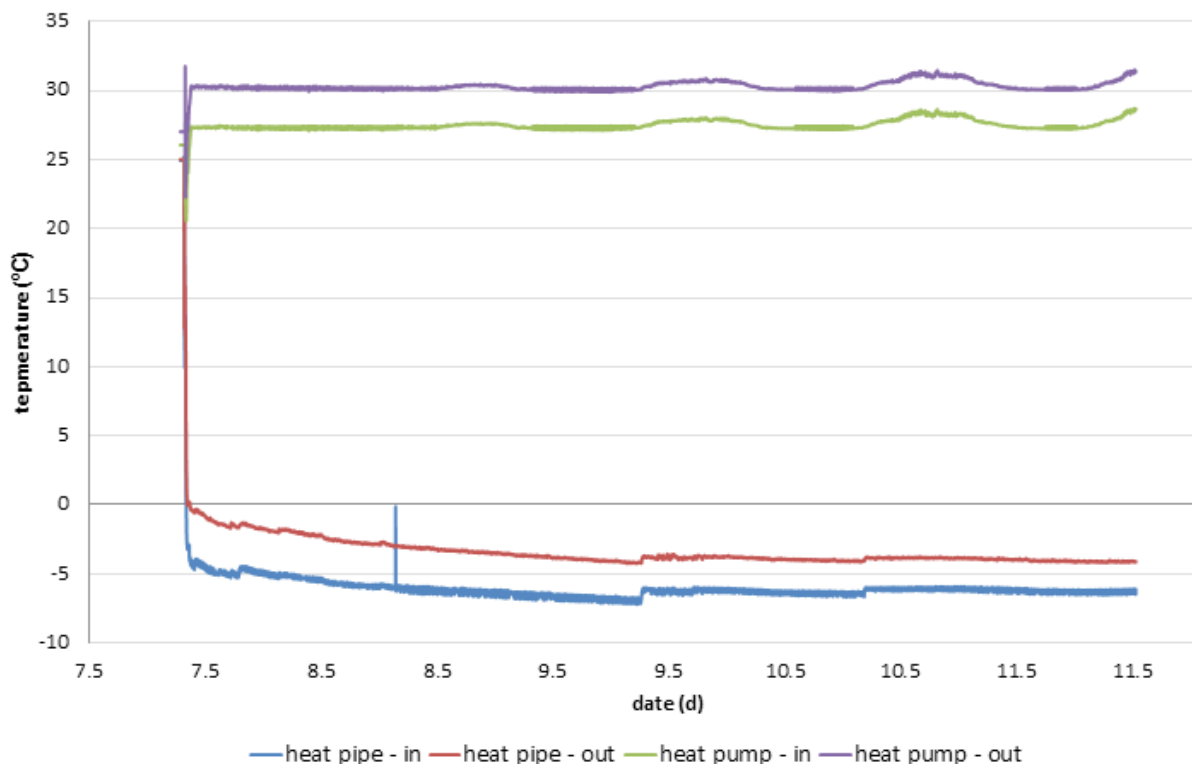


Fig. 3. Measuring temperatures in priamry and secondary sides of heat pumpwith NH_3 heat pipe

REFERENCES

- [1] Nemec P., *Výskum kapilárnych tepelných trubíc pre prevádzkové teploty od -30 do +50°C*. Žilina, Diploma work under supervision of: Milan Malcho, Žilinská univerzita v Žiline, Žilina 2010.
- [2] Lenhard R., *Numerical simulation device for the transport of geothermal heat with forced circulation of media*. Kuching – Sarawak – Malaysia: Proc. of Fourth Global Conference on PCO 2010, 2010.
- [3] Lenhard R., Jandačka J., Jakubský M., *Zariadenia na simuláciu transformácie nízkopotenciálneho geotermálneho tepla na teplo vhodné pre vykurovanie*. Žilina 2010.
- [4] Čaja A., Nemec P., Malcho M., *The dependence of quantum and filling type to heat transport of gravity heat pipe*. Liberec: Proc of Conf. Experimental fluid mechanics 2010, 2010.
- [5] Jakubský M., Lenhard R., *Simulácia geotermálnych procesov: zariadenie na využitie nízko potenciálneho geotermálneho tepla bez núteného obehu tepelného nosiča v hlbokom vrte*. „PRO-ENERGY magazín“ 2010, 4, pp. 56-58, ISSN 1802-4599.
- [6] Lenhard R., Jakubský M., Nemec P., *Device for simulation of transfer geothermal heat with forced and without forced circulation of heat carrier*. Kuching, Malaysia. Power control and optimization: proc. of fourth global conference. 2010, ISBN 978-983-44483-32.
- [7] Lenhard R., Malcho M., *Numerical simulation device for the transport of geothermal heat with forced circulation of media*. „Mathematical and Computer Modelling“, 2013, 57, 1-2, pp. 111-125.

Acknowledgement

*This publication is the result of the project implementation:
Device for the use of low-potential geothermal heat without
forced circulation of the heat carrier in deep boreholes, ITMS
26220220057 supported by the Operational Programme
Research and development funded by the ERDF.*

PRZEMYSŁAW CZAPIK
MATEUSZ CEBULSKI

THE PROPERTIES OF CEMENT MORTAR WITH NATURAL ZEOLITE AND SILICA FUME ADDITIONS

WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAWY CEMENTOWEJ Z DODATKIEM ZEOLITU NATURALNEGO I PYŁU KRZEMIONKOWEGO

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 105

DOI: 10.30540/sae-2018-010

Abstract

This article reports the results of a study evaluating the effect of natural zeolite and silica fume on the properties of cement mortar. The study used binders in which 20% of portland cement was replaced with the pozzolanic admixtures. Both admixtures were studied separately and combined as a 1:1 blend. Reference samples were produced with non-modified cement binders. The tests were conducted for hydration kinetics on cement pastes, consistencies and strength in flexure and compression on mortars. The results indicated that different pozzolans affected the mortar differently. The effect of zeolite and silica fume blend on the properties of mortars is not an averaged effect of those admixtures used individually.

Streszczenie

Niniejsze opracowanie dotyczy wpływu zeolitu naturalnego i pyłu krzemionkowego na właściwości zaprawy cementowej. W tym celu sporządzono spoiwa, w których 20% cementu portlandzkiego zastępowano dodatkami pucolanowymi. Oba dodatki przebadano oddzielnie, jak i łącznie w formie mieszanki pucolan w stosunku 1:1. Próbkę odniesienia wykonano z niemodyfikowanego spoiwa cementowego. Wykonano badania kinetyki hydratacji na zaczynach oraz konsystencji, jak również wytrzymałości na zginanie i ściskanie na zaprawach. Wyniki badań wykazały, że wpływ różnych rodzajów pucolan na właściwości zaprawy jest odmienny. Wpływ mieszanki zeolitu i pyłu krzemionkowego na właściwości zaprawy nie jest uśrednionym wpływem, jaki wywierają te dodatki stosowane oddzielnie.

ANNA SKAWIŃSKA
ALEKSANDRA TKOCZ
PELAGIA LASKA-JÓZEFCAK
TOMASZ FOSZCZ

THE POSSIBILITY OF THE USE OF SECONDARY RAW MATERIALS FROM ENERGY AND IRON&STEEL INDUSTRIES FOR GLASS-CERAMICS PRODUCTION

MOŻLIWOŚĆ WYKORZYSTANIA SUROWCÓW WTÓRNYCH PRZEMYSŁU ENERGETYCZNEGO I HUTNICZEGO DO WYTWARZANIA SZKŁA-CERAMIKI

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 114

DOI: 10.30540/sae-2018-011

Abstract

An effective way to glass strengthening is controlled crystallization, which results in obtaining the material with very favourable mechanical properties compared to parent glass. Crystallization process is conducted between glass transformation temperature and liquidus temperature. Information concerning the production of glass-ceramics material, as well as materials, which are the most commonly used in its production, were analyzed in this paper.

Streszczenie

Skutecznym sposobem wzmocnienia szkła jest kontrolowana krystalizacja, co skutkuje otrzymaniem materiału o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych w porównaniu do szkła macierzystego. Proces krystalizacji prowadzony jest pomiędzy temperaturą transformacji szkła a temperaturą likwidusu. W artykule przeanalizowano informacje dotyczące otrzymywania tworzywa szkło-cerami-ki, jak również materiałów najczęściej wykorzystywanych podczas produkcji tego materiału.

SNOWDRIFT EXTENT ON MOTORWAYS WITH BUSY TRAFFIC

ZASIĘG POKRYWY ŚNIEŻNEJ NA AUTOSTRADACH O DUŻYM NATĘŻENIU RUCHU

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 122

DOI: 10.30540/sae-2018-012

Abstract

The paper examines the problem of snow-drafts on roads and ways of mitigating them. The results of theoretical analyses of development of snow-drafts and experimental investigations with road models are presented. Authors examined low and high blowing snows with different wind velocities, roads with road bed at terrain elevation and situated on an embankment, with and without snow protective facilities and with variable amount of traffic. Based on the conducted analyses a set of recommendations for snow protection of roads are provided.

Streszczenie

W artykule dokonano analizy problemu występowania zasnieźniania dróg oraz opisano sposoby ich ochrony przed tym zjawiskiem. Przedstawiono także wyniki analizy teoretycznej przyczyn zasnieźniania dróg oraz wyniki badań eksperymentalnych z wykorzystaniem modeli dróg. Badano wpływ małych i dużych opadów śniegu występujących przy różnej prędkości wiatru na drogę usytuowaną w poziomie terenu (zero niwelety) i na nasypie, z uwzględnieniem wpływu obecności zasłon przeciwsnieżnych oraz niewielkiego ruchu pojazdów. Na podstawie wykonanych analiz sformułowano zalecenia dotyczące ochrony drogi przed opadami śniegu.

ANNA BAZAN-KRZYWOSZAŃSKA

GIS TECHNOLOGY AS A TOOL FOR PROTECTING LANDSCAPE AND CULTURAL VALUES IN SPATIAL PLANNING

TECHNOLOGIA GIS NARZĘDZIEM OCHRONY KRAJOBRAZU I WARTOŚCI KULTUROWYCH W PLANOWANIU PRZESTRZENNYM

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 129

DOI: 10.30540/sae-2018-013

Abstract

The issue of a landscape protection is quite a significant element of municipal spatial policy. Currently, there is no legal obligation to implement, within the statutory activities of institutions responsible for the landscape protection, guidance documents prior to work on the development of the municipality. Space management, through planning a development and land use or the landscape protection, requires access to comprehensive and reliable information. The use of GIS technology in spatial analysis and monitoring changes in space, for the landscape and cultural values protection, provides opportunities to assist decisions on the destination and land use in spatial planning carried out using planning documents (A study of the conditions and directions of the spatial planning and the local zoning plan).

Streszczenie

W odniesieniu do polityki przestrzennej gmin, problematyka ochrony krajobrazu stanowi element dość znaczący. Aktualnie brak jest prawnego obowiązku realizacji, w ramach działań statutowych instytucji odpowiedzialnych za ochronę krajobrazu, dokumentów o charakterze wytycznych wyprzedzających prace nad kierunkami rozwoju gminy. Zarządzanie przestrzenią, przez planowanie rozwoju oraz sposobu zagospodarowania terenu lub ochrony krajobrazu wymaga dostępu do wszechstronnej i wiarygodnej informacji. Wykorzystanie technologii GIS w ramach analiz przestrzennych oraz monitoringu zmian zagospodarowania przestrzeni na potrzeby ochrony krajobrazu i wartości kulturowych daje możliwości wspomagające decyzje dotyczące przeznaczenia i sposobu zagospodarowania przestrzeni w planowaniu przestrzennym, realizowanym za pomocą dokumentów planistycznych gmin (studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy i miejscowego planu zagospodarowania).

LUCJAN W. KAMIONKA

THE IMAGE OF THE CONTEMPORARY ARCHITECTURE OF KIELCE – A REVIEW OF THE SELECTED BUILDINGS

OBRZ WSPÓŁCZESNEJ ARCHITEKTURY KIELC NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH OBIEKTÓW

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 138

DOI: 10.30540/sae-2018-014

Abstract

Modernist architecture has grown out of the possibility of using new construction materials as well as a widespread criticism of historical architectural styles. The development of contemporary architecture in Kielce is consonant with the development trends in architecture throughout Poland and in Europe. In order to characterise the facets of contemporary architecture in Kielce, the author of the paper has focused on the selection of the most distinctive and valuable buildings. The image of Kielce's contemporary architecture presented here evinces its diversity and great value. The city's fabric holds noteworthy objects of modernist and postmodernist architecture.

Streszczenie

Architektura modernistyczna wyrosła na gruncie możliwości stosowania nowych materiałów konstrukcyjnych i powszechnej krytyce stylów historycznych. Rozwój współczesnej architektury w Kielcach odpowiada tendencjom rozwojowym w architekturze w Polsce i w Europie. Aby scharakteryzować oblicza architektury współczesnej w Kielcach, autor skupił się na wybranych przykładach obiektów najbardziej charakterystycznych i wartościowych. Zaprezentowany obraz architektury współczesnej Kielc świadczy o jej zróżnicowaniu i dużych walorach. W tkance miasta znajdują się znaczące obiekty architektury modernistycznej i postmodernistycznej.

VADYM ABYZOV

ARCHITECTURE-&-BUILDING SYSTEMS IN CIVIL CONSTRUCTION

SYSTEMY ARCHITEKTONICZNE I BUDOWLANE W BUDOWNICTWIE CYWILNYM

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 153

DOI: 10.30540/sae-2018-015

Abstract

The article deals with the role of Architecture-&-Building systems in Residential and Public Construction. The concept and definition of the Architecture-&-Building systems are determined and reviewed. The structural model of Architecture-&-Building systems that have signs of integrity, the hierarchy of structure and openness is proposed. They include three main subsystems, which are in organic unity and interaction: functional-spatial (architectural and planning); constructive (tectonic); technological (production-building).

Streszczenie

Artykuł dotyczy roli systemów architektonicznych i budowlanych w budownictwie mieszkaniowym i publicznym. Koncepcja i definicja systemów architektonicznych i budowlanych są określone i przejrane. Zaproponowano model strukturalny systemów architektonicznych i budowlanych o oznakach integralności, hierarchii struktury i otwartości. Te systemy obejmują trzy główne podsystemy, które są w organicznej jedności i interakcji: funkcjonalno-przestrzenne (architektoniczne i planistyczne); konstruktywny (tektoniczny); technologiczny (produkcja-budynki).

PASSIVE ENERGY REDUCTION TECHNOLOGIES IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

TECHNOLOGIE PASYWNEGO OGRANICZANIA ZUŻYCIA ENERGII W INŻYNIERII ŚRODOWISKA

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 161

DOI: 10.30540/sae-2018-016

Abstract

The paper presents a review of passive techniques used in environmental engineering and construction, aimed at reducing energy consumption for heating or cooling purposes. These are: green facades, cooling coatings, thermopaints, heater screens, shutters and other solutions. Their disadvantages, advantages and working methods were discussed. The heat gain calculations for the exemplary building whose baffles were painted with pigmented pigment with varying degrees of dilution resulted in a facade of varying color intensity. It has been found that by applying bright colors, nearly 30 percent of energy consumption for cooling purposes for heat gains through opaque seams compared to dark colors has been reduced.

Streszczenie

W pracy przedstawiono przegląd technik pasywnych stosowanych w inżynierii środowiska i budownictwie, których zadaniem jest ograniczenie zużycia energii na cele grzewcze lub chłodnicze. Są to: zielone fasady, powłoki chłodzące, termofarby, ekrany nagrzejnikowe, żaluzje oraz inne rozwiązania. Przedyskutowano ich wady, zalety oraz sposób pracy. Przedstawiono również obliczenia zysków ciepła dla przykładowego budynku, którego przegrody zostały pomalowane farbą zabarwioną pigmentem o różnym stopniu rozcieńczenia, czego wynikiem jest fasada o różnej intensywności koloru. Stwierdzono, że przez zastosowanie jasnego koloru doszło do obniżenia o blisko 30 procent zużycia energii na cele chłodnicze dla zysków ciepła przez przegrody nieprzezroczyste w porównaniu z ciemną barwą.

ANDRZEJ BĄKOWSKI
LESZEK RADZISZEWSKI
PAWEŁ ŚWIETLIK
VLADIMIR DEKÝŠ

COMPARATIVE ANALYSIS OF MEASUREMENT DATA RECORDED BY TWO TRAFFIC MONITORING STATIONS

ANALIZA PORÓWNAWCZA WYNIKÓW POMIARÓW ZAREJESTROWANYCH PRZEZ DWIE STACJE MONITORUJĄCE RUCH POJAZDÓW DROGOWYCH

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 170

DOI: 10.30540/sae-2018-017

Abstract

The paper reports statistical analysis of the data recorded by two stations monitoring traffic noise in a medium-sized city, such as Kielce. One station is located beside the national road, the other beside the provincial road. The results under analysis included the equivalent sound levels recorded in 2013. The coefficient of variation, quartile deviation and deviations from the mean were proposed for comparing the dependencies recorded.

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę statystyczną wyników pomiarów zarejestrowanych przez dwie stacje monitorujące hałas drogowy w mieście średniej wielkości takim jak Kielce. Jedna stacja znajduje się przy drodze krajowej, a druga przy drodze wojewódzkiej. Analizowane wyniki dotyczą równoważnego poziomu dźwięku zarejestrowanego w roku 2013. Współczynnik zmienności odchylenia standardowego, odchylenie ćwiartkowe, współczynnik zmienności odchylenia od wartości średnich zostały zaproponowane do porównywania zarejestrowanych zależności.

MILAN MALCHO
RICHARD LENHARD
MARTIN VANTÚCH
KATARÍNA KADUCHOVÁ
TOMÁŠ PUCHAR

WORKING PARAMETERS OF GAS HEAT PUMP IN USE WITH LOW-POTENTIAL GEOTHERMAL ENERGY PARAMETRY PRACY GAZOWEJ POMPY CIEPŁA WYKORZYSTUJĄCEJ GEOTERMALNĄ NISKIEJ ENTALPII

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 180

DOI: 10.30540/sae-2018-018

Abstract

The article presents the operating parameters of the heat pump for gas with low potential geothermal energy. It describes the measurement device and implementations of the experimental measurements resulted in a database of relevant data on the conversion of primary energy to natural gas to GHP heat, using low potential energy from a deep well.

Streszczenie

W artykule przedstawiono parametry pracy gazowej pompy ciepła, korzystającej z energii geotermalnej niskiej entalpii. Zaprezentowano wykorzystywane stanowisko pomiarowe, a także zastosowanie wyników pomiarów do budowy bazy danych eksperymentalnych na temat konwersji energii pierwotnej gazu ziemnego w ciepło, przy użyciu pompy ciepła współpracującej z pionowym wymiennikiem gruntowym.

MARTIN VANTÚCH
ANDREJ KAPJOR
MICHAL HOLUBČÍK

ALTERNATIVE METHODS OF OBTAINING GEOTHERMAL HEAT FROM THE EARTH ALTERNATYWNE METODY POZYSKIWANIA CIEPŁA Z WNĘTRZA ZIEMI

Structure and Environment No. 2/2018, vol. 10, p. 184

DOI: 10.30540/sae-2018-019

Abstract

The paper describes the possibility of obtaining low-potential heat of the earth from deep borehole. It describes the possibilities of using a heat pump in combination with a heat pipe. The gravity heat pipe with the working substance represents an alternative and more efficient heat transfer technique from the vertical earth borehole. The article describes the possibilities and measurements of using this method on the primary side of the ground / water heat pump.

Streszczenie

Artykuł przedstawia możliwości odzysku niskotemperaturowego ciepła z wnętrza ziemi przy użyciu pionowego wymiennika gruntowego. Opisuje on zastosowanie pompy ciepła współpracującej z rurą ciepła. Takie rozwiązanie w przypadku wymiennika pionowego stanowi interesującą koncepcję. Prezentowany wymiennik ciepła w takim przypadku cechuje się większą wydajnością. Praca przedstawia możliwości i wyniki pomiarów dla pierwotnej strony układu pompy ciepła.

Uniform requirements for manuscripts submitted to “Structure and Environment”

All manuscripts should be submitted in English and Polish.

Given name(s) and surname(s) of each author

Institutional affiliation(s)

Author's e-mail

Title

Format for the paper:

- Abstract
- Keywords
- Introduction
- Subsequent headings
- Summary
- References

The text should be single-spaced throughout. The font should be 11 pt Times New Roman. All paragraphs should be indented 0.5 cm.

Formulas, tables, figures and photographs should be numbered consecutively

Figures and photographs with a resolution of 300 dpi or higher must be submitted in *.TIFF, *.EPS, *.JPG, *.WMF format.

Figures, photographs and tables should be in English, but their captions should be given in English and Polish.

References: The paper submitted for publication must comply with copyright law provisions. Authors have to document sources of the photographs, figures, quotes and borrowings used in the article. References should be cited in square brackets through the text. The full list of references arranged in the citing order as they appear in the text should be placed at the end of the paper (with one language version only). The reference style is defined by the standard PN-ISO 690:2012 Information and documentation. Guidelines for bibliographic references and citations to information resources.

Examples

Whole books

- [1] Author's surname followed by the initials: Title of the book. Place of publication: Publisher, Year of publication, ISBN number.

Edited books

- [2] Surname and initials of the editor (Ed.): Title of the book. Place of publication: Publisher, Year of publication, ISBN number.

Chapters in edited books

- [3] Author's surname followed by the initials: Title of the chapter. (in): Title of the book. Place of publication: Publisher, Year of publication, page numbers (for example: pp. 10-20), ISBN number.

Journal articles

- [4] Author's surname followed by the initials: Title of the article. "journal title" Year, Number, page numbers (for example: pp. 10-20), ISSN number

Web references

- [5] Author's surname followed by the initials: Title of the work. [type of the source, for example: online]. [date when the reference was last Accessed: ...]. Available online: web page

Podstawowe wymagania edytorskie dotyczące pisania artykułów do czasopisma „Structure and Environment”

Artykuł powinien być napisany w dwóch wersjach językowych: angielskiej oraz polskiej.

Imię i nazwisko autora
Nazwa uczelni
e-mail autora

Tytuł artykułu

Struktura artykułu:

- Streszczenie
- Słowa kluczowe
- Wprowadzenie
- Kolejne podtytuły
- Podsumowanie
- Bibliografia

Tekst artykułu powinien być napisany czcionką Times New Roman 11, interlinia pojedyncza, wcięcie akapitowe 0,5 cm.

Wzory, tabele, rysunki oraz zdjęcia powinny być ponumerowane zgodnie z kolejnością ich występowania w tekście.

Rysunki oraz zdjęcia o rozdzielczości 300 dpi lub wyższej, format *.TIFF, *.EPS, *.JPG, *.WMF.

Rysunki, zdjęcia oraz tabele zamieszczamy w wersji angielskiej, a ich tytuły podajemy zarówno w języku angielskim, jak i języku polskim.

Bibliografia: Artykuł przeznaczony do publikacji musi być przygotowany zgodnie z postanowieniami ustawy „Prawo autorskie”, które nakłada na autora obowiązek wykazania źródeł wykorzystanych zdjęć, rysunków cytowań, zapożyczeń. Źródła takie należy umieszczać w tekście w nawiasach kwadratowych. Zbiorcze zestawienie bibliografii umieszczamy na końcu artykułu w kolejności cytowania (tylko przy jednej wersji językowej).

Styl bibliograficzny definiuje norma: **PN-ISO 690:2012 Informacja i dokumentacja. Wytyczne opracowania przypisów bibliograficznych i powołań na zasoby informacji.**

Przykłady

Pozycje książkowe

[1] Nazwisko i inicjały imion autora: *Tytuł: podtytuł*. Miejsce wydania: Wydawca, Rok, Numer ISBN.

Praca zbiorowa

[2] Nazwisko i inicjały imion redaktora (red): *Tytuł: podtytuł*. Miejsce wydania: Wydawca, Rok, Numer ISBN.

Rozdziały książek

[3] Nazwisko i inicjały imion autora: *Tytuł: podtytuł rozdziału*. [w]: *Tytuł publikacji*. Miejsce wydania: Wydawca, Rok, Strony (np. s. 10-20), Numer ISBN.

Artykuły w czasopismach

[4] Nazwisko i inicjały imion autora: *Tytuł artykułu*. „Tytuł czasopisma” Rok, Numer, Strony (np. s. 8-27), Numer ISSN.

Strony internetowe

[5] Nazwisko i inicjały imion autora: *Tytuł*. [typ nośnika (np. online)]. [data dostępu: ...]. Dostępny w internecie: Adres strony internetowej

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

