

STRUCTURE AND ENVIRONMENT

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING, ENERGY AND GEOMATIC

No. 1/2018 vol. 10 PL ISSN 2081-1500 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents

structure

RAFAŁ PIOTROWSKI, ANDRZEJ SZYCHOWSKI

IMPACT OF SUPPORT CLOSED SECTION RIBS ON THE CRITICAL MOMENT FOR LATERAL TORSIONAL BUCKLING OF STEEL BEAMS

WPŁYW ŻEBER PODPOROWYCH O PRZEKROJU ZAMKNIĘTYM NA MOMENT KRYTYCZNY ZWICHRZENIA BELEK STALOWYCH 5

ZDZIŚŁAWA OWSIAK, AGNIESZKA MAZUR, JUSTYNA ZAPĄŁA-SŁAWETA

THE EVALUATION OF THE EFFECT OF CHALCEDONY DUST ON THE REACTION OF ALKALIS WITH REACTIVE AGGREGATE IN CEMENT MORTARS

OCENA WPŁYWU MACZKI CHALCEDONITOWEJ NA PRZEBIEG REAKCJI ALKALIÓW Z KRUSZYWEM REAKTYWNYM W ZAPRAWACH CEMENTOWYCH 19

MICHAŁ SZCZECINA, PAWEŁ TWORZEWSKI, IZABELA UZARSKA

NUMERICAL MODELING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS, INCLUDING THE REAL POSITION OF REINFORCING BARS

MODELOWANIE NUMERYCZNE BELEK ŻELBETOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM RZECZYWISTEGO ROZMIESZCZENIA ZBROJENIA 28

LUCJAN KAMIONKA

THE ISSUE OF TRANSIENCE IN ARCHITECTURE AND THE PROBLEMS OF CONSERVATION PROTECTION IN THE SELECTED MODERNIST BUILDINGS

PROBLEMY PRZEMIJANIA W ARCHITEKTURZE I OCHRONY KONSERWATORSKIEJ NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH BUDOWLI MODERNISTYCZNYCH 39

environment

BOGDAN WOLSKI, CEZARY TOŚ

THE STATISTICAL MODELS FOR INTERPRETING THE RESULTS OF PARCELS AREA VERIFICATION IN INTEGRATED ADMINISTRATION AND CONTROL SYSTEM IACS

STATYSTYCZNE MODELE INTERPRETACJI WYNIKÓW WERYFIKACJI POWIERZCHNI DZIAŁEK W PROGRAMIE IACS 53

ANATOLIY PAVLENKO, HANNA V. KOSHLAK

PECULIARITIES OF PHASE PROCESSES IN THE VOLUME OF LIQUID

CECHY SZCZEGÓLNE PROCESÓW FAZOWYCH W DUŻEJ OBJĘTOŚCI CIECZY 66

EWA ZENDER-ŚWIERCZ, OLGA JĘDRZEJCZYK, KAROLINA KACZOROWSKA

THE ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN THE SCHOOL AND THE WEDDING HOUSE

ANALIZA KOMFORTU CIEPLNEGO W SZKOLE I DOMU WESEŁNYM 75

MARTIN VANTÚCH, ANDREJ KAPJOR, ROMAN BANOVČAN, KATARÍNA KADUCHOVÁ

EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF GRAVITY HEAT PIPE WITH NH₃ MEDIUM TO OBTAIN LOW-POTENTIAL GEOTHERMAL HEAT

BADANIA EKSPERYMENTALNE RURY CIEPLNEJ Z CZYNNIKIEM NH₃ DO ODZYSKU NISKOTEMPERATUROWEJ ENERGII GEOTERMALNEJ 82

MILAN MALCHO, RICHARD LENHARD, KATARÍNA KADUCHOVÁ, PETER ĎURČANSKÝ

ACCUMULATION OF LOW-POTENTIAL THERMAL ENERGY

MAGAZYNOWANIE NISKOTEMPERATUROWEJ ENERGII GEOTERMALNEJ 87

ABSTRACTS 92

HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT 98

THE REVIEW PROCESS 99

Editor-in-Chief:

Prof. Zdzisław OWSIAK – 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. Go IWAHANA – University of Alaska Fairbanks (USA)
Prof. Lucjan KAMIONKA – Kielce University of Technology (Poland)
Prof. Andrej KAPJOR – University of Zilina (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. Jozef 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 IWAŃSKI – 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

IMPACT OF SUPPORT CLOSED SECTION RIBS ON THE CRITICAL MOMENT FOR LATERAL TORSIONAL BUCKLING OF STEEL BEAMS

WPŁYW ŻEBER PODPOROWYCH O PRZĘKROJU ZAMKNIĘTYM NA MOMENT KRYTYCZNY ZWICHRENIA BELEK STALOWYCH

DOI: 10.30540/sae-2018-001

Abstract

The study presents the results of theoretical investigations into the effect produced by support closed section ribs on the critical moment for lateral torsional buckling (M_{cr}) of bisymmetric I-beams. Elastic restraint against warping, at the site of support, was provided by closed section ribs made from selected rolled profiles (longitudinally cut circular tubes, angles, and channels). Detailed calculations were made for beams under uniform load applied to the top flange of the section. The results obtained in the investigations were compared with the values obtained for beams with end plate. The analysis was conducted of the impact of ribs on the increase in the critical resistance of beams. Analytically estimated critical moments for lateral torsional buckling were verified using FEM tools (LTBeamN, Abaqus).

Keywords: critical moment for lateral torsional buckling, closed section ribs, elastic restraint against warping

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań teoretycznych wpływu podporowych żeber zamkniętych na moment krytyczny zwichrzenia (M_{cr}) belek o bisymetrycznym przekroju dwuteowym. Sprężyste zamocowanie przeciw spaceniu w miejscu podparcia stanowiły żebra o przekroju zamkniętym, które wykonano z wybranych profili walcowanych (podłużnie rozcięte rury, kątowniki, ceowniki). Obliczenia szczegółowe wykonano dla belek obciążonych równomiernie obciążeniem przyłożonym do półki górnej przekroju. Uzyskane wyniki porównano z wartościami otrzymanymi dla belek z żebrowaniem w postaci blachy czołowej. Przeprowadzono analizę wpływu żeber na zwiększenie nośności krytycznej belek. Oszacowane analitycznie momenty krytyczne zwichrzenia zweryfikowano za pomocą MES (LTBeamN, Abaqus).

Słowa kluczowe: moment krytyczny zwichrzenia, żebra o przekroju zamkniętym, sprężyste zamocowanie przeciw spaceniu

1. Introduction

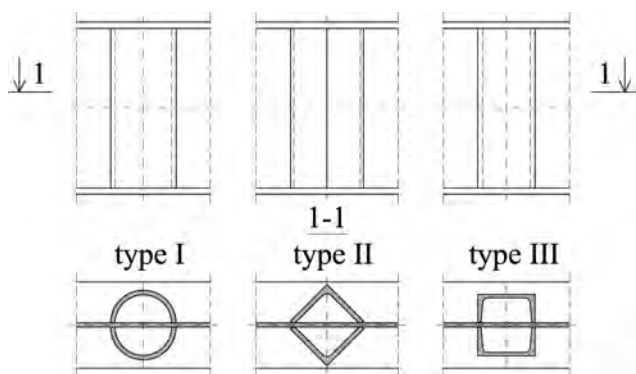
One of the methods for increasing the critical resistance of steel beams, which results from lateral torsional buckling condition, is the use of support ribs that confine the warping of the section. Different types of ribs are used to this end [7]. The advantages offered by the use of closed section ribs were reported, among others, by Kowal [1, 5], Trahair [7], and Gosowski [3, 4]. Ribs of that type show high torsional stiffness in the plane of the section flanges. Stiff connections of ribs to beam flanges and to the web considerably restrain the possibility of the rotation of flanges relative to each other. Such a significant reduction in beam section warping

1. Wprowadzenie

Jedną z metod zwiększania nośności krytycznej belek stalowych z warunku zwichrzenia jest zastosowanie żeber podporowych ograniczających spaczenie przekroju. W tym celu stosuje się różne typy żebrowania [7]. O korzyściach związanych z zastosowaniem żeber o przekroju zamkniętym pisali m.in. Kowal [1, 5], Trahair [7], Gosowski [3, 4]. Żebra tego typu charakteryzują się dużą sztywnością na skręcanie w płaszczyźnie półek przekroju. Sztywne połączenie żeber z półkami oraz środnikiem belki znacznie ogranicza możliwość obrotu półek względem siebie. Tak istotna redukcja spaczenia (deplanacji) przekroju belki w miejscu występowania żebra zamkniętego

(deplanation) at the site of closed section rib location produces an increase in the critical moment (M_{cr}) for lateral torsional buckling (LTB). Experimental investigations (e.g. [4]) and numerical calculations with the use of FEM (e.g. [7]) confirmed an increase in the critical load of beams stiffened with closed section ribs. However, other types of ribs used at beam supports (e.g. end plate, ribs parallel to the web, N- or X-shaped ribs), which were reported, e.g. in studies [1–4, 6–8], confine section warping to a far lesser extent. The most common stiffener is the end plate, which is used both in simply supported beams [6–8] and also in beam connections to other structural members (e.g. columns) [2]. The stiffening of support sections with flexible double sided rib is also applied [9]. However, much lower increase in M_{cr} is received compared with closed section ribs.

From the technological standpoint, closed section ribs can be obtained using rolled shapes (e.g. longitudinally cut circular tubes, angles or channels) that are welded on both sides (to the web and flanges), as shown, e.g., in Figure 1.



This study analyses the impact of the support ribs with different closed sections on the critical moment for LTB. The analysis covered simply supported I-beams with bisymmetric section (IPE300, IPE500, and also HEA300 and HEA500), elastically restrained against warping at the support nodes and uniformly loaded at the top flange level. Computations were performed for a few types of closed section ribs. The results were compared with those for commonly used end plate stiffeners. The selection of closed section ribs was based on the geometry of beam shapes (the height of the web and the width of flanges). Critical moments for LTB were estimated by means of the approximation formula acc. study [8]. Computations were validated by comparison with FEM results (*LTBeamN*, *Abaqus*).

daje wzrost momentu krytycznego zwichrzenia (M_{cr}). Zwiększenie obciążenia krytycznego belek usztywnionych żebrami zamkniętymi potwierdzono badaniami doświadczalnymi (np. [4]) oraz obliczeniami numerycznymi z wykorzystaniem MES (np. [7]). Natomiast zastosowanie innego typu żebrowania belek na podporach (np. blacha czołowa, żebra równoległe do środka, żebra w kształcie litery N lub X), które zaproponowano m.in. w pracach [1–4, 6–8], w zdecydowanie mniejszym stopniu ogranicza spaczenie przekroju. Najczęściej występującym usztywnieniem jest blacha czołowa, która jest stosowana zarówno w belkach swobodnie podpartych [6–8], jak również w doczołowych połączeniach belek z innymi elementami konstrukcji (np. słupami) [2]. Stosuje się również usztywnienie przekrojów podporowych obustronnym żebrzem podatnym [9]. Jednakże w tych przypadkach uzyskuje się znacznie mniejszy wzrost M_{cr} w stosunku do żeber o przekroju zamkniętym.

Z technologicznego punktu widzenia żebra o przekroju zamkniętym można uzyskać, spawając obustronnie (do środka i półek) kształtowniki walcowane (np. podłużnie rozcięte rury, kątowniki lub ceowniki), np. według rysunku 1.

Fig. 1. Types of closed ribs: I – circular tubes ($\emptyset$), II – angles (2L), III – channels (2C)

Rys. 1. Typy żeber o przekroju zamkniętym: I – rura ($\emptyset$), II – kątowniki (2L), III – ceowniki (2C)

W niniejszej pracy przeanalizowano wpływ żeber podporowych o różnych przekrojach zamkniętych na moment krytyczny zwichrzenia. Badano swobodnie podparte belki dwuteowe o przekroju bisymetrycznym (IPE300 i IPE500 oraz HEA300 i HEA500), sprężyste zamocowane przeciw spaceniu w węzłach podporowych i obciążone równomiernie w poziomie półki górnej. Obliczenia przeprowadzono dla kilku wariantów żeber o przekroju zamkniętym. Wyniki porównano z powszechnie stosowanym żebrowaniem w postaci blachy czołowej. Podczas doboru przekrojów żeber zamkniętych kierowano się geometrią kształtowników belek (tzn. wysokością środka i szerokością półek). Momenty krytyczne zwichrzenia oszacowano wzorem aproksymacyjnym według pracy [8]. Obliczenia zweryfikowano za pomocą MES (*LTBeamN*, *Abaqus*).

2. Critical moment for lateral torsional buckling of the beam elastically restrained against warping

Critical moment for LTB of the beam (Fig. 2), bilaterally elastically restrained against warping at supports, can be estimated with formula (1) put forward in study [8]:

$$M_{cr} = \frac{-B_1 EI_z z_g + \sqrt{EI_z (B_3 G I_t L^2 + B_4 EI_\omega + B_1^2 EI_z z_g^2)}}{B_2 L^2} \quad (1)$$

where: I_z , I_y , I_ω – beam section characteristics, L – beam span (Fig. 2), B_1 , B_2 , B_3 , B_4 – coefficients (Table 1), z_g – ordinate of the load application site (Fig. 2).

2. Moment krytyczny zwiczenia belki sprężystie zamocowanej przeciw spaceniu

Moment krytyczny zwiczenia belki (rys. 2), obustronnie sprężystie zamocowanej przeciw spaceniu na podporach, można oszacować za pomocą wzoru (1) zaproponowanego w pracy [8]:

$$M_{cr} = \frac{-B_1 EI_z z_g + \sqrt{EI_z (B_3 G I_t L^2 + B_4 EI_\omega + B_1^2 EI_z z_g^2)}}{B_2 L^2} \quad (1)$$

gdzie: I_z , I_y , I_ω – charakterystyki przekroju belki, L – rozpiętość belki (rys. 2), B_1 , B_2 , B_3 , B_4 – współczynniki (tab. 1), z_g – rzędna miejsca przyłożenia obciążenia (rys. 2).

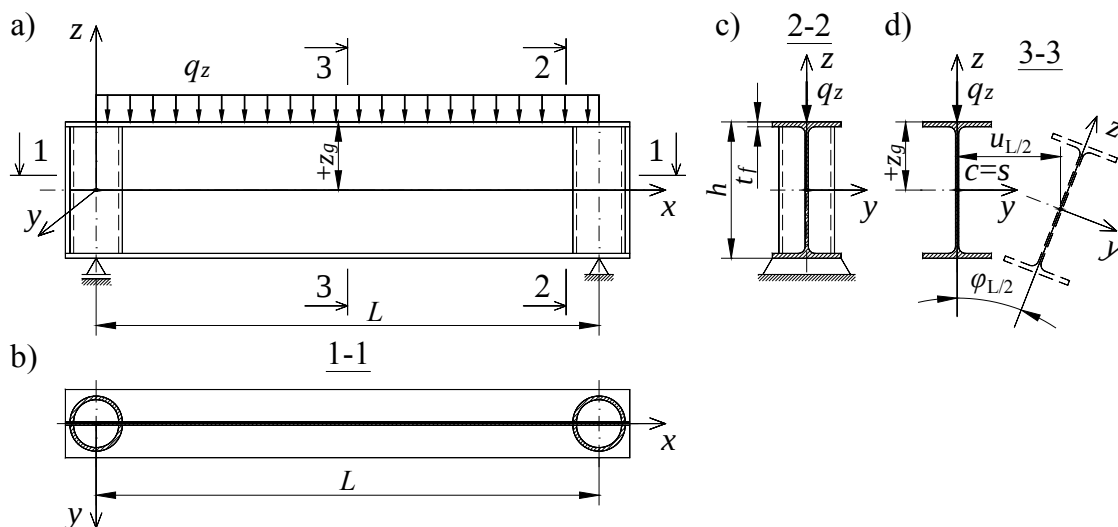


Fig. 2. Geometry and static beam diagram (a), section 1-1 (b), section 2-2 (c), section 3-3 (d)

Rys. 2. Geometria i schemat statyczny belki (a), przekrój 1-1 (b), przekrój 2-2 (c), przekrój 3-3 (d)

Degree of the elastic restraint against warping, which results from the action of support ribs, was expressed by a dimensionless index of fixity κ (2) acc. [8], which ranges from $\kappa = 0$ for complete warping freedom, to $\kappa = 1$ for complete warping restraint:

$$\kappa = \frac{\alpha_\omega L}{2E_\omega + \alpha_\omega L} \quad (2)$$

where: α_ω – stiffness of the elastic restraint against warping, which is expressed by formula (3) acc. [7]:

$$\alpha_\omega = -\frac{B}{\frac{d\phi}{dx}} = G I_d h_0 \quad (3)$$

where: I_d – torsional moment of inertia of the whole rib section (Table 2), $h_0 = h - t_f$ – theoretical height of ribs (see Fig. 2).

Stopień sprężystego zamocowania przeciw spaceniu, wynikający z oddziaływania żebier podporowych, wyrażono bezwymiarowym wskaźnikiem utwierdzenia κ (2) według [8], zmieniającym się od $\kappa = 0$, dla pełnej swobody spaceniu, do $\kappa = 1$, dla pełnej blokady spaceniu:

$$\kappa = \frac{\alpha_\omega L}{2E_\omega + \alpha_\omega L} \quad (2)$$

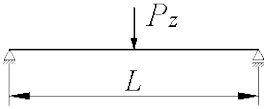
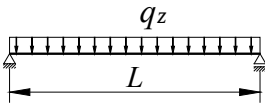
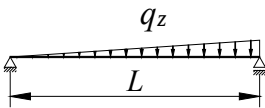
gdzie: α_ω – sztywność sprężystego zamocowania przeciw spaceniu, którą określono wzorem (3) [7]:

$$\alpha_\omega = -\frac{B}{\frac{d\phi}{dx}} = G I_d h_0 \quad (3)$$

gdzie: I_d – moment bezwładności na skręcanie całego przekroju żebra (tabela 2), $h_0 = h - t_f$ – teoretyczna wysokość żebra (por. rys. 2).

Table 1. Coefficients B_1, B_2, B_3, B_4 [8]

 Tabela 1. Współczynniki B_1, B_2, B_3, B_4 [8]

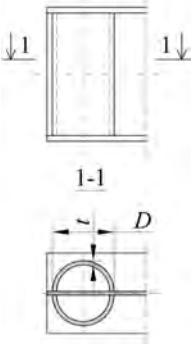
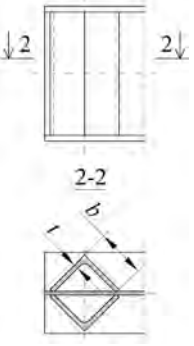
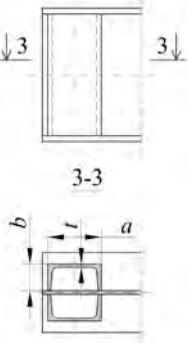
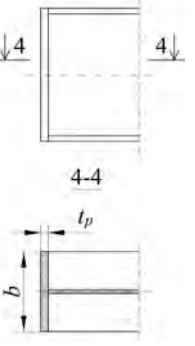
Item	Loading diagram	Coefficients
1.	2.	3.
1.		$B_1 = 7.242 \cdot (1.563 - 2.5\kappa + \kappa^2)$ $B_2 = 1.522 - 2.467\kappa + \kappa^2$ $B_3 = 19.248 \cdot B_2 (1.457 - 2.4\kappa + \kappa^2)$ $B_4 = 231.816 \cdot B_2 (1.2 - \kappa)$
2.		$B_1 = 5.25 \cdot (1.476 - 2.429\kappa + \kappa^2)$ $B_2 = 1.507 - 2.455\kappa + \kappa^2$ $B_3 = 13.092 \cdot B_2 (1.457 - 2.4\kappa + \kappa^2)$ $B_4 = 157.633 \cdot B_2 (1.2 - \kappa)$
3.		$B_1 = 5.322 \cdot (1.476 - 2.429\kappa + \kappa^2)$ $B_2 = 1.507 - 2.455\kappa + \kappa^2$ $B_3 = 13.624 \cdot B_2 (1.457 - 2.4\kappa + \kappa^2)$ $B_4 = 163.486 \cdot B_2 (1.2 - \kappa)$

3. Types of support ribs

Table 2 shows types of support ribs considered in the analysis (row 1) and formulas for their torsional moments of inertia I_d (row 2).

Table 2. Types of ribs included in the analysis

Tabela 2. Typy żeber uwzględnione w analizie

Item	Type of closed section ribs			Classic ribs
	I – Circular tubes ($\emptyset$)	II – Angles (2L)	III – Channels (2C)	Plate (BL)
1.				
2.	$I_d = D^4 \frac{\pi}{32} \left(1 - \left(1 - \frac{2t}{D} \right)^4 \right)$	$I_d = (b-t)^3 t$	$I_d = F^2 \frac{2t}{a+2b-2t}$ $F = (a-t)(2b-t)$	$I_d = \frac{1}{3} b t_p^3$

The types of ribs (I, II and III) that were identified were classified into three groups (1, 2 and 3) on the basis of the beam section geometry and the “diameter” of the rib sections. Basic adjustment of selected shapes ($\emptyset$, 2L, 2C) to individual groups is presented in Table 3.

3. Typy żeber podporowych

W tabeli 2 zamieszczono przyjęte w analizie typy żeber podporowych (wiersz 1) oraz wzory na ich momenty bezwładności na skręcanie I_d (wiersz 2).

Wyróżnione typy żeber (I, II i III) sklasyfikowano w trzech grupach (1, 2 i 3) w zależności od geometrii przekroju belki oraz „średnicy” przekroju żebra. Podstawowe przyporządkowanie dobranych kształtowników ($\emptyset$, 2L, 2C) do poszczególnych grup zamieszczono w tabeli 3.

Table 3. Assignment of selected sections of rib types (I, II and III) to groups (1, 2 and 3)

Tabela 3. Przyporządkowanie dobranych kształtowników żebrowania w ramach typów (I, II i III) do grup (1, 2 i 3)

Profile	Type of closed section ribs			
	Group	I – Circular tubes ($\emptyset$)	II – Angles (2L)	III – Channels (2C)
IPE300	1	$\emptyset 127.0/10$	2L90x10	2C140
IPE500	2	$\emptyset 177.8/10$	2L120x10	2C180
HEA300 HEA500	3	$\emptyset 273.0/10$	2L180x16	2C300

Additionally, for larger sections, i.e. IPE500, HEA300 and HEA500, comparative calculations were made. That was done relative to ribs of group 1, which had a smaller “diameter” (Table 3).

Table 4 lists values I_d determined acc. Table 2, and stiffnesses α_ω acc. formula (3) [7] for the sections analysed, and also types and groups of ribs (see Table 3). For the sake of comparison, column 6 (Table 4) features corresponding characteristics when support sections were stiffened by means of classic end plate with the thickness of t_p .

Ponadto dla przekrojów „większych”, tzn. IPE500 oraz HEA300 i HEA500, wykonano również obliczenia porównawcze z zastosowaniem grupy 1 żebrowania o mniejszej „średnicy” według tabeli 3.

W tabeli 4 podano wartości I_d , wyznaczone według tabeli 2, oraz sztywności α_ω , według wzoru (3) [7] dla analizowanych przekrojów i przyjętych typów i grup żebrowania (por. tabelę 3). Dla porównania, w kolumnie 6 (tabela 4) podano odpowiednie charakterystyki dla usztywnienia przekrojów podporowych klasyczną blachą czołową o grubości t_p .

Table 4. Characteristics of the ribs included in the analysis

Tabela 4. Charakterystyki przyjętych w analizie żebrowania

Profile	Types of closed section ribs				Classic ribs
	Group	I – Circular tube ($\emptyset$)	II – Angles (2L)	III – Channels (2C)	End plate (BL)
1.	2.	3.	4.	5.	6.
IPE300	1.	$\emptyset 127.0/10$ $I_d = 1267 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 297 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	2L90x10 $I_d = 512 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 120 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	2C140 $I_d = 1285 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 301 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$t_p = 16 \text{ mm}$ $I_d = 20 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 5 \text{ kNm}^3/\text{rad}$
IPE500	1.	$\alpha_\omega = 497 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$\alpha_\omega = 201 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$\alpha_\omega = 504 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$t_p = 20 \text{ mm}$ $I_d = 53 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 21 \text{ kNm}^3/\text{rad}$
	2.	$\emptyset 177.8/10$ $I_d = 3722 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 1459 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	2L120x10 $I_d = 1331 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 522 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	2C180 $I_d = 2713 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 1064 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	
HEA300	1	$\alpha_\omega = 283 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$\alpha_\omega = 114 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$\alpha_\omega = 287 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$t_p = 20 \text{ mm}$ $I_d = 80 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 18 \text{ kNm}^3/\text{rad}$
	3.	$\emptyset 273.0/10$ $I_d = 14301 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 3197 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	2L180x16 $I_d = 7058 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 1578 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	2C300 $I_d = 12650 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 2828 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	
HEA500	1.	$\alpha_\omega = 479 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$\alpha_\omega = 194 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$\alpha_\omega = 486 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	$t_p = 25 \text{ mm}$ $I_d = 156 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 59 \text{ kNm}^3/\text{rad}$
	3.	$\emptyset 273.0/10$ $I_d = 14301 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 5410 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	2L180x16 $I_d = 7058 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 2670 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	2C300 $I_d = 12650 \text{ cm}^4$ $\alpha_\omega = 4785 \text{ kNm}^3/\text{rad}$	

In order to determine M_{cr} acc. (1), it is necessary to correctly determine stiffnesses of the elastic restraint α_ω (3) and indexes of fixity κ (2) for the rib type and group. The computations were made using spreadsheet.

W celu wyznaczenia M_{cr} wg wzoru (1) należy poprawnie wyznaczyć sztywności sprężystego zamocowania α_ω (3) i wskaźniki utwierdzenia κ (2) dla rozpatrywanego typu i grupy żebrowania. Obliczenia wykonano w arkuszu kalkulacyjnym.

4. Numerical validation with FEM – *LTBeamN*, *Abaqus*

LTBeamN (version 1.0.3) is an engineering software tool based on bar finite elements. It allows the determination of critical moments for LTB of beams, single- and multi-span, and also cantilever ones with bisymmetric I-sections. The software makes it possible to adopt classic boundary conditions (fork support or fixity), and to account for the elastic restraint of beams at supports. The results of calculations for an exemplary IPE300 beam with a span of $L = 5$ m are shown in Figure 3. The degree of the elastic restraint of the beam at supports corresponds to ribs made from z longitudinally cut circular tube, of type I and group 1 ($\text{Ø}127.0/10$).

4. Weryfikacja numeryczna z wykorzystaniem MES – *LTBeamN*, *Abaqus*

LTBeamN (ver. 1.0.3) jest programem inżynierskim, opartym na prętowych elementach skończonych. Pozwala wyznaczyć momenty krytyczne zwichrzenia belek (jedno- lub wieloprzęsłowych oraz wspornikowych) o mono- lub bisymetrycznych przekrojach dwuteowych. Pozwala przyjąć klasyczne warunki brzegowe (podparcie „widełkowe” lub utwierdzenie), jak również uwzględnić sprężyste zamocowanie belek na podporach. Wyniki obliczeń dla przykładowej belki IPE300 o rozpiętości $L = 5$ m, której stopień sprężystego zamocowania na podporach odpowiada żebrom z podłużnie rozciętych rur typu I grupy 1 ($\text{Ø}127.0/10$), przedstawiono na rysunku 3.

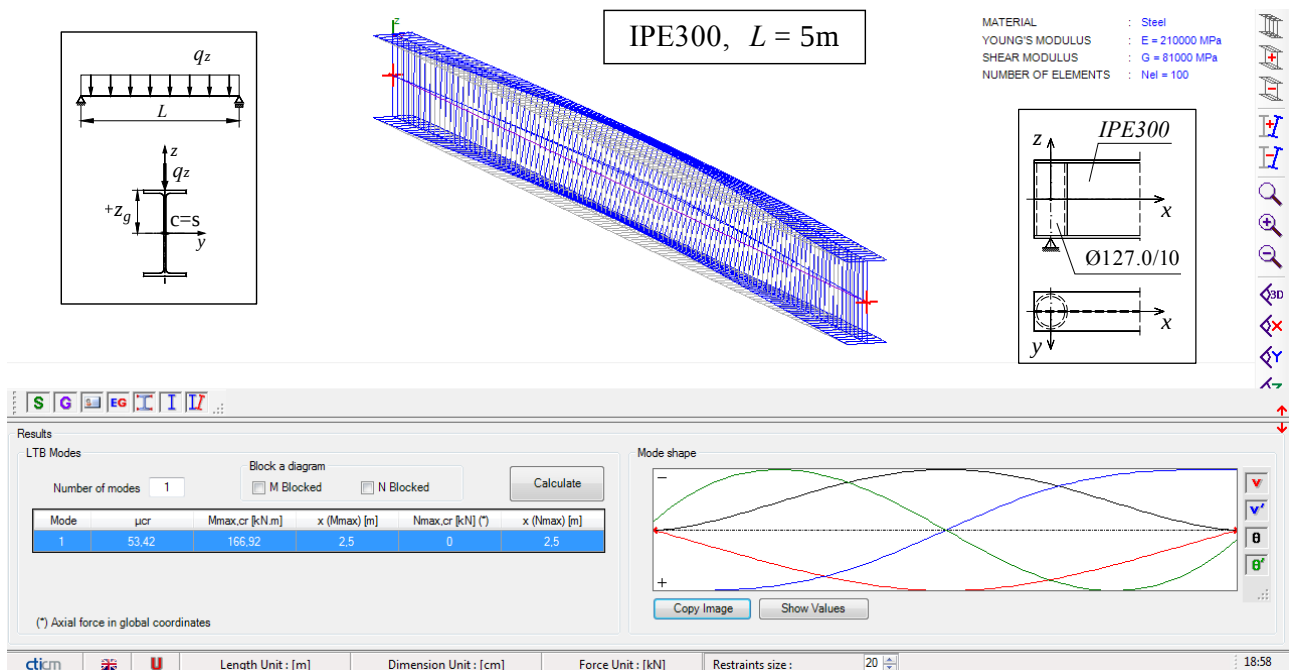


Fig. 3. Exemplary beam (IPE300, $L = 5$ m, rib $\text{Ø}127.0/10$) modelled using the *LTBeamN* software

Rys. 3. Przykładowa belka (IPE300, $L = 5$ m, żebro $\text{Ø}127.0/10$) zamodelowana w programie *LTBeamN*

The calculations of M_{cr} acc. Formula (1) were also validated using *Abaqus* software. Eight-node continuum elements (C3D8), with six degrees of freedom at the node, were employed. In this case, ribs were modelled physically using the same continuum elements. Beams, together with ribs, were discretized into finite element model with the basic 10 mm mesh size. Boundary conditions accounted for the restraint of translation of the support sections about major axes of inertia. The load was applied to the top flange of the beam. The computations were run for the elastic range using

Obliczenia M_{cr} wg wzoru (1) zweryfikowano również w programie *Abaqus* z wykorzystaniem elementów objętościowych (C3D8), ośmiowęzłowych o sześciu stopniach swobody w węźle. W tym przypadku żebra zostały zamodelowane „fizycznie” z wykorzystaniem tych samych elementów objętościowych. Belki wraz z żebrowaniem zdyskretyzowano podstawową siatką MES o oczku 10 mm. Warunki brzegowe uwzględniały blokadę translacji przekrojów podporowych względem głównych osi bezwładności. Obciążenie przyłożono do pasa górnego belki. Obliczenia przeprowadzono w zakresie sprężystym,

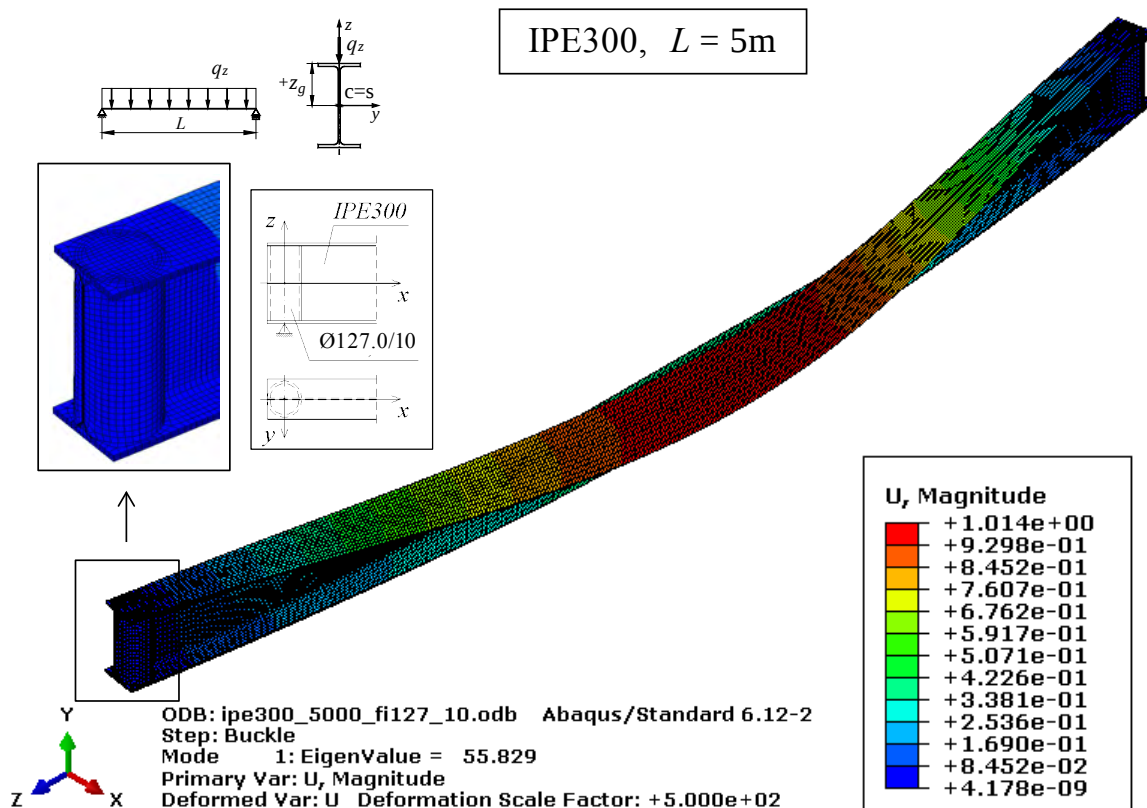


Fig. 4. Exemplary beam (IPE300, $L = 5\text{ m}$, rib $\text{Ø}127.0/10$) modelled using the Abaqus software

Rys. 4. Przykładowa belka (IPE300, $L = 5\text{ m}$, żebro $\text{Ø}127.0/10$) zamodelowana w programie Abaqus

the computational step of the buckling procedure. Figure 4 shows the results of the analysis made with the *Abaqus* program for the beam shown in Figure 3 (IPE300, $L = 5\text{ m}$, rib $\text{Ø}127.0/10$).

5. Examples

The comparative analysis included simply supported steel beams ($E = 210\text{ GPa}$, $G = 81\text{ GPa}$), made from shapes: IPE300, HEA300 with spans of $L = 5\text{ m}$ and 7 m , and also IPE500, HEA500 with spans of $L = 8\text{ m}$ and 10 m . The analysis was performed for stiffeners, the characteristics of which are listed in Table 4. Beams were loaded uniformly (Fig. 2), at the level of the top flange ($z_g = +h/2$).

Table 5 presents critical moments for beams made from IPE300 and HEA300 shapes with spans of $L = 5\text{ m}$ and 7 m . For the sake of comparison, the values were also given which were obtained for the following support sections: complete warping freedom (FREE, $\kappa = 0$), end plate with the thickness of t_p and complete warping restraint (FIXED, $\kappa = 1$). The results for the basic types and groups of ribs (acc. Table 3) were shaded.

z wykorzystaniem kroku obliczeniowego procedury „buckling”. Na rysunku 4 pokazano wyniki analizy w programie *Abaqus* dla belki według rysunku 3 (IPE300, $L = 5\text{ m}$, żebro $\text{Ø}127.0/10$).

5. Przykłady

Do analizy porównawczej przyjęto swobodnie podparte belki stalowe ($E = 210\text{ GPa}$, $G = 81\text{ GPa}$), wykonane z kształtowników: IPE300, HEA300 o rozpiętościach $L = 5\text{ m}$ i 7 m oraz IPE500, HEA500 o rozpiętościach $L = 8\text{ m}$ i 10 m , dla usztywnień scharakteryzowanych w tabeli 4. Belki obciążono równomiernie (rys. 2), w poziomie półki górnej ($z_g = +h/2$).

W tabeli 5 zamieszczono momenty krytyczne dla belek wykonanych z kształtowników IPE300 i HEA300 o rozpiętościach $L = 5\text{ m}$ i 7 m . W celach porównawczych podano również wartości otrzymane dla pełnej swobody spaczenia (FREE, $\kappa = 0$), dla blachy czołowej o grubości t_p oraz dla pełnej blokady spaczenia (FIXED, $\kappa = 1$) przekrojów podporowych. Wyniki dla podstawowych typów i grup żebrowania według tabeli 3 zaciemniono.

Table 5. Comparison of M_{cr} for beams IPE300 and HEA300 with $L = 5$ m and 7 m

Tabela 5. Porównanie M_{cr} dla belek IPE300 i HEA300 dla $L = 5$ m i 7 m

Item	Profile	Group	Rib	L [m]	κ	M_{σ} [kNm]					
						LTBN	Abaqus	[%] 7–6	Formula (1) [8]	[%] 9–6	[%] 9–7
1.	2.	3.		4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
1.	IPE300	FREE		5.	0	98.74	99.23	0.5	98.83	0.1	–0.4
2.		$t_p = 16$ mm			0.312	106.51	107.69	1.1	106.64	0.1	–1.0
3.		1.	I – Ø127.0/10		0.966	166.92	166.93	0	167.97	0.6	0.6
4.			II – 2L90x10		0.919	155.97	161.32	3.4	156.61	0.4	–2.9
5.			III – 2C140		0.966	167.08	169.36	1.4	167.97	0.5	–0.8
6.		FIXED			1	177.22	–	–	178.46	0.7	–
7.	IPE300	FREE		7.	0	67.41	68.53	1.7	67.47	0.1	–1.5
8.		$t_p = 16$ mm			0.388	71.72	73.26	2.1	71.75	0.0	–2.1
9.		1.	I – Ø127.0/10		0.975	99.75	100.63	0.9	100.12	0.4	–0.5
10.			II – 2L90x10		0.941	95.31	98.37	3.2	95.61	0.3	–2.8
11.			III – 2C140		0.976	99.80	101.55	1.8	100.26	0.5	–1.3
12.		FIXED			1	103.68	–	–	104.2	0.5	–
13.	HEA300	FREE		5.	0	740.8	711.3	–4.0	741.5	0.1	4.2
14.		$t_p = 20$ mm			0.151	780.7	770.0	–1.4	781.2	0.1	1.5
15.		1.	I – Ø127.0/10		0.737	1106.7	1051.5	–5.0	1109.2	0.2	5.5
16.			II – 2L90x10		0.532	939.4	962.5	2.5	942.9	0.4	–2.0
17.			III – 2C140		0.740	1107.3	1099.3	–0.7	1112.4	0.5	1.2
18.		3.	I – Ø273.0/10		0.969	1503.5	1426.7	–5.1	1513.3	0.7	6.1
19.			II – 2L180x16		0.940	1426.3	1371.1	–3.9	1436.9	0.7	4.8
20.			III – 2C300		0.966	1490.5	1462.0	–1.9	1504.8	1.0	2.9
21.		FIXED			1	1592.4	–	–	1610.1	1.1	–
22.	HEA300	FREE		7.	0	470.62	464.12	–1.4	471.10	0.1	1.5
23.		$t_p = 20$ mm			0.199	494.31	501.23	1.4	494.98	0.1	–1.2
24.		1.	I – Ø127.0/10		0.797	670.65	656.48	–2.1	672.28	0.2	2.4
25.			II – 2L90x10		0.614	585.59	609.77	4.1	586.62	0.2	–3.8
26.			III – 2C140		0.800	671.99	680.67	1.3	674.18	0.3	–1.0
27.		3.	I – Ø273.0/10		0.978	842.92	827.73	–1.8	848.98	0.7	2.6
28.			II – 2L180x16		0.956	813.64	804.70	–1.1	817.71	0.5	1.6
29.			III – 2C300		0.975	839.76	842.37	0.3	844.47	0.6	0.2
30.		FIXED			1	878.39	–	–	884.87	0.7	–

The comparison of values listed in Table 5 indicates that critical moments determined using formula (1) [8] produced very good approximations of the values obtained with *LTBeamN* software. In the majority of cases, the differences did not exceed +1% (Table 5, column 10). When Formula (1) results are compared with those received from numerical analysis performed with *Abaqus*, the differences ranged as

Z porównania wartości zamieszczonych w tabeli 5 wynika, że momenty krytyczne wyznaczone za pomocą wzoru (1) [8] dały bardzo dobre przybliżenie wartości otrzymanych z programu *LTBeamN*. W znakomitej większości przypadków różnice nie przekroczyły +1% (tabela 5, kolumna 10). Natomiast porównując wzór (1) z analizą numeryczną w programie *Abaqus*, różnice oscylowały pomiędzy: a) dla

Table 6. Comparison of M_{cr} for beams IPE500 and HEA500 with $L = 8\text{ m}$ and 10 m Tabela 6. Porównanie M_{cr} dla belek IPE500 i HEA500 dla $L = 8\text{ m}$ i 10 m

Item	Profile	Group	Rib	L [m]	κ	M _{cr} [kNm]					
						LTBN	Abaqus	[%] 7–6	Formula (1) [8]	[%] 9–6	[%] 9–7
1.	2.	3.		4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
1.	IPE500	FREE		8.	0	241.85	239.44	−1.0	242.05	0.1	1.1
2.		t _p = 20 mm			0.242	254.38	253.89	−0.2	254.64	0.1	0.3
3.		1.	I – Ø127.0/10		0.883	355.77	355.35	0.1	356.69	0.3	0.4
4.			II – 2L90x10		0.754	316.40	336.62	6.4	317.02	0.2	−5.8
5.			III – 2C140		0.885	356.28	365.12	2.5	357.50	0.3	−2.1
6.		2.	I – Ø177.8/10		0.957	391.34	387.59	−1.0	393.20	0.5	1.4
7.			II – 2L120x10		0.888	357.70	367.30	2.7	358.73	0.3	−2.3
8.			III – 2C180		0.942	382.87	387.73	1.3	384.54	0.4	−0.8
9.		FIXED				1	420.27	–	–	423.08	0.7
10	IPE500	FREE		10.	0	187.99	187.15	−0.4	188.15	0.1	0.5
11		t _p = 20mm			0.285	196.48	197.04	0.3	196.62	0.1	−0.2
12		1.	I - Ø127.0/10		0.904	259.58	259.53	0	260.05	0.2	0.2
13			II - 2L90x10		0.793	236.23	249.08	5.4	236.54	0.1	−5.0
14			III - 2C140		0.906	259.91	265.54	2.2	260.61	0.3	−1.9
15		2.	I - Ø177.8/10		0.965	279.49	277.45	−0.7	280.42	0.3	1.1
16			II - 2L120x10		0.909	260.73	266.25	2.1	261.46	0.3	−1.8
17			III - 2C180		0.953	274.86	278.08	1.2	275.78	0.3	−0.8
18		FIXED				1	294.88	–	–	296.42	0.5
19	HEA500	FREE		8.	0	1004.3	994.0	−1.0	1005.2	0.1	1.1
20		t _p = 25 mm			0.166	1045.6	1054.0	0.8	1046.4	0.1	−0.7
21		1.	I – Ø127.0/10		0.618	1250.7	1260.6	0.8	1253.8	0.2	−0.5
22			II – 2L90x10		0.395	1124.7	1186.4	5.5	1126.7	0.2	−5.0
23			III – 2C140		0.621	1253.4	1302.5	3.9	1256.0	0.2	−3.6
24		3.	I – Ø273.0/10		0.948	1711.8	1688.6	−1.4	1720.2	0.5	1.9
25			II – 2L180x16		0.900	1599.3	1625.8	1.7	1605.8	0.4	−1.2
26			III – 2C300		0.942	1694.5	1718.0	1.4	1704.3	0.6	−0.8
27		FIXED				1	1869.9	–	–	1885.3	0.8
28	HEA500	FREE		10.	0	769.6	771.2	0.2	770.3	0.1	−0.1
29		t _p = 25 mm			0.200	798.0	813.2	1.9	798.8	0.1	−1.8
30		1.	I – Ø127.0/10		0.669	935.0	948.9	1.5	936.0	0.1	−1.4
31			II – 2L90x10		0.450	852.4	901.3	5.7	853.1	0.1	−5.3
32			III – 2C140		0.672	936.3	976.1	4.3	937.5	0.1	−4.0
33		3.	I – Ø273.0/10		0.958	1207.6	1203.3	−0.4	1212.7	0.4	0.8
34			II – 2L180x16		0.918	1145.2	1168.4	2.0	1148.3	0.3	−1.7
35			III – 2C300		0.953	1198.6	1219.6	1.8	1203.8	0.4	−1.3
36		FIXED				1	1292.3	–	–	1300.4	0.6

follows: a) for IPE300 beams from -2.9% to $+0.6\%$, and b) for HEA300 beams from -3.8% to $+6.1\%$ (Table 5, column 11).

FEM simulations with *Abaqus* in relation to *LTBeamN* produced the following differences: a) for IPE300 beams from $+0.5\%$ to $+3.4\%$, and b) for HEA300 beams from -5.1% to $+4.1\%$ (Table 5, column 8). The differences in results above $+5\%$ and below -5% were written in bold.

Table 6, on analogous terms as Table 5, presents critical moments for beams made from IPE500 and HEA500 shapes with spans of $L = 8$ m and 10 m.

The comparison of the data in Table 6 shows that critical moments determined with Formula (1) [8] were close approximations of the results received by means of *LTBeamN*. The differences did not exceed $+1\%$ (Table 6, column 10). The results were also verified using *Abaqus* (Table 6, column 11). In this case, the differences were as follows: a) for IPE500 beams from -5.8% to $+1.4\%$, and b) for HEA500 beams from -5.3% to $+1.9\%$. Upon comparing the results of numerical simulations with the use of FEM (*Abaqus*) with those received by means of *LTBeamN* (Table 6, column 8), the following difference could be seen: a) for IPE500 beams from -1.0% to $+6.4\%$, and b) for HEA500 beams from -1.4% to $+5.7\%$. The differences in results above $+5\%$ and below -5% were given in bold.

Table 7 shows percentage increase in M_{cr} (columns 7 and 12) of the analysed beams with closed section ribs relative to fork support (FREE). Columns 8 and 13 provide percentage increase in beam mass depending on the rib type used, when compared with a beam that was not stiffened with ribs.

On the basis of the data in Table 7, the following conclusions can be drawn. Increase in the critical moments of beams made from IPE300 shape (Table 7, rows 3–5), stiffened with ribs of group 1 is up to $+70\%$ (for type I and III, $L = 5$ m), and up to $+49\%$ (for type I and III, $L = 7$ m). By contrast, classic end plate $t_p = 16$ mm produced an increase in M_{cr} which did not exceed $+8\%$ (row 2).

For beams made from HEA300 shape (Table 7), the greatest increase in critical moments, which amounted up to $+104\%$ ($L = 5$ m) and $+80\%$ ($L = 7$ m), was obtained when ribs of type I and group 3, (rows 12–14) were used. When ribs of group 1 (rows 9–11) were applied, M_{cr} increase did not exceed $+50\%$ (for type I and III, $L = 5$ m), or $+43\%$ (for type I and III, $L = 7$ m). The lowest increase (up to $+5\%$) was produced by the end plate $t_p = 20$ mm (row 8), despite

belek IPE300 od $-2,9\%$ do $+0,6\%$ oraz b) dla belek HEA300 od $-3,8\%$ do $+6,1\%$ (tabela 5, kolumna 11).

Z kolei symulacje MES w programie *Abaqus* w odniesieniu do *LTBeamN* dały następujące różnice: a) dla belek IPE300 od $+0,5\%$ do $+3,4\%$ oraz b) dla belek HEA300 od $-5,1\%$ do $+4,1\%$ (tabela 5, kolumna 8). Różnice w wynikach powyżej $+5\%$ lub poniżej -5% pogrubiono.

W tabeli 6 (w układzie analogicznym do tabeli 5) zamieszczono momenty krytyczne dla belek wykonanych z kształtowników IPE500 i HEA500 o rozpiętościach $L = 8$ m i 10 m.

Z porównania wartości zamieszczonych w tabeli 6 wynika, że momenty krytyczne wyznaczone za pomocą wzoru (1) [8] dały bardzo dobre przybliżenie wartości otrzymanych z programu *LTBeamN*. Różnice nie przekroczyły $+1\%$ (tabela 6, kolumna 10). Użyte wartości zweryfikowano również w programie *Abaqus* (tabela 6, kolumna 11). W tym przypadku różnice oscylowały pomiędzy: a) dla belek IPE500 od $-5,8\%$ do $+1,4\%$ oraz b) dla belek HEA500 od $-5,3\%$ do $+1,9\%$. Porównując z kolei wyniki symulacji numerycznych MES w programie *Abaqus* z programem *LTBeamN* (tabela 6, kolumna 8), otrzymano następujące różnice: a) dla belek IPE500 od $-1,0\%$ do $+6,4\%$ oraz b) dla belek HEA500 od $-1,4\%$ do $+5,7\%$. Różnice w wynikach powyżej $+5\%$ lub poniżej -5% pogrubiono.

W tabeli 7 porównano wzrost procentowy M_{cr} (kolumny 7 i 12) analizowanych belek z żebrami zamkniętymi w stosunku do podparcia „widelkowego” (FREE). Natomiast w kolumnach 8 i 13 zamieszczono procentowe zwiększenie masy belki w zależności od zastosowanego sposobu żebrowania w stosunku do belki nieujębrowanej.

Z porównania wartości zamieszczonych w tabeli 7 wynikają następujące wnioski. Zwiększenie momentów krytycznych belek wykonanych z kształtownika IPE300 (tabela 7, wiersze 3–5), usztywnionych żebrami grupy 1, dochodzi do $+70\%$ (dla typu I i III, $L = 5$ m) oraz do $+49\%$ (dla typu I i III, $L = 7$ m). Natomiast klasyczna blacha czołowa $t_p = 16$ mm dała wzrost M_{cr} nieprzekraczający $+8\%$ (wiersz 2).

Dla belek wykonanych z kształtownika HEA300 (tabela 7) największy wzrost momentów krytycznych, dochodzący do $+104\%$ ($L = 5$ m) oraz $+80\%$ ($L = 7$ m), dały żebra I typu grupy 3 (wiersze 12–14). Stosując żebra grupy 1 (wiersze 9–11), zwiększenie M_{cr} nie przekraczało $+50\%$ (dla typu I i III, $L = 5$ m) oraz $+43\%$ (dla typu I i III, $L = 7$ m). Najniższy wzrost (do $+5\%$), pomimo większej masy w porównaniu

Table 7. Comparison of the efficiency of the ribs

Tabela 7. Porównanie efektywności zastosowanych żeber

Item	Profile	Group	Rib	L [m]	κ	M_{cr} [kNm]		[%] increase in beam mass	L [m]	κ	M_{cr} [kNm]		[%] increase in beam mass
						Formula (1) [8]	[%] increase in M_{cr}				Formula (1) [8]	[%] increase in M_{cr}	
1.	2.	3.		4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
1.	IPE300	FREE		5.	0	98.83	–	–	7.	0	67.47	–	–
2.		$t_p = 16$ mm			0.312	106.64	8	4.7		0.388	71.75	6	3.4
3.		1.	I – Ø127.0/10		0.966	167.97	70	7.6		0.975	100.12	48	5.5
4.			II – 2L90x10		0.919	156.61	59	7.1		0.941	95.61	42	5.1
5.			III – 2C140		0.966	167.97	70	8.5		0.976	100.26	49	6.0
6.		FIXED			1	178.46	81	–		1	104.20	54	–
7.	HEA300	FREE		5.	0	741.5	–	–	7.	0	471.10	–	–
8.		$t_p = 20$ mm			0.151	781.2	5	5.4		0.199	494.98	5	3.9
9.		1.	I – Ø127.0/10		0.737	1109.2	50	3.4		0.797	672.28	43	2.5
10.			II – 2L90x10		0.532	942.9	27	3.2		0.614	586.62	25	2.3
11.			III – 2C140		0.740	1112.4	50	3.8		0.800	674.18	43	2.7
12.		3.	I – Ø273.0/10		0.969	1513.3	104	7.7		0.978	848.98	80	5.5
13.			II – 2L180x16		0.940	1436.9	94	10.3		0.956	817.71	74	7.4
14.			III – 2C300		0.966	1504.8	103	11.0		0.975	844.47	79	7.8
15.		FIXED			1	1610.1	117	–		1	884.87	88	–
16.		IPE500	FREE		8.	0	242.05	0		–	10.	0	188.15
17.	$t_p = 20$ mm		0.242	254.64		5	3.8	0.285	196.62	5		3.1	
18.	1.		I – Ø127.0/10	0.883		356.69	47	3.7	0.904	260.05		38	3.0
19.			II – 2L90x10	0.754		317.02	31	3.5	0.793	236.54		26	2.8
20.			III – 2C140	0.885		357.50	48	4.1	0.906	260.61		39	3.3
21.	2.		I – Ø177.8/10	0.957		393.20	62	5.3	0.965	280.42		49	4.3
22.			II – 2L120x10	0.888		358.73	48	4.7	0.909	261.46		39	3.8
23.			III – 2C180	0.942		384.54	59	5.7	0.953	275.78		47	4.5
24.	FIXED		1	423.08	75	–	1	296.42	58	–			
25.	HEA500	FREE		8.	0	1005.2	–	–	10.	0	770.3	–	–
26.		$t_p = 25$ mm			0.166	1046.4	4	4.0		0.200	798.8	4	3.2
27.		1.	I – Ø127.0/10		0.618	1253.8	25	2.1		0.669	936.0	22	1.7
28.			II – 2L90x10		0.395	1126.7	12	1.9		0.450	853.1	11	1.5
29.			III – 2C140		0.621	1256.0	25	2.3		0.672	937.5	22	1.8
30.		3.	I – Ø273.0/10		0.948	1720.2	71	4.6		0.958	1212.7	57	3.7
31.			II – 2L180x16		0.900	1605.8	60	6.2		0.918	1148.3	49	5.0
32.			III – 2C300		0.942	1704.3	70	6.6		0.953	1203.8	56	5.3
33.		FIXED			1	1885.3	88	–		1	1300.4	69	–

the fact that it has a larger mass compared with ribs of group 1 (columns 8 and 13).

As regards beams from IPE500 shape (Table 7), the most substantial increase in critical moments (up to +62% for $L = 8$ m, and up to +49% for $L = 10$ m) was achieved for ribs of type I group 2 (rows 21–23). The use of ribs of group 1 (rows 18–20) enhanced the critical resistance of beams up to +48% (for type III, $L = 8$ m) and +39% (for type III, $L = 10$ m). By contrast, end plates $t_p = 20$ mm that gave an increase in the mass of beams comparable with the application of ribs of group 1 (columns 8 and 13), resulted in M_{cr} increase not higher than +5% (row 17).

The analysis of beams made from HEA500 shape (Table 7) shows that the use of ribs of type I and group 3 (rows 30–32) resulted in the greatest increase in critical moments of beams (up to +71% for $L = 8$ m, and up to +57% for $L = 10$ m). Ribs of group 1 (rows 27–29) produced M_{cr} increase of the order of +25% (for type I and III, $L = 8$ m), and of +22% (for type I and III, $L = 10$ m). When using the end plate $t_p = 25$ mm that was almost twice as heavy as the ribs of group 1 (columns 8 and 13), only +4% increase in critical resistance was obtained (row 26).

6. Conclusions

In beams that are prone to LTB, support closed section ribs are used. In the ribs, e.g. acc. group 1, 2 and 3, when selecting the geometry of shapes of individual types (I – Ø, II – 2L, and III – 2C) flange widths were accounted for (IPE300, IPE500, HEA300 and HEA500). That produced an increase from +39% to +104% (Table 7, columns 7 and 12) in the critical resistance, which results from LTB condition. In contrast, when classic end plates (BL) were employed, for the beams discussed in the paper, increase in M_{cr} was small (from +4% to +8%).

The comparison of critical moments in beams with ribs of type I, II and III (Table 7, columns 7 and 12) indicates that ribs of type II made from angles (2L) are the least effective. For the remaining types of stiffeners, i.e. longitudinally cut circular tubes (type I) and channels (type III), the largest M_{cr} increase was observed. Ribs of type I and III gave similar percentage increase in critical moments at comparable increase in the total mass of beams. From the technical and practical standpoint, ribs made of channels offer the most favourable option as they do not need to be cut along the length as is the case with circular tubes.

The highest effectiveness in the restraint of warping (deplanation) of the support section was shown by

z żebrami grupy 1 (kolumny 8 i 13), dała blacha czołowa $t_p = 20$ mm (wiersz 8).

W przypadku belek z kształtownika IPE500 (tabela 7) najbardziej efektywne zwiększenie momentów krytycznych (do +62% dla $L = 8$ m oraz do +49% dla $L = 10$ m) uzyskano dla żeber I typu grupy 2 (wiersze 21–23). Zastosowanie żeber grupy 1 (wiersze 18–20) zwiększyło nośność krytyczną belek do +48% (dla typu III, $L = 8$ m) oraz +39% (dla typu III, $L = 10$ m). Natomiast blachy czołowe $t_p = 20$ mm zwiększające masę belek porównywalnie z zastosowaniem żeber grupy 1 (kolumny 8 i 13), dały wzrost M_{cr} nieprzekraczający +5% (wiersz 17).

Analizując belki wykonane z kształtownika HEA500 (tabela 7), należy stwierdzić, że zastosowanie żeber I typu grupy 3 (wiersze 30–32) dało największy wzrost momentów krytycznych belek (do +71% dla $L = 8$ m oraz do +57% dla $L = 10$ m). Żebra grupy 1 (wiersze 27–29) dały wzrost M_{cr} rzędu +25% (dla typu I i III, $L = 8$ m) oraz +22% (dla typu I i III, $L = 10$ m). Stosując prawie dwukrotnie cięższą blachę czołową $t_p = 25$ mm w stosunku do żeber grupy 1 (kolumny 8 i 13), otrzymano jedynie +4% wzrost nośności krytycznej (wiersz 26).

6. Wnioski

Zastosowanie w belkach wrażliwych na zwichrzenie żeber podporowych o przekroju zamkniętym, np. według grup 1, 2 i 3, w których geometrię kształtowników poszczególnych typów (I – Ø, II – 2L i III – 2C) dobrano z uwzględnieniem szerokości pól (IPE300, IPE500, HEA300 i HEA500), dało wzrost nośności krytycznej z warunku zwichrzenia od +39% do +104% (tabela 7, kolumny 7 i 12). Natomiast wzrost M_{cr} rozpatrywanych w pracy belek z zastosowaniem klasycznych blach czołowych (BL) był nieznaczny (od +4% do +8%).

Z porównania momentów krytycznych belek z zebrowaniem I, II i III typu (tabela 7, kolumny 7 i 12) wynika, że najmniej korzystnie wypadają żebra II typu wykonane z kątowników (2L). Natomiast dla pozostałych typów usztywnień, tzn. podłużnie rozciętych rur (typ I) oraz ceowników (typ III), otrzymano największe wzrosty M_{cr} . Żebra typu I i III dały zbliżony procentowy wzrost momentów krytycznych przy porównywalnym zwiększeniu całkowitej masy belek. Z technologicznego i praktycznego punktu widzenia raczej najlepiej wypadają tu żebra z ceowników, których nie trzeba rozcinać na długości jak w przypadku rur.

Największą efektywność w ograniczeniu spaczania (deplanacji) przekroju podporowego, wynikającą

HEA300 and HEA500 shapes (Table 7, columns 7 and 12). That results from the widths of flanges and group (“diameter”) of closed section ribs. For instance, for beam HEA300, with the span of $L = 5$ m, stiffened with ribs of group 3 (e.g. of type I and III), increase in M_{cr} was greater than +100% when compared with fork support (FREE, $\kappa = 0$). Additionally, in the case of HEA300 and HEA500 beams, larger “diameters” of closed section ribs of group 3 produced virtually a double M_{cr} increase compared with ribs of group 1 (Table 7, columns 7 and 12) while the overall increase in beam mass did not exceed 10% (Table 7, columns 8 and 13) for a vast majority of cases.

The comparison of beams (Table 7, columns 7 and 12) belonging to the same category of shapes, i.e. IPE300 compared with IPE500, and HEA300 with HEA500, shows that the highest percentage increase in critical moments was found for lower (IPE300 and HEA300) and shorter ($L = 5$ m and 7 m) beams. Increase in M_{cr} is directly affected by: a) geometry of the shape (e.g. IPE, HEA), b) type of ribs (e.g. Ø, 2L, 2C), and also c) beam span.

In those cases, in which it is necessary to significantly restrain the deplanation of the beam support sections (e.g. when the structure is being stiffened), the use of classic ribs (or end plates) is ineffective and uneconomical when compared with closed section ribs, e.g. those of group 1. Classic ribs, having similar or even greater mass than closed section ribs with small “diameters”, produce only a small increase in beam critical resistance (Table 7). Clearly, that does not refer to end plate connections, e.g. beams to columns connections in the frame structure, in which only end plates are found. In this case, end plate connections, which are easy to use in erection, make up for much lower increase in beam critical resistance when compared with closed section ribs.

The use of support closed section ribs in beams prone to LTB considerably confines section warping. In this way, M_{cr} is significantly increased, and hence is design resistance. In the design of beams with such additional stiffeners, when the geometry of the support closed section rib is selected in an adequate way, it is possible to eliminate, almost completely, section deplanation at the site of support (see Table 7, rows 12 and 14).

Additionally, it should be noted that increase in the beam mass concerns almost entirely support sections, which does not lead to the occurrence of any additional span bending moments.

z szerokości półki oraz grupy („średnicy”) zastosowanych żebier zamkniętych, uzyskano dla kształtowników HEA300 oraz HEA500 (tabela 7, kolumny 7 i 12). Na przykład dla belki HEA300, rozpiętości $L = 5$ m, usztywnionej żebraми grupy 3 (np. typu I lub III), otrzymano wzrost M_{cr} przekraczający +100%, w porównaniu z podparciem „widełkowym” (FREE, $\kappa = 0$). Ponadto, w przypadku belek HEA300 i HEA500, większe „średnice” żebier zamkniętych grupy 3 dały praktycznie dwukrotne zwiększenie M_{cr} w porównaniu z żebraми grupy 1 (tabela 7, kolumny 7 i 12), przy czym sumaryczny wzrost masy belki, w znakomitej większości przypadków, nie przekroczył 10% (Tabela 7, kolumny 8 i 13).

Z porównania belek (tabela 7, kolumny 7 i 12), przeprowadzonego w obrębie danej rodziny kształtowników, tzn. IPE300 z IPE500 oraz HEA300 z HEA500, można stwierdzić, że większe procentowe wzrosty momentów krytycznych otrzymano dla belek niższych (IPE300 i HEA300) oraz krótszych ($L = 5$ m i 7 m). Na wzrost M_{cr} wpływa bezpośrednio: a) geometria kształtownika (np. IPE, HEA), b) typ żebrowania (np. Ø, 2L, 2C) oraz c) rozpiętość belki.

W przypadku konieczności znacznego ograniczenia deplanacji przekrojów podporowych belki (np. podczas wzmocniania konstrukcji) stosowanie żebier klasycznych (lub blach czołowych) w porównaniu z żebraми zamkniętymi, np. grupy 1, jest nieekonomiczne i nieefektywne. Żebra takie przy zbliżonej bądź nawet większej masie w stosunku do żebier zamkniętych o niewielkich „średnicach” dają znikomy wzrost nośności krytycznej belki (tabela 7). Oczywiście nie dotyczy to przypadków połączeń doczołowych, np. belek ze słupami w konstrukcji ramowej, w której występują jedynie blachy czołowe. W tym wypadku uzyskiwana łatwość montażu połączenia doczołowego kompensuje znacznie mniejsze zwiększenie nośności krytycznej belki w stosunku do żebier zamkniętych.

Stosowanie w belkach narażonych na zwichrzenie żebier podporowych o przekroju zamkniętym powoduje znaczne ograniczenie spaczenia przekroju, zwiększając w istotny sposób M_{cr} i ostatecznie nośność obliczeniową. Projektując belki z takim dodatkowym usztywnieniem, przy odpowiednim doborze geometrii zamkniętych żebier podporowych, możliwe jest niemal całkowite wyeliminowanie deplanacji przekroju w miejscu podparcia (por. tabelę 7, wiersze 12 i 14).

Ponadto należy tutaj zwrócić uwagę na fakt, że zwiększenie masy belki dotyczy wyłącznie przekrojów podporowych, co nie powoduje powstania dodatkowych przęsłowych momentów zginających.

For the beams examined in the study, the use of end plates or classic flexible ribs [9] produced an increase in M_{cr} that did not exceed +8%.

Natomiast w przypadku zastosowania blach czołowych lub klasycznych żeber podatnych [9] uzyskany, dla analizowanych w pracy belek wzrost M_{cr} nie przekroczył +8%.

References

- [1] Bijak R., Kowal Z., Malec M., *On critical resistance of thin-walled beams stiffened with ribs* (in Polish), XXXVIII KN KILiW PAN and KN PZITB, Łódź–Krynica 1992, pp. 13–18.
- [2] Giżejowski M., *Lateral torsional buckling of steel beams with restrained ability of rotation at the supports* (in Polish), „Inżynieria i Budownictwo” 2001, Vol. 10, pp. 589–594.
- [3] Gosowski B., *Spatial stability of longitudinally and transversely braced solid elements of metal structures* (in Polish), Wrocław 1992.
- [4] Gosowski B., *Non-uniform torsion of stiffened open thin-walled members of steel structures*, “Journal of Constructional Steel Research” 2007, Vol. 63, pp. 849–865.
- [5] Kowal Z., Malec M., *Critical resistance of beams with support closed section ribs* (in Polish), „Inżynieria i Budownictwo” 1989, Vol. 2, pp. 71–74.
- [6] Pałkowski S., *Lateral torsional buckling of I-beams strengthened with end-plates* (in Polish), „Inżynieria i Budownictwo” 1997, Vol. 8, pp. 394–395.
- [7] Pi Y.-L., Trahair N.S., *Distortion and warping at beam supports*, “Journal of Structural Engineering” 2000, Vol. 11, pp. 1279–1287.
- [8] Piotrowski R., Szychowski A., *Lateral-torsional buckling of beams elastically restrained against warping at supports*, “Archives of Civil Engineering” 2015, Vol. LXI (4), pp. 155–174.
- [9] PN-EN 1993-1-5:2008. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1–5: Plated structural elements, 2008.

Acknowledgments:

This work was supported by Kielce University of Technology, Grant No. 02.0.04.00/2.01.01.02.0044 MNSC. BKMK.17.004

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, grant nr 02.0.04.00/2.01.01.02.0044 MNSC. BKMK.17.004

THE EVALUATION OF THE EFFECT OF CHALCEDONY DUST ON THE REACTION OF ALKALIS WITH REACTIVE AGGREGATE IN CEMENT MORTARS

OCENA WPŁYWU MĄCZKI CHALCEDONITOWEJ NA PRZEBIEG REAKCJI ALKALIÓW Z KRUSZYWEM REAKTYWNYM W ZAPRAWACH CEMENTOWYCH

DOI: 10.30540/sae-2018-002

Abstract

Chalcedony dust can be used as a mineral additive in cements and concretes. This material can act as a pozzolan and prevent the expansion caused by the alkali-silica reaction. The paper presents the examination of cement mortars with reactive opal aggregate and various quantities of chalcedony dust conducted using a long-term method as set out in the ASTM C227. A petrographic analysis as well as tests of potential reactivity of opal aggregate were carried out by chemical method as specified in the ASTM C289. The microstructure of cement mortars with chalcedony dust and opal was also examined. The tests showed a positive effect of the chalcedony dust additive on the reduction of the expansion caused by the alkali-silica reaction compared to the mortars without the additive. The addition of 20% of chalcedony dust to cement mortars lowers the expansion to a safe level that does not exceed 0.1% after 360 days (as set out in the ASTM C227).

Keywords: alkali-silica reaction, chalcedony dust, mineral additive, reactive aggregate, cement composites

Streszczenie

Mączka chalcedonitowa może być wykorzystywana jako dodatek mineralny do cementów oraz betonów. Surowiec ten może działać jak pucolana i zapobiegać ekspansji wywołanej reakcją alkalia-krzemionka. W referacie przedstawiono badania zapraw cementowych z reaktywnym kruszywem opalowym oraz różną ilością dodatku mączki chalcedonitowej metodą długoterminową wg ASTM C227. Wykonano analizę petrograficzną oraz badania potencjalnej reaktywności kruszywa opalowego metodą chemiczną zawartą w normie ASTM C289. Przeprowadzono również badania mikrostruktury zapraw cementowych z mączką chalcedonitową i opalem. Badania wykazały pozytywny wpływ dodatku mączki chalcedonitowej na ograniczenie ekspansji wywołanej reakcją alkalia-krzemionka w stosunku do zapraw bez tego dodatku. Dodatek mączki chalcedonitowej do zapraw cementowych w ilości 20% obniża ekspansję do bezpiecznego poziomu, nieprzekraczającego po 360 dniach 0,1% (według normy ASTM C227).

Słowa kluczowe: reakcja alkalia-krzemionka, mączka chalcedonitowa, dodatek mineralny, kruszywo reaktywne, skład cementu

1. Introduction

The current development of technology of construction materials does not aim only at improving the properties of the materials but also at the maintenance of the existing structures. The degradation of construction materials can be caused by both the aggressive environmental impact and the

1. Wprowadzenie

Rozwój technologii materiałów budowlanych polega nie tylko na ulepszaniu ich właściwości, ale także na dbałości o już istniejące konstrukcje. Niszczenie materiałów budowlanych może być spowodowane zarówno agresywnym działaniem środowiska, jak i korozją wewnętrzną materiału. Jednym z groźniejszych

internal corrosion of the material. The alkali-silica reaction (ASR) is one of the detrimental effects. Since the reaction proceeds very slowly, and its effects and consequences can only be seen after many years, this phenomenon is commonly known as “the cancer of concrete”. The alkali-aggregate interaction results in the deterioration of the strength of concrete, the visible signs of which are leaks, cracks and chips. A sodium-potassium silicate gel or a sodium-potassium-calcium silicate gel is the product of the reaction. It appears in the aggregate cleavage planes, in its pores and also on the surface of the grains. The swelling of the products of the reaction due to the absorption of moisture is the essence of the alkali-aggregate interaction [1, 2]. The application of mineral additives, industrial waste of varied composition as well as chemical admixtures [3] permits limiting such adverse effects. Chalcedony dust, a waste product of construction aggregates manufacture, can be used as a mineral additive in cements or concretes. This additive can act as a pozzolan and prevent the expansion caused by the alkali-silica reaction.

2. Materials and testing methods

2.1. Cement

Portland cement CEM I 42.5R with an alkali content of 0.74% $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ was used in the tests. The chemical composition of the cement is shown in Table 1. The alkali content in all the samples was kept constant at 0.74% owing to the addition of K_2SO_4 .

Table 1. Chemical composition of CEM I

Tabela 1. Skład chemiczny CEMI

CEM I	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O_c	Na_2O_c	eq Na_2O	Cl
Contents [%]	17.52	5.23	2.81	60.00	1.44	3.20	0.84	0.19	0.734	0.069

2.2. Chalcedony dust

Chalcedony dust with particle size of $<50 \mu\text{m}$ was used in the tests. The particle size of the mineral additive was determined by laser diffraction. The particle size distribution of chalcedony dust is illustrated in Figure 1.

The gradation test of chalcedony dust showed that particles with a diameter of less than $30 \mu\text{m}$ accounted for 90% of the additive, whereas particles with a diameter of less than $22 \mu\text{m}$ accounted for 50%.

The phase composition of chalcedony dust was determined by XRD method, and its diffraction pattern is presented in Figure 2.

oddziaływań jest reakcja alkalia-krzemionka, zachodzi ona bardzo powoli, a jej skutki i następstwa bywają widoczne dopiero po wielu latach, dlatego też w języku potocznym zjawisko to było określane jako „rak betonu”. Oddziaływanie alkalia-kruszywo wpływa na pogorszenie wytrzymałości betonu poprzez pojawienie się wycieków, rys i odprysków. Produktem tej reakcji jest żel krzemianu sodowo-potasowego lub żel krzemianu sodowo-potasowo-wapniowego. Pojawia się on w płaszczyznach łupliwości kruszywa, w jego porach, a także na powierzchni ziaren. Istotą oddziaływania alkaliów z kruszywem jest pęcznienie produktów tej reakcji na skutek pochłaniania wilgoci [1, 2]. Stosowanie dodatków mineralnych, odpadów przemysłowych o zróżnicowanym składzie oraz domieszek chemicznych [3] pozwala na ograniczenie tego rodzaju niekorzystnych oddziaływań. Mączka chalcedonitowa, powstająca jako odpad przy produkcji kruszywa budowlanego, może być wykorzystana jako dodatek mineralny do cementów czy betonów, może on działać jak pucolana i zapobiegać ekspansji wywołanej reakcją alkalia-krzemionka.

2. Materiały i metodyka badań

2.1. Cement

Do badań zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5R o zawartości alkaliów równej 0,74% $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$. Skład chemiczny cementu przedstawiono w tabeli 1. Zawartość alkaliów we wszystkich próbkach była utrzymywana na stałym poziomie wynoszącym 0,74% poprzez dodatek K_2SO_4 .

2.2. Mączka chalcedonitowa

Do badań zastosowano mączkę chalcedonitową o uziarnieniu $<50 \mu\text{m}$. Uziarnienie dodatku mineralnego określono metodą dyfrakcji laserowej. Skład ziarnowy mączki chalcedonitowej przedstawiono na rysunku 1.

Badanie składu granulometrycznego mączki chalcedonitowej wykazało, że 90% tego dodatku stanowi ziarna o średnicy mniejszej niż $30 \mu\text{m}$, natomiast 50% to ziarna o średnicy poniżej $22 \mu\text{m}$.

Skład fazowy mączki chalcedonitowej określono metodą rentgenograficzną XRD, a dyfraktogram zamieszczono na rysunku 2.

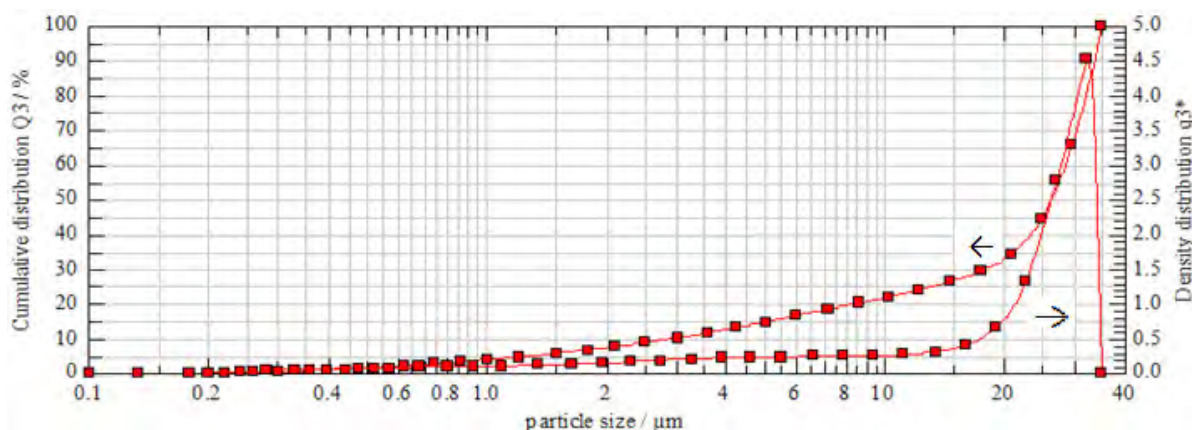


Fig. 1. Particle size distribution of chalcedony dust used in the tests

Rys. 1. Skład granulometryczny mączki chalcedonitowej wykorzystanej do badań

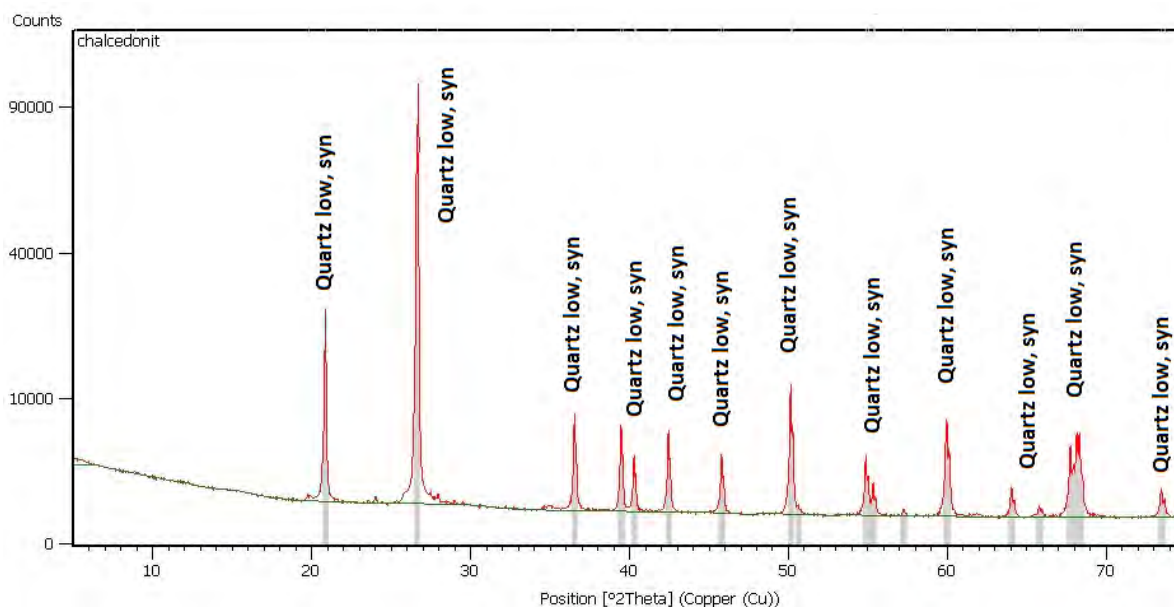


Fig. 2. Diffraction pattern of chalcedony dust

Rys. 2. Dyfraktogram mączki chalcedonitowej

Quartz is the main mineral in the phase composition of the dust. The raised background at low angles indicates the presence of amorphous phase. The observations of the microstructure of chalcedonite under the scanning microscope showed regular particles with a compact structure. The EDS analysis performed on the surface of chalcedony dust revealed the silicon mainly as well as oxygen [4].

2.3. Aggregate

In order to prepare cement mortars, standard quartz sand was used as an aggregate. However, 6% of 0.5-1.0 fractions of the sand mass was replaced with opal. Figure 3 shows the diffraction pattern of opal aggregate.

W składzie fazowym mączki występuje głównie kwarc. Podniesienie tła w zakresie niskich kątów świadczy o obecności fazy amorficznej. Obserwacje mikrostruktury chalcedonitu pod mikroskopem skaningowym wykazały występowanie regularnych ziaren o zwartej strukturze. Mikroanaliza rentgenowska EDS na powierzchni mączki chalcedonitowej uwiłdoczyła obecność głównie krzemu oraz tlenu [4].

2.3. Kruszywo

Do wykonania zapraw cementowych jako kruszywo zastosowano normowy piasek kwarcowy, w którym 6% frakcji 0,5-1,0 zastąpiono opalem. Na rysunku 3 przedstawiono dyfraktogram kruszywa opalowego.

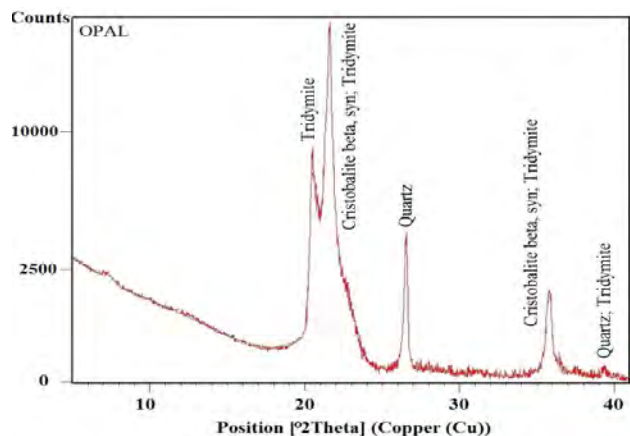


Fig. 3. Diffraction pattern of opal aggregate
Rys. 3. Dyfraktoqram kruszywa opalowego

Tridymite, cristobalite and quartz are found in the phase composition of the opal aggregate. The raised background at low angles and wide peaks indicate the presence of amorphous silica. The petrographic analysis of the opal grains revealed that cristobalite-tridymite opal (CT opal) was the main component. Fibrous-structured crystalline chalcedony and fine crystalline quartz are the remaining constituents of the rock. There are also small amounts of non-siliceous minerals such as goethite and talc [5, 6]. The examination of the potential reactivity of opal aggregate by chemical method as set out in the ASTM C289 [7] showed that opal was a reactive aggregate and thus could be used as an expansive component of aggregates [8].

2.4. Testing methods

A long-term method as set out in the ASTM C227 [9, 10] was used to evaluate the effect of chalcedony dust on the reaction of alkalis with the reactive aggregate in cement mortars. The method consists in measuring linear changes in the cement mortar bars of 25 x 25 x 250 mm. Five series of specimens, in which different amounts of cement (10-25%) were replaced with chalcedony dust, were prepared for the tests. The symbols and contents of the cement mortar specimens are given in Table 2.

W składzie fazowym kruszywa opalowego występuje trydymit, cristobalit oraz kwarc. Podniesienie tła w zakresie niskich kątów oraz duże szerokości pików świadczą o występowaniu krzemionki amorficznej. Analiza petrograficzna ziaren opalu wykazała, że głównym składnikiem jest opal cristobalitowo-trydymitowy (opal CT). Pozostałymi składnikami skały są: krystaliczny chalcedon właściwy o włóknistej strukturze oraz drobnokrystaliczny kwarc. W skale występują również niewielkie ilości minerałów niekrzemionkowych, takich jak goetyt oraz talk [5, 6]. Badania potencjalnej reaktywności kruszywa opalowego metodą chemiczną według normy ASTM C289 [7] wykazały, że opal jest kruszywem reaktywnym i może być zastosowany jako składnik ekspansywny kruszywa [8].

2.4. Metody badawcze

Do oceny wpływu mączki chalcedonitowej na przebieg reakcji alkaliów z kruszywem reaktywnym w zaprawach cementowych zastosowano metodę długoterminową według normy ASTM C227 [9, 10]. Metoda polega na pomiarze zmian liniowych beleczek zaprawy cementowej o wymiarach 25 x 25 x 250 mm. Do badań przygotowano 5 serii próbek, w których różne ilości cementu (10-25%) zastąpiono dodatkiem mączki chalcedonitowej. Oznaczenie i skład próbek zapraw cementowych zamieszczono w tabeli 2.

Table 2. Symbols and content of specimens prepared for the tests as set out in the ASTM C227

Tabela 2. Oznaczenie i skład próbek przygotowanych do badań według normy ASTM C227

Specimen symbol	w/c ratio	Cement content [%]	Chalcedony dust content [%]	Na ₂ O _{eq} content [%]
OP	0.45	100	0	0.74
OP + 10% MC	0.45	90	10	0.74
OP + 15% MC	0.45	85	15	0.74
OP + 20% MC	0.45	80	20	0.74
OP + 25% MC	0.45	75	25	0.74

The cement mortar specimens were stored at 38°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) 24 hours after moulding. The measurements of the bar length were taken on the specimens cooled to 23°C after 14 days and then after 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12 months.

3. Test results

3.1. Expansion of cement mortars

The results of the measurements of expansion of the cement mortars with opal and the cement mortars with opal and chalcedony dust tested as set out in the ASTM C227 are illustrated in Figure 4. The graph presents the dependence of expansion versus the exposure time for the cement mortars curing at 38°C ($\pm 2^\circ\text{C}$). In Figure 4, the red line represents the limit values of the expansion, indicating the presence of corrosion.

Próbki zapraw cementowych po 24 godzinach od zaformowania przechowywano w temperaturze 38°C ($\pm 2^\circ\text{C}$). Pomiaru długości beleczek dokonywano na ostudzonych do temperatury 23°C próbkach po 14 dniach i następnie po 1, 2, 3, 4, 6, 9, 12 miesiącach.

3. Wyniki badań

3.1. Ekspansja zapraw cementowych

Wyniki pomiarów ekspansji badanych zapraw cementowych z opalem oraz zapraw cementowych z opalem i mączką chalcedonitową według normy ASTM C227 przedstawiono graficznie na rysunku 4. Wykres prezentuje zależność ekspansji w funkcji czasu ekspozycji dla zapraw cementowych dojrzewających w temperaturze 38°C ($\pm 2^\circ\text{C}$). Czerwoną linią ciągłą zaznaczono graniczne wartości ekspansji, wskazujące na występowanie procesów korozyjnych.

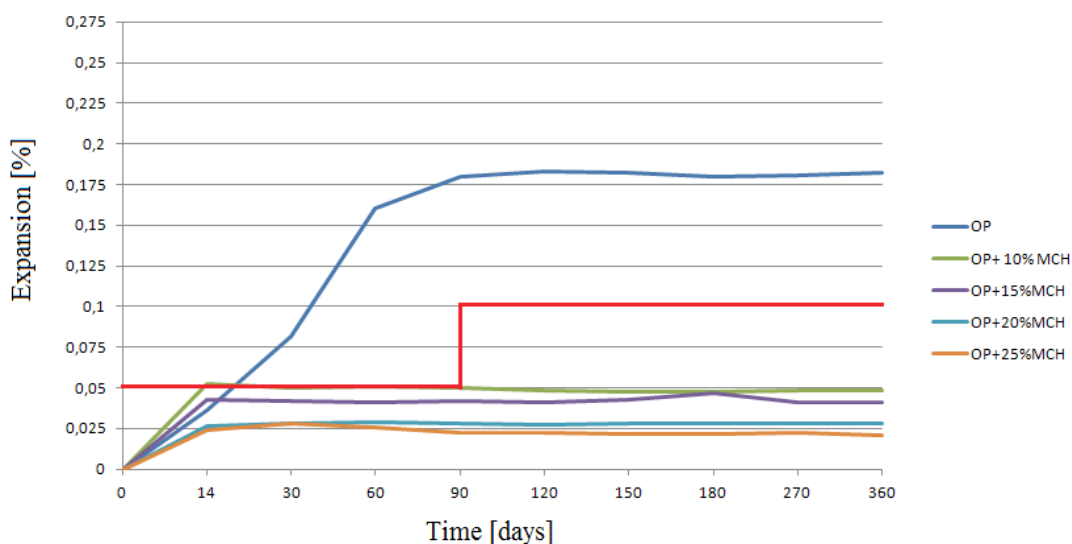


Fig. 4. Results of expansion of cement mortars as set out in the ASTM C227

Rys. 4. Wyniki ekspansji zapraw cementowych według normy ASTM C227

The results of the tests show that chalcedony dust used as a mineral additive in cement influences the reduction of the expansion caused by the alkaline reaction. The specimens of the cement mortars with opal and without the mineral additive reached a high expansion rate of over 0.05% after 3 months and 0.1% after 6 months. The rate of expansion in the specimens with the addition of chalcedony dust was significantly lower. A favourable rate of expansion was observed in the specimens with a chalcedony dust content of 25% and 20%. In these specimens, the rate of expansion kept increasing to 0.025% till the 14th day, and then levelled off to remain stable. The specimens with a mineral additive content of 10% and 15% did not reach high expansions rates

Zaprezentowane wyniki badań świadczą o tym, że mączka chalcedonitowa zastosowana jako dodatek mineralny do cementu wpływa na zmniejszenie ekspansji wywołanej reakcją alkaliczną. Próbkki zapraw cementowych z opalem i bez dodatku mineralnego osiągnęły wysoki poziom ekspansji przekraczający wartość 0,05% po 3 miesiącach oraz 0,1% po 6 miesiącach. Poziom ekspansji w próbkach z dodatkiem mączki chalcedonitowej był znacznie niższy. Korzystny poziom ekspansji zaobserwowano w próbkach z 25% oraz 20% dodatkiem mączki chalcedonitowej. W tych próbkach wartość ekspansji wzrastała do 14 dnia do poziomu 0,025%, a następnie została utrzymana na stałym poziomie. Próbkki z dodatkiem mineralnym w ilości 10% i 15% również nie osiągnęły wy-

either, despite the fact that in the specimen with an additive content of 10% the expansion rate exceeded 0.05% after 3 months. The annex to the ASTM C227 specifies that exceeding this expansion rate causes corrosive processes; however, the aggregate can be deemed harmless if the expansion of the specimens does not exceed 0.01% within 6 months.

3.2. Analysis of the microstructure of the cement mortars

After 12 months, the microstructure of the cement mortars curing at 38°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) was examined. The figures 5 and 6 show the SEM images along with the EDS analysis of the OP specimens as well as the OP + 20% MCH specimens.

sokich wartości ekspansji, mimo że w próbce z 10% dodatkiem wartość ekspansji przekroczyła 0,05% po 3 miesiącach. Załącznik do normy ASTM C227 wskazuje, że przekroczenie tej wielkości ekspansji powoduje procesy korozyjne, lecz jeśli w przeciągu 6 miesięcy ekspansja próbek nie przekroczy poziomu 0,01%, to kruszywo można uznać za nieszkodliwe.

3.2. Analiza mikrostruktury zapraw cementowych

Po upływie 12 miesięcy wykonano badanie mikrostruktury zapraw cementowych dojrzewających w temperaturze 38°C ($\pm 2^\circ\text{C}$). Na rysunkach 5-6 przedstawiono zdjęcia SEM wraz z analizą EDS próbek OP oraz OP + 20% MCH.

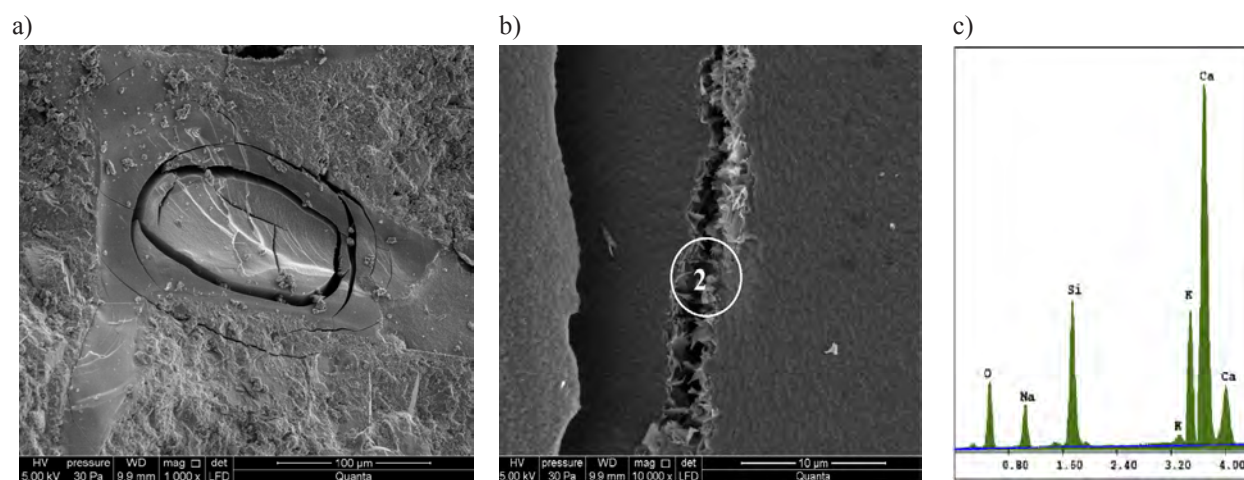


Fig. 5 a) Cracked aggregate grain in the mortar with opal (OP), b) sodium-potassium-calcium silicate gel in the cracked aggregate in the specimen with opal (OP), c) microanalysis in region 2

Rys. 5 a) Spękane ziarno kruszywa w zaprawie z opalem (OP), b) żel krzemianu sodowo-potasowo-wapniowego w spękanym kruszywie w próbce z opalem (OP), c) mikroanaliza w obszarze 2

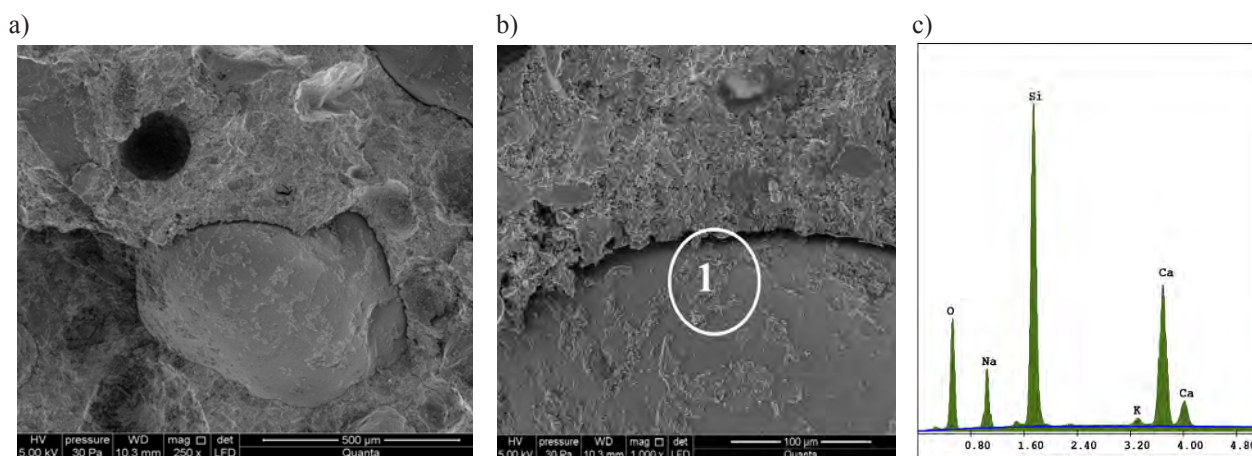


Fig. 6 a) Aggregate grain in the cement mortar with chalcedony dust content of 20% (OP + 20% MC), b) Products of the alkali-silica reaction on the surface of an aggregate grain in the specimen with chalcedony dust content of 20% (OP + 20% MC), c) EDS analysis in the microregion 1

Rys. 6 a) Ziarno kruszywa w zaprawie cementowej z 20% dodatkiem mączki chalcedonitowej (OP + 20% MC), b) produkty reakcji alkalia-krzemionka na powierzchni ziarna kruszywa w próbce z 20% dodatkiem mączki chalcedonitowej (OP + 20% MC), c) analiza EDS w mikroobszarze 1

Multiple aggregate grain cracks, characteristic of the alkaline reaction, were observed in the specimens of cement mortar with opal without the mineral additive (OP), with a high expansion rate. The EDS analysis in the region of the opal grain confirmed the presence of a sodium-potassium-calcium silicate gel (Fig. 5). This is evidenced by the considerable amounts of calcium, potassium and sodium present both on the surface of the grains and in the micro-cracked regions. In contrast, only a few cracks of the microstructure were observed in the specimens with chalcedony dust content of 20%, and the reaction products on the surface of the particles in these specimens had a reduced sodium and potassium content as against the specimens without chalcedony dust.

4. Discussion

The addition of chalcedony dust to cement mortars permits limiting the expansion caused by the alkali-silica reaction. The magnitude of the expansion of the mortars with reactive opal aggregate and the chalcedony dust additive depends on the amount of the additive used. The application of 20-25% of chalcedony dust in the cement permits keeping the expansion at a stable and safe level without inducing corrosion. This amount of the mineral additive in cement mortars does not impair the strength properties of cement composites [11]. The positive effect of the chalcedony dust additive on the expansion of cement mortars caused by the alkali-silica reaction occurs due to the pozzolanic properties of this additive. The silica in the pozzolanic reaction reacts with the calcium hydroxide that is released by the hydration of cement and increases the amount of C-S-H hydrated calcium silicate with a reduced C:S ratio [12]. The newly created C-H-S phase is characterised by a lower C:S ratio than the C-H-S phase created as a result of the hydration of cement as well as by the ability to incorporate sodium and potassium ions from the pore solution. The addition of chalcedony dust can contribute to a uniform distribution of Na^+ and K^+ ions in concrete so that they do not concentrate around the aggregate grains [13, 14]. The examination of the microstructure as well as the EDS analysis of the cement mortars with and without the chalcedony dust additive confirm the thesis that the reduction of alkaline expansion can be caused by the pozzolanic reaction. The EDS analysis of the specimen with opal (OP) showed the sodium-potassium-calcium gel on the surface of the opal grains as a product of the alkali-silica

W próbkach zapraw cementowych z opalem bez dodatku mineralnego (OP), których poziom ekspansji był wysoki, zaobserwowano liczne charakterystyczne dla reakcji alkalicznej spękania ziarna kruszywa. Analiza EDS w obszarze ziarna opalu potwierdziła występowanie żelu krzemianu sodowo-wapniowo-potasowego (rys. 5). Świadczą o tym znaczne ilości wapnia, potasu oraz sodu występujące na powierzchni ziarna oraz w obszarach mikrospeków. Natomiast w próbkach z dodatkiem mączki chalcedonitowej w ilości 20% zaobserwowano tylko nieliczne spękania mikrostruktury. Natomiast produkty reakcji powstałe na powierzchni ziarna w tych próbkach charakteryzowały się zmniejszoną zawartością sodu i potasu w porównaniu z próbkami bez dodatku mączki chalcedonitowej.

4. Dyskusja

Dodatek mączki chalcedonitowej do zapraw cementowych pozwala na ograniczenie ekspansji wywołanej reakcją alkalia-krzemionka. Wielkość ekspansji zapraw z reaktywnym kruszywem opalowym i dodatkiem mączki chalcedonitowej zależy od ilości wprowadzonego dodatku. Zastosowanie mączki chalcedonitowej w ilości 20-25% masy cementu pozwala na utrzymanie ekspansji na stałym bezpiecznym poziomie niepowodującym procesów korozyjnych. Taka ilość dodatku mineralnego w zaprawach cementowych nie powoduje pogorszenia właściwości wytrzymałościowych kompozytów cementowych [11]. Korzystny wpływ dodatku mączki chalcedonitowej na ekspansję zapraw cementowych, wywołaną reakcją alkalia-krzemionka, spowodowany jest właściwościami pucolanowymi tego dodatku. Krzemionka w reakcji pucolanowej wchodzi w reakcję z wodorotlenkiem wapniowym, który jest uwalniany w procesie hydratacji cementu, i zwiększa ilość uwodnionych krzemionów wapniowych typu C-S-H o obniżonym stosunku C:S [12]. Nowo utworzona faza C-S-H charakteryzuje się niższym stosunkiem C:S niż faza C-S-H, powstająca w wyniku hydratacji cementu, oraz zdolnością włączania jonów sodu i potasu z roztworu porowego. Zastosowany dodatek mączki chalcedonitowej może przyczynić się do równomiernego rozprowadzenia jonów Na^+ i K^+ w betonie, stąd nie koncentrują się wokół ziaren kruszywa [13, 14]. Badania mikrostruktury oraz analiza EDS zapraw cementowych bez dodatku oraz z dodatkiem mączki chalcedonitowej potwierdzają tezę, iż ograniczenie ekspansji alkalicznej może być spowodowane przez reakcję pucolanową. Analiza EDS próbki z opalem (OP) wykazała obecność na powierzchni ziarna opalu żelu sodowo-potasowo-

reaction, whereas in the OP + 20% MCH specimens, a significant reduction in the amount of alkalis, most likely incorporated into the C-S-H phase, newly formed in the pozzolanic reaction, was observed.

5. Conclusions

The following conclusions can be drawn based on the analysis of the test results:

1. The tests conducted as set out in the ASTM C227 showed that the addition of 20% of chalcedony dust permits both limiting the expansion caused by the alkali-silica reaction and keeping it at a stable and safe level without inducing corrosion.
2. The expansion rate in the cement mortars with chalcedony dust contents of 10% and 15% exceeded 0.05% after 3 months. However, in accordance with the standard, this rate of expansion does not result in any corrosive processes in the cement-based composites.
3. The results of the examination of the microstructure are consistent with the results of the tests conducted as set out in the ASTM C227. A cracked sodium-calcium-potassium silicate gel with a high alkali content was observed in the mortars with opal and without chalcedony dust (OP) exhibiting significant expansion. In contrast, no microstructural cracks characteristic of the alkali-silica reaction were observed in the specimens with the mineral additive content of 20%.

References

- [1] Owsiak Z., *Reakcje kruszyw krzemionkowych z alkaliami w betonie*, Polski Biuletyn Ceramiczny No. 72, Wydawnictwo Naukowe Akapit, Kraków 2002.
- [2] Kurdowski W., *Chemia cementu i betonu*, SPC, Kraków 2010.
- [3] Owsiak Z., Zapala-Slaweta J., *The course of the alkali-aggregate reaction in the presence of lithium nitrate*, Ceramics-Silikaty, Vol. 57, no. 2, 2013, pp. 138-145.
- [4] Owsiak Z., Mazur A., *Effect of chalcedony dust on ASR in mortars of reactive aggregate*, Procedia Engineering 108, 2015, pp. 475-480.
- [5] Manecki A., Muszyński M. (red.), *Przewodnik po petrografii*, Uczelniane Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2008.
- [6] Graetsh H., Gies H., Topalovi I., *NMR, XRD and IR study on microcrystalline opals*, Physics and Chemistry of Minerals, 1994, 21, pp. 166-175.
- [7] ASTM C289-94 Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method), Annual Book of ASTM Standards.
- [8] Owsiak Z., Zapala-Slaweta J., *The alkaline reactivity of opal in mortars modified with lithium nitrate*, Procedia Engineering 65, 2013, pp. 57-62.
- [9] ASTM C227-10 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method), Annual Book of ASTM Standards.
- [10] Zapala-Slaweta J., Owsiak Z., *The role of lithium compounds in mitigating alkali-gravel aggregate reaction*, Construction and Building Materials 115, 2016, pp. 299-303.

-wapniowego jako produktu reakcji alkalia-krzemionka. Natomiast w próbkach OP + 20% MCH zaobserwowano znaczne zmniejszenie ilości alkaliów, które najprawdopodobniej zostały wbudowane w nowo powstałą w reakcji pucolanowej fazę C-S-H.

5. Wnioski

Wykonane badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

1. Badania wykonane według normy ASTM C227 wykazały, że dodatek mączki chalcedonitowej w ilości 20% w stosunku do masy cementu pozwala na ograniczenie ekspansji wywołanej reakcją alkalia-krzemionka i utrzymanie jej na stałym bezpiecznym poziomie niepowodującym procesów korozyjnych.
2. Wartość ekspansji w zaprawach cementowych z dodatkiem mączki chalcedonitowej w ilości 10% i 15% przekroczyła 0,05% po 3 miesiącach, jednak zgodnie z normą taki poziom wartości ekspansji nie prowadzi do procesów korozyjnych w kompozytach cementowych.
3. Badania mikrostruktury pokrywają się z badaniami ekspansji według normy ASTM C227. W zaprawach z opalem i bez dodatku mączki chalcedonitowej (OP), wykazujących znaczną ekspansję, zaobserwowano występowanie spękanego żelu krzemianu sodowo-wapniowo-potasowego o wysokiej zawartości alkaliów. Natomiast w próbkach z 20% dodatkiem mineralnym nie zaobserwowano charakterystycznych dla reakcji alkalia-krzemionka spękań mikrostruktury.

- [11] Owsiak Z., Mazur A., *Analysing the pozzolanic reactivity of chalcedony dust in cement paste*, Konferencja WMCAUS, Praga 12.06-16.06.2017, konferencja indeksowana w Web of Science.
- [12] Glasser F.P., Marr J., *The effect of mineral additives on the composition of cement pore fluids*, Proceedings of the British Ceramic Society, 1984, 35, pp. 419-428.
- [13] Owsiak Z., *Microstructure of alkali-silica reaction products in conventional standard and accelerated testing*, Ceramics-Silikaty, 47 (3) 2003, pp. 108-115.
- [14] Foroughi M., Tabatabaei R., Shamsadeini M., *Effect of Natural Pozzolans on the Alkali-Silica Reaction of Aggregates in Real Concrete Specimens*, Journal on Basic and Applied Scientific Research, May 2012, pp. 5248-5254.

Acknowledgments:

*This work was supported by Kielce University of Technology,
Grant No. 02.05.00/2.01.01.01.0012 MNSP.BKTO.14.003*

Podziękowania:

*Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską,
grant nr 02.05.00/2.01.01.01.0012 MNSP.BKTO.14.003*

NUMERICAL MODELING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS, INCLUDING THE REAL POSITION OF REINFORCING BARS

MODELOWANIE NUMERYCZNE BELEK ŻELBETOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM RZECZYWISTEGO ROZMIESZCZENIA ZBROJENIA

DOI: 10.30540/sae-2018-003

Abstract

The article presents comparison of the results obtained from reinforced concrete beams experimental studies with the use of ARAMIS system (digital image correlation) with the results gained from numerical modeling. During studies, deviation from the plane of reinforced concrete beams was observed. Inventory of rebars positions in cross-section of this beams showed significant deviations. Analysis carried out in the work [1] revealed the impact of improperly embedded longitudinal reinforcement on the occurrence of horizontal displacements. Based on the collected data, numerical models of two selected reinforced concrete beams with correct and incorrect position of the reinforcing bars were made using the Concrete Damaged Plasticity model in Abaqus software. It has been shown that premature interruption of the calculation appeared in models taking into account deviations in the position of reinforcing bars. However, the occurrence of horizontal displacements was still confirmed by numerical model for beams with incorrect positioning of rebars.

Keywords: beam, reinforced concrete, numerical modeling, executive errors, digital image correlation, ARAMIS system, Abaqus, concrete damaged plasticity

Streszczenie

W artykule przedstawiono porównanie wyników badań eksperymentalnych belek żelbetowych z wykorzystaniem systemu ARAMIS (korelacja obrazu cyfrowego) z wynikami uzyskanymi w wyniku modelowania numerycznego. W wykonanych badaniach zaobserwowane zostało odchylenie z płaszczyzny belek żelbetowych, spowodowane niezgodnym z projektem rozmieszczeniem prętów zbrojenia, co potwierdzono w pracy [1]. Inwentaryzacja położenia prętów zbrojeniowych w przekroju poprzecznym belek wykazała ich znaczne odchylenia. Na podstawie zebranych danych, w oprogramowaniu Abaqus, przy użyciu modelu Concrete Damaged Plasticity, wykonano numeryczne modele dwóch wybranych belek żelbetowych z prawidłowym oraz nieprawidłowym rozmieszczeniem prętów. Stwierdzono przedwczesne przerwanie obliczeń dla modeli uwzględniających odchylenie w położeniu prętów zbrojeniowych. Mimo to opracowany model numeryczny potwierdza występowanie przemieszczeń poziomych w belkach z niewłaściwym rozmieszczeniem prętów.

Słowa kluczowe: belka, żelbet, modelowanie numeryczne, błędy wykonawcze, digital image correlation, system ARAMIS, Abaqus, concrete damaged plasticity

1. Introduction

Numerical methods based on finite element method (FEM) are used in reinforced concrete modeling and considered as one of the best in behavioral studies, not only for structural engineering. In order to obtain a real course of analyzed phenomena, simulation must be based on material models describing the element under load. The behavior of reinforced

1. Wprowadzenie

Metody numeryczne bazujące na metodzie elementów skończonych (MES) używane są w modelowaniu żelbetu i uważane za jedną z lepszych w badaniu zachowań konstrukcji nie tylko budowlanych. Aby symulacja odzwierciedlała rzeczywisty przebieg analizowanych zjawisk, musi uwzględnić modele materiałowe opisujące zachowanie pod działaniem obciążeń.

concrete as a composite material is random and the interpretation of phenomena still faces difficulties. Therefore, nonlinear numerical modeling that requires simplifying assumptions should be subjected to experimental verification. 26 reinforced concrete beams were tested in the Department of Strength of Materials and Concrete Structures laboratory of the Kielce University of Technology under the NR0400710 development project. During the studies, unusual behavior of beams was observed, namely large horizontal deflections. Those displacements were registered and measured with the use of optical measuring system ARAMIS (digital image correlation). For each element after its failure an inventory of reinforcement position in cross section was carried out (Fig. 3). Large deviations in rebars positioning in relation to project were discovered. Detailed analysis of the 14 selected elements [1] shows the huge influence of horizontal shift of the longitudinal reinforcement in the cross-section of the beams on the horizontal displacements and the development of cracks. In this article, using the data collected during the abovementioned studies, a comparison of the experimental results (of the two single-span beams) with the numerical modeling results (the degradation-plastic-brittle model) was presented.

2. Experimental Studies

Two single-span beams with the same reinforcement scheme (Fig. 1) were made in precast factory (concrete: C40/50; steel BS 500). As longitudinal reinforcement 3Ø12 and 2Ø14 bars in the bottom and 2Ø8 in the upper part were used (reinforcement ratio 2%). During the concreting, the following samples were taken: 150x150x150 cube shape samples and 150x300 mm cylindrical specimens. Fragments of reinforcement bars were also taken. Elements were supported with pot bearings (type of bridge bearing) and loaded monotonically with two concentrated forces until failure. The testing stand and static scheme were shown in Figure 2. The deviations in the position of the longitudinal reinforcement bars (Fig. 3) in the cross-section of the beams were not a targeted treatment. They resulted from errors made during the preparation of elements in the precast factory. Measurements of deformations on the lateral surface of the beams (the area under test is shown in Figure 2), spatial displacements and the width of the cracks were obtained with the use of ARAMIS system. Measurements of vertical displacement – beam deflection were verified using 5 inductive sensors.

Losowe zachowanie elementu żelbetowego złożonego z dwóch różnych materiałów powoduje, że interpretacja tych zjawisk nadal napotyka trudności. Dlatego szczególnie w obszarze nieliniowym, modelowanie numeryczne wymagające założeń upraszczających powinno być poddawane weryfikacji doświadczalnej. W laboratorium Politechniki Świętokrzyskiej WBIA KWMKBiM w ramach realizacji projektu rozwojowego NR0400710 wykonano badania 26 belek żelbetowych. Podczas ich realizacji zaobserwowano nietypowe zachowanie się niektórych belek, tj. wychylenie się z płaszczyzny. Pomiary deformacji przestrzennych elementów wykonane za pomocą optycznego systemu pomiarowego ARAMIS zarejestrowały występowanie przemieszczeń poziomych elementów. Po zakończonych badaniach wykonano inwentaryzację pozycji zbrojenia w przekroju (rys. 3). Odkryto duże odchylenia w pozycjonowaniu prętów zbrojeniowych w stosunku do projektu. Szczegółowa analiza 14 wybranych elementów [1] pokazuje wpływ przesunięcia poziomego środka ciężkości zbrojenia podłużnego w przekroju belek na poziome przemieszczenia i powstawanie pęknięć. W tym artykule, wykorzystując dane zebrane podczas wyżej wymienionych badań, przedstawiono porównanie wyników eksperymentalnych dwóch belek jednoprzęsłowych z wynikami modelowania numerycznego (model degradacji plastyczno-kruchy).

2. Badania laboratoryjne

Dwie belki jednoprzęsłowe, o tym samym schemacie zbrojenia (rys. 1), wykonane zostały w zakładzie prefabrykacji z betonu o planowanej klasie C40/50 oraz stali BS500. W belkach jako zbrojenie podłużne zastosowano pręty 3Ø12 i 2Ø14 dołem oraz 2Ø8 górą (stopień zbrojenia 2%). Podczas betonowania belek pobierano próbki betonowe: kostki 150x150x150 oraz walce 150x300 mm. Pobrane zostały również odcinki prętów zbrojeniowych. Podczas badania belki podparte były na soczewkowych łożyskach mostowych i obciążane za pomocą dwóch sił skupionych w sposób monotoniczny do zniszczenia. Belkę na stanowisku oraz schemat statyczny badania przedstawiono na rysunku 2. Odchylenia w położeniu prętów zbrojenia podłużnego (rys. 3) w przekroju belek nie były zabiegiem celowym. Wynikały one z błędów popełnionych podczas wykonywania elementów w zakładzie prefabrykacji. Odształcenia na powierzchni bocznej belek (obszar poddany badaniu zaznaczony zakreśleniem na rysunku 2), przemieszczenia przestrzenne oraz szerokości rys mierzono systemem ARAMIS. Pomiary przemieszczeń pionowych – ugięcia belek – weryfikowano, wykorzystując pięć czujników indukcyjnych.

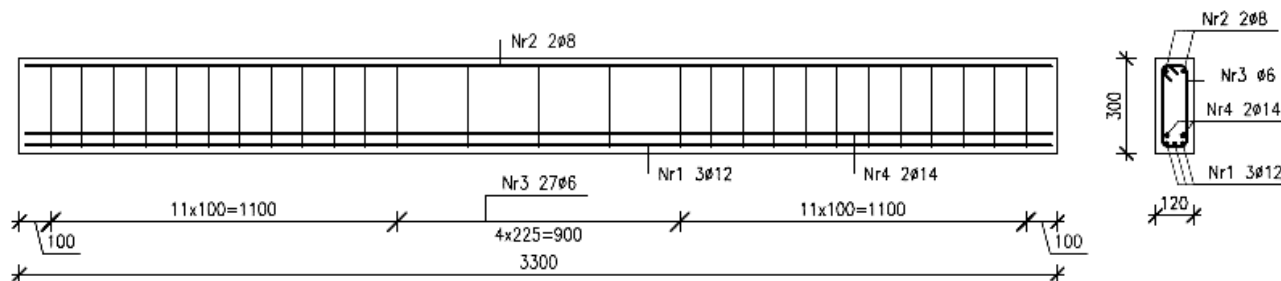


Fig. 1. Scheme of the reinforcement of the A2M1 and A2M2 beam

Rys. 1. Schemat zbrojenia belki A2M1 i A2M2

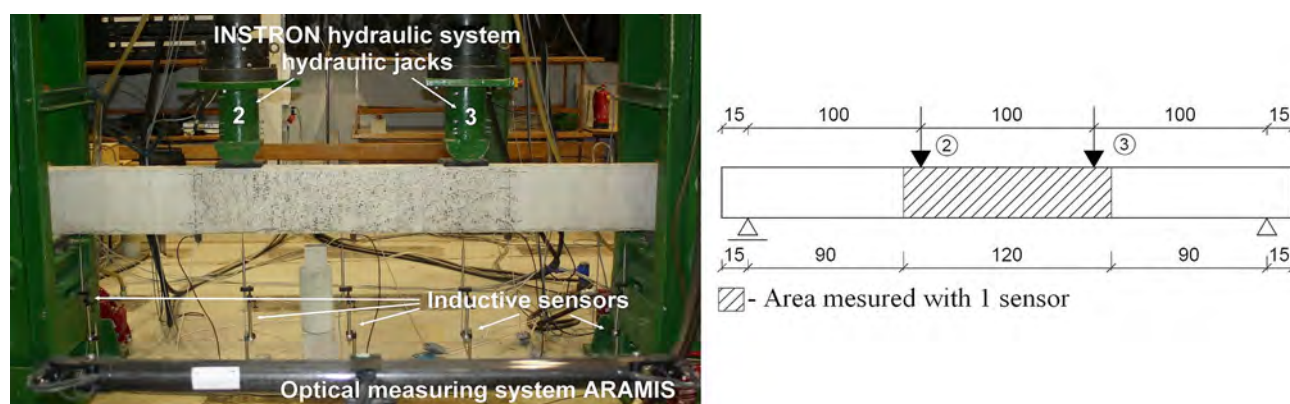


Fig. 2. Testing stand with ARAMIS system and static scheme of elements

Rys. 2. Stanowisko badawcze wraz z systemem optycznym ARAMIS i schemat statyczny belek

3. Optical Measuring System ARAMIS – Digital Image Correlation

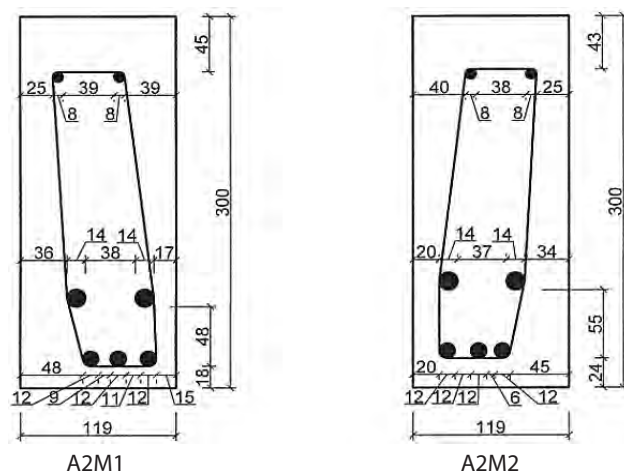
ARAMIS is a non-contact measuring system which principles are based on image photogrammetry [2]. This means that its software based on the analyses of surface images (digital image correlation) of the examined element, (recorded with a set of two cameras), allows to determine spatial displacements, strains and cracks width. Strain map on the examined element surface, allows to trace the development of the cracks (the accumulation of strains, which can be visible by more intense colors in Figures 5, 8 and 9, shows the place of formation of the crack). Because only images are taken during the test, the recording can also be carried out continuously until failure of element, without fear of damage to the measuring apparatus. The application of the system in the studies of reinforced concrete elements and others is presented in many publications [1-4]. In the presented studies, only one sensor with the 1200 mm distance between cameras was used. ARAMIS system configuration used in studies allows to use two sensors – 4 cameras in the same time. A 1200 mm wide area with a height equal to the height of the beam was analyzed (Fig. 2).

3. Optyczny system pomiarowy ARAMIS – Digital Image Correlation

ARAMIS jest bezdotykowym systemem pomiarowym, którego zasady działania oparte są na fotogrametrii obrazowej [2], tzn. oprogramowanie w oparciu o zdjęcia odpowiednio przygotowanej powierzchni badanego elementu, rejestrowane za pomocą zestawu dwóch kamer, pozwala określić przemieszczenia przestrzenne, odkształcenia oraz wykonanie pomiaru szerokości rys. Uzyskiwana mapa odkształceń pozwala na śledzenie procesu rozwoju rys. Kumulacje odkształceń widoczne bardziej intensywnym kolorem na rysunkach 5, 8 i 9 odzwierciedlają miejsca powstawania rys. Podczas badań wykonywane są jedynie zdjęcia, dlatego też rejestrację można prowadzić w sposób ciągły aż do momentu zniszczenia elementu nie uszkadzając aparatury pomiarowej. Zastosowanie systemu w badaniach elementów żelbetowych przedstawiono w pracach [1-4]. Podczas badań wykorzystano konfigurację systemu ARAMIS z jednym czujnikiem, w którym rozstaw pomiędzy kamerami wynosił 1200 mm. Konfiguracja systemu pozwala na jednoczesne zastosowanie dwóch czujników – 4 kamer. Analizie poddano powierzchnię środkową belek o szerokości 1200 mm i wysokości odpowiadającej wysokości belki, zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2.

4. Numerical Model of Reinforced Concrete Beams – Parameters and Assumptions

The numerical analysis of the beams was performed with the use of finite element method implemented in Abaqus software [5]. The beam was modeled as a 3D object in spatial state of stresses and deformations. Reinforcement bars and concrete beams were divided into finite elements type C3D8R (8-node cubes). Finite element size was applied as 20 x 20 x 20 mm. Stirrups (vertical reinforcement) were defined as two-nodal B31 beam elements.



4. Model numeryczny belek żelbetowych – parametry i założenia

Analizę numeryczną belek przeprowadzono metodą elementów skończonych, wykorzystując program Abaqus [5]. Belkę zamodelowano jako obiekt 3D w przestrzennym stanie naprężeń i odkształceń. Pręty zbrojeniowe oraz belkę betonową podzielono na elementy skończone typu C3D8R, czyli 8-węzłowe elementy sześciennie. Rozmiar elementu skończonego przyjęto równy 20 x 20 x 20 mm. Strzemiona zdefiniowano jako dwuwęzłowe elementy belkowe typu B31.

Fig. 3. Stocktaking of the reinforcement for A2M1 and A2M2 beam

Rys. 3. Inwentaryzacja zbrojenia belek A2M1 i A2M2

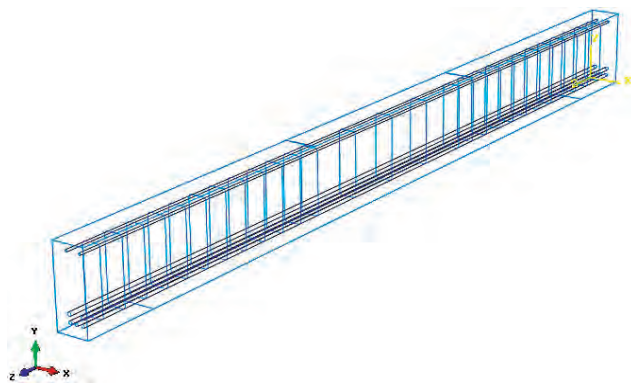


Fig. 4. 3D presentation of the modeled beam

Rys. 4. Widok 3D zamodelowanej belki

Concrete-steel co-operation was assured by the imposition of constraints such as "Embedded region" (reinforcing steel as "embedded" in a concrete element). This type of constraint assures the compatibility of the transitional degrees of freedom of embedded nodes of reinforcement with transitional degrees of freedom of the concrete host element (in this case – a concrete beam) [5]. The 3D view of the beam model with the coordinate system is shown in Figure 4. The σ - ε dependence for reinforcing steel was applied as elastic – ideally plastic. The mechanical and strength properties of the steel were determined according to the results of laboratory tests: Young's modulus $E = 201.4$ GPa, yield stress

Współpracę stali z betonem zapewniono przez narzucenie wymuszenia typu „Embedded region” (stal zbrojeniowa „osadzona” w elemencie betonowym). Ten typ wymuszenia polega na zapewnieniu zgodności przemieszczeń translacyjnych węzłów siatki MES zbrojenia z przemieszczeniami translacyjnymi siatki elementu betonowego (w tym przypadku belki betonowej) [5]. Widok 3D zamodelowanej belki wraz z układem współrzędnych pokazano na rysunku 4. Zależność σ - ε dla stali zbrojeniowej zadano jako idealnie sprężysto-plastyczną. Właściwości mechaniczne i wytrzymałościowe stali przyjęto według wyników badań stali użytej w eksperymencie, mianowicie moduł Younga $E = 201,4$ GPa, granicę plastyczności $f_y = 558,5$ MPa, maksymal-

$f_y = 558.5$ MPa, maximum plastic deformation 0.04723. The Poisson's ratio was assumed as $\nu = 0.3$. The Concrete Damaged Plasticity [6, 7] model was used to model the behavior of concrete in Abaqus. Concrete parameters were assumed as following: Young's modulus $E = 35$ GPa, Poisson's ratio $\nu = 0.167$, dilation angle $\psi = 30$ degrees, eccentricity $\varepsilon = 0.1$. The value of dilation angle was based on suggestion of Jankowiak [8], Genikomsou and Polak [9] and Szczecina and Winnicki [10, 11]. The ratio of maximum compressive stresses in biaxial to maximal stresses in uniaxial state was 1.16. In order to use the visco-plastic properties of concrete in the model, a viscosity coefficient (relaxation time) of 0.0001 s was input. The behavior of concrete under compression was given as the σ - ε dependence on the basis of the results of uniaxial compression tests conducted on cubic specimens. In Abaqus software, this relationship is given as a set of points on the σ - ε curve. The tensile behavior of the concrete was determined by the fracture energy $G_f = 146.5$ J/m² for a yield stress 3.5 MPa. The fracture energy was calculated according to Model Code 2010 [12]. The assumption of fracture energy allowed to perform the "fracture energy trick" [13]. The beam load was applied as two concentrated forces which values depend on time. This dependency is given in the program based on the data from the experiment. The model also included dead weight of the beam and reinforcement (applied to the beam from the first step). Calculations were made in Abaqus using the Newton-Raphson method, assuming a minimum increment equal 10^{-6} , and a maximum equal 10. The increment should be understood as the time given in seconds exactly as in the experiment. The end of the calculation was set in case of the lack of convergence or when the load reached the value of damage loading according to the results of the experiment. Calculations were carried out on three models: A2M1 and A2M2 beams, which contained the real reinforcement position (according to the inventories in the experiment) and the designed beam A2, in which the reinforcement was distributed symmetrically without deviations. The results are presented in the form of deformation, stress, nodal displacement, failure parameter under tension (DAMAGET) and compression (DAMAGEC), as well as equivalent tensile plastic strain (PEEQT).

ne odkształcenie plastyczne 0,04723, współczynnik Poissona $\nu = 0,3$. Aby zamodelować zachowanie betonu użyto zaimplementowanego w Abaqus modelu Concrete Damaged Plasticity (model plastyczny ze zniszczeniem) [6, 7]. Przyjęto następujące parametry betonu: moduł Younga $E = 35$ GPa, współczynnik Poissona $\nu = 0,167$, kąt dylatacji $\psi = 30$ stopni, współczynnik ekscentryczności $\varepsilon = 0,1$. Wartość kąta dylatacji przyjęto na podstawie prac Jankowiaka [8], Genikomsou i Polak [9] oraz Szczeciny i Winnickiego [10, 11]. Stosunek maksymalnych naprężeń ściskających w stanie dwuosiowym do naprężeń maksymalnych w stanie jednoosiowym przyjęto równy 1,16. Aby włączyć w modelu własności wiskotyczne betonu, podano współczynnik lepkości (czas relaksacji) równy 0,0001 s. Zachowanie betonu, przy ściskaniu podano jako zależność σ - ε na podstawie wyników badań laboratoryjnych przeprowadzonych na próbkach sześciennych poddanych jednoosiowemu ściskaniu. W programie Abaqus zależność tę podaje się jako zbiór punktów na krzywej σ - ε . Zachowanie betonu przy rozciąganiu określono, podając energię kruchego pęknięcia $G_f = 146,5$ J/m² dla naprężenia powodującego zarysowanie równego 3,5 MPa. Energię kruchego pęknięcia obliczono według zaleceń Model Code [12]. Założenie energii kruchego pęknięcia pozwoliło na użycie tzw. „fracture energy trick” [13]. Obciążenie belki stanowią dwie siły skupione, których wartość zależna jest od czasu. Zależność tę podano w programie w oparciu o dane z eksperymentu. W modelu uwzględniono również obciążenie ciężarem własnym belki i zbrojenia, który to ciężar jest przyłożony do belki od samego początku. Obliczenia zostały wykonane w Abaqus metodą Newtona-Raphsona przy sterowaniu obciążeniem, przy założeniu minimalnego przyrostu równego 10^{-6} , a maksymalnego 10. Przez przyrost należy rozumieć czas podany w sekundach, dokładnie tak samo jak w eksperymencie. Program kończy obliczenia albo przy braku zbieżności problemu nieliniowego, albo po osiągnięciu obciążenia równego wartości siły niszczącej według wyników eksperymentu. Obliczenia przeprowadzono dla trzech modeli: belek A2M1 oraz A2M2, które zawierały zbrojenie przesunięte (zgodnie z inwentaryzacją przeprowadzoną w eksperymencie) oraz dla projektowanej belki A2, w której zbrojenie było rozłożone symetrycznie, bez przesunięć. Jako wyniki obliczeń odczytano: odkształcenia, naprężenia, przemieszczenia węzłowe, parametr zniszczenia przy rozciąganiu (DAMAGET) oraz ściskaniu (DAMAGEC), a także obraz zarysowania, odczytując ekwiwalentne odkształcenia plastyczne w rysie przy rozciąganiu (PEEQT).

5. Results of Calculations Obtained with the Use of ABAQUS Program and Their Comparison with the Experimental Results

5.1. Results for Beam A2M1

Abaqus software has completed calculations for the beam A2M1 at the step for which the corresponding loading time is 7059 seconds (experiment time 11832 seconds). This means that the program did not find a convergence of the nonlinear problem for time $t = 7059$. Therefore, the crack pattern for the beam from the experiment and its numerical model were compared at the time mentioned earlier. The comparison of results is shown in Figure 5. For calculations made in Abaqus, cracks concentration is visible on one side of the beam at the location exactly under hydraulic jack N° 3 (marked with arrow in Figure 5).

5. Rezultaty obliczeń przeprowadzonych w programie ABAQUS i ich porównanie z wynikami eksperymentalnymi

5.1. Wyniki dla belki A2M1

Program Abaqus zakończył obliczenia dla belki A2M1 na kroku, dla którego odpowiadający czas obciążania wynosi 7059 sekund (przy maksimum równym 11832 sekund). Oznacza to, że program nie uzyskał zbieżności zagadnienia nieliniowego dla czasu $t = 7059$. Dlatego też porównano obraz zarysowania dla belki z eksperymentu i dla jej modelu numerycznego dla tej właśnie chwili czasu. Obraz zarysowania dla belki modelowanej w Abaqus porównano z odpowiadającym obrazem zarysowania belki z eksperymentu na rysunku 5. W przypadku obliczeń wykonanych w Abaqus zwraca uwagę fakt lokalizacji znacznego zarysowania po jednej ze stron (elewacji) belki w miejscu występującym dokładnie pod siłownikiem nr 3 (zaznaczono strzałką na rysunku 5).

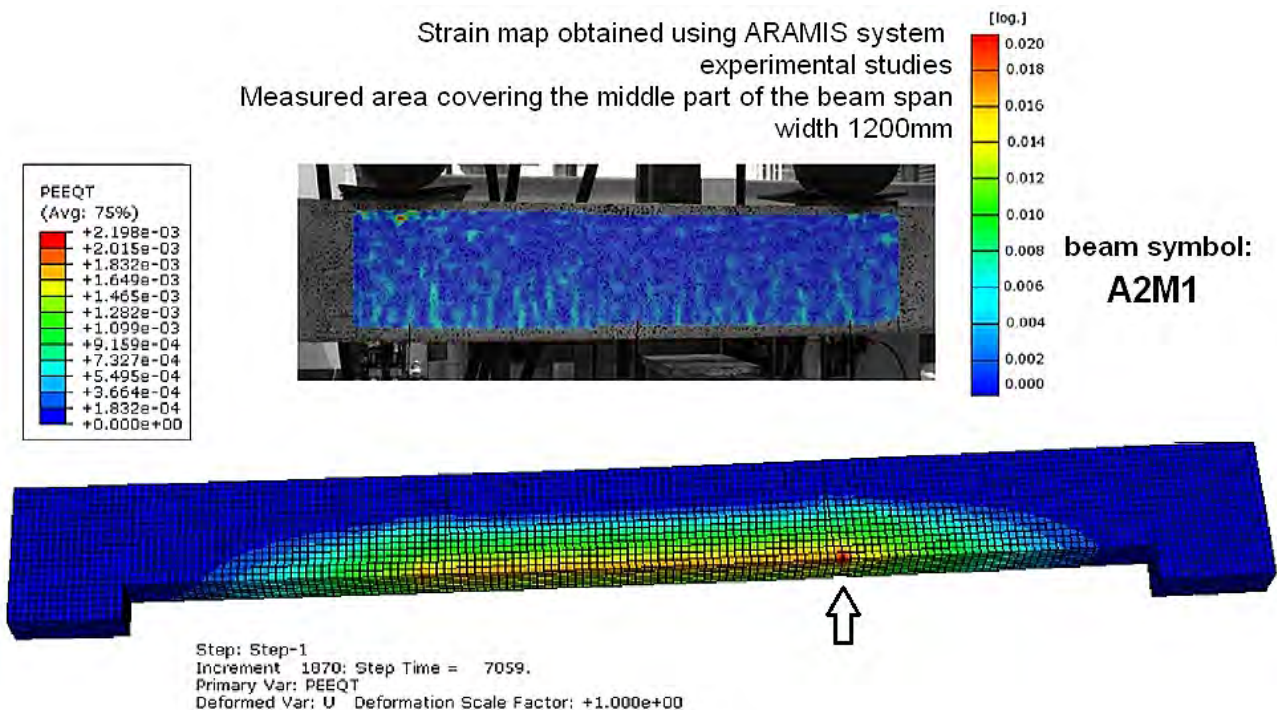


Fig. 5. Strain map for the A2M1 beam from the test – Aramis system and equivalent tensile plastic strain (PEEQT) from the Abaqus software

Rys. 5. Mapa odkształceń dla belki A2M1 z eksperymentu – system ARAMIS i ekwiwalentne odkształcenia plastyczne przy rozciąganiu (PEEQT) uzyskane w programie Abaqus

In the case of laboratory tests, there are many places of propagation in the beam mainly under hydraulic jack N° 2. Vertical displacement of point

W przypadku badań laboratoryjnych jest wiele miejsc propagacji rys w dolnym włóknie belki, głównie pod siłownikiem nr 2. Sporządzono również wy-

under hydraulic jack № 3 was also measured. The results are shown in Figure 6. The displacement gained in Abaqus at the end of the calculation is 10.13 mm, while deviation measured with ARAMIS system in the same time and place is 11.30 mm. Comparison of graphs indicates that the numerical model calculations were not completed due to beam failure (excessive cracks width, failure of concrete or excessive yielding of reinforcing steel) but due to lack of convergence of the nonlinear problem (despite the regularization using the visco-plastic properties of concrete). Nevertheless, the two paths are similar, and their similar slope indicates comparable stiffness of the beam both in the experiment and in Abaqus.

The maximum stress in steel according to the von Mises hypothesis reached 349.1 MPa. Taking into account the real yield point of this steel $f_y = 558.5$ MPa, it was stated that the reinforcing steel in FEM model has not undergone any yielding in the cross section. This confirms the conclusion mentioned above that the program did not terminate calculations due to beam damage, but only due to lack of convergence. Nevertheless, the distribution of stresses in steel is characteristic for bending. The model also examined how far the beam moved from its plane (horizontal displacement) – in laboratory tests beam had relatively large displacements from the plane. For the last calculation step ($t = 7059$ s), the displacement from the plane in the center of the beam span reached approximately 2.4 mm (4.43 mm in experimental studies). We can conclude that torsion is smaller in the numerical model despite the fact that calculation was carried out in three-dimensional stress state and asymmetrical position of reinforcement was also input.

kres przemieszczenia pionowego węzła siatki MES zlokalizowanego w badaniach laboratoryjnych, tj. pod siłownikiem nr 3. Wyniki zestawiono na rysunku 6. Przesunięcie z Abaqus w chwili zakończenia obliczeń to 10,13 mm, z doświadczenia – 11,30 mm. Porównanie wykresów wskazuje na to, że w modelu numerycznym w MES do przerywania obliczeń doszło nie w wyniku zniszczenia belki (nadmierne zarysowanie lub zmiażdżenie betonu albo nadmierne uplastycznienie stali zbrojeniowej), ale na skutek braku zbieżności zagadnienia nieliniowego (pomimo zastosowanej regularyzacji w postaci włączenia własności wiskotycznych betonu). Niemniej jednak obydwie ścieżki są do siebie zbliżone, a ich podobne nachylenie świadczy o porównywalnej sztywności na zginanie dla belki z eksperymentu i z Abaqus.

Maksymalne naprężenie w stali wg hipotezy von Misesa osiągnęło wartość 349,1 MPa, co przy granicy plastyczności tej stali $f_y = 558,5$ MPa oznacza, że stal zbrojeniowa w modelu w Abaqus nie uległa uplastycznieniu w żadnym przekroju. Potwierdza to postawiony powyżej wniosek, że program nie przerwał obliczeń z powodu zniszczenia belki, a jedynie z powodu braku zbieżności. Niemniej jednak rozkład naprężeń w stali jest charakterystyczny dla zginania. W modelu zbadano również, jak duże są przemieszczenia poziome belki, mając na uwadze, że w badaniach laboratoryjnych belka uległa stosunkowo dużym przemieszczeniom z płaszczyzny. Dla ostatniego kroku obliczeń ($t = 7059$ s) przemieszczenie z płaszczyzny w środku rozpiętości belki wyniosło około 2,4 mm, natomiast w doświadczeniu 4,43 mm. Można więc stwierdzić, że w modelu numerycznym brak jest wyraźnego skręcenia belki, pomimo prowadzenia obliczeń w trójwymiarowym stanie naprężeń i niesymetrycznego ułożenia zbrojenia.

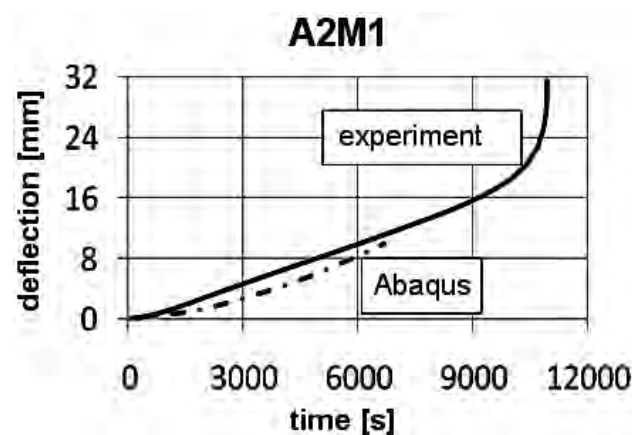


Fig. 6. Relation between the vertical displacement under the hydraulic jack no. 3 and time for the A2M1 beam

Rys. 6. Wykres zależności przemieszczenia pionowego od czasu pod siłownikiem nr 3 dla belki A2M1

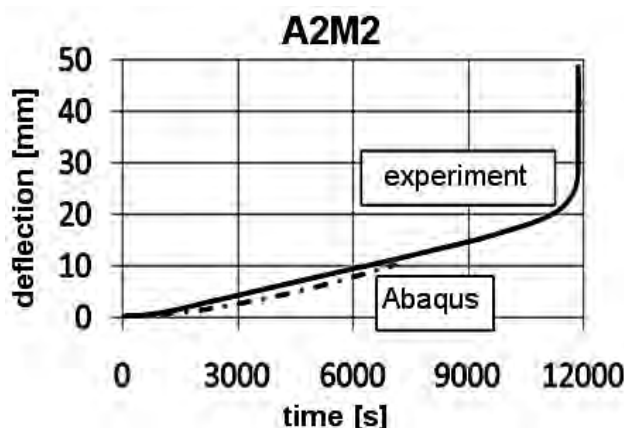


Fig. 7. Relation between the vertical displacement under the hydraulic jack no. 3 and time for the A2M2 beam

Rys. 7. Wykres zależności przemieszczenia pionowego od czasu pod siłownikiem nr 3 dla belki A2M2

5.2. Results for Beam A2M2

For this beam, Abaqus completed the calculation in time $t = 6694$ s. This means that also in this case the program did not get the convergence of the nonlinear problem. A comparison of the results of the calculations and the results of the experimental studies was made for that time. The crack patterns obtained in the Abaqus and ARAMIS system are shown in Figure 8. The largest cracks obtained with both systems are located mainly under hydraulic jacks (dark red on the PEEQT strain map). The vertical displacement of the point under hydraulic jack N° 3 is shown in Figure 7. The displacement calculated in Abaqus reached 10.07 mm, while value measured with ARAMIS system was 11.21 mm. The slope of both curves is similar, which again demonstrates comparable bending stiffness. For the last calculation step ($t = 6694$ s), the displacement from the plane in the center of the beam span was about 2.6 mm while during the real studies reached 3.83 mm for the same loading time. This partly confirms that the asymmetrical distribution of rebars in reinforced concrete beam cross-section affects on horizontal displacements of the beam but still differences in the obtained values are quite high.

5.2. Wyniki dla belki A2M2

Dla tej belki program Abaqus zakończył obliczenia dla czasu $t = 6694$ s. Oznacza to, że również w tym przypadku program nie uzyskał zbieżności zagadnienia nieliniowego. Porównano więc wyniki obliczeń z eksperymentem dla tej właśnie chwili czasu. Obraz zarysowania uzyskany w Abaqus oraz odpowiadające tej samej chwili czasu zarysowanie belki w eksperymencie przedstawia rysunek 8. Podobnie jak dla belki A2M1 widać, że w Abaqus strefa zarysowana jest rozmyta w dolnych włóknach belki, przy czym w przypadku belki A2M2 widać już kilka różnych miejsc lokalizacji zarysowania (ciemny czerwony kolor na mapie odkształceń PEEQT). Przemieszczenia pionowe punktu pod siłownikiem nr 3 zestawiono na rysunku 7. Przemieszczenie w momencie przerwania obliczeń z Abaqus wynosiło 10,07 mm, natomiast z doświadczenia 11,21 mm. Ponownie widać, że ścieżka dla modelu numerycznego kończy się przedwcześnie z powodu braku zbieżności. Nachylenie obydwu krzywych jest podobne, co także świadczy o porównywalnej sztywności belki na zginanie w obliczeniach komputerowych i w eksperymencie. Dla ostatniego kroku obliczeń ($t = 6694$ s) przemieszczenie z płaszczyzny w środku rozpiętości belki wyniosło około 2,6 mm, a w eksperymencie 3,83 mm, tak więc podobnie jak dla belki A2M1 obliczenia w programie Abaqus częściowo potwierdzają wpływ niesymetrycznie rozmieszczonego zbrojenia podłużnego w przekroju belki na jej przemieszczenia poziome.

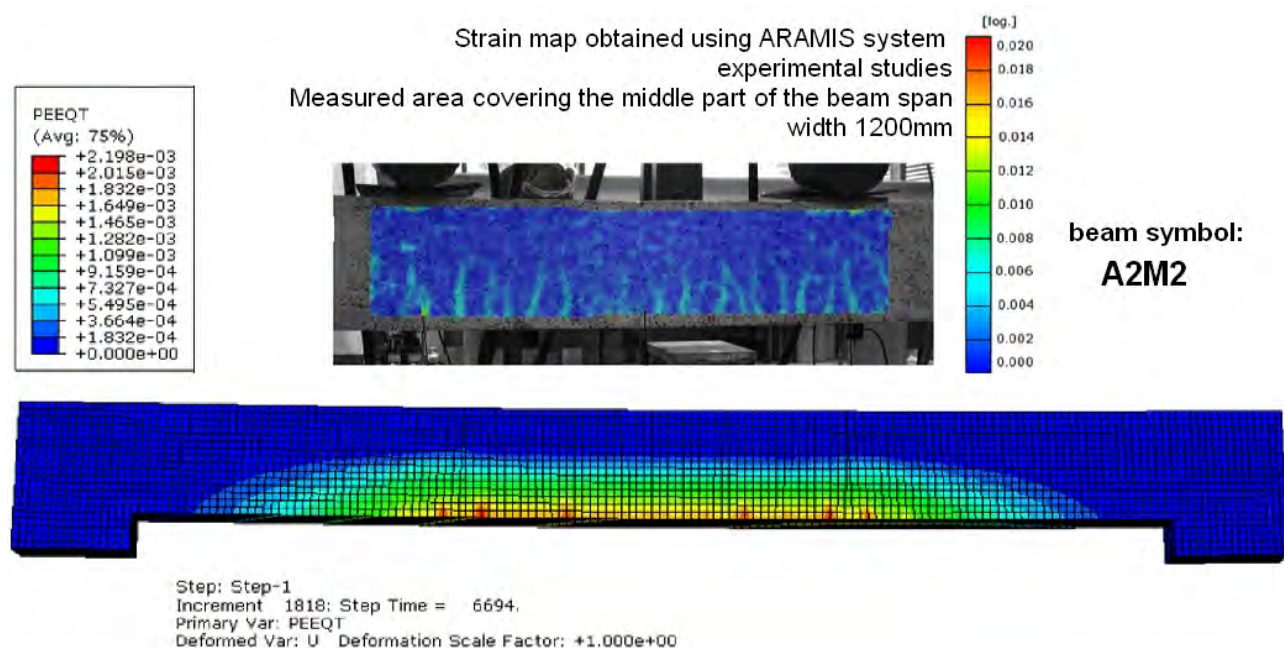


Fig. 8. Strain map for the A2M2 beam from the test – Aramis system and equivalent tensile plastic strain (PEEQT) from the Abaqus software

Rys. 8. Mapa odkształceń dla belki A2M2 z eksperymentu – system ARAMIS i ekwiwalentne odkształcenia plastyczne przy rozciąganiu (PEEQT) uzyskane w programie Abaqus

5.3. Results for Beam A2, Modeled in Accordance with the Executive Design - Omitting Imperfection

In Abaqus software, a beam A2 was also modeled, in which the reinforcement was deployed without any deviations, as it was designed. In fact, such beams do not exist, there are always some deviations. This is why there is no experimental results in this case. For such a beam in accordance with the executive design, the program has reached a load level almost identical to that obtained for the beams actually tested. The program interrupted the calculation for loading time $t = 11117$ s. Crack pattern obtained in Abaqus for A2 beam is shown in Figure 9. Attention is drawn to the fact that there are several visible cumulations of strain between the hydraulic jacks. This image is comparable to that obtained in the experimental studies just before the failure of the beam, wherein the height of the cracks is smaller for the numerical model. The relationship between the vertical displacement (for the center point of the span) and the time for beams A2M1, A2M2 and A2 is illustrated in Figure 10. The stresses in the reinforcing steel are higher than the yield stress, which means that in the middle of the span the reinforcing steel has yielded.

5.3. Wyniki dla modelu belki o zbrojeniu rozmieszczonym zgodnie z projektem – pominięcie odchyłek

W programie Abaqus zamodelowano również belkę A2, w której zbrojenie było rozmieszczone bez przesunięć spowodowanych betonowaniem. W rzeczywistości elementy takie nie występują, ponieważ nie da się wyeliminować odchyłek. Dlatego też autorzy referatu dysponują oczywiście tylko wynikami obliczeń w programie. Dla takiej belki, ze zbrojeniem rozmieszczonym zgodnie z projektem, program osiągnął poziom obciążenia niemal identyczny z tym, jakiemu poddane były w eksperymencie belki z rzeczywistym rozmieszczeniem zbrojenia. Program przerwał obliczenia dla czasu $t = 11117$ s. Obraz zarysowania belki A2 przedstawiono na rysunku 9. Uwagę zwraca fakt, że powstało kilka wyraźnych, zlokalizowanych pomiędzy siłownikami, rys. Obraz ten jest już bardziej porównywalny z zarysowaniem, jakie uzyskano w badaniach eksperymentalnych dla chwili tuż przed zniszczeniem, przy czym wysokość rys w modelu numerycznym jest zdecydowanie mniejsza niż w eksperymencie. Zależność pionowego przemieszczenia punktu na środku przęsła od czasu dla belek A2M1, A2M2 i A2 zilustrowano na rysunku 10. Naprężenia w stali zbrojeniowej miejscami przekraczają wartość granicy plastyczności, co oznacza, że w środku przęsła stal zbrojeniowa uległa uplastycznieniu.

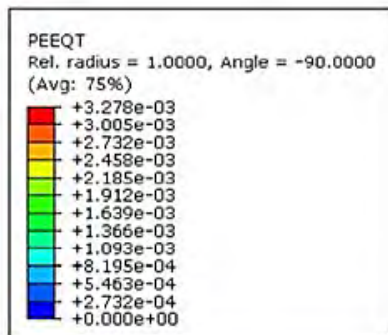


Fig. 9. Strain map for the A2M1 and A2M2 beam from the test – Aramis system and equivalent tensile plastic strain (PEEQT) from the Abaqus software for A2

Rys. 9. Mapa odkształceń dla belki A2M1 i A2M2 z eksperymentu – system ARAMIS i ekwiwalentne odkształcenia plastyczne przy rozciąganiu (PEEQT) uzyskane w programie Abaqus dla belki A2

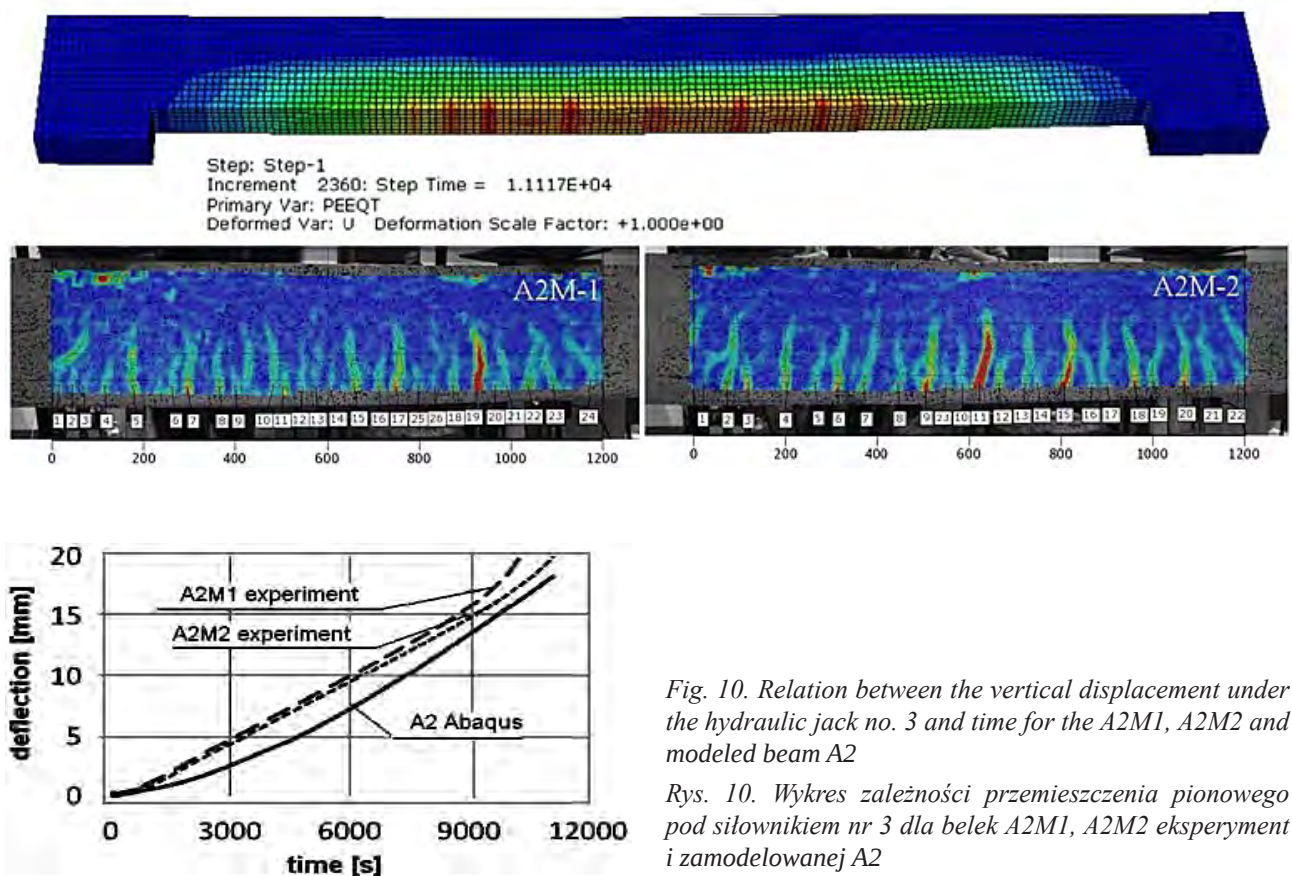


Fig. 10. Relation between the vertical displacement under the hydraulic jack no. 3 and time for the A2M1, A2M2 and modeled beam A2

Rys. 10. Wykres zależności przemieszczenia pionowego pod siłownikiem nr 3 dla belek A2M1, A2M2 eksperyment i zamodelowanej A2

6. Conclusions

Based on the results obtained from numerical models of the reinforced concrete beams and laboratory tests the following conclusions are drawn:

- Numerical analysis of reinforced concrete beams, reinforced in accordance with the executive design, using the Concrete Damaged Plasticity model and the 3D elements in the spatial state of stresses did not give fully satisfactory results. The interruption of the calculation appeared due to the lack of convergence of the nonlinear problem, not as a result of the exceeding of the bearing capacity of the element. Therefore, it is also not possible

6. Wnioski

Na podstawie wyników uzyskanych z modelu numerycznego oraz z badań laboratoryjnych belek żelbetowych stwierdzono, że:

- Analiza numeryczna belek żelbetowych z uwzględnieniem rzeczywistego rozmieszczenia prętów przy zastosowaniu modelu Concrete Damaged Plasticity oraz użycie elementu 3D w przestrzennym stanie naprężeń i odkształceń nie dała zadowalających wyników. Przerwanie obliczeń następuje z powodu braku zbieżności zagadnienia nieliniowego, a nie w wyniku wyczerpania nośności elementu, i nie ma możliwości dokładnej weryfikacji obliczeń z wy-

to fully verify the calculation with experimental results (including horizontal displacement).

- Such convergence has been achieved for beam model without any deviations in position of rebars (A2). In this case vertical displacements and crack pattern were similar with the experimental results. But still it needs to be highlighted that this is not a real model.
- The impact of improperly embedded longitudinal reinforcement on the occurrence of horizontal displacements was partially confirmed (taking into account the limited number of results that could be compared due to lack of convergence in modeling). However, horizontal displacement values obtained in the numerical model were still slightly smaller.

kami doświadczalnymi, w tym również wychyleń z płaszczyzny dla pełnej ścieżki obciążania.

- Zbieżność osiągnięto jedynie dla belki nieuwzględniającej rzeczywistych odchyłek w położeniu prętów zbrojeniowych (A2). W przypadku tym przemieszczenia pionowe oraz obraz zarysowania były zbliżone do wyników eksperymentalnych. Należy jedna podkreślić, że model ten nie jest rzeczywisty.
- Analiza częściowo potwierdza wpływ nieprawidłowo położonego zbrojenia podłużnego na przemieszczenia poziome elementów (biorą pod uwagę ograniczoną liczbę wyników, uzyskaną ze względu na brak zbieżności zagadnienia nieliniowego). Jednakże wartości przemieszczeń poziomych dla modeli numerycznych belek były mniejsze niż rzeczywiste.

References

- [1] Tworzewski P., *Ocena stanów granicznych zginanych elementów żelbetowych za pomocą optycznego system pomiarowego*, PhD thesis, Kielce 2016.
- [2] Tyson II J., *Optical 3D Deformation and Strain Measurement*, Pumps and Pipes, Proceedings of Annual Conference, 2011, pp. 147-164.
- [3] Tworzewski P., Goszczyńska B., *An Application of an Optical Measuring System to Reinforced Concrete Beams Analysis*, 2016 Prognostics & System Health Management Conference – Chengdu (PHM-2016 Chengdu), China 2016.
- [4] Goszczyńska B., Tworzewska J., *Określenie rys na potrzeby analizy wyników badań procesu powstawania i rozwoju rys w belkach żelbetowych z zastosowaniem systemu ARAMIS*, Przegląd Budowlany, 12 (2014), pp. 44-49.
- [5] Abaqus/CAE ver. 6-12.2, User Manual, Dassault Systemes Simulia Corp., 2012.
- [6] Lubliner J., Oliver J., Oller J., Onate S., *A plastic-damage model for concrete*, International Journal of Solid Structures No. 3 (1989), vol. 25, pp. 299-326.
- [7] Lee J., Fenves G.L., *Plastic-Damage Model for Cyclic Loading of Concrete Structures*, Journal of Engineering Mechanics, vol. 124 (1998), pp. 892-900.
- [8] Jankowiak T., *Kryteria zniszczenia betonu poddanego obciążeniom quasi-statycznym i dynamicznym*, PhD thesis, Poznań University of Technology, 2010.
- [9] Genikomsou A., Polak M.A., *FEA of RC slabs under static and cyclic loadings based on damage plasticity model*, Proceedings of The 8th International Conference AMCM 2014 Wrocław.
- [10] Szczecina M., Winnicki A., *Numerical simulations of corners in RC frames using Strut-and-Tie Method and CDP model*, Proceedings of The XIII International Conference on Computational Plasticity, Fundamentals and Applications, COMPLAS 2015, Barcelona 2015, pp. 608-619.
- [11] Szczecina M., Winnicki A., *Selected aspects of computer modeling of reinforced concrete structures*, Archives of Civil Engineering 62 (2016), pp. 51-64.
- [12] The FIB Model Code for Concrete Structures 2010.
- [13] Winnicki A., Szarliński J., Podleś K., *Konstrukcje z betonu w płaskich stanach*, Politechnika Krakowska, Kraków 2002.

Acknowledgments:

This work was supported by Kielce University of Technology, Grant No. 02.0.06.00/2.01.01.02.0021 MNSC.BKWB.17.004

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, grant nr 02.0.06.00/2.01.01.02.0021 MNSC.BKWB.17.004

THE ISSUE OF TRANSIENCE IN ARCHITECTURE AND THE PROBLEMS OF CONSERVATION PROTECTION IN THE SELECTED MODERNIST BUILDINGS

PROBLEMY PRZEMIJANIA W ARCHITEKTURZE I OCHRONY KONSERWATORSKIEJ NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH BUDOWLI MODERNISTYCZNYCH

DOI: 10.30540/sae-2018-004

Abstract

The issue of permanence and transience in architecture has intrigued both the theorists and the practitioners dealing with the creation of buildings since antiquity. We construct buildings assuming their durability and long life. We give them the sense of timelessness. In point of fact, architecture undergoes permanent transformations which embrace both its significance and material dimension. Once built, architecture gradually loses its material value. It also ages in the moral sense, as the expectations towards the buildings constructed years ago change with time and are not met today. The assessment of the value of an architectural object is frequently the basis for the decisions concerning its survival, conversion or demolition. The article presents two cases, a negative one, where a building of unique architectural value was demolished, and a positive one, in which a structure intended for demolition was registered as an object of cultural heritage and protected by conservation due to an initiative of community and civic groups.

Keywords: Modernist heritage building, civic and conservation protection initiatives

Streszczenie

Problem trwałości i przemijalności w architekturze nurtował teoretyków i praktyków zajmujących się tworzeniem budowli już od starożytności. Budowle wznosimy z założeniem ich trwałości. Nadajemy im znamiona ponadczasowości. W rzeczywistości architektura ulega permanentnym przeobrażeniom, które obejmują jej wymiar materialny oraz znaczeniowy. Architektura zbudowana traci wartość materialną. Starzeje się również moralnie, bo oczekiwania w stosunku do budynków zmieniają się, bo obiekt zbudowany przed laty nie spełnia ich dzisiaj. Ocena wartości architektury jest często podstawą do podejmowania decyzji o jej przetrwaniu, przekształceniu lub likwidacji. W artykule przedstawiono dwa przypadki: negatywny, gdzie wyburzono budynek o unikalnych wartościach architektonicznych oraz pozytywny, w którym budowla przeznaczona do wyburzenia, dzięki ruchowi społecznemu, została wpisana do rejestru zabytków i objęta ochroną konserwatorską.

Słowa kluczowe: zabytek architektury modernistycznej, działania ochronne społeczne i konserwatorskie

1. Introduction. The notion of permanence

In his treatise *The Ten Books on Architecture* (1st century BC) [8], Vitruvius created a triad of qualities necessary for architecture to exist:

- permanence resulting from durability – firmitas,
- utility – utilitas,
- beauty – venustas.

The co-existence of these three values is an essential precondition for grand architecture to come to life.

1. Wprowadzenie. Pojęcie trwałości

Witruwiusz w traktacie *O architekturze ksiąg dziesięć* (I wiek p.n.e.) [8] stworzył triadę cech koniecznych dla istnienia architektury:

- trwałość – firmitas,
- użyteczność – utilitas,
- piękno – venustas.

Współistnienie tych trzech cech jest niezbędnym warunkiem wstępnym do życia wielkiej architektury.

Permanence is the ability to exist, to survive, to touch on the unyielding and to resist. The concept defines all that still remains in space and time, defying the force of destruction.

Vitruvius recommended his triad to us, living in a world in which nature dominated humankind. The architecture of Vitruvius's epoch and hundreds of years after it was an addition to the natural landscape, remaining in line with the doctrine of dichotomy (Aristotle, 384-322 BC).

Architecture was perpetual in the consciousness of many generations, though the idea mainly referred to widely known and appreciated objects. When the objects decline with time, they are preserved and restored. In the common mind, they should remain testimony to the past grandeur and splendour.

In his work *Uczniowie cieśli* (The Disciples of the Carpenter) [5], Lech Niemojewski wrote that "there are three (basic) ideas of architecture:

- truth,
- beauty,
- wisdom,

which refer to the creators of the works, but also to

- the idea of perpetuity,
- the idea of long life and durability,
- the idea of immortality,

which refer to the works of architecture themselves".

We construct buildings assuming their long life and durability. We give them the sense of timelessness. In point of fact, architecture undergoes permanent transformations which embrace both its significance and material dimension.

2. Transience in Architecture

The concepts of time form two notions, *permanence* and *transience*, which are opposing and converging ideas at the same time.

Transience (Latin *transitus*) signals the brevity of all that passes, is temporary, curtailed, fragile, fugacious and makeshift.

Once built, architecture gradually loses its material value. Stone crumbles, glass tarnishes and equipment wears out. Architecture loses its usefulness, and the dynamics of life generates new needs that have been previously unknown. The functions which an object was designed for disappear, and new roles, not envisaged beforehand, emerge.

It also ages in the moral sense, as the expectations towards buildings constructed years ago change with time and are not met today.

Utility can be prolonged by transforming, restoring, adapting and redeveloping the structures that are susceptible to all these types of changes.

Trwałość to zdolność istnienia, przetrwania, zbliżenia do nieugiętości, odporności, oznacza to, co wciąż tkwi w czasoprzestrzeni, opierając się sile zniszczenia.

Witruwiusz zalecał nam swoją triadę, żyjąc w świecie, w którym natura panowała nad człowiekiem. Architektura epoki Witruwiusza i jeszcze setki lat po nim była dodatkiem do naturalnego krajobrazu zgodnie z doktryną dychotomiczną (Arystoteles 384-322 p.n.e.).

Architekturę w **świadomości** wielu pokoleń uważano za wieczną, choć miano głównie na myśli obiekty powszechnie znane i cenione. Gdy skutek upływu czasu niszczy, są podtrzymywane i naprawiane. W powszechnej świadomości powinny trwać jako świadectwa minionej świetności.

Lech Niemojewski w dziele *Uczniowie cieśli* [5] napisał „są trzy idee (podstawowe) architektury:

- prawda,
- piękność,
- mądrość

co się odnosi raczej do twórców dzieł, ale również do:

- idei wieczności,
- idei trwałości,
- idei nieśmiertelności

co się odnosi raczej do dzieł".

Budowle wznosimy z założeniem ich trwałości. Nadajemy im znamiona ponadczasowości. W rzeczywistości architektura ulega permanentnym przeobrażeniom, które obejmują jej wymiar materialny oraz znaczeniowy.

2. Przemijalność w architekturze

Koncepcje czasu tworzą dwa pojęcia przeciwstawne i zbieżne zarazem: *trwałość* i *przemijalność*.

Przemijalność (łac. *transitus*) sygnalizuje krótkotrwałość tego, co mija, jest tymczasowe, skrócone, kruche, chwilowe, prowizoryczne.

Architektura zbudowana traci wartość materialną. Kamień kruszy się, szkło matowieje, urządzenia zużywają się. Architektura traci wartość użytkową, dynamika życia powoduje powstawanie nowych potrzeb, których wcześniej nie znano. Funkcje, dla których zaprojektowano obiekt, zanikają, powstają nowe, których obiekt nie przewidywał.

Starzeje się również moralnie, bo oczekiwania w stosunku do budynków zmieniają się, bo obiekt zbudowany przed laty nie spełnia ich dzisiaj.

Użyteczność może być przedłużona poprzez zmianę, uzupełnienie, adaptację i przebudowę tych struktur, które są na to podatne.

The persistence of architectural objects due to the adaptation, modernisation and blending of the preserved objects into the new structures of developments is a positive phenomenon.

In an era of permanent economic crises, when scholars and politicians prefer sustainable development, the notions of permanence and transience in architecture are gaining new meaning and significance.

In this day and age, the triad of the qualities indispensable to the existence of architecture created by Vitruvius has had to undergo transformation. Permanence resulting from durability, utility and beauty have been replaced with fields of knowledge concerning [2]:

- ecology,
- economics,
- society.

Trwanie obiektów architektury poprzez zabiegi adaptacyjne, modernizacyjne i wtapianie zachowanych obiektów w nowe struktury zabudowy jest zjawiskiem pozytywnym.

W epoce permanentnych kryzysów ekonomicznych, gdzie uczeni i politycy preferują rozwój zrównoważony, pojęcie trwałości i przemijalności w architekturze nabiera nowego znaczenia.

Współcześnie triada cech koniecznych dla istnienia architektury stworzona przez Witruwiusza musiała ulec przekształceniu. Trwałość, użyteczność i piękno zastąpiono dziedzinami wiedzy dotyczącymi [2]:

- ekologii,
- ekonomii,
- społeczeństwa.

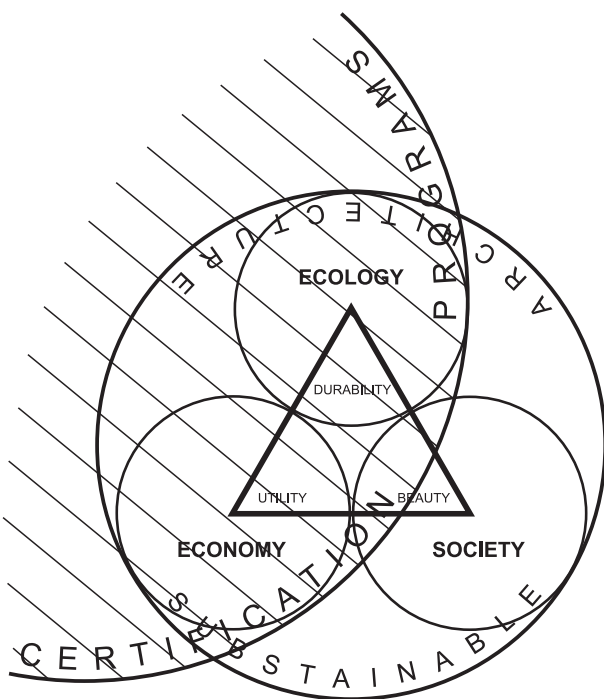


Fig. 1. The modern Vitruvian Triad (figure by the author)

Rys. 1. Współczesna triada Witruwiusza (rysunek autora)

Transience is certain. Transience is the consequence of birth.

Death is the ultimate stage of transience.

The full concept of transience embraces a cycle of stages from birth to death.

Transience in architecture is the consequence of the loss of usefulness and desirable physical features or the disappearance of aesthetic qualities.

The persistence of architecture can be threatened by the economic account.

In sustainable design, the entire processes of permanence and transience of architecture undergo an

Przemijanie jest pewnikiem. Przemijanie jest następstwem narodzin.

Etapem finalnym przemijania jest śmierć.

Pełny obraz przemijania zawiera cykl etapów od narodzin aż do śmierci.

Przemijanie w architekturze jest następstwem utraty walorów użytkowych pożądaných cech fizycznych czy też utraty walorów estetycznych.

Trwanie architektury może być zagrożone przez rachunek ekonomiczny.

W projektowaniu zrównoważonym poddawany jest analizie cały proces trwania i przemijania architektury.

analysis from the pre-design phase to the demolition phase and adaptation of the development site for other purposes [1].

Od fazy przedprojektowej do fazy likwidacji i przywrócenia terenu zabudowy do innych celów [1].

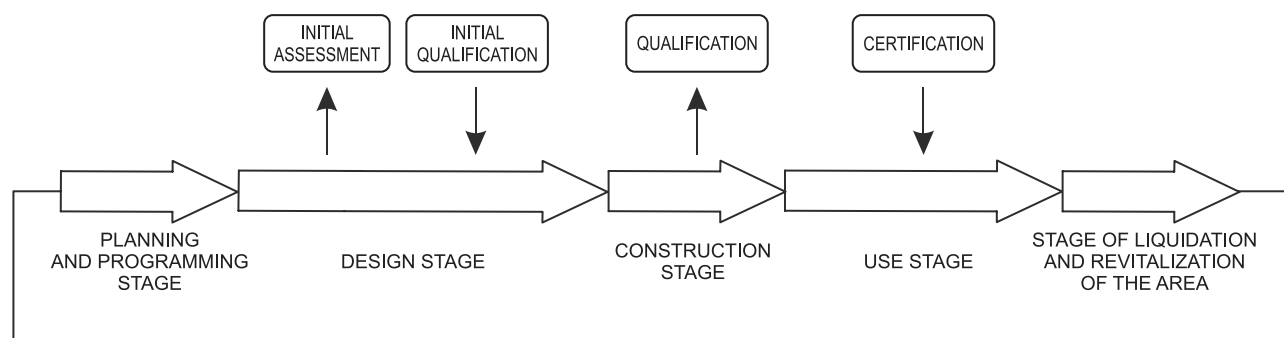


Fig. 2. The life cycle of a building (figure by the author)

Rys. 2. Cykl życia budynku (rysunek autora)

3. The assessment of the values of architecture

The values in architecture are of diverse character, and so are the criteria for their assessment. The evaluation criteria may include the following architectural values [3]:

- historical,
- scientific,
- style,
- compositional,
- spatial,
- artistic,
- emotional.

The architectural values of particular objects should undergo a full and thorough assessment. The evaluation should serve as a basis for taking fundamental decisions that frequently determine the fate of the structures, which is their:

- survival,
- conversion,
- demolition.

Flawed decisions are taken time and time again. Economic conditions approached superficially are the decisive criterion, and the profit of the owner or the investor is the determining factor. Unfortunately, many structures of great architectural value have been annihilated so far. Therefore, systemic protective measures are indispensable.

4. Protective conservation measures

Conservation measures involve doing research, taking inventory and conducting maintenance works in a historical object in order to preserve it in good technical condition as long as possible. The primary objective of conservation is to reduce the tempo of the process of

3. Ocena wartości architektury

Wartości w architekturze mają rozmaity charakter, zmienne są również kryteria ich oceny. Kryteriami oceny mogą być wartości architektoniczne w zakresie [3]:

- historycznym,
- naukowym,
- stylowym,
- kompozycyjnym,
- przestrzennym,
- artystycznym,
- emocjonalnym.

Wartości architektoniczne obiektów należy poddać wnikliwej i pełnej ocenie. Ocena wartości winna być podstawą do podejmowania niejednokrotnie fundamentalnych decyzji przesądzających o losach budowli, o ich

- przetrwaniu,
- przekształceniu,
- likwidacji.

Wielokrotnie podejmowane są błędne decyzje. Decydującym kryterium są płytko rozumiane uwarunkowania ekonomiczne, a zysk właściciela, inwestora jest czynnikiem przesądzającym. Niestety wiele budowli o dużych wartościach architektonicznych zostało unicestwionych. Dlatego konieczne są systemowe działania ochronne.

4. Ochronne działania konserwatorskie

Działania konserwatorskie polegają na badaniu, inwentaryzacji i utrzymaniu obiektu zabytkowego w dobrym stanie technicznym przez jak najdłuższy czas. Podstawowym celem konserwacji jest jak najskuteczniejsze zwolnienie procesu degradacji orygi-

degradation of the original components of a historical object by the most effective means. The conservation officer keeps a register of historical objects.

A historical object is an immoveable property or a moveable item, parts or assemblies thereof, produced by man or related to human activities, constituting testimony to a past era or event, the preservation of which lies within the public interest due to its historical, artistic or scientific value [7] (Article 3 of the Act of 23rd July, 2003 on the Protection and Maintenance of Cultural Heritage).

The Act on the Protection and Maintenance of Cultural Heritage specifies four forms of protection of historical properties:

- entering a historical property in the register of objects of cultural heritage,
- granting historic status to a historical object,
- establishing a park of culture,
- establishing requirements for conservation protection in the local spatial development plan.

Regardless of the state of preservation, protection and maintenance cover the following types of immoveable historical objects:

- works of architecture and civil engineering,
- works of defensive architecture,
- industrial and technical structures, in particular, mines, steelworks, power stations and other industrial buildings and facilities,
- cultural landscapes,
- urban and rural arrangements, clusters of buildings as well as cemeteries, parks, gardens and other forms of cultivated green areas,
- places commemorating historic events or activities of distinguished people or institutions.

The forms of protection of historical properties are a legal tool developed in order to provide conditions facilitating the permanent preservation of historical objects, in particular, by preventing the threats that may impair their value as well as by pre-empting their destruction and misuse. The tasks of the authorities accountable for the protection of historical properties include, among others, controlling the use and management of historical objects and granting permits for conservation, research and construction works at historical sites. The regulations of law protect all historical objects, not only historic properties, parks of culture and properties listed in the register of objects of cultural heritage. The owners and possessors of historical properties are obliged to safeguard the objects, as described in the Act, regardless of their state of preservation or the fact of their registration

nalnych elementów zabytku. Konserwator prowadzi rejestr obiektów zabytkowych.

Obiekt zabytkowy to nieruchomość lub rzecz ruchoma, ich części lub zespoły, będące dziełem człowieka lub związane z jego działalnością i stanowiące świadectwo minionej epoki bądź zdarzenia, których zachowanie leży w interesie społecznym ze względu na posiadaną wartość historyczną, artystyczną lub naukową [7] (art. 3 ust. 1 ustawy z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami).

Zgodnie z ustawą o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami istnieją cztery formy ochrony zabytków:

- wpis do rejestru zabytków,
- uznanie za pomnik historii,
- utworzenie parku kulturowego,
- ustalenie wymogów ochrony konserwatorskiej w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego.

Ochronie i opiece podlegają, bez względu na stan zachowania, zabytki nieruchome będące w szczególności:

- dziełami architektury i budownictwa,
- dziełami budownictwa obronnego,
- obiektami techniki, a zwłaszcza kopalniami, hutami, elektrowniami i innymi zakładami przemysłowymi,
- krajobrazami kulturowymi,
- układami urbanistycznymi, ruralistycznymi i zespołami budowlanymi, a także cmentarzami, parkami, ogrodami i innymi formami zaprojektowanej zieleni,
- miejscami upamiętniającymi wydarzenia historyczne bądź działalność wybitnych osobistości lub instytucji.

Formy ochrony zabytków stanowią narzędzie prawne, mające na celu zapewnienie warunków umożliwiających trwałe zachowanie zabytków, w szczególności poprzez zapobieganie zagrożeniom mogącym spowodować uszczerbek dla ich wartości oraz udaremnianie niszczenia i niewłaściwego korzystania z zabytków. Do zadań organów ochrony zabytków należy m.in. kontrola sposobu użytkowania i zagospodarowania obiektów zabytkowych oraz wydawanie pozwoleń na prowadzenie prac konserwatorskich, badań i robót budowlanych przy zabytkach. Przepisy prawa chronią wszystkie zabytki, nie tylko pomniki historii, parki kulturowe i zabytki wpisane do rejestru zabytków. Właściciele i posiadacze zabytków zobowiązani są do opieki nad nimi, w sposób opisany w ustawie, bez względu na ich stan zachowania czy fakt wpisu do urzędowych rejestrów. Zabytki podlegają ochronie prawnej bez względu na swój stan

in the official records. Historical properties are subject to legal protection irrespective of their state of preservation, and the bad state of an object is not determinant of the loss of its historical value.

Without the consent of the conservation officer, no redevelopment, modernisation, extension works, alteration in the layout of the interiors, filling holes in the damaged walls and plasters, change of the colour scheme or other construction works mentioned in Article 3, item 7 of the Building Code can be carried out in a historical property listed in the register. Nor any construction works can be conducted around a historical property or a protected area. All these procedures require obtaining a building permit and a consent of the conservation officer beforehand. The conversion of a historical property into a new use also requires obtaining a consent, and so does the placing of any technical equipment, boards, advertisements, inscriptions or other information on it. No action can be performed that in any way will affect the appearance of a historical property listed in the register. Therefore, entering a historical property in the register of objects of cultural heritage is an act of great significance. The registration is made following the decision issued by the Provincial Conservation Officer *ex officio* or at the request of the owner of the immovable historical property or the perpetual lessee whose grounds house the immovable historical property. Community and civic organisations that deal with the protection of cultural heritage and environment by statute are also empowered to file an application for entry into the register of objects of cultural heritage.

5. The building of the coach station in Kielce – an optimistic tale

The coach station in Kielce [4] was designed in *Miastoprojekt – Kielce* Design and Research Office in the years 1974-1975. Edward Modrzejewski was the principal designer of architecture and the team of architects included Ryszard Włodarczyk, Danuta Walicka, Zofia Klikowicz and Lucjan Kamionka. Jerzy Radkiewicz was the main structural engineer and Mieczysław Kubala was the author of the station's road layout and transport system. The interiors were designed by a fine artist, Andrzej Grabiwoda. The construction works began in 1975, after the demolition of the previous coach station, and ended in 1984.

The original architectural form of the building resulting from its structure and function has quickly become an inseparable part of the urban landscape of Kielce. The structure of Fuller's dome supported on

zachowania, zgodnie z czym zły stan zachowania obiektu nie przesądza o tym, że utracił on posiadane wartości zabytkowe.

Bez zgody konserwatora nie można w zabytkowej nieruchomości wpisanej do rejestru dokonać żadnej przebudowy, modernizacji, rozbudowy, zmienić rozkładu wnętrza, uzupełnić uszkodzonych ścian czy tynków, zmienić kolorystyki, czyli wszystkich prac budowlanych wymienionych w art. 3 pkt 7 Prawa budowlanego. Nie można również wykonywać żadnych robót budowlanych w otoczeniu zabytku i na terenie objętym ochroną. To wszystko wymaga uzyskania pozwolenia na budowę i wcześniejszej zgody konserwatora. Pozwolenia wymaga również zmiana przeznaczenia lub użytkowania zabytkowej nieruchomości, tak samo jak umieszczenie na niej wszelakich urządzeń technicznych, tablic, reklam czy napisów. Nie można zrobić nic co w jakikolwiek sposób naruszy wygląd zabytku wpisanego do rejestru. Istotnym więc działaniem jest wpis do rejestru zabytków. Wpisu dokonuje się na podstawie decyzji wydanej przez wojewódzkiego konserwatora zabytków z urzędu bądź na wniosek właściciela zabytku nieruchomości lub użytkownika wieczystego gruntu, na którym znajduje się zabytek nieruchomy. Prawo do zgłaszania wniosku o wpis do rejestru zabytków mają także organizacje społeczne zajmujące się statutowo ochroną dziedzictwa i środowiska kulturowego.

5. Przykład budynku dworca PKS w Kielcach – historia optymistyczna

Projekt dworca PKS w Kielcach [4] powstał w Biurze Projektowo-Badawczym *Miastoprojekt – Kielce* w latach 1974-1975. Głównym projektantem architektury był arch. Edward Modrzejewski, w skład zespołu architektury wchodził Ryszard Włodarczyk, Danuta Walicka, Zofia Klikowicz, Lucjan Kamionka. Głównym konstruktorem był Jerzy Radkiewicz, a twórcą układu komunikacyjnego był Mieczysław Kubala. Projekt wnętrza wykonał art. plastyk Andrzej Grabiwoda. Budowę po wyburzeniu starego dworca rozpoczęto w roku 1975, a zakończono w 1984.

Oryginalna forma architektoniczna budowli, wynikająca z konstrukcji i funkcji, dobrze wpisała się w krajobraz miejski Kielc. Konstrukcja kopuły Fullera, wsparta na stalowych „łękach”, stanowiła zada-



Photo 1. The construction of the new coach station – 1975-1980 (source: Kielce.Wyborcza.pl)

Fot. 1. Budowa nowego dworca PKS 1975-1980 (źródło: Kielce.Wyborcza.pl)



Photo 2. The coach station in the years 1980-1990 (source: fotopolska.eu)

Fot. 2. Dworzec PKS w latach 1980-1990 (źródło: fotopolska.eu)

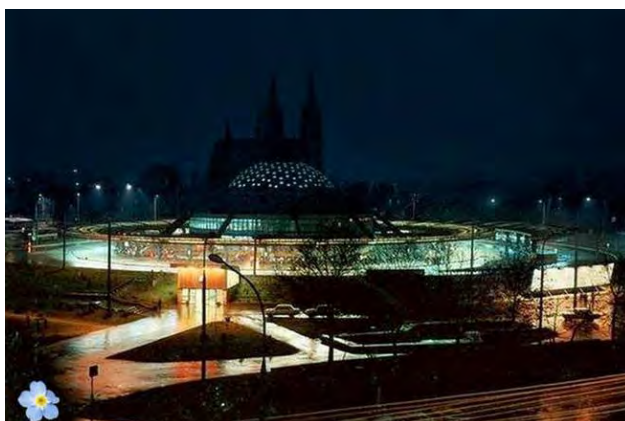


Photo 3. The coach station by night (source: Architektura, muratorplus.pl)

Fot. 3. Dworzec PKS nocą (źródło: Architektura, muratorplus.pl)



Photo 4. The coach station at the beginning of the 21st century (source: naszekielce.com.)

Fot. 4. Dworzec PKS – stan z początku XXI wieku (źródło: naszekielce.com.)



Photo 6. The coach station at the beginning of the 21st century (source: beczmiana.pl)

Fot. 5. Dworzec PKS – stan z początku XXI wieku (źródło: beczmiana.pl)

steel 'arch buttresses' forms the roof of the building. The road layout of the transport system as well as the functional system were seen as facilitative for the user traffic. The coach station was planned to handle 1,500 coaches and accommodate 24,000 passengers daily. The building is well inscribed in the panorama of Kielce and in the consciousness of its citizens. It has become a landmark of the city.

At the turn of the 21st century, the object clearly deteriorated and started to decline. After the fall of the PKS (Motor Transport Company), a new investor planned to demolish the blighted building and intended to construct a shopping mall at its site. Due to the fervent civic protests in 2013 the building was registered as a historical property. In his statement, the Conservation Officer for the Świętokrzyskie Province said that the object was a unique example of architecture of the Polish People's Republic era, ranked one of the most precious architectural achievements in Poland in the 1970s and 1980s of the 20th century, and as such was material evidence of the epoch.

In 2016, the city authorities along with the Association of Polish Architects invited entries to an open architectural competition to construct a transport hub with a passenger information system (redevelopment, extension and modernisation of the existing coach station complex in Czarnowska 12 in Kielce). On the 19th December 2016, the competition jury awarded the First Prize to a studio *Marcin Kamiński Bartosz Bojarowicz Architects*.

The modernisation works will commence in 2017. The citizens hope that the object will have its life and former quality restored.

6. The building of the 'Supersam' market in Warsaw – an unhappy ending

The Warsaw's 'Supersam' market [6] was designed by Jerzy Hryniewicz, Maciej Krasinski and Ewa Krasinska, together with the structural engineers Wacław Zalewski, Stanisław Kuś and Andrzej Żórawski. The building was opened in June, 1962. It was considered one of the most outstanding achievements of Modernism in Poland. Its original architecture and unique structure made the building attractive. The largest grocery supermarket was placed in a clear-span building with a floor space of 6,000 m².

Despite a campaign led in order to salvage the building, a precious architectural relic of the Polish People's Republic era, from demolition, the supermarket was dismantled in December, 2006.

szenie budowli. Układ komunikacyjny i funkcjonalny sprzyjał ruchowi użytkowników. Dworzec docelowo miał obsługiwać 1500 autobusów i 24 tys. pasażerów w ciągu doby. Budynek dobrze wpisał się w panoramę Kielc i w świadomość mieszkańców. Stał się wizytówką miasta.

W latach dwutysięcznych obiekt wyraźnie zaczął chylić się ku upadkowi. Nowy inwestor zamierzał wyburzyć budynek i wybudować w jego miejscu galerię handlową. Wskutek silnych protestów społecznych w roku 2013 budowla została wpisana na listę zabytków. Świętokrzyski konserwator zabytków woświadczeniustwierdził, że obiektm.in. stanowi unikalny przykład architektury PRL, uznawany za jedną z cenniejszych realizacji architektonicznych w Polsce w latach 70. i 80. XX wieku i stanowi materialny dokument epoki.

Władze miasta wraz z Stowarzyszeniem Architektów Polskich w 2016 roku rozpiwały otwarty konkurs architektoniczny na budowę Centrum Komunikacyjnego wraz z system informacji dla pasażerów (przebudowa, rozbudowa i modernizacja istniejącego zespołu dworca autobusowego przy ul. Czarnowskiej 12 w Kielcach). Sąd konkursowy w dniu 19 grudnia 2016 pierwszą nagrodę przyznał pracowni *Marcin Kamiński Bartosz Bojarowicz Architekci*.

Prace modernizacyjne rozpoczną się w roku 2018. Mieszkańcy mają nadzieję, że obiekt powróci do swej świetności.

6. Budynek Supersamu w Warszawie – złe zakończenie

Warszawski Supersam [6] został zaprojektowany przez Jerzego Hryniewieckiego, Macieja Krasinskiego i Ewę Krasinską oraz konstruktorów Wacława Zalewskiego, Stanisława Kusia i Andrzeja Żórawskiego. Obiekt otwarto w czerwcu 1962 r. Uznawany był za jedno z najwybitniejszych osiągnięć modernizmu w Polsce. Oryginalna architektura, unikalna konstrukcja stanowiły o walorach budowli. W jednoprzestrzennym pawilonie o powierzchni użytkowej 6 tys. m² umieszczono największy samoobsługowy sklep spożywczy.

Pomimo przeprowadzenia kampanii na rzecz uratowania budynku przed wyburzeniem jako cenny zabytek architektury PRL-u, Supersam został rozebrany w grudniu 2006 r.



Photo 6. The supermarket in Puławska street in Warsaw (source: muratorplus.pl)

Fot. 6. Budynek Supersamu w Warszawie przy ul. Puławskiej (źródło: muratorplus.pl)



Photo 7. The supermarket in Puławska street in Warsaw (source: warszawa.onet.pl)

Fot. 7. Budynek Supersamu w Warszawie przy ul. Puławskiej (źródło: warszawa.onet.pl)



Photo 8. The interiors of the 'Supersam' (source: histografy.pl)

Fot. 8. Supersam – wnętrze (źródło: histografy.pl)



Photo 9. The interiors of the 'Supersam' (source: Narodowe Archiwum Cyfrowe, syg. 51-253-4)

Fot. 9. Supersam – wnętrze (źródło: Narodowe Archiwum Cyfrowe, syg. 51-253-4)



Photo 10. The supermarket during demolition (source: culture.pl)

Fot. 10. Supersam – okres burzenia budynku (źródło: culture.pl)



Photo 11. The supermarket during demolition (source: czarnota.org)

Fot. 11. Supersam – okres burzenia budynku (źródło: czarnota.org)



Photo 12. The Union Square office building constructed at the site of the supermarket (source: okonet.pl)

Fot. 12. Biurowiec Plac Unii zrealizowany w miejscu budynku Supersamu (źródło: okonet.pl)

In 2009, a design project of an office building with a shopping area was issued and published. The building named the Union Square was constructed.

7. Conclusions

The fate of modernist architecture turns out to be pessimistic too frequently. Unfortunately, prominent objects bearing witness to the spiritual and material achievements of Modernism cease to exist.

Conservation measures play a fundamental role in the field of protection of historical properties. Moreover, initiatives organised at grass-root level by community and civic movements are a significant factor. In the cases when efforts are immense and shared within a group, they find their culmination in a successful finale. A property enters the register of objects of cultural heritage and is under conservation protection, which enables its survival and facilitates its preservation as testimony of the past, but universal values.

The story of the coach station in Kielce is a positive example. The facility, planned for demolition by the new owner, was finally listed in the register of historical properties and placed under protection as a result of the actions taken by civic associations and supported by the Conservation Officer's civil servants.

The fate of the building of the Supersam in Warsaw is a sad example to remember. Despite the campaign organised to salvage the object, the lack of appropriate coordination of the community and civic groups as well as of the conservation services brought about the loss of the building – its demolition and clearance.

Creating lists of properties of great architectural and historical value is a right and purposeful initiative performed both by the representatives of community and civic groups and specialists. Such lists should be the basis for entering a precious historical property

W 2009 roku przedstawiono projekt wzniesienia na działce biurowca z częścią handlową. Budynek pod nazwą Plac Unii został zrealizowany.

7. Zakończenie

Los dzieł architektury modernistycznej zbyt często jest pesymistyczny. Niestety odchodzą w niebyt obiekty wybitne świadczące o osiągnięciach duchowych i materialnych epoki modernizmu.

Fundamentalne znaczenie ochronne mają działania konserwatorskie, ale również istotnym czynnikiem są zorganizowane działania podejmowane oddolnie przez ruchy społeczne. W przypadkach, w których wektor tych działań jest silny i wspólny dochodzi do finału będącego sukcesem. Obiekt zostaje wpisany na listę zabytków i zostaje objęty ochroną konserwatorską, co umożliwia przetrwanie i zachowanie go jako świadectwa wartości minionych, ale uniwersalnych.

Pozytywnym przykładem jest los budynku dworca PKS w Kielcach. Obiekt, który przez nowego właściciela został przeznaczony do wyburzenia, dzięki działaniom podjętym przez stowarzyszenia mieszkańców, a popartym przez państwowe służby konserwatora zabytków umożliwiły wpisanie go na listę zabytków i objęcie ochroną.

Negatywnym przykładem jest budynek Supersamu w Warszawie. Pomimo przeprowadzenia kampanii na rzecz uratowania obiektu, brak właściwej koordynacji działań społecznych i służb konserwatorskich spowodował utratę budynku – wyburzenie i likwidację.

Słusznym i celowym działaniem jest tworzenie przez przedstawicieli grup społecznych i specjalistów list obiektów architektury o dużych walorach architektonicznych, które są świadectwem wartości epoki minionej. Utworzona lista winna być podstawą do

in the register of objects of cultural heritage and taking it into conservation protection. Frequently, this particular measure is the only method to salvage a valuable object from demolition.

wpisania wartościowego obiektu na listę zabytków i objęcie go ochroną konserwatorską. Niejednokrotnie to jedyna droga do uratowania wartościowego obiektu przed wyburzeniem.

References

- [1] Kamionka L., *The problem of defining standards in the sustainable architecture design*. Architectus 1(29)/2011 P.W.W.A. Wrocław 2011, pp. 69-75.
- [2] Kamionka L., *Architektura zrównoważona i jej standardy na przykładzie wybranych metod oceny*. Monografie, Studia, Rozprawy M30, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2012.
- [3] Kamionka L., *Architektura zharmonizowana z otoczeniem – aspekt wybranych metod oceniających*. [w] Architektura zharmonizowana w przestrzeni miasta. Monografia, Architektura 4, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2016, pp. 21-29.
- [4] Kamionka L., *Oblicza architektury współczesnej w Kielcach – na przykładzie wybranych obiektów*. Paper presented at the National Conference „Architektura Kielc, wybrane zagadnienia” Kielce, June, 2017.
- [5] Niemojewski L., *Uczniowie cieśli – Rozważania nad zawodem architekta*. Warszawa, 1948 (reprinted in 1999).
- [6] Springier F., *Żle urodzeni. Reportaż o architekturze PRL-u*. Karakter 2012.
- [7] Ustawa o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami z dnia 23 lipca 2003 r. Art. 3, ust. 1 (Act on the Protection and Maintenance of Cultural Heritage of 23rd July, 2003, Art. 3, item 1).
- [8] Witruwiusz, *O architekturze ksiąg dziesięć* (translated by Kazimierz Kumaniecki). Warszawa 1999.

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 002.0.07.00/2.01.01.01.0020 MNSP.BKAU.15.002.



environment
environment

THE STATISTICAL MODELS FOR INTERPRETING THE RESULTS OF PARCELS AREA VERIFICATION IN INTEGRATED ADMINISTRATION AND CONTROL SYSTEM IACS

STATYSTYCZNE MODELE INTERPRETACJI WYNIKÓW WERYFIKACJI POWIERZCHNI DZIAŁEK W PROGRAMIE IACS

DOI: 10.30540/sae-2018-005

Abstract

A key element of the system IACS is the verification of the parcel area covered by direct subsidies. Control measurements are made by FOTO method, and in a small part by the direct inspection. Statistical methods are used in estimating the significance of differences. The results of such analysis are correct only when the empirical distributions are consistent with the theoretical ones. The problem of distribution adequacy is presented in the paper on the examples of three objects. The hypotheses about the possibility of using the commonly used distributions, and the appropriateness of the modification of the density curves were verified. By questioning the effectiveness of current methods of analysis, the authors point to the advantages of robust statistics. The cognitive effect of the analysis is to indicate the Laplace distribution as a statistical model of the analyzed differences. Research is concluded by proposal of post-control report that sums up relevant properties of the survey results.

Keywords: system IACS, verification of parcel area, robust statistics

Streszczenie

Kluczowym elementem programu IACS (Integrated Administration and Control System) jest weryfikacja powierzchni działek objętych dopłatami bezpośrednimi. Pomiary kontrolne wykonywane są metodą FOTO, a w niewielkiej części w ramach inspekcji terenowej. W ocenie istotności różnic zastosowanie znajdują metody statystyczne. Wyniki takich analiz są poprawne pod warunkiem zgodności rozkładów empirycznych z teoretycznymi. Problem adekwatności rozkładów zaprezentowano w artykule na przykładzie trzech obiektów. Zweryfikowano hipotezę o możliwości wykorzystania powszechnie stosowanych rozkładów oraz zbadano zasadność modyfikacji krzywych gęstości. Poddając w wątpliwość efektywność stosowanych obecnie metod analizy, Autorzy wskazują na zalety metod statystyki odpornościowej. Poznawczym efektem analizy jest wskazanie rozkładu Laplace'a jako statystycznego modelu analizowanych różnic. Konkluzję badań stanowi propozycja raportu pokontrolnego zawierającego istotne właściwości wyników pomiaru.

Słowa kluczowe: program IACS, weryfikacja powierzchni działek, statystyka odpornościowa

1. Introduction

ARiMR (Restructuring and Modernization of the Agriculture Agency) studies, reports and analysis of the control measurements of parcels covered by direct payments always contain several measures, namely: the number of reference parcels, the areas measured by farmers incorrectly, the percentage of

1. Wprowadzenie

W opracowaniach ARiMR raporty i analizy wyników pomiarów kontrolnych powierzchni działek objętych dopłatami bezpośrednimi standardowo zawierają kilka miar, a mianowicie: liczbę działek referencyjnych, których powierzchnie zostały przez rolników określone błędnie, procentowy udział tych

these parcels in the studied population, the mean or median observed of the surface differences [6-9]. In literature about the subject problem there are no advanced statistical studies. In statistical data analysis, such as testing hypotheses about the similarity of distributions, it is assumed, that the measurement results are random variables with a normal distribution. Such assumption without proper verification is not eligible. Investigation of numerical models quality worked out by photogrammetric methods shows, that errors of these models are better approximated by the Laplace's distribution. The histograms of empirical Digital Elevation Models (DEM) have a characteristic shape, they are centered near zero and they have so called "long tails" [1-3, 11]. For clarity of interpretation of the results, it is necessary to eliminate outliers data. Such effect can be achieved using the robust method [4].

A separate question to be clarified at the stage of data preparation for statistical analysis is the definition of a random variable. In practice, the elements of the set are calculated as absolute values in the differences between the reference parcel areas that were given by farmers and the results of the control survey. However, the subject of the analysis may also be relative values of these differences. The problem is significant because, as experience shows, these variables are characterized by different distributions [3].

The problem of the properties of random variables tested and their corresponding methods of analysis have been investigated on the basis of the data obtained for three objects. Two specific problems of statistical interpretation were considered. One was to analyze the differences in the area of areas between farmers' declarations and FOTO control results, the second one was to compare the results of measurements made on the same objects at two year interval. An attempt was made to determine the theoretical distribution of the random variable best fitted to empirical data. It should be emphasized, that the theoretical distributions fitting to empirical data are of practical importance. On the one hand, they record the results of the measurements in a compact way, and on the other hand they enable the correct use of statistical tests. The result of the research is a proposition to take into account the statistical robust method in preparing IACS reports.

działek w badanej populacji, średnie lub mediany obserwowanych różnic powierzchni [6-9]. W literaturze przedmiotowego problemu brakuje zaawansowanych opracowań statystycznych. W statystycznych analizach danych, np. przy testowaniu hipotez o podobieństwie rozkładów, przyjmuje się, że wyniki pomiaru są zmiennymi losowymi o rozkładzie normalnym. Założenie takie bez odpowiedniej weryfikacji nie jest uprawnione. Badania jakości numerycznych modeli opracowanych metodą fotogrametryczną pokazują, że błędy tych modeli lepiej aproksymuje rozkład Laplace'a. Histogramy empirycznych modeli NMT mają charakterystyczny kształt, są skupione w pobliżu zera oraz posiadają tzw. „długie ogony” [1-3, 11]. Dla przejrzystości interpretacji wyników konieczne jest wyeliminowanie danych odstających. Taki efekt można uzyskać, stosując metodę statystyki odpornościowej (*robust method*) [4].

Oddzielną kwestią, którą należy uściślić na etapie przygotowania danych do analiz statystycznych, jest zdefiniowanie zmiennej losowej. W praktyce elementy zbioru obliczane są jako bezwzględne wartości różnic pomiędzy powierzchniami działek referencyjnych podanymi przez rolników oraz wynikami pomiaru kontrolnego. Jednak przedmiotem analizy mogą być również przedmiotowe różnice w postaci wartości względnych. Problem jest istotny, bowiem jak pokazują doświadczenia, wymienione zmienne charakteryzują się różnymi rozkładami [3].

Problem właściwości badanych zmiennych losowych i adekwatnych im metod analizy podjęto w prezentowanym tu artykule, na przykładzie danych pozyskanych dla trzech obiektów. Rozważono dwa szczegółowe zadania statystycznej interpretacji. Jedno dotyczyło analizy różnic powierzchni działek pomiędzy deklaracją rolników a wynikiem kontroli metodą FOTO, w drugim porównano rezultaty pomiarów wykonanych na tych samych obiektach w odstępie dwóch lat. Podjęto próbę określenia rozkładu teoretycznego badanej zmiennej losowej najlepiej dopasowanego do danych empirycznych. Warto podkreślić, że teoretyczne rozkłady dopasowane do danych empirycznych mają znaczenie praktyczne. Z jednej strony w zwarty sposób zapisują wyniki pomiarów, z drugiej umożliwiają poprawne stosowanie testów statystycznych. Efektem wykonanych badań jest propozycja konstrukcji raportu uwzględniająca metodę statystyki odpornościowej.

2. Survey of reference parcels areas by the FOTO method

The primary unit of the Land Parcel Identification System (LPIS) is the reference parcel. It is an agricultural land use, geographically defined and with an assigned identification number. Parcel areas are updated in the LPIS database based on orthophotomap on economic scope PEG and reference borders and GO. PEG is the area determined in the IACS system as the maximum land use area where crops may appear and are eligible for payment, while GO is the boundaries of land parcels updated according to actual use. Note that the definition of agricultural land eligible for direct payments differs from the definition of agricultural land in Land and Buildings Register.

Every year, 5% which is about 70,000 farms is controlled [14]. The measurement is done by the FOTO method because the field inspection of such a number of farms would be too expensive. The FOTO method utilises aerial photographs and high precision satellite images as well as field photos that complement and help identifying crops. Data from the LPIS database on the area are applied to orthophotomaps, then the vectorization of agricultural parcels is conducted. As a result, the boundaries of the parcels and the areas not eligible for payment are pre-identified. Photographs and other information from the field inspection are applied to the orthophotomap and are returned to the inspectors, who carry out the proper vectorization (Fig. 1). The areas of the reference parcels should be determined precisely, because it determines the amount of direct payments.

The orthophotomaps necessary for the implementation of the inspections are produced on the basis of aerial photographs or satellite imagery. The orthophotomap pixel dimensions are of 25 cm or 50 cm. Aerial images previously used by ARiMR were recorded in visible (VIS) and near infrared (NIR) range with a Root-Mean-Square-Error (RMSE) of ± 0.5 m for resolution of 0.25 m and ± 1.25 m for 0.5 m resolution. In the satellite imagery VIS and NIR spectral ranges are recorded. Resolutions of the imagery from the satellites used in the studies are: Quick Bird – 0.6 m, GeoEye – 0.5 m, IKONOS – 1.0 m, WorldView1 – 0.5 m. The final product is an orthophotomap in the scale of 1:5000 in Poland CS92 coordinate system.

2. Pomiar powierzchni działek referencyjnych metodą FOTO

Podstawową jednostką systemu LPIS (Land Parcel Identification System) jest działka referencyjna. Jest ona użytkiem rolnym, określonym pod względem geograficznym i z przyporządkowanym numerem identyfikacyjnym. Powierzchnie działek są aktualizowane w bazie danych LPIS w oparciu o ortofotomapę w zakresie ewidencyjno-gospodarczym (PEG) oraz granic odniesienia GO. PEG jest powierzchnią określaną w programie IACS jako maksymalny obszar, na którym może występować uprawa kwalifikowana do płatności, GO natomiast oznaczają granice działek ewidencyjnych uaktualnione według faktycznego stanu użytkowania. Zauważmy, że definicja gruntów rolnych kwalifikujących się do płatności bezpośrednich różni się od definicji użytków rolnych w EGİB.

Rocznie kontrolą objętych jest 5%, czyli ok. 70 000 gospodarstw [14]. Pomiar wykonuje się metodą FOTO, bowiem inspekcja terenowa takiej liczby gospodarstw byłaby zbyt kosztowna. Podstawę metody FOTO stanowią precyzyjne zobrazowania satelitarne bądź lotnicze oraz zdjęcia wykonane w terenie, które uzupełniają i pomagają w identyfikacji upraw. Dane z bazy LPIS dotyczące obszaru są nakładane na ortofotomapy, następnie prowadzona jest wektoryzacja działek rolnych. W jej wyniku wstępnie identyfikuje się granice działek rolnych oraz powierzchnie niekwalifikujące się do płatności. Zdjęcia oraz pozostałe informacje z inspekcji terenowej są nanoszone na ortofotomapę i wracają do inspektorów kameralnych, którzy przeprowadzają właściwą wektoryzację (rys. 1). Powierzchnia działki referencyjnej powinna być wyznaczona dokładnie, bowiem decyduje o wysokości dopłat bezpośrednich.

Ortofotomapy niezbędne do realizacji kontroli są wykonywane na podstawie zdjęć lotniczych bądź zobrazowań satelitarnych. Wielkość piksela ortofotomapy w skali terenowej wynosi 25 cm bądź 50 cm. Zdjęcia lotnicze dotychczas wykorzystywane przez ARiMR rejestrowane były w zakresach VIS (zakres widzialny) oraz NIR (bliska podczerwień) z błędem RMSE (Root-Mean-Square-Error) $\pm 0,5$ m dla rozdzielczości terenowej zobrazowania 0,25 m oraz $\pm 1,25$ m dla rozdzielczości 0,5 m. W zobrazowaniach satelitarnych rejestrowane są zakresy spektralne VIS+NIR. Rozdzielczości przykładowych zobrazowań z satelitów wykorzystywanych do opracowań to Quick Bird – 0,6 m, GeoEye – 0,5 m, IKONOS – 1,0 m, WorldView1 – 0,5 m. Produktem finalnym jest ortofotomapa w skali 1:5000 w układzie PL-1992.



Fig. 1. Comparison of vectors of reference and agricultural land use

Rys. 1. Porównanie wektorów działki referencyjnej oraz rolnej

According to the Specifications [13], the effect of ambiguity of border vectorization on parcel area is estimated by the tolerance T determined as the product of its circumference O and the width of the buffer zone B :

$$T = B \cdot O \quad (1)$$

The width of the buffer zone is determined arbitrarily by the ARiMR for the whole area, based on the results of the validation of the provided orthophotomap. The validation process is described in detail in the papers [2] and [5]. In case when ARMiR does not validate the orthophotomaps, an inspector calculates the width of the buffer zone as:

$$B = 1.5 \cdot R_t \quad (2)$$

where R_t is the resolution of the orthophotomap in m.

In the case where the difference between the declared area and the control's result exceeds the value of T , then the error of the farmer's declaration is declared. If the area is exceeded, the code DR13+ is given and, in case of underestimation, the code DR13-.

3. Research of the compatibility of declarations with the actual state

The presented research material is the result of the control of three objects in the West Pomerania Province. A total of 511 parcels in the year of 2014 were controlled and 365 parcels in 2016. The subject of the analysis was the number of plots of land for which T was exceeded and the percentage of incorrect declarations in two above mentioned periods. Tolerance T -values have been included in the analysis for the different widths of the buffer zones. In 2014, the buffer zone was 0.75 m and in 2016 it was 1.25 m. Consequently, the above data were analyzed in the second row based on the harmonized

Zgodnie ze Specyfikacjami [13] wpływ niejednoznaczności wektoryzacji granic na wielkość powierzchni działki szacuje się za pomocą tolerancji T wyznaczanej jako iloczyn jej obwodu O i szerokości strefy buforowej B :

$$T = B \cdot O \quad (1)$$

Szerokość strefy buforowej jest określana arbitralnie przez ARiMR dla całego obszaru na podstawie wyników walidacji dostarczonych ortofotomap. Proces walidacji opisano szczegółowo w [2] i [5]. W przypadku braku walidacji ortofotomap przez ARMiR wykonawca oblicza szerokość strefy buforowej jako

$$B = 1,5 \cdot R_t \quad (2)$$

gdzie R_t jest rozdzielczością ortofotomapy, m.

W przypadku gdy różnica pomiędzy powierzchnią deklarowaną a wynikiem kontroli przekracza wartość T , wówczas stwierdza się błąd deklaracji rolnika. W przypadku zawyżenia wielkości powierzchni działki nadawany jest kod DR13+, a w przypadku niedoszacowania powierzchni kod DR13-.

3. Badania poprawności zgodności deklaracji ze stanem faktycznym

Prezentowany materiał jest rezultatem kontroli trzech obiektów w województwie zachodniopomorskim. W roku 2014 skontrolowano łącznie 511 działek, a w 2016 roku 365 działek. Przedmiotem analizy były: liczba działek, dla których stwierdzono przekroczenie wartości T , oraz procentowy udział nieprawidłowych deklaracji w dwóch okresach. W analizach przy wyznaczaniu wartości tolerancji T uwzględniono różne szerokości stref buforowych. W 2014 roku strefa buforowa wynosiła 0,75 m, a w 2016 roku 1,25 m. Konsekwentnie w drugiej kolejności przeanalizowano wyżej wymienione wielkości przygotowane na podstawie

data. The standardization consisted of calculating new tolerances for a uniform buffer's width.

Compatibility of the farmer's declaration with the actual situation is best illustrated by the number of parcels for which codes DR13+ or DR13- have been assigned. The number of plots of land with significant discrepancies in declared area and actually used in 2014 and 2016 equals 126, corresponding to 14.4% of total data. Significant differences can be observed in individual years. In 2014, 18% of plots of land were declared wrongly (92 out of 511), and in 2016 only 9% (34 out of 365). The research question is to determine the significance of this difference in the aspect of statistical properties of data sets. The answer is ambiguous. Positive answer may indicate a better recognition of the system by farmers, but the decrease in the number of parcels with incorrectly declared area may also be the result of a different buffer zone acceptance. To verify this, a new width of the buffer zone same as in 2016 (1.25 m), was introduced for 2014 data, and new tolerances were calculated for each plot of land. With these assumptions, the number of parcels with incorrectly declared area has decreased from 92 to 80, from 18% to 16% of the total number of measurements. Let us note, that this result is practically identical to the value of 16.1% obtained for the West Pomerania Province in 2007 [9].

ujednoliconych danych, które polegało na obliczeniu nowych tolerancji dla jednolitej szerokości bufora.

Zgodność deklaracji rolników ze stanem faktycznym najlepiej obrazuje liczba działek, dla których przyporządkowano kody DR13+ lub DR13-. Liczba działek, w przypadku których stwierdzono istotne rozbieżności powierzchni deklarowanej i faktycznie użytkowanej w latach 2014 i 2016, wynosi łącznie 126, co odpowiada 14,4% ogólnej liczby danych. Znaczne różnice można zaobserwować w poszczególnych latach. W roku 2014 błędnie zadeklarowano 18% działek (92 działki spośród 511), a w 2016 jedynie 9% (34 spośród 365). Zagadnieniem badawczym jest określenie istotności tej różnicy w aspekcie statystycznych właściwości zbiorów danych. Odpowiedź nie jest jednoznaczna. Pozytywna może wskazywać na lepsze rozpoznanie problemu funkcjonowania systemu przez rolników, ale zmniejszenie się liczby działek, których powierzchnie zadeklarowano nieprawidłowo, może również wynikać z przyjęcia różnej strefy buforowej. Aby to sprawdzić, dla danych z 2014 roku wprowadzono nową szerokość strefy buforowej, taką jak w 2016 r., tj. 1,25 m, po czym dla każdej działki obliczono nowe tolerancje. Przy tych założeniach liczba działek o źle zadeklarowanej powierzchni zmniejszyła się z 92 do 80, czyli z 18% do 16% ogólnej liczby pomiarów. Odnotujmy, że wynik ten jest praktycznie identyczny z wartością 16,1%, jaki uzyskano dla województwa zachodniopomorskiego w 2007 r. [9].

Table 1. Number of parcels with DR13 code for different buffer zone width

Tabela 1. Liczba działek z kodami DR13 dla różnej szerokości strefy buforowej

	2016	2014	2014 (buffer width 1.25 m)	Difference between 2014 and 2016 (buffer width 1.25 m)
DR13+	18	51	44	7
DR13-	16	41	36	5
total	34	92	80	12

4. Properties of empirical data distribution

Figure 2 shows the histograms for three random variables, each slightly differentiating the declared and measured use area. These are:

1. Absolute differences in declared and measured area Δp .
2. Relative differences $\Delta p/p$.
3. Distances of boundaries (Author's designation), defined as mean distances between declared and measured boundaries d . It is a variable characterizing the relative differences:

4. Właściwości rozkładu danych empirycznych

Na rysunku 2 przedstawiono histogramy wyznaczone dla trzech zmiennych losowych, z których każda w nieco inny sposób charakteryzuje różnice powierzchni deklarowanych i pomierzonych. Są to:

1. Bezwzględne różnice powierzchni deklarowanej i zmierzonej Δp .
2. Różnice względne $\Delta p/p$.
3. Odległość granic (określenie Autorów), wyznaczana jako średnia odległość pomiędzy granicami deklarowanymi i zmierzonymi d , jest zmienną charakteryzującą różnice względne:

$$d = \frac{\Delta p}{O} \quad (3)$$

$$d = \frac{\Delta p}{O} \quad (3)$$

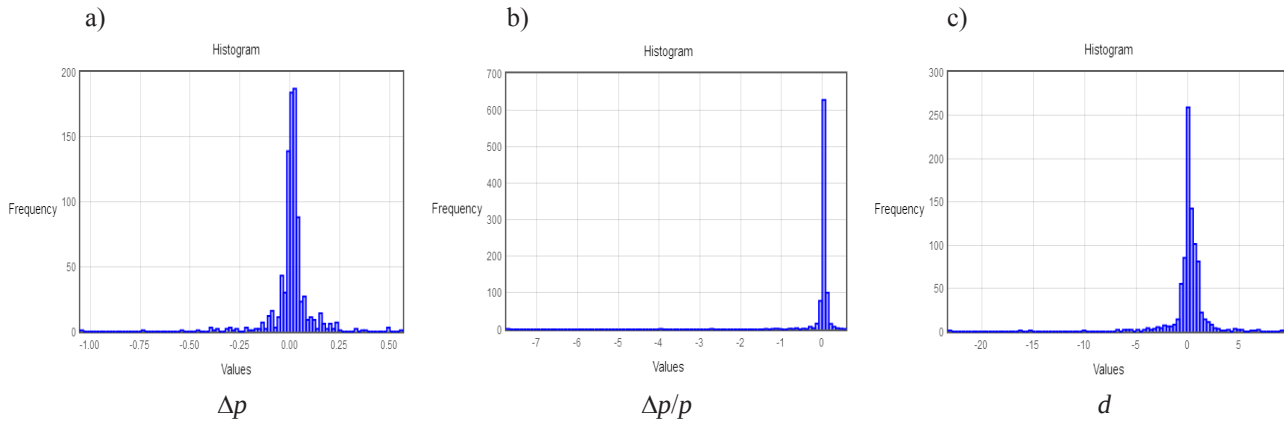


Fig. 2. Distribution histograms for the entire population of 876 parcels: a) absolute area differences, b) relative areas differences, c) average border distances

Rys. 2. Histogramy rozkładów dla całej populacji 876 działek: a) bezwzględne różnice powierzchni, b) względne różnice powierzchni, c) średnie odległości granic

The histograms for the analyzed variables Δp , $\Delta p/p$, d are characterized by "long tails" and a large focus near zero. On the basis of a visual assessment, the hypothesis, that the population model is a normal distribution, may be rejected. Objective evaluation was obtained by comparing the empirical distributions of the data for the years 2014 and 2016 for variables Δp , $\Delta p/p$, d with normal, normal-modified distributions [4] and Laplace distribution. The probability density functions in the above distributions are:

– normal

$$f_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left(\frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

where: x – random variable (Δp , $\Delta p/p$, or d), μ – mean value, σ – standard deviation;

– modified normal distribution

$$f_Z(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot NMAD} \exp\left(\frac{-(x - m)^2}{2 \cdot NMAD^2}\right) \quad (5)$$

where: m – median, $NMAD$ – normalized absolute deviation of median calculated as

$$NMAD = 1.4826 \cdot \text{Median}(|x_i - m|) \quad (6)$$

– Laplace' distribution

$$f_L(x) = \frac{1}{2b} \exp\left(\frac{-(x - m)^2}{b}\right) \quad (7)$$

where b is a scale parameter calculated as

Kształty histogramów dla analizowanych zmiennych Δp , $\Delta p/p$, d charakteryzują się „długimi ogonami” i dużym skupieniem w pobliżu zera. Już na podstawie wizualnej oceny można odrzucić hipotezę, że modelem populacji jest rozkład normalny. Obiektywną ocenę uzyskano, porównując rozkłady empiryczne danych z lat 2014 i 2016 dla zmiennych Δp , $\Delta p/p$, d z rozkładami: normalnym, zmodyfikowanym normalnym [4] i rozkładem Laplace'a. Funkcje gęstości prawdopodobieństwa w tych rozkładach mają postać:

– normalny

$$f_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left(\frac{-(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

gdzie: x – zmienna losowa (Δp , $\Delta p/p$ lub d), μ – wartość średnia, σ – odchylenie standardowe;

– zmodyfikowany rozkład normalny

$$f_Z(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot NMAD} \exp\left(\frac{-(x - m)^2}{2 \cdot NMAD^2}\right) \quad (5)$$

gdzie: m – mediana, $NMAD$ – znormalizowane odchylenie bezwzględne mediany obliczane jako

$$NMAD = 1.4826 \cdot \text{Median}(|x_i - m|) \quad (6)$$

– rozkład Laplace'a

$$f_L(x) = \frac{1}{2b} \exp\left(\frac{-(x - m)^2}{b}\right) \quad (7)$$

gdzie b to parametr skali obliczany jako

$$b = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |x_i - m|$$

the Laplace distribution variance equals to:

$$Var = 2 \cdot b^2 \quad (8)$$

Matching empirical data to theoretical distribution is presented in the form of quantile plots Q-Q, depicting the relationship between empirical and theoretical quantiles. As a measure of the accuracy of fitting empirical data into the theoretical distribution, Root-Mean-Square-Deviation (*RMSD*) was calculated using the formula:

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}} \quad (9)$$

where: y_i – deviations between the empirical histogram and assumed probability density function, n – population size.

The thesis on the similarity between empirical and theoretical distribution was verified using the Shapiro-Wilk test and the λ -Kolmogorov-Smirnov test. After identification of outlying observations by the Grubbs test, elements of the robust statistics were introduced.

$$b = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |x_i - m|$$

wariancja w tym rozkładzie wynosi:

$$Var = 2 \cdot b^2 \quad (8)$$

Dopasowanie danych empirycznych w rozkład teoretyczny przedstawiono w postaci wykresów kwantylowych Q-Q, obrazujących zależność kwantyli teoretycznych od empirycznych. Jako miarę dokładności wpasowania danych empirycznych w rozkład teoretyczny przyjęto *RMSD* (Root-Mean-Square-Deviation) obliczaną według wzoru:

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n}} \quad (9)$$

gdzie: y_i – odchyłki pomiędzy histogramem empirycznym i przyjętą funkcją gęstości prawdopodobieństwa, n – liczebność populacji.

Tezę o podobieństwie rozkładu empirycznego do teoretycznego zweryfikowano za pomocą testu Shapiro-Wilka oraz testu λ -Kolmogorowa-Smirnowa. Elementy statystyki odpornościowej wprowadzono po identyfikacji obserwacji odstających za pomocą testu Grubbsa.

Table 2. Parameters of normal distribution for empirical data

Tabela 2. Parametry rozkładu normalnego dla danych empirycznych

	Random variable		
	Δp	$\Delta p/p$	d [m]
2014	sample size 508		
Mean	-4.3 m ²	-0.038	-0.09 m
Standard deviation	992.20 m ²	0.412	1.91 m
Kurtosis	14.38	250.84	52.02
<i>RMSD</i>	0.531	0.841	0.567
Shapiro-Wilk statistics W	0.713	0.174	0.683
W – critical 5% significance level	0.994		
λ -Kolmogorowa	4.41	6.91	4.64
λ max – 95% significance level	1.36		
2016	sample size 363		
Mean	66.0 m ²	-0.006	0.070 m
Standard deviation	937.05 m ²	0.175	1.454 m
Kurtosis	52.78	168.71	48.78
<i>RMSD</i>	0.482	0.713	0.497
Shapiro-Wilk statistics W	0.627	0.282	0.625
W – critical 5% significance level	0.992		
λ -Kolmogorowa	3.02	4.59	2.93
λ max – 95% significance level	1.36		

The results of the measurement were first analyzed for outlier observations. Using the Grubbs test, three observations were rejected for the Δp , $\Delta p/p$, in the 2014 data set and two observations in the 2016 data set. The results of fitting the remaining empirical data into the normal distribution are summarized in Table 2 and Figure 3.

Wyniki pomiaru w pierwszej kolejności poddano analizie pod kątem występowania obserwacji odstających. Stosując test Grubbsa, odrzucono trzy obserwacje dla zmiennych Δp , $\Delta p/p$, d w zbiorze danych z 2014 roku i dwie obserwacje w zbiorze danych z roku 2016. Wyniki wpasowania pozostałych danych empirycznych w rozkład normalny zestawiono w tabeli 2 i na rysunku 3.

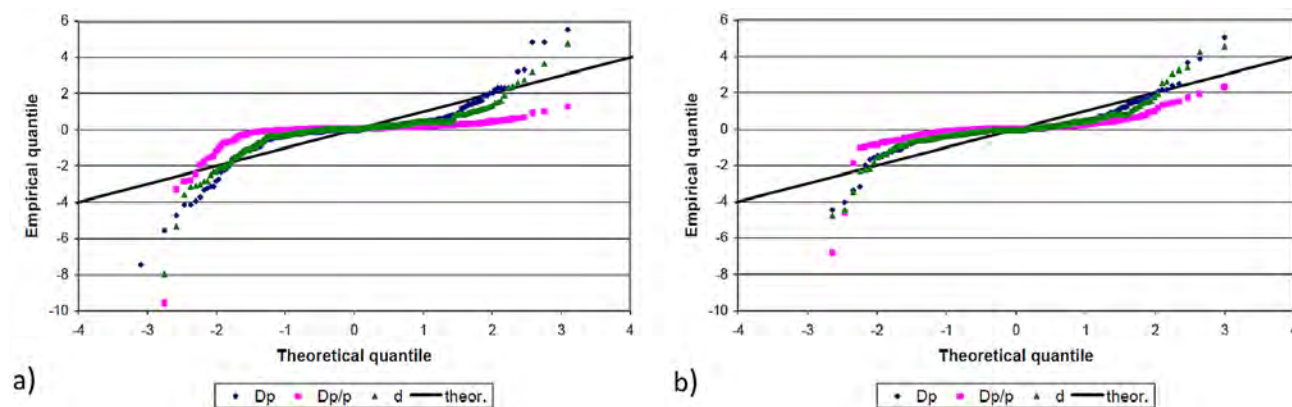


Fig. 3. Q-Q plots fitting empirical data into normal distribution: a) data from 2014, b) data from 2016

Rys. 3. Wykresy Q-Q wpasowania danych empirycznych w rozkład normalny: a) dane z 2014 roku, b) dane z 2016 roku

The results of the analysis shown in Figure 3a, Figure 3b and in Table 2 indicate that Δp , $\Delta p/p$, d are not random variables with normal distribution. Statistical values of the Shapiro-Wilk test in each case are well below the critical level in both populations. The normal distribution hypothesis should also be rejected in case of the λ -Kolmogorov-Smirnov test comparing the cumulative curve with the distribution function. The distribution of variables Δp , $\Delta p/p$, d differs significantly, although they are all leptokurtic and therefore very slim. The largest concentration around the mean is the distribution of the variable $\Delta p/p$ (high kurtosis). This distribution is also the most common deviation from the normal distribution (large RMSD values, λ and very low W values). The other two distributions have similar parameters, but the distribution of the variable d differs from the normal distribution by more than the distribution of the variable Δp . The results of fitting empirical data into the modified normal distribution and Laplace distribution are shown in Figure 4 and 5 and in Tables 3 and 4.

Wyniki analizy pokazane na rysunkach 3a i 3b oraz w tabeli 2 wskazują, że Δp , $\Delta p/p$, d nie są zmiennymi losowymi o rozkładzie normalnym. W obu badanych populacjach wartości statystyki W testu Shapiro-Wilka są w każdym przypadku znacznie mniejsze niż poziom krytyczny. Hipotezę o rozkładzie normalnym odrzucić także należy w przypadku testu λ -Kolmogorowa-Smirnowa porównującego krzywą kumulacyjną z dystrybucją. Rozkłady zmiennych Δp , $\Delta p/p$, d znacznie się różnią, jakkolwiek wszystkie mają charakter leptokurtyczny, a więc bardzo wysmukły. Największe skupienie wokół wartości średniej ma rozkład zmiennej $\Delta p/p$ (duże wartości kurtozy). Rozkład ten najbardziej też odstaje od rozkładu normalnego (duże wartości RMSD, λ i bardzo małe wartości statystyki W). Pozostałe dwa rozkłady mają zbliżone do siebie parametry, z tym że rozkład zmiennej d różni się od rozkładu normalnego minimalnie bardziej niż rozkład zmiennej Δp . Wyniki wpasowania danych empirycznych w zmodyfikowany rozkład normalny i rozkład Laplace'a przedstawiono na rysunkach 4 i 5 oraz w tabelach 3 i 4.

Table 3. Parameters of modified normal distribution for empirical data

Tabela 3. Parametry zmodyfikowanego rozkładu normalnego dla danych empirycznych

	Random variable		
	Δp	$\Delta p/p$	d [m]
2014	sample size 508		
Median	0.0 m ²	0.0	0.0 m
NMAD	317.62 m ²	0.030	0.56 m
RMSD	2.372	7.292	2.170
λ -Kolmogorov	1.84	1.65	1.67
λ max – 95% significance level 1.36			
2016	sample size 363		
Median	0.0 m ²	0.0	0.0 m
NMAD	296.52 m ²	0.022	0.46 m
RMSD	1.777	3.819	1.754
λ -Kolmogorov	1.67	1.38	1.57
λ max – 95% significance level 1.36			

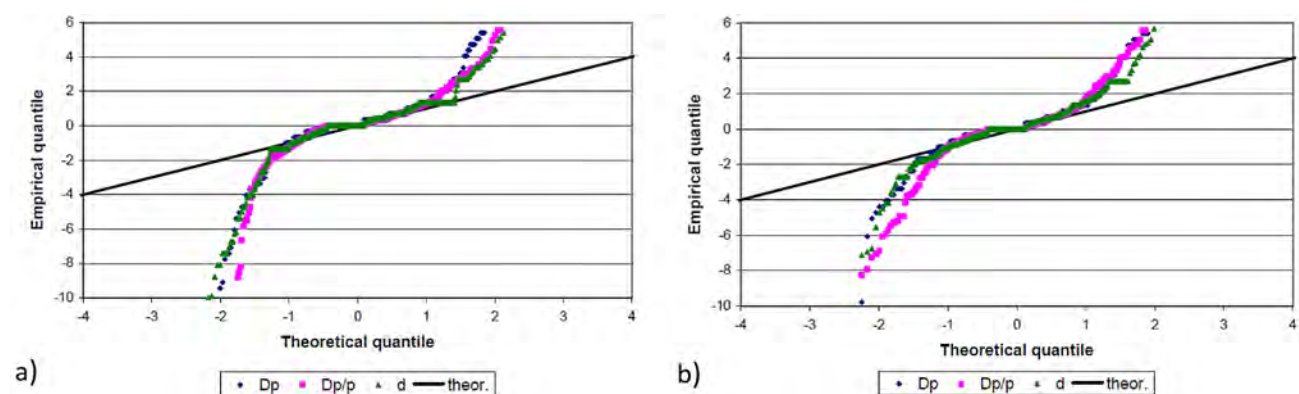


Fig. 4. Q-Q plots fitting empirical data into normal distribution modified: data from 2014, b) data from 2016

Rys. 4. Wykresy Q-Q wpasowania danych empirycznych w rozkład normalny zmodyfikowany: a) dane z 2014 roku, b) dane z 2016 roku

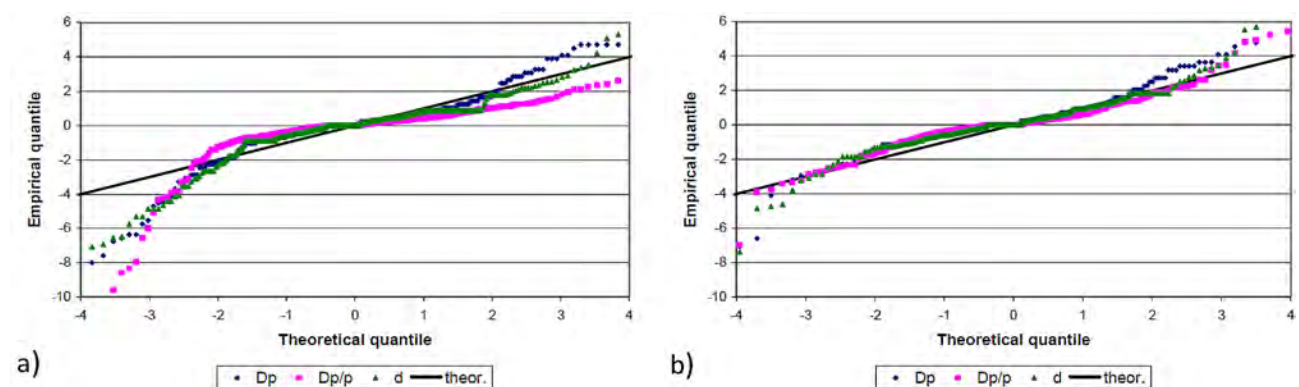


Fig. 5. Q-Q plots fitting empirical data into Laplace's distribution: a) data from 2014, b) data from 2016

Rys. 5. Wykresy Q-Q wpasowania danych empirycznych w rozkład Laplace'a: a) dane z 2014 roku, b) dane z 2016 roku

Table 4. Parameters of Laplace distribution for empirical data

Tabela 4. Parametry rozkładu Laplace'a dla danych empirycznych

	Random variable		
	Δp	$\Delta p/p$	d [m]
2014	sample size 508		
Median	0.0 m ²	0.0	0.0 m
B	0.049 m ²	0.080	0.847 m
$\sqrt{\text{Variance}}$	0.0690 m ²	0.1132	1.1984 m
RMSD	0.795	2.362	0.897
λ -Kolmogorov	1.93	2.48	2.02
λ max – 95% significance level 1.36			
2016	sample size 363		
Median	0.0 m ²	0.0	0.0 m
B	0.044 m ²	0.048	0.678 m
$\sqrt{\text{Variance}}$	0.0621 m ²	0.0676	0.9584 m
RMSD	0.508	1.130	0.551
λ -Kolmogorov	1.80	1.87	1.56
λ max – 95% significance level 1.36			

From the λ -Kolmogorov-Smirnov test, it is clear that with a probability greater than 95%, the hypothesis that the empirical data have a normal and Laplace's distribution is to be rejected. At the same time, it is concluded from those two distributions, that empirical data better approximates Laplace distribution. However, the RMSD values of all variables for Laplace distribution are higher than for normal distribution. The modified normal distribution differs significantly from the empirical data. Research confirms the significant influence of both the random factor and the off-balance factors. Data sets can not therefore be qualified as coming from the same population. Data histograms have features that predispose them to the Laplace distribution or modified normal distribution (large focus around 0 and "long tails"). However, even for them the size of outliers in measurements are too large, as can be seen in Q-Q plots. In this situation, it seems appropriate to use a robust approach by filtering diverging data, which is supposed to belong to another population. It was found that the identification of diverging observations by the Grubbs test is not correct because the populations do not have a normal distribution and show large variances. For this reason, the alternative often used in measuring problems is to reject observations that do not fall within the range of $[u_{\text{mean}} - 2\sigma_u, u_{\text{mean}} + 2\sigma_u]$. For such reduced sets match tests to normal, modified normal and Laplace distributions were performed (Table 5).

The RMSD values and the λ -Kolmogorov test result indicate that there are no reasons for rejecting the hypothesis that the model of the corrected set

Z testu λ -Kołmogorowa-Smirnowa wynika, że z prawdopodobieństwem powyżej 95% należy odrzucić hipotezę, że dane empiryczne mają rozkład zmodyfikowany normalny i Laplace'a. Jednocześnie na podstawie dwóch rozpatrywanych powyżej rozkładów stwierdza się, że dane empiryczne lepiej przybliżają rozkład Laplace'a. Wartości RMSD wszystkich zmiennych dla rozkładu Laplace'a są jednak większe niż w przypadku rozkładu normalnego. Zmodyfikowany rozkład normalny odbiega zaś znacznie od danych empirycznych. Badania potwierdzają istotny wpływ czynnika losowego, jak i czynników generujących wartości odstające. Zbiórów danych nie można kwalifikować jako pochodzących z tej samej populacji. Histogramy danych posiadają cechy predysponujące do rozkładu Laplace'a lub zmodyfikowanego rozkładu normalnego (duże skupienie wokół 0 i długie „ogony”), nawet dla nich wielkości obserwacji odstających są zbyt duże, co można zaobserwować na wykresach Q-Q. W tej sytuacji właściwe wydaje się zastosowanie podejścia odpornościowego polegającego na odfiltrowaniu danych odstających, które z założenia należą do innej populacji. Stwierdzono, że identyfikacja obserwacji odstających testem Grubbsa nie jest poprawna, gdyż populacje nie mają rozkładu normalnego i wykazują duże wariancje. Alternatywą często stosowaną w zagadnieniach pomiarowych jest odrzucenie obserwacji niemieszczących się w przedziale $[u_{sr} - 2\sigma_u, u_{sr} + 2\sigma_u]$. Dla tak wydzielonych zbiorów przeprowadzono testy zgodności z rozkładami: normalnym, zmodyfikowanym normalnym i Laplace'a (tabela 5).

Wartości RMSD oraz wynik testu λ -Kołmogorowa wskazują, że nie ma podstaw dla odrzucenia hipotezy,

Table 5. Results of fitting distributions into empirical data
Tabela 5. Wyniki wpasowania rozkładów w dane empiryczne

	Normal distribution		Modified normal distribution		Laplace distribution	
	2014	2016	2014	2016	2014	2016
Δp variable	32 observations discarded in 2014, and 17 in 2016					
RMSD	0.326	0.295	0.728	0.722	0.336	0.315
λ -Kolmogorov	2.82	2.76	2.16	1.14	1.24	1.04
λ max – 95% significance level 1.36						
$\Delta p/p$ variable	13 observations discarded in 2014, and 11 in 2016					
RMSD	0.515	0.544	1.814	1.566	0.687	0.429
λ -Kolmogorov	4.05	2.86	1.78	1.62	1.84	1.39
λ max – 95% significance level 1.36						
d variable	28 observations discarded in 2014, and 17 in 2016					
RMSD	0.305	0.201	0.610	0.633	0.354	0.273
λ -Kolmogorov	2.80	1.82	1.96	1.73	1.50	1.40
λ max – 95% significance level 1.36						

of variables Δp is a Laplace distribution. It should be highlighted that the relatively positive results of λ -Kolmogorov test follow from the analysis of cumulative value. Accumulation of frequencies smoothes the irregularities characteristic for the empirical distribution plots.

5. Proposal for a post-control report

Identification of the appropriate data distribution allows for the extension of the post-control report. In addition to the percentages given in 4 we can add the following data (Table 6, Figure 6).

- Parameters of the theoretical distribution for the corrected dataset $[u_{\text{mean}} - 2\sigma_u, u_{\text{mean}} + 2\sigma_u]$.
- Characteristics of the outliers by mean y_{mean} and variance interval $[y_{\text{max}}, y_{\text{min}}]$, separately for left- and right-hand values.
- The result of comparison of both populations by Kolmogorov-Smirnov test without elimination of outliers (in practice this point would not be obligatory).

że modelem skorygowanego zbioru zmiennej Δp jest rozkład Laplace'a. Relatywnie pozytywne oceny, jakie uzyskuje się przy teście λ -Kolmogorowa, wynikają stąd, że przedmiotem analizy są wartości skumulowane. Kumulowanie częstości wygładza nieregularności charakterystyczne dla wykresu rozkładów empirycznych.

5. Propozycja raportu pokontrolnego

Identyfikacja odpowiedniego rozkładu danych umożliwia rozszerzenie raportu pokontrolnego. Autorzy sugerują, by oprócz wartości procentowych (jak w punkcie 4) podawać także:

- parametry rozkładu teoretycznego dla skorygowanego zbioru danych $[u_{sr} - 2\sigma_u, u_{sr} + 2\sigma_u]$,
- charakterystyki wartości odskakujących za pomocą wartości przeciętnej y_{sr} oraz przedziału – zmienności $[y_{\text{max}}, y_{\text{min}}]$ oddzielnie dla wartości lewo- i prawostronnych,
- wynik porównania obu populacji testem Kolmogorowa-Smirnowa bez eliminacji obserwacji odstających (w praktyce ten punkt nie byłby obligatoryjny).

Table 6. Sample of post-control report
Tabela 6. Przykład raportu

Statistics	2014	2016
Distribution of variable Dp	Laplace	Laplace
Median Dp	0 m ²	0 m ²
Mean Dp	41 m ²	72 m ²
$\sqrt{\text{Variance}}$	393 m ²	411 m ²
Probability of difference greater than 1a and 10a	0.697 0.028	0.705 0.031
Part of outliers observations „+” (mean area) in % and m ²	3.1% 2812 m ²	2.7% 2655 m ²
Part of outliers observations „-” (mean area) in % and m ²	3.5% 3466 m ²	1.9% 3943 m ²
λ -Kolmogorov	0.54, which means that the probability of rejecting the hypothesis of distribution similarity is 0.06	

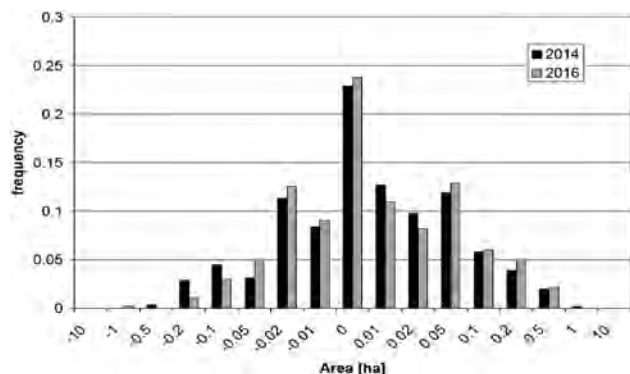


Fig. 6. Histograms of Δp variable for data from 2014 and 2016 years

Rys. 6. Histogramy zmiennej Δp dla danych z lat 2014 i 2016

6. Conclusions

- Statistical methods may be used to interpret the results of control measurements of parcel areas covered by direct payments. The differences between declared and measured areas cannot be modeled by using the normal distribution.
- In the interpretation of the results of control measurements, it is appropriate to use robust statistics methods. After removing outliers observations, the empirical population is best modeled by Laplace distribution.
- In the analyzed example, the best compatibility with the theoretical distribution was obtained for the variable Δp (difference of the declared and measured area) and the variable d determined from the quotient of the parcel area error and its circumference. An adverse effect was obtained with a variable defined as the relative difference of the area $\Delta p/p$.
- The effect of changing the width of the buffer and hence the tolerance is negligible. This is due to the number of parcels that have been incorrectly declared.
- Carrying out the control procedure produce a “didactic” effect. In the following years areas of references parcel areas are determined with better accuracy.
- Identification of data distribution allows for the extension of the scope of post-control report. Further standardization of data processing and preparation of post-control report requires more extensive research.

6. Wnioski

- Przy interpretacji wyników pomiarów kontrolnych powierzchni działek objętych dopłatami bezpośrednimi można stosować metody statystyczne. Różnic pomiędzy powierzchniami deklarowanymi i pomierzonymi nie można modelować za pomocą rozkładu normalnego.
- W procedurze interpretacji wyników pomiarów kontrolnych zasadne jest zastosowanie metod statystyki odpornościowej. Po usunięciu obserwacji odstających populację empiryczną najlepiej modeluje rozkład Laplace’a.
- W analizowanym przykładzie najlepszą zgodność z rozkładem teoretycznym uzyskano dla zmiennej Δp (różnic powierzchni deklarowanej i zmierzonej) oraz zmiennej d wyznaczonej z ilorazu błędu powierzchni działki i jej obwodu. Niekorzystny rezultat uzyskano w przypadku zmiennej zdefiniowanej jako względna różnica powierzchni $\Delta p/p$.
- Wpływ zmiany szerokości bufora, a tym samym tolerancji jest nieznaczny, wynika to z liczby działek, które zostały zidentyfikowane jako błędnie zadeklarowane.
- Przeprowadzenie kontroli ma efekt „uczący”. W następnych latach wielkości powierzchni działek referencyjnych są określane dokładniej.
- Identyfikacja rozkładu danych umożliwia rozszerzenie obecnego zakresu raportu pokontrolnego. Dalsza standaryzacja procedury opracowania danych i redakcji końcowego raportu wymaga obszerniejszych badań.

References

- [1] Darnel A.R., Nicholas J., Tate N.J., Chris Brunsdon C., 2008, *Improving user assessment of error implications in digital elevation models*, Computers, Environment and Urban Systems 32.
- [2] Hejmanowska B., Drzewiecki W., Kulesza Ł., 2008, *Zagadnienie jakości numerycznych modeli terenu*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, ISSN 2083-2214, vol. 18a, s. 163-175.

- [3] Hejmanowska B., 2013, *Zastosowanie rozkładu Laplace'a do określania niepewności danych przestrzennych na przykładzie NMT i systemu IACS*, s. 150, Wydawnictwa AGH, Kraków 2013, ISBN 978-83-7464-649-9.
- [4] Höhle J., Höhle M., 2009, *Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 64, s. 398-406.
- [5] Kramarczyk P., Hejmanowska B., Dąbrowski J. 2012, *Walidacja odbiorników GNSS dla potrzeb kontroli wielkości powierzchni działek rolnych w systemie dopłat bezpośrednich dla rolnictwa IACS: wytyczne, aplikacja, problemy*, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Techniczno-Ekonomicznej, Jarosław, ISBN 978-83-88139-52-9.
- [6] Orlńska J., Wasilewska Z., *System odniesień przestrzennych LPIS komponent infrastruktury danych przestrzennych, Infrastruktura Danych Przestrzennych w Polsce i Europie – Seminarium AR*, Wrocław, 1-3XII 2004 http://www.gislab.up.wroc.pl/download/Wasilewska_www_gislab_ar_wroc_pl.pdf?GISLabSessionID=shqv1polkduq6mqi3u66dmhg26.
- [7] Wężyk P., Szostak M., Tompański P., *Comparison of the accuracy of the "PHOTO" check method with automatic analysis based on ALS data for direct control of subsidy payment*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 20, 2009, s. 445-456, ISBN 978-83-61-576-10-5.
- [8] Pośnik R., *Wykorzystanie różnych źródeł informacji na potrzeby zarządzania kryzysowego – System Identyfikacji Działek Rolnych (LPIS)*, Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, Warszawa 2014, www.2014.5zywiolow.pl/wp-content/uploads/2012/04/3-3-robert-posnik.pdf.
- [9] Pradziadowicz M., *Kontrola gospodarstw rolnych w ramach programu rozwoju obszarów wiejskich 2007-2013*, Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin., Oeconomica 2014, 313(76)3, s. 105-114.
- [10] Lipiec A., *System Identyfikacji Działek Rolnych (LPIS) i jego powiązanie z EGIB* [w]: *Acta Scientifica Academiae Ostroviensis*, Wyższa Szkoła Biznesu i Przedsiębiorczości w Ostrowcu Świętokrzyskim 2011, nr 35-36, s. 167-172.
- [11] Zandbergen P.A., 2008, *Positional Accuracy of Spatial Data: Non-Normal Distributions and a Critique of the National Standard for Spatial Data Accuracy*, Transactions in GIS, 12(1), s. 103-130.
- [12] Europejski Trybunał Obrachunkowy, *Sprawozdanie specjalne: system identyfikacji działek rolnych – użyteczne narzędzie do określania kwalifikowalności gruntów rolnych wymagające udoskonaleń w zakresie zarządzania*, Luksemburg: Urząd Publikacji Unii Europejskiej 2016.
- [13] Specyfikacja Istotnych Warunków Zamówienia na prowadzenie i optymalizację LPIS w zakresie opracowania ortofotomapy na podstawie scen satelitarnych [ORTO_SAT_2016-2018]. <http://www.arimr.gov.pl/aktualnosci/artykuly/dzp-2610-22016.html>.
- [14] Informacja o wyborze najkorzystniejszej oferty, numer postępowania DZP-2610-2/2016. http://www.arimr.gov.pl/uploads/media/Informacja_o_wyborze_najkorzystniejszej_oferty_ba34fe.pdf
- [15] Załącznik nr 2 do umowy: *Instrukcja realizacji kontroli w zakresie kwalifikowalności powierzchni wersja 2.0*, ARiMR, Warszawa 2016.

Acknowledgments:

This work was supported by Kielce University of Technology,
Grant No. 05.0.09.00/2.01.01.01.0014 MNSP.IKGG.14.001

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską,
grant nr 05.0.09.00/2.01.01.01.0014 MNSP.IKGG.14.001

PECULIARITIES OF PHASE PROCESSES IN THE VOLUME OF LIQUID

CECHY SZCZEGÓLNE PROCESÓW FAZOWYCH W DUŻEJ OBJĘTOŚCI CIECZY

DOI: 10.30540/sae-2018-006

Abstract

The work is devoted to the study of the transient processes of heat and mass transfer in the volume of a liquid. The method of calculating the temperature field in a liquid takes into account phase transitions, motion of the bubble wall and heat exchange processes near its surface. The method takes into account the change in the thermophysical characteristics of a liquid when its temperature changes. The results of the research can be used to optimize the various technological processes associated with cavitation, boiling and the formation of gas hydrates.

Keywords: thermophysical characteristics of a gas-saturated liquid, gas-vapor bubble, heat transfer in two-phase media, phase transitions

Streszczenie

Artykuł dotyczy analizy niestabilnych zjawisk wymiany ciepła i masy w dużej objętości cieczy. Metoda określenia pola temperatur w cieczy uwzględnia przemiany fazowe, ruch pęcherzy i procesy wymiany ciepła przy ścianie. Metoda ta bierze pod uwagę zmianę właściwości termofizycznych cieczy, gdy zmienia się jej temperatura. Wyniki badań mogą być wykorzystane do optymalizacji różnych procesów technologicznych związanych z kawitacją, wrzeniem i tworzeniem hydratów gazowych.

Słowa kluczowe: właściwości termofizyczne cieczy nasyconej gazem, pęcherzyki gazu i pary, wymiana ciepła w mediach dwufazowych, przemiany fazowe

1. Introduction

In many operating processes, gas-to-steam bubbles play a major technological role. As an example, we should mention the following technologies: degassing of water, distillation homogenization of fuel, mixing of colloidal solutions, foam formation in the food industry, etc. Modern technologies for the insulating materials production [1], desalination of sea water with the help of isobutane hydrate [2-4], and obtaining of natural gas hydrate [5, 6] for transportation and storage are also based on heat and mass transfer processes in the gas-liquid systems. Generally, formation and existence of gas-to-steam bubbles are accompanied by intensive heat transfer, mass transfer and phase transition processes. The complexity of the „direct” observations (small bubble sizes, high velocity of processes) led to the widespread use of mathematical modeling research

methods. Mathematical models allow identifying the most powerful factors and optimizing technological processes. Correctness of the mathematical models of gas-to-steam bubbles is determined by the accuracy of accounting all thermal and physical processes taking place in the liquid and gas.

2. Literature review and problem statement

To improve the accuracy of simulating heat transfer processes in the gas-to-steam bubble, it is necessary to consider the heat transfer into the liquid medium. A number of authors take the liquid temperature to be constant: when calculating the materials swelling [1], when determining the thermodynamic characteristics of steam [7] and cavitation bubbles [8]. In [9], the liquid temperature is described by the exponential function that does not depend on time and the direction of the bubble wall's movement. Some authors [10] consider the liquid's heat transfer

layer to be so thin that the curvature of the bubble's surface can be ignored. However, such assumptions are only possible for a very limited group of tasks. In [11] for cavitation and in [12] for steam bubbles, the analytical solution for the problem of non-stationary heat conductivity in a layer of liquid surrounding an oscillating bubble is suggested. As a result of the author's assumptions, the solution of this problem is obtained, where the liquid's heat transfer layer is equal to the radius of the bubble and does not depend on thermal and physical characteristics of the liquid. In [13], only heat conductivity in a liquid is taken into account, without considering phase transition processes. An overview of the above literature sources shows that phase transition processes in the liquid surrounding the gas-to-steam bubble are not sufficiently studied. The temperature regime of gas inside the bubble can widely vary: from a temperature below the freezing point of the liquid during periods of the bubble's "growth" to a temperature higher than the boiling point of the liquid during the periods of the bubble's compression. Changing the phase state of the liquid causes significant change in heat and mass transfer processes at its boundary.

To expand the limits of the gas-to-steam bubble's mathematical modeling, it is necessary to consider phase transition processes of heat transfer in the liquid surrounding the gas-to-steam bubble. As a result, thermal and physical characteristics of the substance at the bubble's boundary can change considerably. The peculiarity of this task is movement of the bubble's wall, whose velocity, at some moments, can reach several tens of meters per second.

3. The aim and objectives of the study

The aim of the present study was to design a mathematical model of heat transfer in the liquid surrounding the oscillating gas-to-steam bubble. Heat transfer processes in the liquid may be accompanied by a change in the aggregate state and in thermal and physical characteristics. To achieve this aim, the following objectives were set:

- to take into account non-stationary processes of changes in the liquid aggregate state and in its thermal and physical characteristics in the mathematical model;
- to calculate phase transition processes in the liquid surrounding the gas-steam bubble using mathematical modeling;
- to estimate the temperature regime in the liquid under different initial conditions.

4. A mathematical model of phase transition processes in the liquid

To develop the mathematical model of heat transfer in the liquid, the following simplifying assumptions are applied:

- the boundary conditions of the second kind are prescribed near the bubble's surface;
- the gas-steam bubble has a spherical shape and is surrounded by an infinite amount of liquid;
- the bubble's center is not displaced relative to the liquid.

To determine the temperature in the column of liquid surrounding the gas-to-steam bubble, it is necessary to consider the process of heat transfer within the liquid. To calculate the heat transfer by means of heat conduction, the Fourier heat transfer equation is normally used, and convection can be considered by applying the efficient thermal conductivity factor. Let us denote by "x" the coordinate, where the bubble's radius is changing. To determine the unknown temperature on the surface of the bubble and in the column of liquid ($T_{(x,\tau)}$), a nonlinear Fourier heat conductivity equation for a sphere can be used, with account of its walls mobility [9] and the action of sizable heat sources:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho_r c_r T_{(x,\tau)})}{\partial \tau} + \dot{x} \frac{\partial(\rho_r c_r T_{(x,\tau)})}{\partial x} = \\ = \frac{1}{x^2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_r x^2 \frac{\partial T_{(x,\tau)}}{\partial x} \right) + q_{v(x,T)} \end{aligned} \quad (1)$$

where: ρ_r – liquid density, kg/m; c_r – its heat capacity, J/(kg°C); τ – time coordinate, sec; $\dot{x}$ – velocity of the bubble's radius change, m/sec; λ_r – conductivity factor of the liquid, W/(m°C); $q_{v(x,T)}$ – capacity of sizable heat sources, W/m³.

As a result of heat transfer processes at the boundary of the bubble, the liquid can change its thermal and physical characteristics, so we will be solving the problem as a non-linear one. The use of heat sources makes the equation (1) heterogeneous. Taking into account that the specific heat flow (q) near the surface of the bubble is known, we can write the boundary condition of the second kind:

$$-\frac{\partial \lambda_r T_{(R,\tau)}}{\partial x} = q_{(R,\tau)} \quad (2)$$

Equation (2) takes into account the change in the thermal conductivity factor at the bubble's boundary, for example, in the case of the liquid's freezing. In such a statement, the problem is convenient to solve

by the method of finite elements. To describe the thermal conductivity in the liquid surrounding the bubble with radius R , let us divide the liquid layer into a series of concentric membranes (i), Figure 1. Let us set the mass distribution of each membrane:

$$\begin{aligned} m_{r(2)} &= 2K_r m_{r(1)} \\ m_{r(i)} &= K_r m_{r(i-1)} \end{aligned} \quad (3)$$

where: $m_{r(1)}$ – mass of the 1st (internal) layer's membrane, kg; $m_{r(i)}$ – mass of each subsequent membrane, kg; K_r – proportionality factor.

This factor allows to “compact” the elements mesh near the bubble's border and to “rarefy” it in the deeper layers of the liquid. The above factor is used to optimize calculations and its typical values are within 1.5-2.

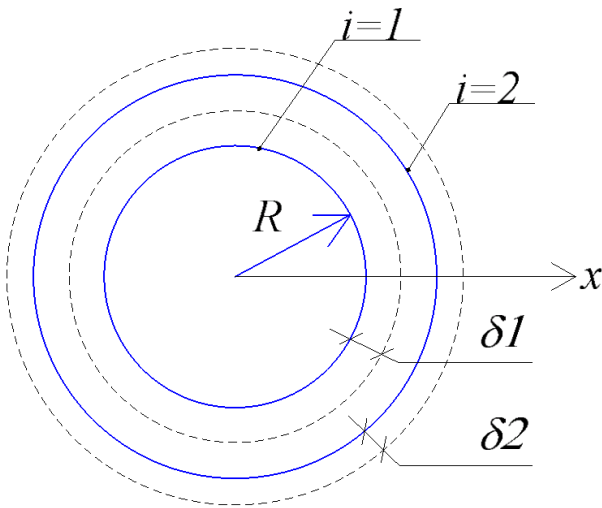


Fig. 1. Diagram of the liquid's division into a series of concentric membranes

Now we shall determine the temperature on the first (internal) membrane's internal surface. To do this, we formulate the equation of the first membrane's thermal balance:

$$Q_{AK} = Q_1 + Q_2 + Q_{\Phi} \quad (4)$$

where: Q_{AK} – heat flow that accumulates and causes the temperature increase of the given membrane, W; Q_1 – heat flow from the surface of the bubble into the steam-gas medium, W; Q_2 – heat flow from the second layer of the liquid into the first one, W; Q_{Φ} – heat flow that causes an increase in the solid phase mass (e.g. ice), W. Let us reveal the value of these heat flows.

Heat flow, which is accumulated in the membrane and causes an increase in its temperature, can be determined by means of the known formula:

$$Q_{AK} = m_{r(1)} c_{r(1)} \frac{dT_{(R,\tau)}}{d\tau} \quad (5)$$

where $c_{r(1)}$ is heat capacity of the first membrane's medium, J/(kg°C).

We will write the heat flow from the bubble's surface into its steam-gas medium as a boundary condition of the 2nd kind. Heat removal will reduce the membrane's temperature, therefore this heat flow is negative:

$$Q_1 = -F_R q_{(R,\tau)} \quad (6)$$

where F_R is heat transfer area, m².

The heat flow from the outer membrane to the internal one is more convenient to consider within a single layer, for which at the given moment $\lambda_{r(i)} = \text{const}$

$$Q_2 = \frac{4\pi\lambda_{r(1)}(T_{(R+\delta 1,\tau)} - T_{(R,\tau)})}{\frac{1}{r_{(1)}} - \frac{1}{r_{(1)} + \delta 1}} \quad (7)$$

The increase in the solid phase mass requires removal of heat energy from the designed membrane and, therefore, is an additional source of the heat energy

$$Q_{\Phi} = r_{\Phi} \frac{dm_{\Phi(1)}}{d\tau} \quad (8)$$

where: r_{Φ} – phase transition heat, J/kg; $m_{\Phi(1)}$ – solid phase mass of the 1st (internal) layer's membrane, kg.

Taking into account the values of individual heat flows, formulas (5)-(8), for the internal membrane can be written as a general differential equation of the thermal balance:

$$\begin{aligned} m_{r(1)} c_{r(1)} \frac{dT_{(R,\tau)}}{d\tau} &= -F_R q_{(R,\tau)} + \\ &+ \frac{4\pi\lambda_{r(1)}(T_{(R+\delta 1,\tau)} - T_{(R,\tau)})}{\frac{1}{r_{(1)}} - \frac{1}{r_{(1)} + \delta 1}} + \\ &+ r_{\Phi} \frac{dm_{\Phi(1)}}{d\tau} \end{aligned} \quad (9)$$

The last component of the equation (9) only exists under certain conditions, which need to be specified separately. Within a single iteration step, the membrane's radius remains constant and, for convenience in calculations, it can be designated as:

$$= \frac{\lambda_{r(1)}}{\frac{1}{r_{(1)}} - \frac{1}{r_{(1)} + \delta 1}} = \frac{\lambda_{r(1)}}{\frac{1}{R} - \frac{1}{R + \delta 1}} \quad (10)$$

Now, the differential equation determining the temperature on the inner layer's surface of the bubble is written as:

$$\frac{dT_{(R,\tau)}}{d\tau} = \frac{4\pi}{m_{r(1)}c_{r(1)}} \left(-R^2q + K_1(T_{(R+\delta 1,\tau)} - T_{(R,\tau)}) + r_\Phi \frac{dm_{\Phi(1)}}{d\tau} \right) \quad (11)$$

In the absence of mass transfer processes, the mass of the 1st layer remains unchanged, therefore:

$$m_{r(1)} = \frac{4}{3}\pi\rho_{r1} \left[(R + \delta 1)^3 - R^3 \right] = \text{const}$$

Where the outer radius of the 1st membrane can be determined:

$$R + \delta 1 = \sqrt[3]{R^3 + \frac{3m_{r(1)}}{4\pi\rho_{r1}}} = \sqrt[3]{R^3 + \frac{3m_{r(1)}}{4\pi\rho_{r1}}} \quad (12)$$

Similarly, differential equations for all subsequent membranes can be written as:

$$m_{r(i)}c_{r(i)} \frac{dT_{(x,\tau)}}{d\tau} = \frac{4\pi\lambda_r(T_{(i-1)} - T_{(i)})}{\frac{1}{r_{(i-1)}} - \frac{1}{r_{(i)}}} - \frac{4\pi\lambda_r(T_{(i)} - T_{(i+1)})}{\frac{1}{r_{(i)}} - \frac{1}{r_{(i+1)}}} + r_\Phi \frac{dm_{\Phi(i)}}{d\tau} \quad (13)$$

With account of the problem's non-linearity, the temperature difference between the neighboring layers is more convenient to replace with the temperature difference between the middle of the layer and its edges (boundaries):

$$\frac{dT_{(r_i,\tau)}}{d\tau} = \frac{4\pi}{m_{r(i)}c_{r(i)}} \left(K_3(T_{(r_i-\delta i,\tau)} - T_{(r_i,\tau)}) - K_1(T_{(r_i,\tau)} - T_{(r_i+\delta i,\tau)}) \right) + \frac{q_{v(i)}}{\rho_{r(i)}c_{r(i)}} \quad (14)$$

where: $T_{(r_i+\delta i,\tau)}$ – temperature on the outer boundary of the i -th membrane, °C; $T_{(r_i-\delta i,\tau)}$ – temperature on the internal boundary of the i -th membrane, °C. At every iteration step, these temperatures are determined with account of the thickness and thermal conductivity of the adjacent layers. The temperature at the outer boundary of the i -th membrane is:

$$T_{(r_i+\delta i,\tau)} = \frac{K_1T_i + K_2T_{i+1}}{K_1 + K_2} \quad (15)$$

The temperature at its internal boundary:

$$T_{(r_i-\delta i,\tau)} = \frac{K_4T_{i-1} + K_3T_i}{K_4 + K_3} \quad (16)$$

Factors K_1, K_2, K_3, K_4 are determined by the following formulas:

$$K_1 = \frac{\lambda_{r(i)}}{\frac{1}{r_{(i)}} - \frac{1}{r_{(i)} + \delta_{(i)}}} \quad (17)$$

$$K_2 = \frac{\lambda_{r(i+1)}}{\frac{1}{r_{(i)} + \delta_i} - \frac{1}{r_{(i+1)}}} \quad (18)$$

$$K_3 = \frac{\lambda_{r(i)}}{\frac{1}{r_{(i)} - \delta_{(i)}} - \frac{1}{r_{(i)}}} \quad (19)$$

$$K_4 = \frac{\lambda_{r(i-1)}}{\frac{1}{r_{(i-1)}} - \frac{1}{r_{(i)} - \delta_i}} \quad (20)$$

Considering the membranes volumes, their radii can be determined:

$$V_{(i)} - V_{(i-1)} = \frac{4\pi}{3}(r_{(i)}^3 - r_{(i-1)}^3) = \frac{1}{2}V_{(i-1)} + \frac{1}{2}V_{(i)} = \frac{1}{2} \left(\frac{m_{r(i-1)}}{\rho_{r(i-1)}} + \frac{m_{r(i)}}{\rho_{r(i)}} \right) \quad (21)$$

Based on (21), the average radius of the i -th membrane is found by the formula:

$$r_{(i)} = \sqrt[3]{r_{(i-1)}^3 + \frac{3}{8\pi} \left(\frac{m_{r(i-1)}}{\rho_{r(i-1)}} + \frac{m_{r(i)}}{\rho_{r(i)}} \right)} \quad (22)$$

Since the mass of the first membrane is not divisible in half, the 2nd membrane's radius is determined by the following formula:

$$r_{(2)} = \sqrt[3]{R^3 + \frac{3}{4\pi} \frac{m_{r(1)}}{\rho_{r1}} + \frac{3}{8\pi} \frac{m_{r(2)}}{\rho_{r2}}} \quad (23)$$

Considering that the masses of the outer and the internal membrane halves are equal, the radii can also be determined by the analogous formulas. The outer radius of the i -th membrane is:

$$r_{(i)} + \delta_i = \sqrt[3]{r_{(i)}^3 + \frac{3m_{r(i)}}{8\pi\rho_{r(i)}}} \quad (24)$$

The internal radius of the i -th membrane is:

$$r_{(i)} - \delta_i = \sqrt[3]{r_{(i)}^3 - \frac{3m_{r(i)}}{8\pi\rho_{r(i)}}} \quad (25)$$

At particular moments, in different membranes, favorable conditions to perform phase transition can be created. In this case, it is necessary to consider three components: temperature regime, mass of the solid and liquid phases, the effect of sizable heat sources. The conditions of the first-kind phase transition consist of the two parts: the condition of icing and the condition of ice melting.

The condition for icing is:

$$T_{(r_i, \tau)} \leq T_\Phi \text{ and } m_{\Lambda(r_i, \tau)} < m_{(r_i, \tau)} \text{ and } Q_{\Phi(r_i, \tau)} > 0 \quad (26)$$

where: T_Φ – phase transition temperature, °C; $m_{\Lambda(r_i, \tau)}$ – mass of the solid phase in the i -th layer at any moment, kg; $Q_{\Phi(r_i, \tau)}$ – heat flow, which is deduced from the i -th layer to perform the phase transition, W.

The condition for ice melting is:

$$T_{(r_i, \tau)} \geq T_\Phi \text{ and } m_{\Lambda(r_i, \tau)} > 0 \text{ and } Q_{\Phi(r_i, \tau)} < 0 \quad (27)$$

If the i -th layer undergoes a phase transition, then the temperature of this layer does not change, and

$$\frac{dT_{(r_i, \tau)}}{d\tau} = 0.$$

In this case, the power of sizable heat sources can be determined by the formula:

$$0 = \frac{4\pi}{m_{r(i)}c_{r(i)}} \left(K_3 \left(T_{(r_i - \delta_i, \tau)} - T_{(r_i, \tau)} \right) - K_1 \left(T_{(r_i, \tau)} - T_{(r_i + \delta_i, \tau)} \right) \right) + \frac{q_{v(i)}}{\rho_{r(i)}c_{r(i)}}$$

Whence, after simplification, we obtain

$$q_{v(i)} = \frac{4\pi}{V_{r(i)}} \left(K_3 \left(T_{(r_i, \tau)} - T_{(r_i - \delta_i, \tau)} \right) - K_1 \left(T_{(r_i + \delta_i, \tau)} - T_{(r_i, \tau)} \right) \right) \quad (28)$$

Similarly, the power of sizable heat sources for the 1-st membrane can be found as follows:

$$q_{v(1)} = \frac{4\pi}{V_{r(1)}} \left(R^2 q - K_1 \left(T_{(R + \delta_1, \tau)} - T_{(R, \tau)} \right) \right) \quad (29)$$

The sizable heat sources' intensity being known, the change of the solid phase mass can be determined.

$$m_{\Lambda(r_i, \tau + \Delta\tau)} = m_{\Lambda(r_i, \tau)} + \frac{q_{v(i)} \cdot \Delta\tau \cdot V_{r(i)}}{r_\Phi} \quad (30)$$

In the case of a phase transition, a change in the thermal and physical properties will take place in the i -th layer of the liquid. Therefore, at each iteration step, the thermal and physical characteristics of the layers need to be specified according to the formulas: – density

$$\rho_{r(i)} = \frac{\rho_{\Lambda(i)}m_{\Lambda(i)} + \rho_{w(i)}(m_{(i)} - m_{\Lambda(i)})}{m_{(i)}} \quad (31)$$

– thermal conductivity

$$\lambda_{r(i)} = \frac{\lambda_{\Lambda(i)}m_{\Lambda(i)} + \lambda_{w(i)}(m_{(i)} - m_{\Lambda(i)})}{m_{(i)}} \quad (32)$$

– heat capacity

$$c_{r(i)} = \frac{c_{\Lambda(i)}m_{\Lambda(i)} + c_{w(i)}(m_{(i)} - m_{\Lambda(i)})}{m_{(i)}} \quad (33)$$

The density change, with the constant mass, will change the size of the layers, which may complicate the calculation process. Taking into account that the density and heat capacity are used as the product, the density change can be replaced by the equivalent change in heat capacity. With account of the density correction, the i -th layer's heat capacity is determined by the formula:

$$c_{r(i)} = \frac{\rho_{r(i)}}{\rho_w} \times \frac{c_{\Lambda(i)}m_{\Lambda(i)} + c_{w(i)}(m_{(i)} - m_{\Lambda(i)})}{m_{(i)}} \quad (34)$$

where ρ_w is liquid density at the initial temperature, kg/m.

In this case, the density of all layers is given equal. To solve the system of differential equations (11) and (14), the Runge-Kutta 4-th order method is applied [14]. In order to assess the adequacy of the developed mathematical model, a computer software has been developed and a number of mathematical experiments have been performed.

The results of the calculation are reflected in the experiments No 1-6.

5. Results of the phase transition studies in the liquid

Source data. Let us consider the heat and mass transfer processes in the liquid at the initial stage of the barbotage introducing of bubbles into gas into water [15]. With regard to technology, such processes

are characteristic of carbonization [16], formation of isobutane hydrate [17] and other hydrates [18-20]. Duration of the estimated time interval is 3-6 μs (microseconds). The time step is 0.005-0.01 ns, the specific heat flow near the bubble's surface (boundary condition of the 2nd kind) is 1 MW/m. The initial diameter of the bubble is 0.1 mm, the initial water temperature is $+0.5^\circ\text{C}$.

The estimated layers are 12 in number, K_r factor equals 1.5. The initial values of heat conductivity, density and heat capacity of water are taken at the temperature of $+0.5^\circ\text{C}$. The heat of the water-to-ice phase transition is 335 kJ/kg. The temperature of the steam-gas medium of the real bubble can vary within a pretty wide range. To study the phase transition processes in water, the bubble with the steam-gas medium temperature below the phase transition temperature will be called "cold". The bubble with the steam-gas medium temperature higher than the phase transition temperature will be called "hot".

Experiment No. 1. Let us consider a bubble in the water formed during the barbotage gas throttling through the narrow nozzle. Due to the Joule-Thompson effect, the gas temperature inside the bubble is lower than the temperature of the surrounding liquid. Considering the gas pressure inside the bubble equal to the pressure of the water (with account of the surface tension forces), we will take the velocity of the bubble walls equal to 0 m/sec. The results of the temperature regime calculation for the liquid surrounding the "cold" bubble, are shown in Figure 2.

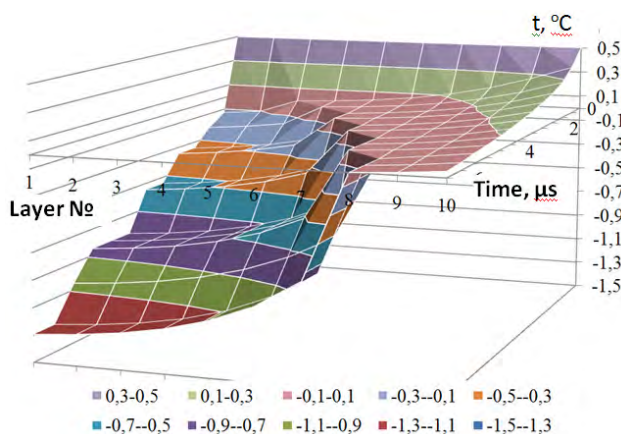


Fig. 2. Diagram of temperature fields in the water surrounding a stationary wall "cold" bubble ($\dot{R}=0$ m/sec)

Experiment No. 2. If the gas pressure in the bubble exceeds the pressure of the liquid, the bubble expands. Let us consider the processes in the liquid during the "cold" bubble expansion with the wall movement

velocity of 10 m/sec. The calculation results are shown in Figure 3.

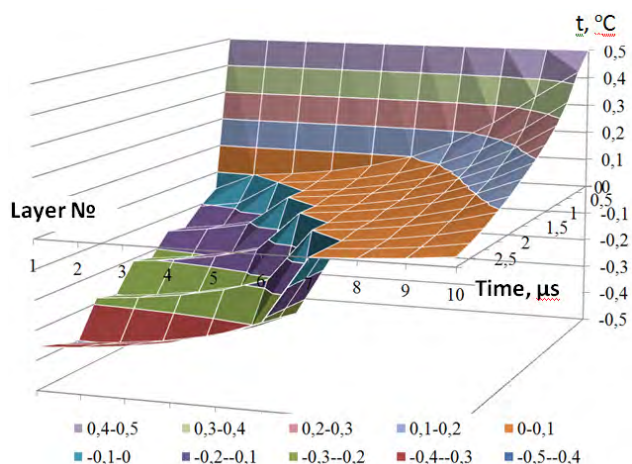


Fig. 3. Diagram of temperature fields in the water surrounding a "cold" bubble expanding with the velocity of $\dot{R}=10$ m/sec

Experiment No. 3. In the process of oscillation, the phase of the bubble's expansion is replaced with the phase of compression. Let us consider the processes in the liquid during the period of the "cold" gas bubble compression with the wall movement velocity of -10 m/sec. The calculation results are shown in Figure 4.

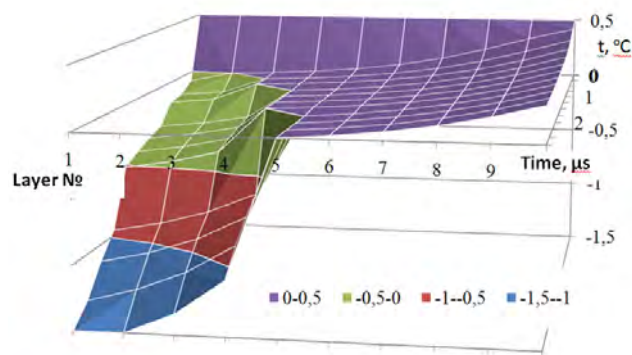


Fig. 4. Diagram of temperature fields in the water surrounding a "cold" bubble compressing with the velocity of $\dot{R}=10$ m/sec

During the period of the bubble compression, the gas temperature in it increases and favorable conditions are created for melting of the ice crust formed at the previous stages of the bubble's oscillation. As time passes, the movement of the bubble's wall slows down, and the process of expansion starts in the conditions of the high gas temperature. The next series of calculations was performed to study the phase transition processes around the "hot" bubble.

Experiment No. 4. A bubble with "hot" gas is immobile and is surrounded with an ice crust. Let

us consider the process of ice melting around the bubble. Based on preliminary calculations, the initial ice temperature will be taken at -0.5°C .

Experiment No. 5. The “hot” bubble expands with the velocity of 10 m/sec. The calculation results are shown in Figure 6.

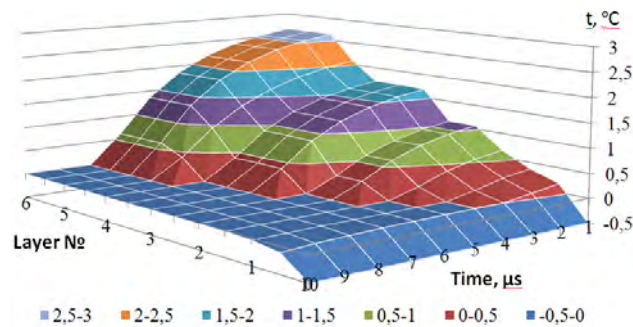


Fig. 5. Diagram of temperature fields in the water-ice system surrounding the immobile “hot” bubble ($\dot{R}=0$ m/sec)

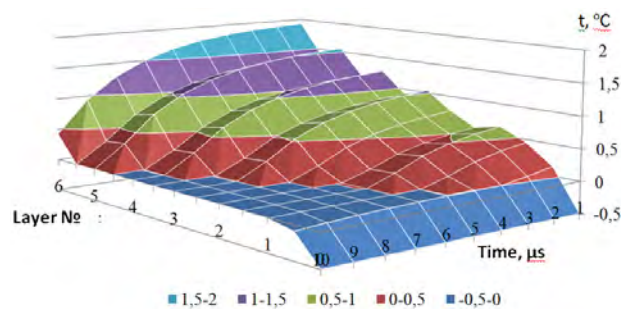


Fig. 6. Diagram of temperature fields in the water-ice system surrounding the “hot” bubble that is compressing with the velocity of $\dot{R}=10$ m/sec

Experiment No. 6. Let us consider the ice melting while a “hot” bubble is compressing with the velocity of 10 m/sec (Fig. 7). The initial temperature of ice was taken at -0.5°C .

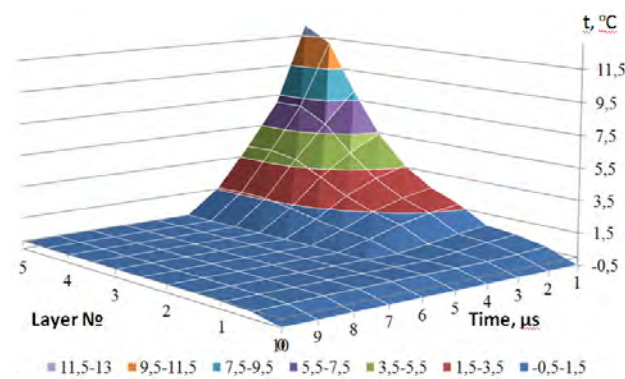


Fig. 7. Diagram of temperature fields in the water-ice system surrounding the “hot” bubble that is compressing with the velocity of $\dot{R}=-10$ m/sec

6. Discussion of the results of the mathematical modeling of phase transition processes in the liquid

The upper part of Figure 2 shows a relatively rapid cooling of the liquid to the temperatures close to the phase transition temperature (0°C). The phase transition itself is observed as an almost horizontal platform approximately in the center of the diagram. The left side of the diagram illustrates the process of ice cooling.

The stepped nature of the ice temperature is explained by a small number of the designed layers (12 pcs.). The freezing depth has made 5 layers of the liquid around the bubble for 2.0 ms.

As it is seen in Figure 3, the freezing depth has made 6 layers of liquid for 2.0 ms. Comparison of the frozen layers masses in Experiments 1 and 2 shows that when the bubble expands the liquid freezing is approximately 1.6 times faster. This is due to an increase of the heat transfer surface area when the bubble size is expanding.

In the left side of the diagram, the ice temperature is bearing a jagged nature. A slight rise in temperature is observed due to the reduction of thickness and the membranes’ thermal resistance in the process of the bubble expansion.

In general, reducing the solid phase membranes’ thickness leads to the fact that the surface temperature of the bubble is closer to the phase transition temperature than it was in experiment No. 1. The results of the “cold” bubble compression calculation, presented in Figure 4, demonstrate that in this case, the freezing of the liquid significantly slows down. Namely, the ice thickness was only 60% of the variant with an immobile bubble wall. This is explained by a reduction of the heat transfer surface area. Due to the freezing layers’ thickness increase, the thermal resistance grows and the internal surface temperature of the bubble reduces more rapidly than in experiments 1 and 2. The results of the immobile “hot” bubble calculation (Fig. 5) show a relatively rapid initial warming of the ice layers to the phase transition temperature. Comparing the results with Experiment No. 1, it can be noted that the melting process occurs at almost the same velocity as that of the freezing process.

This is facilitated by the boundary condition of the 2nd kind. Almost four times less than the thermal conductivity of water in comparison with that of ice, causes more intense heating of the interphase liquid-gas surface.

In experiment No. 5, as in experiment No. 2, ice melting is accelerated due to the heat transfer surface

expansion. Also, a slower wall temperature rise occurs, and the specific “pulverulent” form of the temperature field is caused by a gradual reduction of the membranes’ thickness.

The results of calculating the “hot” bubble compression (Fig. 7) show a significant deceleration of the ice melting process compared with the previous calculation. The temperature of water’s internal layers grows much more rapidly than in Experiments 4 and 5. This is facilitated by both the water layers thickness growth when compressing the bubble, and the much less thermal conductivity of water compared with that of ice (approximately 4 times). Reduction in the amount of the melted ice is due to the surface area reduction of the heat transfer, and as a consequence, reduction in the total amount of heat that is brought to the interphase surface of the bubble. Thus, with the help of mathematical modeling, the distribution of temperature fields in the liquid in the conditions of the phase transition processes and the bubble size change (Experiments No. 1-6) was obtained. The study performed demonstrates that the method of finite elements (31)-(34) used for the mathematical model of non-stationary heat transfer in the liquid (1)-(2) surrounding the oscillating gas-to-steam bubble correctly displays the physical processes.

It takes into account the change in the thermal and physical characteristics of the liquid (31)-(34), the change in the bubble size (12), (22)-(25), the heat transfer processes at its boundary (9), and the phase transition processes in the liquid column (26)-(30). The designed mathematical model can be used to estimate the thermodynamic parameters of a two-phase liquid in various technological processes. The suggested calculation technique can be used to determine the thermal and physical characteristics of liquid and steam in various technological processes associated with gases dissolution in liquid, foam hardening and gas hydrates formation.

7. Conclusions

1. A mathematical model of the non-stationary thermal conductivity of the oscillating bubble wall, which

takes into account the change in the aggregate state as well as thermal and physical characteristics of the substance, has been developed. It is demonstrated that when applying the finite elements method, it is a system of nonlinear differential equations of the 1st order. Consideration of the above features in the mathematical model allows obtaining the values of the liquid and solid phases temperatures at any specific time when changing the bubble’s size, changing the direction of the heat flow at its boundary.

2. To analyze the correctness of the mathematical modeling of transient processes in a liquid, a series of assessment calculations (experiments) has been performed. They were aimed at testing the reproduction of various thermodynamic conditions and gas-to-steam bubble modes by means of the mathematical model: heating and cooling together with the phase transition processes, compression and expansion. A diagram of temperature fields in the substance surrounding the gas-to-steam bubble was constructed for each experiment.
3. The results of the calculation for an immobile 0.1 mm diameter bubble with a boundary condition of the 2nd kind showed that the icing and ice melting velocities are almost equal, but the temperature on the interphase gas-water surface is approximately four times exceeding the temperature of the gas-ice surface that complies to the ratio of the thermal conductivity of water and ice. The temperature in the liquid-ice phase transition zone is practically constant. Comparison of the frozen layers masses shows that when the bubble is expanding, the liquid freezing and the ice melting are going more than 1.6 times faster than in the immobile bubble. When compressing the bubble, the thickness of the ice formed or melted is approximately 1.7 times smaller than that of the immobile bubble.

The analysis of the obtained results has demonstrated that they are predictable and completely correspond to the physicists’ ideas of the heat transfer and phase transition processes flow in the liquid.

References

- [1] Pavlenko A.M., *Regularities of Boiling-Up of Emulsified Liquids* / A.M. Pavlenko, B.I. Basok // Heat Transfer Research, 2005, Vol. 36, Issue 5, pp. 419-424, doi: 10.1615/heattransres.v36.i5.90.
- [2] Piotrowski J.Z., Stroy A.F., Olenets M.O., *Mathematical model of the thermal-air regime of a ventilated attic*, Journal of Civil Engineering and Management, Vol. 21, Issue 6, 2015, pp. 710-719.
- [3] Takeya S., *Self-preservation effect and dissociation rates of CH₄ hydrate* / S. Takeya, T. Ebinuma, T. Uchida, J. Nagao, H. Narita // Journal of Crystal Growth. – 2002. – Vol. 237-239. – P. 379-382. doi: 10.1016/s0022-0248(01)01946-7.

- [4] Stem L.A., *Temperature, pressure, and compositional effects on anomalous or "self" preservation of gas hydrates* [Text] / L.A. Stem, S. Circone, S.H. Kirby, W.B. Durham // Canadian Journal of Physics. – 2003. – Vol. 81, Issue 1-2. – P. 271-283. doi: 10.1139/p03-018.
- [5] Pavlenko A.M., Koshlak H.V., Piotrowski J.Z., *Determination of heat transfer coefficient in the phase-change heat storage device* / Structure and Environment, 2016.-№4.-p. 278-281.
- [6] Hashemi S., *Dynamic Simulation of Gas Hydrate Formation in an Agitated Three-Phase Slurry Reactor* [Text] / S. Hashemi, A. Macchi, P. Servio // The 12th International Conference on Fluidization – New Horizons in Fluidization Engineering. – 2007. – P. 329-336.
- [7] Shagapov V.Sh., *K teorii rosta parovykh puzyr'kov v metastabil'noy zhidkosti* [Text] / V.Sh. Shagapov, V.V. Koledin // Teplofizika vysokih temperatur. – 2013. – Vol. 51, Issue 4. – P. 543-551. doi: 10.7868/s0040364413040212.
- [8] Veretel'nik T.I., *Matematicheskoe modelirovanie kavitatsionnogo potoka zhidkosti v himiko-tehnologicheskoy sisteme* [Text] / T.I. Veretel'nik, Yu.N. Difuchin // Visnyk ChDTU. – 2008. – Issue 3. – P. 82-85.
- [9] Aktershev S.P., *Modelirovanie vskipaniya metastabil'noy zhidkosti pri nalichii frontov isparennya* [Text] / S.P. Aktershev, V.V. Ovchinnikov // Sovremennaya nauka: issledovaniya, idei, rezul'taty, tekhnologi. – 2013. – Issue 1. – P. 77-82.
- [10] Nigmatulin R.I., *Dinamika i teplomassobmen parogazovykh puzyr'kov s zhidkost'yu* [Text] / R.I. Nigmatulin, N.S. Habeev // Nekotorye voprosy mekhaniki sploshnoy sredy. – Moscow: In-t mekhaniki MGU, 1978. – P. 229-243.
- [11] Kulinchenko V.R., *Peredumovy stvorennia matematychnoi modeli – osnovni polozhennia i rivniannia rukhu Releia* [Text] / V.R. Kulinchenko, V.L. Zavialov, T.H. Mysiura // Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohiy. – 2007. – Issue 22. – P. 36-41.
- [12] Dolinskiy A.A., *Teoreticheskoe obosnovanie printsipa diskretno-impul'snogo vvoda energii. Model' dinamiki odinochnogo parovogo puzyr'ka* [Text] / A.A. Dolinskiy, G.K. Ivanitskiy // Prom. teplotekhnika. – 1995. Vol. 17, Issue 5. P. 3-28.
- [13] Pavlenko A.M., *Kinetics of Water Evaporation from Emulsions* [Text] / A.M. Pavlenko, B.I. Basok // Heat Transfer Research. – 2005. – Vol. 36, Issue 5. – P. 425-430. doi: 10.1615/heattransres.v36.i5.100.
- [14] Butcher J.C., *Numerical Methods for Ordinary Differential Equations* [Text] / J.C. Butcher. – New York: John Wiley & Sons, 2008. – 482 p. doi: 10.1002/9780470753767.
- [15] Kushnir S.V., *Barbotazhni khimichni efekty: yikh vydy, mekhanizmy vynyknennia ta heokhimichni proiavy* [Text] / S.V. Kushnir, M.V. Kost, R.P. Kozak // Nakovo-tekhnichni visti. – 2016. – Issue 3 (20). – P. 30-47.
- [16] Ermolaeva G.A., *Tekhnologiya i oborudovanie proizvodstva piva i bezalkogol'nykh napitkov* [Text]: ucheb. / G.A. Ermolaeva, P.A. Kolcheva. – Moscow: IRPO; Izd. tsentr «Akademiya», 2000. – 416 p.
- [17] Mosin O.V., *Fiziko-himicheskie osnovy opresneniya morskoy vody* [Text] / O.V. Mosin // Soznanie i fizicheskaya real'nost'. – 2012. – Issue 1. – P. 19-30.
- [18] Semenov M.E., *Sintez gidratov gazov laboratornykh usloviyakh* [Text]: XVII mezhdunar. nauch.-prakt. konf / M.E. Semenov, E.Yu. Shits // Tekhnicheskie nauki – ot teoryi k praktike. – Novosibirsk: SibAK, 2013. – P. 55-61.
- [19] Okutani K., *Surfactant effects on hydrate formation in an unstirred gas/liquid system: An experimental study using methane and sodium alkyl sulfates* [Text] / K. Okutani, Y. Kuwabara, Y.H. Mori // Chemical Engineering Science. – 2008. – Vol. 63, Issue 1. – P. 183-194. doi: 10.1016/j.ces.2007.09.012.
- [20] Mel'nikov V.P., *Relaksatsionnyy YAMR-analiz fazovykh prevrashcheniy vody v dispersnoy sisteme voda/gidrat freona-12/uglevodorod pri dissotsiatsii gidrata* [Text] / V.P. Mel'nikov, L.C. Podenko, A.N. Nesterov, A.M. Reshetnikov // DAN. – 2010. – Vol. 433, Issue 1. – P. 59-61.

Acknowledgments:

*This work was supported by Kielce University of Technology,
Grant No. 05.0.08.00/2.01.01.01.0019 MNSP.IKFB.14.002*

THE ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN THE SCHOOL AND THE WEDDING HOUSE

ANALIZA KOMFORTU CIEPLNEGO W SZKOLE I DOMU WESELNYM

DOI: 10.30540/sae-2018-007

Abstract

The environment, where people are staying, should provide thermal comfort. It means that the equilibrium of the amount of heat produced in the human body and the amount of heat lost to the environment should be kept. To achieve the suitable conditions of air there the air conditioning, ventilation and heating systems are used. These systems regulate the air parameters and maintain them at the desired level. Designers locate, most commonly, the supply units of air conditioning systems in the ceiling in the central part of the room or near the windows without taking into account the specificity of the premises. However, such an approach may contribute to the lack of thermal comfort. The sensation of air is a very subjective indicator that depends on many variables. The authors of the article made an attempt to analyze the influence of the type of air conditioning system and location of air supply units on the thermal comfort in rooms of different use.

Keywords: thermal comfort, air conditioning, simulation

Streszczenie

Środowisko, w którym przebywa człowiek powinno zapewniać odczuwanie komfortu. tzn. powinna być zachowana równowaga pomiędzy ilością ciepła wytwarzanego w ciele człowieka a ilością ciepła traconego do otoczenia. Aby uzyskać taki stan powietrza w pomieszczeniach, stosuje się różne systemy wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania. Układy te regulują parametry powietrza i utrzymują je na żądanym poziomie. Projektanci lokalizują elementy nawiewne instalacji klimatyzacji najczęściej w suficie w centralnej części pomieszczenia lub przy oknach bez uwzględniania specyfiki pomieszczenia. Jednak takie spojrzenie na instalację może przyczynić się do braku warunków komfortu cieplnego. Postrzeganie stanu powietrza jest bardzo subiektywnym wskaźnikiem zależnym od wielu zmiennych. W artykule podjęto próbę analizy wpływu rodzaju instalacji klimatyzacji oraz rozmieszczenia elementów nawiewnych w pomieszczeniach o różnym przeznaczeniu.

Słowa kluczowe: komfort termiczny, klimatyzacja, symulacje

1. Introduction

The internal environment is the subject of interest to many scientists. This is the result from essential influence of internal parameters on the health of the occupants. The inappropriate temperature, humidity or air composition can cause a sick building syndrome. Even without the visible deterioration of human health, we can see the impact of the inappropriate micro-environment on decrease productivity, learning performance or disorders of sleep or emotions. The air parameters are also important for the structure of the building as shown in [1]. In the literature [2] there

1. Wstęp

Środowisko wewnętrzne jest przedmiotem zainteresowań wielu naukowców. Wynika to z istotnego wpływu parametrów wewnętrznych na stan zdrowia osób przebywających w pomieszczeniach. Niewłaściwy układ temperatury, wilgotności oraz skład powietrza może powodować syndrom chorego budynku. Nawet bez widocznego pogorszenia stanu zdrowia wpływ mikrośrodowiska ukazuje się w spadku wydajności pracy, uczenia się lub kłopotów ze snem czy też zaburzeń stanów emocjonalnych. Parametry powietrza są istotne również dla konstrukcji budynku co pokazano w [1].

was shown how important the indoor air quality is, there the scientists have shown the influence of air quality on people's sensations. There the influence of temperature, air velocity and location of supply elements depending on the type of air conditioning system and the use of the buildings were analyzed in the article.

2. Subject of study

Two public buildings were analyzed: a school and a wedding house with hotel's rooms. Two alternative air conditioning systems were designed in those buildings. One of them was a centralized system equipped with zone heaters to prepare parameters for the whole zone according to its requirements. The second system was equipped with wall's air conditioners located in each of the rooms. In the first solution, it was not possible to individually adjust the parameters for each room, but for the whole zone. In the second solution, the users were able to adjust the parameters individually. The simulation of parameters of supply air was done in lindQST LINDAB. The premises of each category were selected for analysis. The classroom and teacher's room were chosen in the school building. The wedding hall and the hotel room were chosen in the wedding house. Table 1 presents the data of each analyzed room. The internal air parameters were chosen according to standard [3].

Table 1. The data of the analyzed rooms

Tabela 1. Dane dotyczące analizowanych pomieszczeń

The premises	Area [m ²]	Cubage [m ³]	Heat gains [kW]	Stream of supply air [m ³ h ⁻¹]	Internal temperature [°C]	Humidity [%]
Classroom	45.1	112.7	3.5	878	24	50
Teacher's room	21.4	53.6	4.4	1090	24	50
Wedding hall	212.4	894.6	16.09	9657	21	50
Hotel room	27.2	84.3	0.58	180	23	50

The value of the Predicted Mean Vote (PMV) along the room (with the interval of 1m) was calculated on the base of the parameters obtained in the simulation. Fanger's model was chosen to the analysis according to the standard [4]. This is a commonly used method for assessing the thermal comfort of premises. The researchers have shown that in hot and humid climate, this model is unsuitable because of too much variance in real and calculated values, which was shown in [5]. However, the location of the analyzed objects in

Jak bardzo istotnym jest stan powietrza wewnętrznego pokazuje literatura [2], gdzie naukowcy ukazali wpływ jakości powietrza na osoby przebywające w pomieszczeniu. W artykule przeanalizowano wpływ temperatury, prędkości powietrza oraz lokalizacji elementów nawiewnych w zależności od rodzaju instalacji klimatyzacji oraz od przeznaczenia budynków.

2. Przedmiot analizy

Analizie poddano dwa budynki użyteczności publicznej: szkołę oraz dom weselny z pokojami hotelowymi. W obiektach zaprojektowano dwa alternatywne systemy klimatyzacji. Jeden stanowił scentralizowany układ wyposażony w nagrzewnice strefowe przygotowujące parametry dla całej strefy w zależności od wymagań im postawionych. Drugi system wyposażony był w klimatyzatory ściennie zlokalizowane w każdym z pomieszczeń. W pierwszym przypadku nie było możliwości indywidualnej regulacji parametrów dla każdego pomieszczenia, ale dla całej strefy, w drugim przypadku użytkownicy mają możliwość regulacji parametrów indywidualnie. Symulację parametrów powietrza nawiewanego wykonano w programie lindQST LINDAB. Do analizy wybrano pomieszczenia z każdej kategorii. W budynku szkoły była to: sala lekcyjna oraz pokój nauczycielski, w domu weselnym: sala weselna oraz pokój hotelowy. W tabeli 1 zaprezentowano dane dotyczące poszczególnych pomieszczeń poddanych analizie. Parametry powietrza wewnętrznego dobrano zgodnie z normą [3].

Na podstawie parametrów uzyskanych w symulacji obliczono wartość wskaźnika PMV na długości pomieszczenia z interwałem 1 m. Do analizy wybrano model Fangera wg normy [4]. Jest to powszechnie stosowana metoda do oceny komfortu cieplnego pomieszczeń. Naukowcy wykazali, iż w klimacie gorącym i wilgotnym model ten nie sprawdza się z uwagi na zbyt duże odchylenia wartości uzyskanych w warunkach rzeczywistych i obliczonych, co pokazuje [5]. Jednak lokalizacja analizowanych obiektów

moderate climate allows for successful application of the chosen model. At the same time, it should be noted that Aravind Kumar A. and others [6] have shown the influence of insulating materials on thermal comfort what are not included in the Fanger's model. The metabolism of people has the greatest influence on the value of PMV, what was shown in [7]. The conducted analysis includes metabolism depending on the activity of people.

3. Analysis

The thermal comfort analysis was conducted for the summer period. The external air parameters were assumed according to the standard [8]: temperature 30°C and humidity 45%. Two alternative air conditioning systems for each of the buildings were designed. The air flows were calculated and the components of the systems were selected. The simulation of flow of supply air was conducted in the lindQST LINDAB program (Fig. 1). On the base of the simulation's effects, the distribution of temperature and air velocity at the border of the people's residence zone (ie at the height of 1.8 m from the floor level) have been specified.

w klimacie umiarkowanym pozwala z powodzeniem zastosować wybrany model. Jednocześnie nadmienić należy, iż Aravind Kumar A. i inni [6] wykazali wpływ na komfort termiczny materiałów izolacyjnych, które nie są uwzględnione w modelu Fangera.

Największy wpływ na wartość wskaźnika PMV ma metabolizm osób przebywających w pomieszczeniu, co pokazuje [7]. W artykule uwzględniono metabolizm w zależności od aktywności osób przebywających w poszczególnych pomieszczeniach.

3. Analiza

Analizę komfortu cieplnego wykonano dla okresu letniego. Założono parametry powietrza zewnętrznego zgodnie z normą [8]: temperatura 30°C oraz wilgotność 45%. Wykonano po dwa alternatywne projekty instalacji klimatyzacji dla każdego z budynków. Obliczono strumień powietrza klimatyzacyjnego i dobrano elementy końcowe instalacji. W programie lindQST LINDAB wykonano symulację nawiewu powietrza (rys. 1). Na tej podstawie określono rozkład temperatury i prędkości powietrza na granicy strefy przebywania ludzi, tj. na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi.

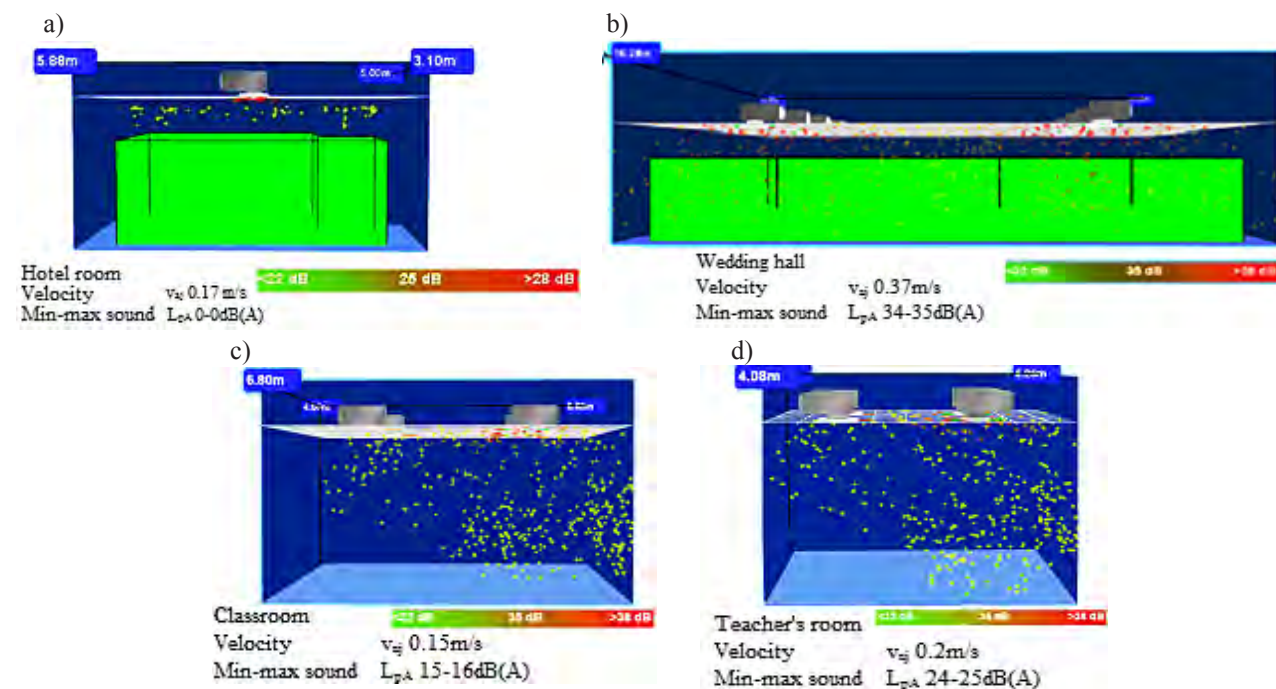


Fig. 1. The simulation of distribution of air velocity and air temperature – air conditioning system with zone heaters: a) hotel room, b) wedding hall, c) teacher's room, d) classroom

Rys. 1. Symulacja rozkładu prędkości i temperatury – system z nagrzewnicami strefowymi: a) pokój hotelowy, b) sala weselna, c) pokój nauczycielski, d) sala lekcyjna

The results of the simulation allowed to calculate the value of the PMV coefficient. The values of the analyzed parameter were shown in the graph in Figure 2. Depending on the type of room, the supply air parameters created by the various air conditioning systems gave a different values of PMV.

The supply grate of the centralized air conditioning system was located in the center of the hotel room. The value of PMV was lower near the walls, and in the rest of the room's area the value was constant and equals 0.1. In a system with a wall's air conditioners, the PMV value was decreasing as it moved away from the wall and from the center of the room the indicator's value was growing.

In the wedding hall, both the supply grates of the central air conditioning system and the wall's air conditioners were located on the opposite sides of the room along the walls. In the first solution near the supply grates, the PMV value was higher. In the central part of the wedding hall the PMV value was kept at a constant level, equal to the value obtained for the wall's air conditioners. In the system with wall's air conditioners the value was constant throughout the room.

In the classroom the supply grates of the central air conditioning system were located on both sides of the room and the thermal comfort factor was decreasing along the room. In the system with wall's air conditioners the PMV value was initially decreasing, and from the center of room was growing up.

In the teacher's room the location of the installation's elements was similar to the classroom. For this room, the value of the PMV was growing as the measurement was moving away from the wall's air conditioner. While, in the case of the central air conditioning system, the PMV value was decreasing along the room and from the center of room it was oscillating around the constant value.

Based on the analysis of the obtained data, it can be seen that both proposed solutions of the air conditioning systems are creating the microclimate parameters making comfortable conditions for the users. At the same time it cannot be said that one of the analyzed systems is better.

To the analyze the air conditioning system equipped with zone heaters the graph was created (Fig. 3). The most comfortable conditions were obtained in the hotel and teacher's room, it means in the rooms with the smallest number of people. The highest values of the PMV factor were obtained in the wedding hall, where the largest number of people is and the physical activity is highest.

Wyniki symulacji pozwoliły na obliczenie wartości wskaźnika komfortu cieplnego PMV. Wartości analizowanego parametru przedstawiono w formie wykresu na rysunku 2. W zależności od rodzaju pomieszczenia parametry powietrza nawiewanego kreowane przez różne systemy klimatyzacji dawały inną wartość wskaźnika PMV.

W pokoju hotelowym nawiewnik klimatyzacji centralnej zlokalizowany był w środku pomieszczenia. Wartość wskaźnika komfortu cieplnego była niższa w pobliżu ścian, a w pozostałej części pomieszczenia była stała i wynosiła 0,1. W systemie z klimatyzatorem ściennym wartość wskaźnika malała w miarę oddalania się od ściany, a od środka pomieszczenia rosła.

Na sali weselnej zarówno nawiewniki systemu klimatyzacji centralnej, jak i klimatyzatory zlokalizowane były po obu stronach pomieszczenia wzdłuż ścian. W przypadku pierwszego rozwiązania w bliskiej odległości od nawiewników wartość wskaźnika PMV była wyższa. W centralnej części pomieszczenia utrzymywała się na stałym poziomie, równym wartości uzyskanej dla klimatyzatorów, dla których wartość była stała w całym pomieszczeniu.

W przypadku sali lekcyjnej nawiewniki klimatyzacji centralnej zlokalizowane były po obu stronach pomieszczenia, a wskaźnik komfortu cieplnego zmniejszał się wzdłuż pomieszczenia. W przypadku klimatyzatorów ściennych wskaźnik PMV początkowo malał, a od środka pomieszczenia zaczął wzrastać.

W pokoju nauczycielskim lokalizacja elementów instalacji była analogiczna do sali lekcyjnej. W tym przypadku wartość wskaźnika PMV wzrastała w miarę oddalania się od klimatyzatora ściennego, natomiast w przypadku klimatyzacji centralnej malała wzdłuż pomieszczenia, a od jego środka oscylowała wokół stałej wartości.

Na podstawie analizy uzyskanych danych można zauważyć, iż oba proponowane rozwiązania instalacji klimatyzacji regulują parametry mikroklimatu, tworząc warunki komfortowe dla użytkowników. Jednocześnie nie można stwierdzić, iż któryś z analizowanych systemów jest lepszy.

Celem przeprowadzenia analizy systemu klimatyzacji wyposażonego w nagrzewnice wtórne utworzono wykres (rys. 3). Warunki najbardziej komfortowe uzyskano w pokoju hotelowym i nauczycielskim, czyli w pomieszczeniach o najmniejszej liczbie osób. Najwyższe wartości wskaźnika PMV uzyskano w sali weselnej, gdzie była największa liczba osób oraz największa aktywność fizyczna.

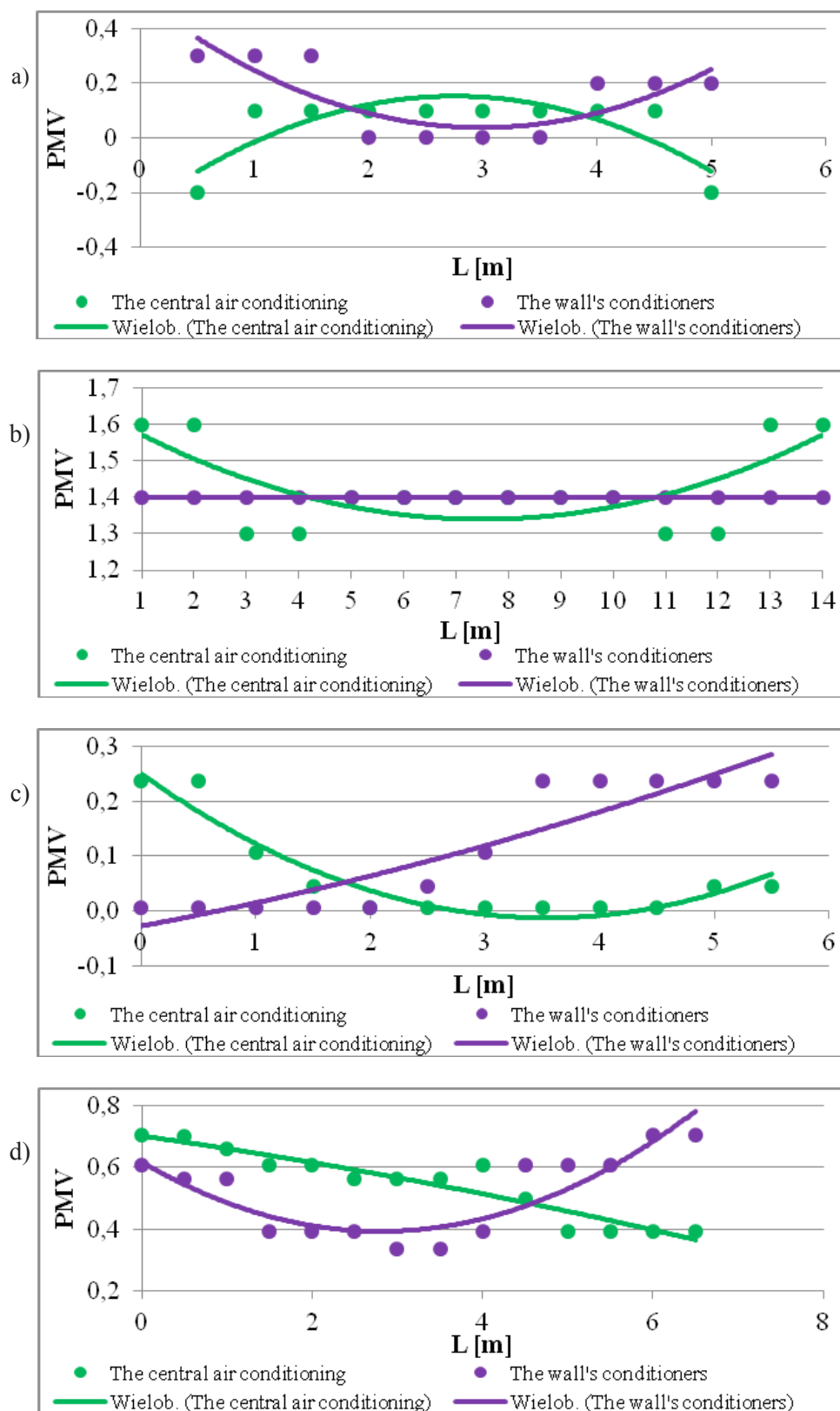


Fig. 2. The PMV value along the room depending on the type of air conditioning system: a) hotel room, b) wedding hall, c) teacher's room, d) classroom

Rys. 2. Wartość wskaźnika PMV wzdłuż pomieszczenia w zależności od rodzaju instalacji klimatyzacji: a) pokój hotelowy, b) sala weselna, c) pokój nauczycielski, d) sala lekcyjna

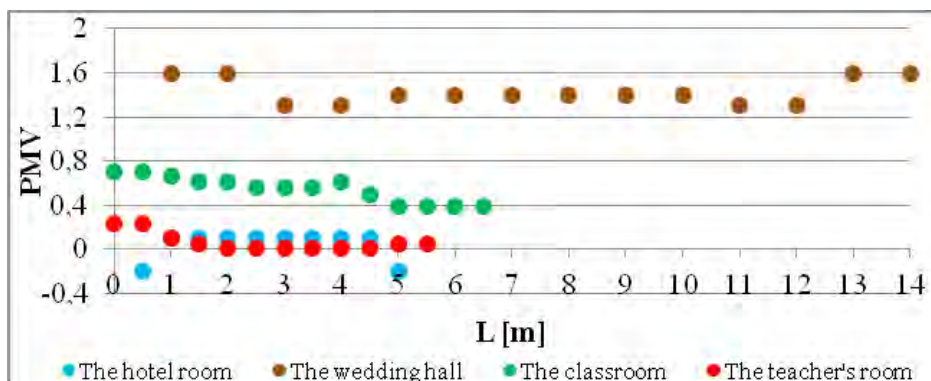


Fig. 3. The PMV value in premises with the central air conditioning system equipped with zone heaters

Rys. 3. Wartość wskaźnika PMV w pomieszczeniach klimatyzowanych przez system centralny z nagrzewnicami strefowymi

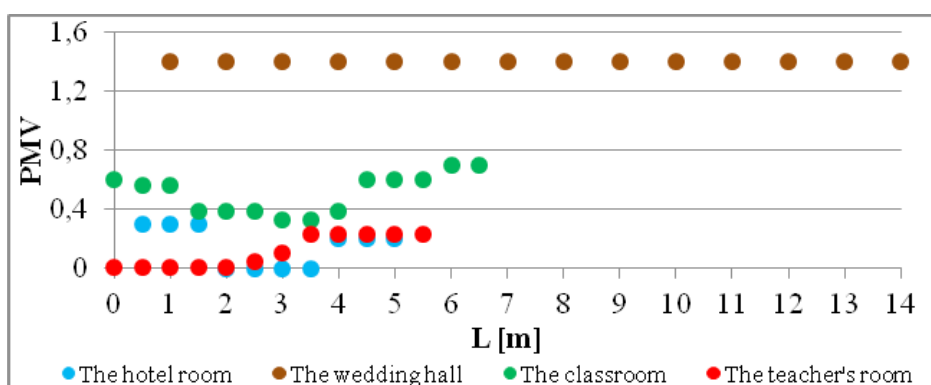


Fig. 4. The PMV value in premises with the wall's conditioners

Rys. 4. Wartość wskaźnika PMV w pomieszczeniach klimatyzowanych przez system z klimatyzatorami ściennymi

To the analyze the air conditioning system equipped with wall's conditioners the graph was created too (Fig. 4). The most comfortable conditions were obtained, as in the case of the first air conditioning system, in the hotel and teacher's room. Similarly, the highest values of the PMV factor were observed in the wedding hall.

4. Conclusions

The conducted analysis showed that regardless of the air conditioning system used, it is possible to obtain the comfort conditions in rooms of different use. At the same time, it can be said that it is easier to get the right parameters in the premises for rooms with fewer people and less physical activity of occupants. In the three analyzed premises, users can determine the micro-environment as slightly warm ($PMV = 0 \div +1$) or slightly cool ($PMV = -1 \div 0$) according to [4]. In the room with the largest number of people and their greatest physical activity, thermal comfort can be defined as heat ($PMV = +1 \div +2$)

Celem przeprowadzenia analizy systemu klimatyzacji wyposażonego w klimatyzatory ścienne również utworzono wykres (rys. 4). Warunki najbardziej komfortowe uzyskano, tak jak w przypadku pierwszego systemu klimatyzacji, w pokoju hotelowym i nauczycielskim. Analogicznie najwyższe wartości wskaźnika PMV zaobserwowano w sali weselnej.

4. Wnioski

Przeprowadzona analiza wykazała, że bez względu na zastosowany system klimatyzacji możliwe jest uzyskanie warunków komfortu cieplnego w pomieszczeniach o różnym przeznaczeniu. Jednocześnie można stwierdzić, iż w przypadku pomieszczeń o mniejszej liczbie osób i ich małej aktywności fizycznej łatwiejsze jest uzyskanie odpowiednich parametrów w pomieszczeniach. W trzech analizowanych pomieszczeniach użytkownicy mogą określić mikrośrodowisko jako lekko ciepłe ($PMV = 0 \div +1$) lub lekko chłodne ($PMV = -1 \div 0$), wg [4]. W pomieszczeniu o największej liczbie osób i największej ich aktywności fizycznej komfort ciepł-

according to [4]. Reducing the supply air temperature would increase the thermal comfort of the occupants in this room provided they maintain a high level of physical activity. However, due to the specifics of the room where some people are dancing, some sit at the table, people in the second group will evaluate the micro-environment as too cool or cool. The main conclusion of the analysis is the necessity of in-depth analysis of the specifics use of the premises for the proper location of the elements of the air conditioning system and the appropriate selection of supply air parameters at the design stage.

ny można określić mianem ciepło ($PMV = +1 \div +2$), wg [4]. Zmniejszenie temperatury powietrza nawiewanego spowodowałoby zwiększenie komfortu cieplnego osób przebywających w tym pomieszczeniu, pod warunkiem utrzymywania wysokiej aktywności fizycznej. Jednak z uwagi na specyfikę pomieszczenia, gdzie część osób tańczy, część siedzi przy stole, osoby z drugiej grupy oceniłyby mikrośrodowisko jako zbyt chłodne lub chłodne. Zasadniczym wnioskiem z przeprowadzonych badań jest konieczność dogłębnej analizy specyfiki pomieszczenia celem odpowiedniej lokalizacji elementów końcowych instalacji klimatyzacji oraz odpowiedniego doboru parametrów powietrza nawiewanego na etapie projektowania.

References

- [1] Olenets M., Piotrowski J., *A model of heat and air transfer in a ventilated, rectangular space*. Journal of Building Physics Vol. 40(4) (2017), pp. 334-345.
- [2] Telejko M., Zender-Świercz E., *An attempt to improve air quality in primary schools*. 10th International Conference: Environmental Engineering DOI: <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.051>.
- [2] Śmiełowska M., Marć M., Zabiegała B., *Environmental Science and Pollution Research*. Indoor air quality in public utility environments-a review Vol. 24, Issue 12 (2017), pp. 11166-11176.
- [3] PN EN 15251 *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics* Parametry wejściowe środowiska wewnętrznego dotyczące projektowania i oceny charakterystyki energetycznej budynków, obejmujące jakość powietrza wewnętrznego, środowisko cieplne, oświetlenie i akustykę.
- [4] PN-EN ISO 7730:2006 *Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Ergonomia Środowiska termicznego umiarkowane. Analityczne wyznaczanie i interpretacja komfortu termicznego z zastosowaniem obliczania wskaźników PMV i PPD oraz kryteriów miejscowego komfortu cieplnego.
- [5] Kumar Lachireddi G.K., Muthukumar P., and Sudhakar Subudhi, *Thermal comfort analysis of hostels in National Institute of Technology Calicut*. Sādhana, India Vol. 42, No. 1 (2017), pp. 63-73, (DOI 10.1007/s12046-016-0572-x).
- [6] Aravind Kumar A., Nagesh Babu B. and Somya S., *Numerical Simulation of Thermal Comfort Performance in a Room with Different Insulating Materials using Computational Fluid Dynamics*. Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland, Vol. 650 (2015) pp. 29-37 (DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.650.29).
- [7] Hasan M.H., Alsaleem F., Rafaie M., *Sensitivity study for the PMV thermal comfort model and the use of wearable devices biometric data for metabolic rate estimation*. Building and Environment 110 (2016) pp. 173-183.
- [8] PN-76/B-03420. *Ventilation and air conditioning. The computational parameters of external air*. Wentylacja i klimatyzacja. Parametry obliczeniowe powietrza zewnętrznego.

Acknowledgments:

This work was supported by Kielce University of Technology, Grant No. 05.0.08.00/2.01.01.01.0009 MNSP.IKFB.17.001

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, grant nr 05.0.08.00/2.01.01.01.0009 MNSP.IKFB.17.001

EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF GRAVITY HEAT PIPE WITH NH₃ MEDIUM TO OBTAIN LOW-POTENTIAL GEOTHERMAL HEAT

BADANIA EKSPERYMENTALNE RURY CIEPLNEJ Z CZYNNIKIEM NH₃ DO ODZYSKU NISKOTEMPERATUROWEJ ENERGII GEOTERMALNEJ

DOI: 10.30540/sae-2018-008

Abstract

Earth / water heat pumps using vertical heat exchangers do not require large areas and do not depend on the intensity of the sun's radiation that strikes the surface of the earth. Vertical heat exchangers work efficiently in virtually all geological environments, except for low thermal conductivity soils such as dry sand or dry gravel. As the forced circulation media is selected anti-freeze mixtures with water in proportion to the requirements of the operating conditions. Circulation of the working medium in the deep hole requires circulation pump. The paper presents a design of equipment for the usage of low-potential heat collected from rock in a deep borehole by means of heat pipes (HP). Part of the paper deals with the processing of measurement results gathered from the comparative experimental equipment requiring forced and unforced circulation (heat pipe) of the working substance on the primary side of the heat pump.

Keywords: heat pipe, geothermal energy

Streszczenie

Gruntowe pompy ciepła współpracujące z wymiennikami pionowymi nie wymagają znacznej powierzchni terenu i nie są uzależnione od natężenia promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię Ziemi. Gruntowe pionowe wymienniki ciepła działają wydajnie praktycznie w większości gruntów, oprócz tych o niskiej przewodności cieplnej takich jak suchy piasek czy suchy żwir. Czynnikiem roboczym jest niezamarzający roztwór wodny o składzie wynikającym z wymagań eksploatacyjnych. Przepływ czynnika w obiegu zapewnia pompa cyrkulacyjna. Artykuł prezentuje projekt układu do odzysku niskotemperaturowej energii geotermalnej przy użyciu pompy ciepła współpracującej z pionowym wymiennikiem gruntowym. Część artykułu dotyczy obróbki danych pomiarowych zebranych porównawczo dla obiegu wymuszonego i cyrkulacji naturalnej (jako rura cieplna) czynnika roboczego.

Słowa kluczowe: rura cieplna, energia geotermalna

1. Introduction

The heat falling on the Earth surface due to solar radiation is timely highly unstable and influences the heat flow in the Earth rocks up to the depth ranging from 10 to 20 meters. Yearly and daily changes in solar radiation intensity and outer air temperature cause temperature variations in the thin layer of the Earth's surface. Heat regime in the depth greater than the depth of the neutral zone (in Slovakia approx. 14 m), is formed due to the effects of heat characteristics of the Earth's core. The flow of radiogenic heat produced inside the Earth is practically stable and is not influenced by any seasonal or other changes

of weather and temperature. The temperature of the Earth increases with the depth from the surface in compliance with the geothermic gradient of a particular geological structure (approximately 3°C for every 100 m). The amount of radiogenic heat from inside the Earth differs for different areas of the Earth crust. The heat flow for Central Europe ranges from 0.05 to 0.12 W·m⁻².

When using low-potential geothermal energy there are two basic systems – the system with a forced circulation of a heat carrying medium or the system with thermosiphon effect without a forced convection in a ground heat exchanger. In both systems the heat

pump compressor circulation is predominantly used for the heat potential transformation.

Heat carrying substances used for forced circulations in the heat pump primary circuit are usually mixtures of water and antifreeze, such as, e.g. ethylene glycol, tyfocor, salt brine, etc. Owing to the fact that relatively efficient circulation pumps need electricity for their operation, new ways of heat transfer without a forced circulation of heat carrying medium in the ground heat exchanger are looked for. Heat pipes with suitable charge seem to be a perspective way of collecting heat from rocks without a forced circulation of a working substance. In such a system the heat carrier flows in the pipe without additional energy supply with small temperature difference making use of the properties of heat transfer at phase changes. The device working on the mentioned principle of heat transfer is called a heat pipe. Heat pipes have been recently commonly used for the cooling of electronic components and electronic devices

(processors, transformers, etc.) and are examples of real usage of heat transport without a forced circulation of a heat carrier. In heat technology heat pipes are used also for solar energy transfer in high-efficiency solar collectors and in systems for heat recovery.

A design of device for low-potential heat collection

The device for low-potential heat collection from the rock in a deep borehole was realized by means of a conventional and unconventional way using heat pumps. Due to the fact that there are two independent soil probes making use of two different ways of heat collection, we used two heat pumps to extract the heat (abbr. HP) of the type Ground/Water working independently from each other (Fig. 1). The whole device together with all the measuring systems (with the exception of deep boreholes) was placed in laboratory premises. The pipes of primary circuit were led to the boreholes located in front of the laboratory building.

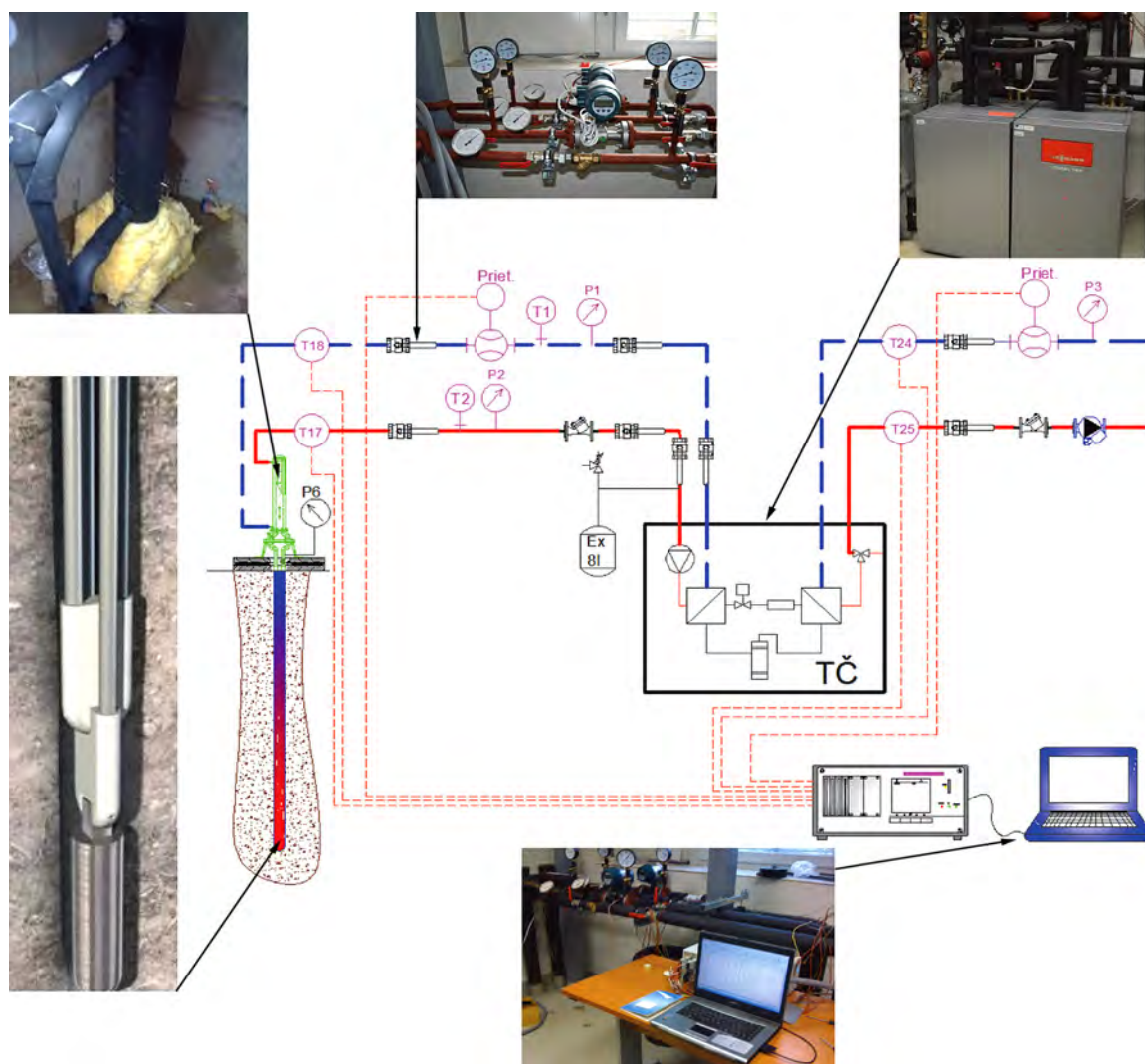


Fig. 1. Scheme of experimental device for low-potential heat collection from deep borehole

The whole device thus consists of two heat pumps connected through the primary circuit to borehole 150 meters deep drilled in the vicinity of Zilina University laboratories. The borehole was performed by means of a drilling set equipped with a collapsible drilling tower with a grief stem, rotary table, and its own power unit (diesel engine). This drilling set is designed for engineering and geological boreholes and boreholes to extract heat from soil.

2. A design of the heat pipe

2.1. Numerical model of heat transfer from the rock into the heat pipe

As the structure of the rock changes with the depths, its thermokinetic characteristics also change. The process of the rock cooling will, therefore, be modeled according to various layers with different thermokinetic characteristics of the given layer of a 150 meter borehole.

Heat transfer from the rock into the heat pipe is described by Fourier's equation for heat conduction in cylindrical coordinates

$$\rho c_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial t}{\partial z} \right) + q_v \quad (1)$$

Supposing that physical characteristics of a body are constant, we can write relation (1) in the form

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c_p \rho} \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{q_v}{c_p \rho} \quad (2)$$

Temperature t in the cylinder axis can be written as

$$t(r, \tau) = t_0 + \frac{q_t}{4\pi\lambda} \int_0^\tau \frac{e^{-\frac{r^2}{4a\tau}}}{t} dt = t_0 + \frac{q_t}{4\pi\lambda} W(u) \quad (3)$$

where the indefinite integral can be expressed in the form of infinite series by means of a substitution

$$u = \frac{r^2}{4a\tau} \quad (4)$$

as

$$W(u) = -\gamma - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots \quad (5)$$

where γ is Euler-Mascheroni constant (0.5772).

The numerical model was set up on the basis of experimentally determined input thermokinetic parameters of the rock and boundary conditions with an objective to create the situation similar to real conditions. The objective of heat transfer

simulation in the observed borehole was to determine the temperature field and heat flows in the rock in dependence on the borehole depth. The numerical model was set up in the program ANSYS Workbench – Fluent. This CFD software serves the simulation of thermophysical and physical phenomena in a wide range of software simulations. Mathematical modeling of concrete physical phenomena is enabled through fundamental physical models and equations.

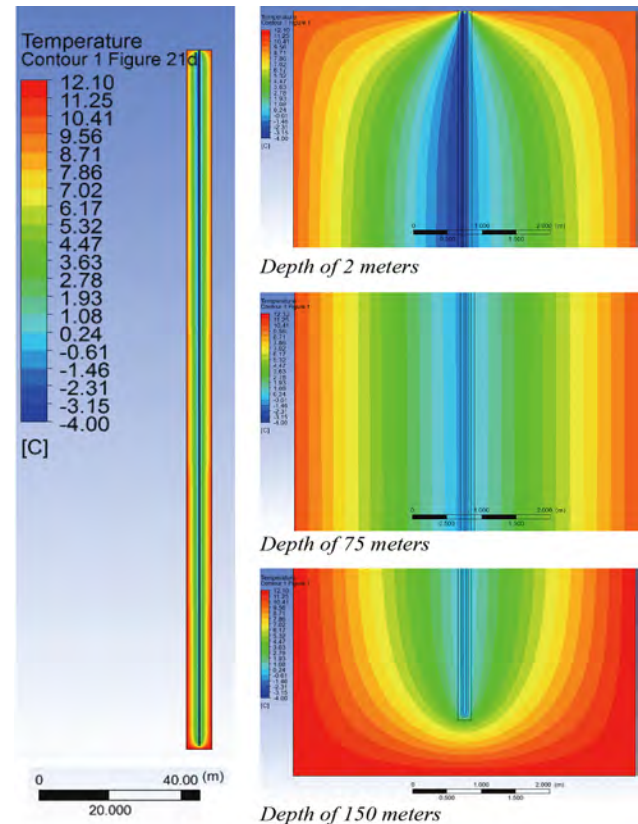


Fig. 2. Temperature field in the vicinity of the borehole after 21st day of heat collection

The course of temperature in the calculated temperature field near the borehole surface, mainly in the area of the probe output shows the drop of the temperature of medium at the output from the initial 4.8°C to 1.8°C after 22 days of heat collection simulation. The obtained heat output decreased with the increasing number of days. Its decrease depends on more parameters, but mostly on thermal conductivity and specific thermal capacity of the rock that are given as initial conditions. Numerical simulations showed that relevant data about thermokinetic parameters of the rock are needed for the exact simulation of heat collection from the rock in the vicinity of the deep borehole.

Numerical simulation illustrates very well changes of thermal fields in the rock massif, mainly temperature

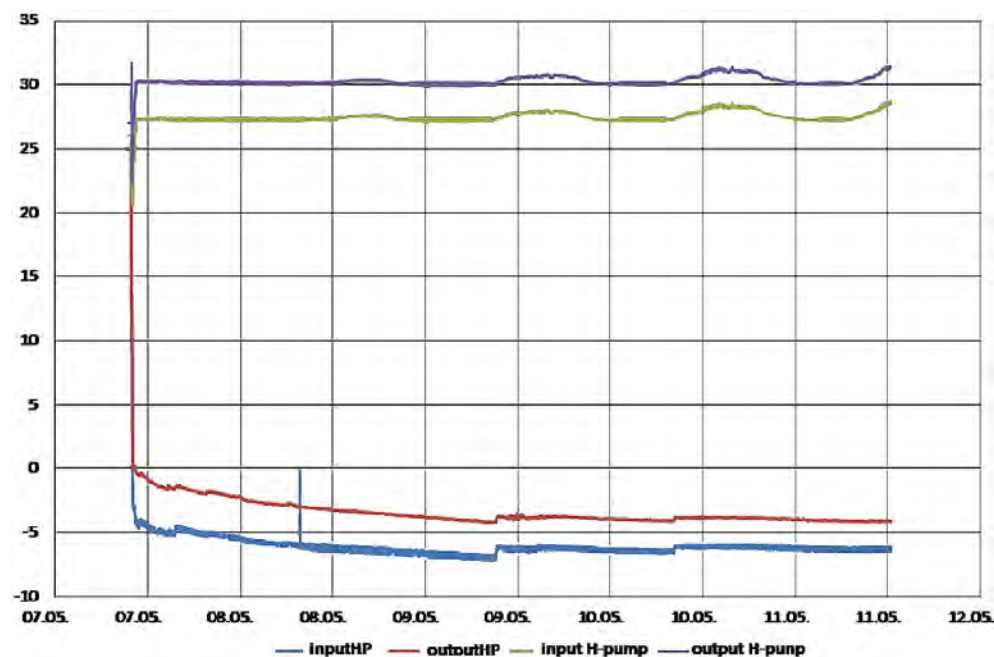


Fig. 3. Course of output change on the heat pump primary circuit (HP – heat pipe) and secondary circuit

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

	Forced circulation of the heat transfer medium – bore hole	Heat pipe – measurment	Heat pipe – measurment	Heat pipe – measurment
Max. measured power*	7922 W	400 W	3120 W	3200 W
Min. measured power*	4950 W	290 W	1190 W	1550 W
Average power*	4980 W	338.6 W	1695 W	1900 W

* measured power on the heat pump primary circuit

changes in dependence on the borehole depth and time at heat collection. Temperature changes in the borehole were decisive for an analysis of a possible change in the behavior of heat pipe working substance at heat collection and subsequent decrease of heat potential of the lower part of the borehole.

3. Measurement of ground/water heat pump with heat pipes

The measurement was made after seven days when the temperatures in the borehole had been leveled off. The reason was to eliminate the influence of supplied ammonia on temperature changes in the deep borehole when the heat pipe was applied. During these seven days the heat pump was off and, consequently, the heat transfer from the borehole was stopped.

Due to the fact that the measurement was made in spring months which were extraordinarily warm, the secondary circuit of the heat pump had to be connected to the cooling tower to provide efficient heat removal on the secondary side of the heat pump.

The continuous operation of the heat pump started when a stable appliance was connected to the heating (secondary) circuit.

Before the measurement 700 g of gaseous ammonia was removed from the heat pipe to avoid residual ballast gas and impurities in the upper condensation part of the heat pipe. During ammonia inlet, the heat pump operated at full output. When the heat pump was launched and ammonia removed, the process of phase change in the heat pipes immediately began. Immediate drop of temperatures in the heat pipe along the all depth of the borehole was recorded. The temperature decrease was recorded also in the next hours and also in the following day. During the heat pump operation the temperatures were decreasing nonlinearly mainly in the upper part of the heat pipe in the vicinity of the condensation heat exchanger. In these parts the temperature drop was the most intensive. The temperature in the depth of 5 meter dropped to the lowest minimum during the measurements, namely to 3°C. Considerable temperature drop was recorded up

to the depth of 100 m. The efficiency of heat pipe was manifested on the temperature gradient of the heat pump primary circuit. At the start of measurement its difference was as many as 3.5°C . Gradually, the temperature difference was mildly decreasing and at the end of measurement achieved 2.3°C , which was seen also in gradual decrease of heat output obtained from the borehole by means of the heat pipe.

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 (Table 1). 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.

4. Conclusion

During the measurements taken one the heat pipe, more changes occurred and were manifested in the records of temperatures and output. One of them was a mild decrease of obtained output during all the measurements on the heat pipe. After a few days of measurements gradual leveling off the temperatures to the original value in greater depths was also recorded. There can be several causes of these facts:

1. the heat pump was connected to the hot-air unit in the corridors of the building where was a surplus heat

rejection. As the outer daily temperatures approached 28°C , the heat pump control more often turned on and off in short time intervals. This could result in continuous interruption of the process of phase change in the heat pipe which led to heat output drop. This problem was solved through stationary cooling but the output increase was not significant.

- 2 Another possibility which might occur in our case may be unequal dosing of the working substance for individual U tubes of the heat pipe. As the heat pipe consists of two independent U-tubes, the condensate dosing in the exchanger part can not be influenced and it is impossible to provide an equal supply of the working substance into each of the U-tubes. This fact can cause that the condensate from the exchanger part leading to the lower part of the heat pipes flows to one U-tube only. It can result into the heat pipe output drop due to;

- loss of efficiency of one of the U-tubes (as it is empty there is no phase change in it).
- increases of pressure caused by the height of ammonia column in the full U-tube (it could, in the case of complete accumulation in one of the U-tubes, achieve the height of 60 m). Hydrostatic pressure will increase and the total pressure in the heat pipe will increase as well. If this case occurred, the liquid ammonia boiling would be limited by the depth in which the pressure would not exceed the boiling point at the given temperature.

References

- [1] Lenhard R., Jandačka J., Jakubský M., *Zariadenia na simuláciu transformácie nízkopotenciálneho geotermálneho tepla na teplo vhodné pre vykurovanie*, Žilina 2010.
- [2] Lenhard R., *Numerical simulation device for the transport of geothermal heat with forced circulation of media*, Fourth Global Conference on PCO 2010, Kuching-Sarawa -Malaysia 2010.
- [3] Čaja A., Nemec P., Malcho M., *The dependence of quantum and filling type to heat transport of gravity heat pipe*, Experimental fluid mechanics 2010, Liberec 2010.
- [4] Jakubský M., Lenhard R., *Simulácia geotermálnych procesov: zariadenie na využitie nízko potenciálneho geotermálneho tepla bez núteného obehu tepelného nosiča v hlbokom vrte* [in:] PRO-ENERGY magazín. ISSN 1802-4599. Roč. 4, č. 4/2010, s. 56-58.
- [5] Lenhard R., Jakubský M., Nemec P., *Device for simulation of transfer geothermal heat with forced and without forced circulation of heat carrier* [in:] Power control and optimization: proceeding of fourth global conference. December 2010, Kuching, Malaysia, 2010. ISBN 978-983-44483-32.
- [6] Nemec P., *Výskum kapilárnych tepelných trubíc pre prevádzkové teploty od -30 do $+50^\circ\text{C}$* [dizertačná práca]; školiteľ: Milan Malcho. Žilinská univerzita v Žiline, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky - ČVO 5.2.6 Energetické stroje a zariadenia. Žilina : [s.n.], 2010. 1 CD-ROM, 176 s.

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“.

MILAN MALCHO¹
RICHARD LENHARD
KATARÍNA KADUCHOVÁ
PETER ĎURČANSKÝ

University of Zilina, Slovakia

¹e-mail: milan.malcho@fstroj.uniza.sk

Manuscript submitted 2017.07.11 - revised 2017.09.29,
initially accepted for publication 2018.01.02, published in March 2018

ACCUMULATION OF LOW-POTENTIAL THERMAL ENERGY

MAGAZYNOWANIE NISKOTEMPERATUROWEJ ENERGII GEOTERMALNEJ

DOI: 10.30540/sae-2018-009

Abstract

The article presents interpretation of accumulation of thermal energy in a vertical borehole. It describes measuring device and final graph of measurement. It studies mainly the influence of water on storage capacity of the vertical borehole.

Keywords: accumulation, termokinetic parameters, thermal conductivity, heat capacity

Streszczenie

Artykuł przedstawia zagadnienie magazynowania ciepła w pionowym odwiercie w gruncie. Przybliża on zastosowane urządzenia pomiarowe i schemat układu pomiarowego, a także analizuje wpływ wody na zdolności magazynowania ciepła w pionowym odwiercie.

Słowa kluczowe: akumulacja, parametry termokinetyczne, przewodność cieplna, pojemność cieplna

1. Introduction

Accumulation capacity of ground in the surrounding borehole is influenced by its termokinetic parameters, it is thermal conductivity, heat capacity and density. Thermal conductivity is so affected by water content, density soil, mineralogical elements and chemical property of water. Heat capacity of the ground have no strong influence of mineralogical and chemical structure, but the content of water is most important. We can state that the biggest influence on accumulation capacity of borehole has soil moisture, eventually underground water.

Appealing to Operational Program for Research and Development – Transfer of knowledge and technology from research and development into practice (ITMS-26220220057), whose strategic goal is “Device for the use of low-potential geothermal heat without forced circulation of the heat carrier in deep boreholes“, near the University of Zilina.

2. Accumulation of low-potential thermal energy

In rock with right termokinetic parameters it is possible to accumulate thermal energy over the system in the underground structure, for example sun's heat accumulation in summer and for later usage in winter.

In our case this system consists of two bore by over 150 meter depth. In bore there are set thermal plastic U-tubes form polyethylene 4xDN32. In Figure 1 we can see technique placing and intrusion of U-tubes in the borehole. Borehole V_1 is connection parallel and in borehole V_2 are two U tubes connection into series. Water is applied as heat transfer fluid in accumulation in ground over earth heat-exchanger. Temperature in the axle borehole is measured with the help of thermoelements. Thermoelements are placed in depth 5, 50, 100, 150 for V_1 and in depth 2, 25, 50, 75, 100, 125, 150 for V_2 . Aim charging of such little amount of borehole with solar energy in summer months raises its effectivity and operating life. The measuring will verify this aim as real realization and if realized borehole accumulation with low-potential thermal energy in summer months is possible.

In borehole distributed heating performance is 15 kW. This performance is generated with heating spirals placed in the tank. Spirals are connected to alternating electric source. Circulations of water insure circulating pump, which is measuring electric input power, feed on electric network individually. Sensing temperature of water is done at input

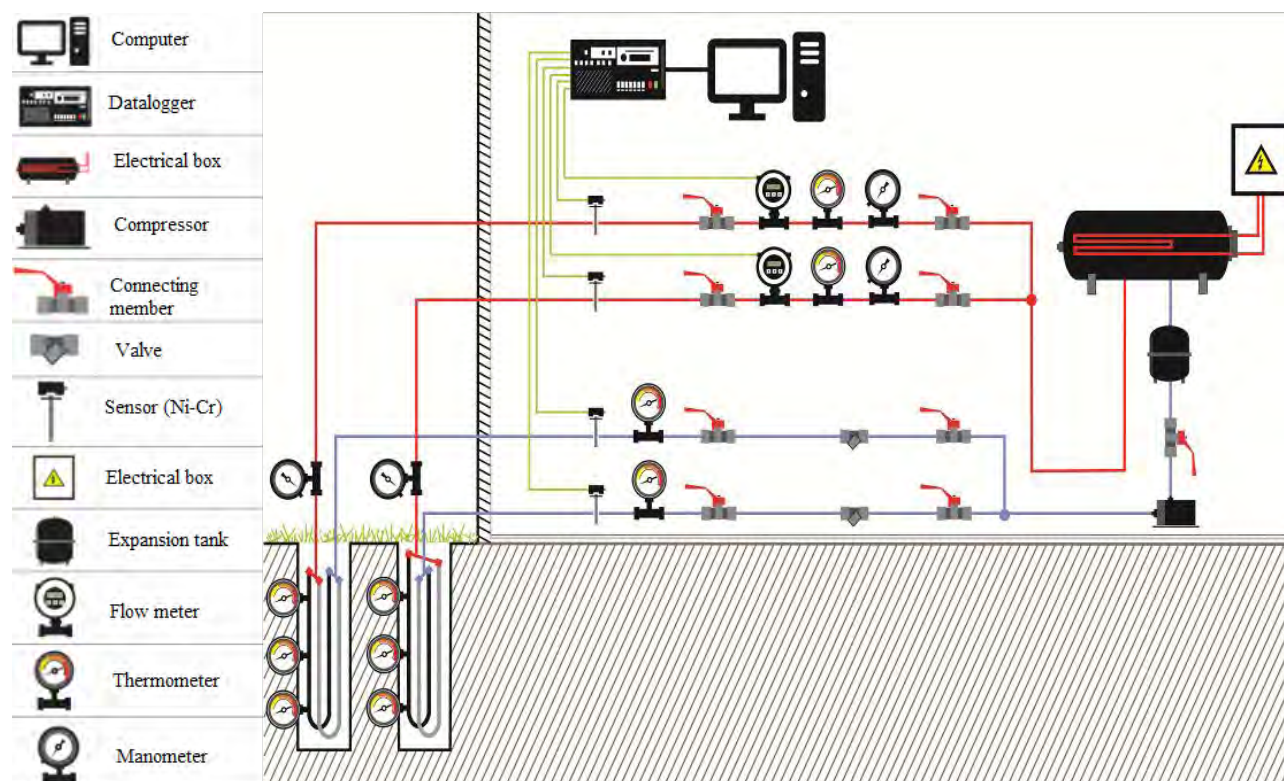


Fig. 1. Scheme of equipment



Fig. 2. Experimental device in laboratory

and at its output with temperature sensors PT100 DIN1/6. Temperature in borehole is scanned with thermoelements, which are placed throughout ale depth bore at distance every 25 meters. All monitored attributes are recorded on central measuring station and loaded to personal computer. Access tubes are located on ground and they are isolated with isolation TURBOLIT DG 20x42-DN32. Temperature sensing of atmospheric air is placed in exterior thermoelement.

In the borehole there was transported constant power 15 kW for duration of 56 hours. Over this time temperature of ground in the axis borehole go up in average by over 15°C.

3. Evaluation of accumulation heat

Storage capacity of borehole is most adversely affected with localization groundwater. So for comparison and evaluation of accumulation of heat to real bore it needs to simulate storing heat for ideal ground, so for ground without water. 2D simulation is made in program ANSYS. As input date is the thermokinetic parameters of dry claystone. In Figure 3 we can see cool dry rock from 25°C for the duration of 56 hour. As we can see on temperature area (Fig. 3), after elapsed time of simulation the temperature of rock surrounding borehole is 15.6°C.

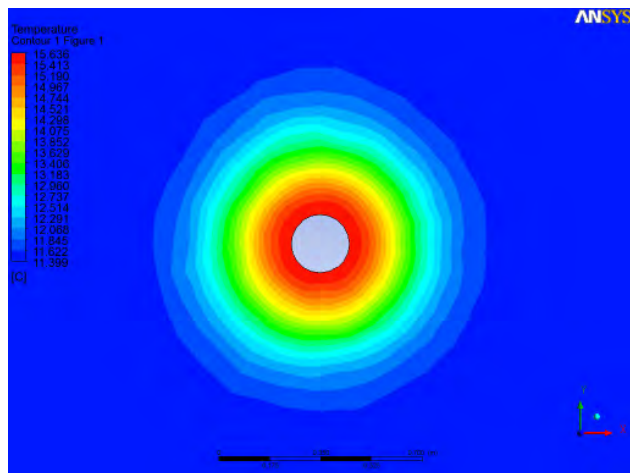


Fig. 3. The temperature field around the borehole for 56 hours

Following graphs (Figs. 4-9) illustrate temperature decrease in borehole V₂ (charging thermic input power is 7.7 kW) in individual depths bore after power off heating. Recording time is 56 hour. All over depth borehole occurred over measuring temperature decreased. On graphs on biggest depths we can see oscillation of measured temperatures. It is

apparently caused by longer thermoelements, which is applied in biggest depths. These probably induce electrical signal from near electrical substation. For correction of this undesirable effect and for evaluation of results moving average measured temperature was applied.

On the first graph (Fig. 4) temperature drop is visible at a depth of 25 meters. As can see in the figure, neither after the recording time (56 o'clock), temperature in depth 25 m did not reach initial temperature. Over this time come temperature drop by about 10°C. Comparison process of cooling rock in the depth 25 meter with the simulation cooling dry rock, can be stated a little moisture and acceptable storage capacity.

At the depth of 50 meters, we can study expressive temperature drop. There gets the temperature of the rock to the initial temperature after 38 hours away from the shutdown of heating. During this time there was a decrease temperature of about 15°C. It's big assumption is contents of groundwater or gravitational moisture in claystone.

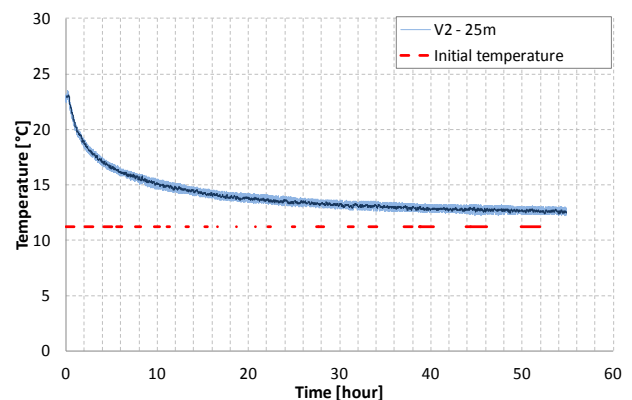


Fig. 4. Graph of temperature drop at a depth of 25 meters

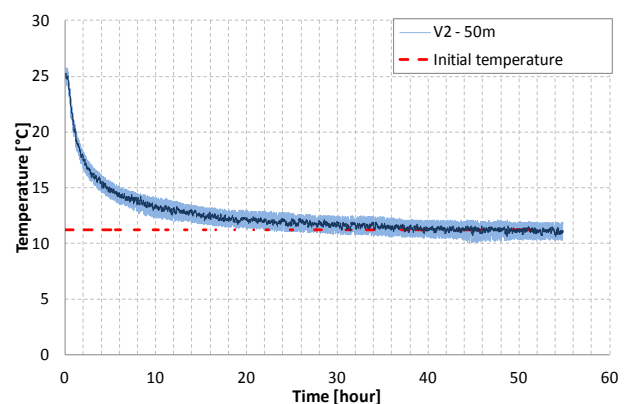


Fig. 5. Graph of temperature drop at a depth of 50 meters

On graph (Fig. 6) of temperature drop at a depth 75 meters occurs even faster cooling of the rock. It attests to contents of groundwater. Temperature attain the initial value after 22 hours away from the disconnection of heating and overall decrease is 15°C.

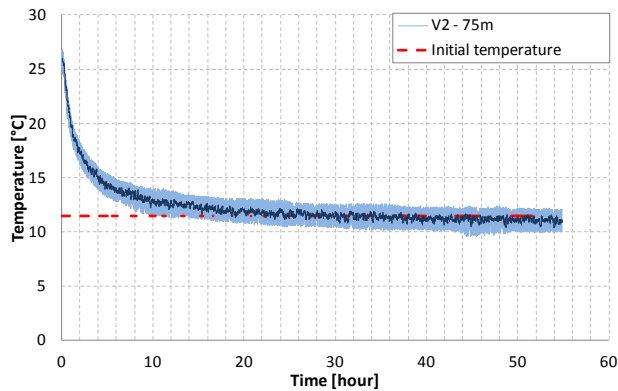


Fig. 6. Graph of temperature drop at a depth of 75 meters

Temperature measurement at a depth of 100 meters pointed to that in the direction of bigger depths are probably moving away from the watered layer. The initial temperature of the rock was attained after 40 hours.

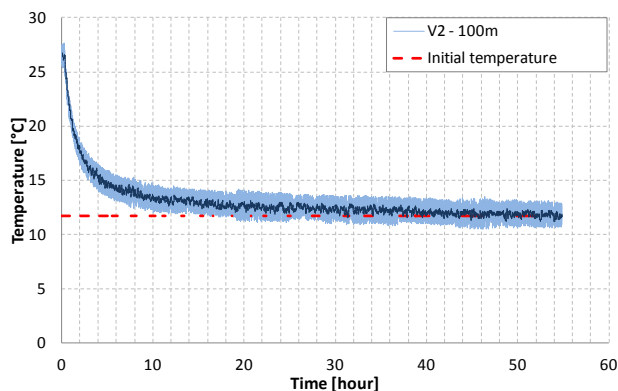


Fig. 7. Graph of temperature drop at a depth of 100 meters

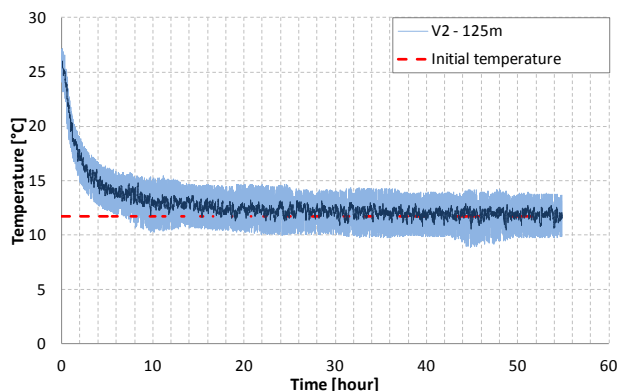


Fig. 8. Graph of temperature drop at a depth of 125 meters

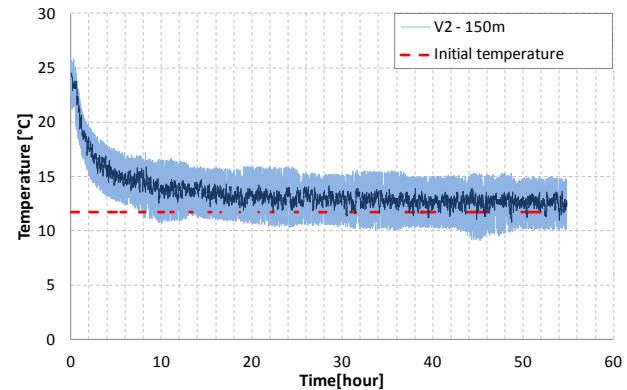


Fig. 9. Graph of temperature drop at a depth of 150 meters

The course of temperature decrease on the axis of the borehole to 125 m distance from the surface also indicates the volume of water bed. The fall of temperature occurs in 26 hours. Storage capacity of surrounding is reduced.

At the depth of 150 meters applicable conditions are present to store low-potential thermal energy. It is indicated by the fact that temperature have no initial value after elapsing of recording time.

In the same way borehole V_1 was evaluated. After examination processes cooling the temperature for depth 5, 50, 100, 150 meters have been determined, that the cooling of rocks at the initial temperature occurs on boundary of the 50 hours or far beyond it. This fact indicates the only little volume of groundwater or groundwater located in bigger distance from borehole. Borehole V_1 is more suitable for accumulation of low-potential energy.

From existent ends it is possible to deduce that on the borehole V_2 significantly more water than borehole V_1 is present. The correctness of our ideas is also backed by thermal response test and its comparison with graph of cooling rock. Interpretation test have given consequential attributes about effective thermal conductivity of the borehole. The borehole V_1 has value of 2.11 W/(mK) and borehole V_2 has value 2.8 W/(mK). As the borehole are away from each other just 10 meters on composite ground it is hardly likely, so different attributes of effective thermal conductivity indicate higher volume of water on the borehole V_2 . This supports also ends from graphs of cooling ground.

4. Conclusion

In the case of applied borehole for accumulation of heat it is needed to perform main measuring process of cooling temperature after storage some thermal energy. These time dependences of temperature drop

in the axis of the borehole after powering off heating, verily present applicability or impropriety of mine rock for accumulation of heat. After evaluation of graphs and detection, than in some parts of boreholes water is present. We can state than boreholes haven't got applicable conditions for accumulation of heat. Deposit of underground water take away heat faster into

surrounding borehole and by that make it impossible to effective accumulate heat. Bigger thermal conductivity of rock caused be water in the pore improves conduction of heat in surrounding borehole. The fact that water in the ground increases its heat capacity, is in the case of unlimited solid irrelevant.

References

- [1] Baehr H.D., Stephan K., *Heat and mass transfer*. Berlin: Springer, 2006, p. 688.
- [2] Dincer I., Rosen M.A., *Thermal energy storage: Systems and applications*. Chichester: John Wiley and Sons 2002, p. 596.
- [3] Lenhard R., Malcho M., *Numerical simulation device for the transport of geothermal heat with forced circulation of media*. Mathematical and Computer Modelling, ISSN 0895-7177, vol. 57, iss. 1-2, (2013), pp. 111-125.
- [4] Lenhard R., Gavlas S., Malcho M., *Numerical simulation of borehole model which utilizes low-potential geothermal heat*. Experimental fluid mechanics 2011: proceedings of the international conference.
- [5] Nosek R., Jandačka J., Szlek A., *Numerical modelling of coal combustion in domestic boiler*. Archivum combustionis, ISSN 0208-4198, vol. 30, no. 3 (2010), pp. 167-175.
- [6] Jakubský M., Lenhard R., Jandačka J., *Výstavba zariadenia na simuláciu transportu nízkopotenciálneho geotermálneho tepla v laboratóriu*. ALER 2011, Žilina: EDIS Žilina, pp. 88-102.
- [7] Kolková Z., Matušov J., Mokry M., *The concept of intelligent building in Research Centre in Žilina*. The application of experimental and numerical methods in fluid mechanics and energy 2016: XX. international scientific conference: proceedings, Slovakia, Žilina: University of Žilina, 2016, ISBN 978-80-554-1193-4, pp. 97-100.
- [8] Kolková Z., Matušov J., Mokry M., *Intelligent buildings and technologies*. SGEM 2016: 16th international multidisciplinary scientific geoconference: conference proceedings, 2016, ISSN 1314-2704, pp. 451-456.

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.

IMPACT OF SUPPORT CLOSED SECTION RIBS ON THE CRITICAL MOMENT FOR LATERAL TORSIONAL BUCKLING OF STEEL BEAMS

WPŁYW ŻEBER PODPOROWYCH O PRZEKROJU ZAMKNIĘTYM NA MOMENT KRYTYCZNY ZWICHRENIA BELEK STALOWYCH

Structure and Environment No. 1/2018 vol. 10, p. 5

DOI: 10.30540/sae-2018-001

Abstract

The study presents the results of theoretical investigations into the effect produced by support closed section ribs on the critical moment for lateral torsional buckling (M_{cr}) of bisymmetric I-beams. Elastic restraint against warping, at the site of support, was provided by closed section ribs made from selected rolled profiles (longitudinally cut circular tubes, angles, and channels). Detailed calculations were made for beams under uniform load applied to the top flange of the section. The results obtained in the investigations were compared with the values obtained for beams with end plate. The analysis was conducted of the impact of ribs on the increase in the critical resistance of beams. Analytically estimated critical moments for lateral torsional buckling were verified using FEM tools (LTBeamN, Abaqus).

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań teoretycznych wpływu podporowych żebrow zamkniętych na moment krytyczny zwichrzenia (M_{cr}) belek o bisymetrycznym przekroju dwuteowym. Sprężyste zamocowanie przeciw spaceniu w miejscu podparcia stanowiły żebra o przekroju zamkniętym, które wykonano z wybranych profili walcowanych (podłużnie rozcięte rury, kątowniki, ceowniki). Obliczenia szczegółowe wykonano dla belek obciążonych równomiernie obciążeniem przyłożonym do półki górnej przekroju. Uzyskane wyniki porównano z wartościami otrzymanymi dla belek z żebrowaniem w postaci blachy czołowej. Przeprowadzono analizę wpływu żebrow na zwiększenie nośności krytycznej belek. Oszacowane analitycznie momenty krytyczne zwichrzenia zweryfikowano za pomocą MES (LTBeamN, Abaqus).

ZDZIŚŁAWA OWSIAK
AGNIESZKA MAZUR
JUSTYNA ZAPĄŁA-SŁAWETA

THE EVALUATION OF THE EFFECT OF CHALCEDONY DUST ON THE REACTION OF ALKALIS WITH REACTIVE AGGREGATE IN CEMENT MORTARS

OCENA WPŁYWU MĄCZKI CHALCEDONITOWEJ NA PRZEBIEG REAKCJI ALKALIÓW Z KRUSZYWEM REAKTYWNYM W ZAPRAWACH CEMENTOWYCH

Structure and Environment No. 1/2018 vol. 10, p. 19

DOI: 10.30540/sae-2018-002

Abstract

Chalcedony dust can be used as a mineral additive in cements and concretes. This material can act as a pozzolan and prevent the expansion caused by the alkali-silica reaction. The paper presents the examination of cement mortars with reactive opal aggregate and various quantities of chalcedony dust conducted using a long-term method as set out in the ASTM C227. A petrographic analysis as well as tests of potential reactivity of opal aggregate were carried out by chemical method as specified in the ASTM C289. The microstructure of cement mortars with

Streszczenie

Mączka chalcedonitowa może być wykorzystywana jako dodatek mineralny do cementów oraz betonów. Surowiec ten może działać jak pucolana i zapobiegać ekspansji wywołanej reakcją alkalia-krzemionka. W referacie przedstawiono badania zapraw cementowych z reaktywnym kruszywem opalowym oraz różną ilością dodatku mączki chalcedonitowej metodą długoterminową wg ASTM C227. Wykonano analizę petrograficzną oraz badania potencjalnej reaktywności kruszywa opalowego metodą chemiczną zawartą w normie ASTM C289. Przeprowadzono również badania

chalcedony dust and opal was also examined. The tests showed a positive effect of the chalcedony dust additive on the reduction of the expansion caused by the alkali-silica reaction compared to the mortars without the additive. The addition of 20% of chalcedony dust to cement mortars lowers the expansion to a safe level that does not exceed 0.1% after 360 days (as set out in the ASTM C227).

mikrostruktury zapraw cementowych z mączką chalcetonitową i opalem. Badania wykazały pozytywny wpływ dodatku mączki chalcetonitowej na ograniczenie ekspansji wywołanej reakcją alkalia-krzemionka w stosunku do zapraw bez tego dodatku. Dodatek mączki chalcetonitowej do zapraw cementowych w ilości 20% obniża ekspansję do bezpiecznego poziomu, nieprzekraczającego po 360 dniach 0,1% (według normy ASTM C227).

MICHAŁ SZCZECINA
PAWEŁ TWORZEWSKI
IZABELA UZARSKA

NUMERICAL MODELING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS, INCLUDING THE REAL POSITION OF REINFORCING BARS MODELOWANIE NUMERYCZNE BELEK ŻELBETOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM RZECZYWISTEGO ROZMIESZCZENIA ZBROJENIA

Structure and Environment No. 1/2018 vol. 10, p. 28

DOI: 10.30540/sae-2018-003

Abstract

The article presents comparison of the results obtained from reinforced concrete beams experimental studies with the use of ARAMIS system (digital image correlation) with the results gained from numerical modeling. During studies, deviation from the plane of reinforced concrete beams was observed. Inventory of rebars positions in cross-section of this beams showed significant deviations. Analysis carried out in the work [1] revealed the impact of improperly embedded longitudinal reinforcement on the occurrence of horizontal displacements. Based on the collected data, numerical models of two selected reinforced concrete beams with correct and incorrect position of the reinforcing bars were made using the Concrete Damaged Plasticity model in Abaqus software. It has been shown that premature interruption of the calculation appeared in models taking into account deviations in the position of reinforcing bars. However, the occurrence of horizontal displacements was still confirmed by numerical model for beams with incorrect positioning of rebars.

Streszczenie

W artykule przedstawiono porównanie wyników badań eksperymentalnych belek żelbetowych z wykorzystaniem systemu ARAMIS (korelacja obrazu cyfrowego) z wynikami uzyskanymi w wyniku modelowania numerycznego. W wykonanych badaniach zaobserwowane zostało odchylenie z płaszczyzny belek żelbetowych, spowodowane niezgodnym z projektem rozmieszczeniem prętów zbrojenia, co potwierdzono w pracy [1]. Inwentaryzacja położenia prętów zbrojeniowych w przekroju poprzecznym belek wykazała ich znaczne odchylenia. Na podstawie zebranych danych, w oprogramowaniu Abaqus, przy użyciu modelu Concrete Damaged Plasticity, wykonano numeryczne modele dwóch wybranych belek żelbetowych z prawidłowym oraz nieprawidłowym rozmieszczeniem prętów. Stwierdzono przedwczesne przerwanie obliczeń dla modeli uwzględniających odchylenie w położeniu prętów zbrojeniowych. Mimo to opracowany model numeryczny potwierdza występowanie przemieszczeń poziomych w belkach z niewłaściwym rozmieszczeniem prętów.

THE ISSUE OF TRANSIENCE IN ARCHITECTURE AND THE PROBLEMS OF CONSERVATION PROTECTION IN THE SELECTED MODERNIST BUILDINGS

PROBLEMY PRZEMIJANIA W ARCHITEKTURZE I OCHRONY KONSERWATORSKIEJ NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH BUDOWLI MODERNISTYCZNYCH

Structure and Environment No. 1/2018 vol. 10, p. 39

DOI: 10.30540/sae-2018-004

Abstract

The issue of permanence and transience in architecture has intrigued both the theorists and the practitioners dealing with the creation of buildings since antiquity. We construct buildings assuming their durability and long life. We give them the sense of timelessness. In point of fact, architecture undergoes permanent transformations which embrace both its significance and material dimension. Once built, architecture gradually loses its material value. It also ages in the moral sense, as the expectations towards the buildings constructed years ago change with time and are not met today. The assessment of the value of an architectural object is frequently the basis for the decisions concerning its survival, conversion or demolition. The article presents two cases, a negative one, where a building of unique architectural value was demolished, and a positive one, in which a structure intended for demolition was registered as an object of cultural heritage and protected by conservation due to an initiative of community and civic groups.

Streszczenie

Problem trwałości i przemijalności w architekturze nurtował teoretyków i praktyków zajmujących się tworzeniem budowli już od starożytności. Budowle wznosimy z założeniem ich trwałości. Nadajemy im znamiona ponadczasowości. W rzeczywistości architektura ulega permanentnym przeobrażeniom, które obejmują jej wymiar materialny oraz znaczeniowy. Architektura zbudowana traci wartość materialną. Starzeje się również moralnie, bo oczekiwania w stosunku do budynków zmieniają się, bo obiekt zbudowany przed laty nie spełnia ich dzisiaj. Ocena wartości architektury jest często podstawą do podejmowania decyzji o jej przetrwaniu, przekształceniu lub likwidacji. W artykule przedstawiono dwa przypadki: negatywny, gdzie wyburzono budynek o unikalnych wartościach architektonicznych oraz pozytywny, w którym budowla przeznaczona do wyburzenia, dzięki ruchowi społecznemu, została wpisana do rejestru zabytków i objęta ochroną konserwatorską.

BOGDAN WOLSKI
CEZARY TOŚ

THE STATISTICAL MODELS FOR INTERPRETING THE RESULTS OF PARCELS AREA VERIFICATION IN INTEGRATED ADMINISTRATION AND CONTROL SYSTEM IACS

STATYSTYCZNE MODELE INTERPRETACJI WYNIKÓW WERYFIKACJI POWIERZCHNI DZIAŁEK W PROGRAMIE IACS

Structure and Environment No. 1/2018 vol. 10, p. 53

DOI: 10.30540/sae-2018-005

Abstract

A key element of the system IACS is the verification of the parcel area covered by direct subsidies. Control measurements are made by FOTO method, and in a small part by the direct inspection. Statistical methods are used in estimating the significance of differences. The results of such analysis are correct only when the empirical distributions are consistent with the theoretical ones. The problem of distribution adequacy is presented in the paper on the examples of three objects. The hypotheses about the possibility of using the commonly used distributions,

Streszczenie

Kluczowym elementem programu IACS (Integrated Administration and Control System) jest weryfikacja powierzchni działek objętych dopłatami bezpośrednimi. Pomiary kontrolne wykonywane są metodą FOTO, a w niewielkiej części w ramach inspekcji terenowej. W ocenie istotności różnic zastosowanie znajdują metody statystyczne. Wyniki takich analiz są poprawne pod warunkiem zgodności rozkładów empirycznych z teoretycznymi. Problem adekwatności rozkładów zaprezentowano w artykule na przykładzie trzech obiektów. Zweryfikowano hipotezę o możliwości wykorzy-

and the appropriateness of the modification of the density curves were verified. By questioning the effectiveness of current methods of analysis, the authors point to the advantages of robust statistics. The cognitive effect of the analysis is to indicate the Laplace distribution as a statistical model of the analyzed differences. Research is concluded by proposal of post-control report that sums up relevant properties of the survey results.

stania powszechnie stosowanych rozkładów oraz zbadano zasadność modyfikacji krzywych gęstości. Poddając w wątpliwość efektywność stosowanych obecnie metod analizy, Autorzy wskazują na zalety metod statystyki odpornościowej. Poznawczym efektem analizy jest wskazanie rozkładu Laplace'a jako statystycznego modelu analizowanych różnic. Konkluzję badań stanowi propozycja raportu pokontrolnego zawierającego istotne właściwości wyników pomiaru.

ANATOLIY PAVLENKO
HANNA V. KOSHLAK

PECULIARITIES OF PHASE PROCESSES IN THE VOLUME OF LIQUID

CECHY SZCZEGÓLNE PROCESÓW FAZOWYCH W DUŻEJ OBJĘTOŚCI CIECZY

Structure and Environment No. 1/2018 vol. 10, p. 66

DOI: 10.30540/sae-2018-006

Abstract

The work is devoted to the study of the transient processes of heat and mass transfer in the volume of a liquid. The method of calculating the temperature field in a liquid takes into account phase transitions, motion of the bubble wall and heat exchange processes near its surface. The method takes into account the change in the thermophysical characteristics of a liquid when its temperature changes. The results of the research can be used to optimize the various technological processes associated with cavitation, boiling and the formation of gas hydrates.

Streszczenie

Artykuł dotyczy analizy nieustalonych zjawisk wymiany ciepła i masy w dużej objętości cieczy. Metoda określenia pola temperatur w cieczy uwzględnia przemiany fazowe, ruch pęcherzy i procesy wymiany ciepła przy ścianie. Metoda ta bierze pod uwagę zmianę właściwości termofizycznych cieczy, gdy zmienia się jej temperatura. Wyniki badań mogą być wykorzystane do optymalizacji różnych procesów technologicznych związanych z kawitacją, wrzeniem i tworzeniem hydratów gazowych.

EWA ZENDER-ŚWIERCZ
OLGA JĘDRZEJCZYK
KAROLINA KACZOROWSKA

THE ANALYSIS OF THERMAL COMFORT IN THE SCHOOL AND THE WEDDING HOUSE

ANALIZA KOMFORTU CIEPLNEGO W SZKOLE I DOMU WESELNYM

Structure and Environment No. 1/2018 vol. 10, p. 75

DOI: 10.30540/sae-2018-007

Abstract

The environment, where people are staying, should provide thermal comfort. It means that the equilibrium of the amount of heat produced in the human body and the amount of heat lost to the environment should be kept. To achieve the suitable conditions of air there the air conditioning, ventilation and heating systems are used. These systems regulate the air parameters and maintain them at the desired level. Designers locate, most commonly, the supply units of air conditioning systems in the ceiling in the central

Streszczenie

Środowisko, w którym przebywa człowiek powinno zapewniać odczuwanie komfortu. tzn. powinna być zachowana równowaga pomiędzy ilością ciepła wytwarzanego w ciele człowieka a ilością ciepła traconego do otoczenia. Aby uzyskać taki stan powietrza w pomieszczeniach, stosuje się różne systemy wentylacji, klimatyzacji i ogrzewania. Układy te regulują parametry powietrza i utrzymują je na żądanym poziomie. Projektanci lokalizują elementy nawiewne instalacji klimatyzacji najczęściej w suficie w centralnej części

part of the room or near the windows without taking into account the specificity of the premises. However, such an approach may contribute to the lack of thermal comfort. The sensation of air is a very subjective indicator that depends on many variables. The authors of the article made an attempt to analyze the influence of the type of air conditioning system and location of air supply units on the thermal comfort in rooms of different use.

pomieszczenia lub przy oknach bez uwzględniania specyfiki pomieszczenia. Jednak takie spojrzenie na instalację może przyczynić się do braku warunków komfortu cieplnego. Postrzeganie stanu powietrza jest bardzo subiektywnym wskaźnikiem zależnym od wielu zmiennych. W artykule podjęto próbę analizy wpływu rodzaju instalacji klimatyzacji oraz rozmieszczenia elementów nawiewnych w pomieszczeniach o różnym przeznaczeniu.

MARTIN VANTÚCH
ANDREJ KAPJOR
ROMAN BANOVČAN
KATARÍNA KADUCHOVÁ

EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF GRAVITY HEAT PIPE WITH NH_3 MEDIUM TO OBTAIN LOW-POTENTIAL GEOTHERMAL HEAT

BADANIA EKSPERYMENTALNE RURY CIEPLNEJ Z CZYNNIKIEM NH_3 DO ODZYSKU NISKOTEMPERATUROWEJ ENERGII GEOTERMALNEJ

Structure and Environment No. 1/2018 vol. 10, p. 82

DOI: 10.30540/sae-2018-008

Abstract

Earth / water heat pumps using vertical heat exchangers do not require large areas and do not depend on the intensity of the sun's radiation that strikes the surface of the earth. Vertical heat exchangers work efficiently in virtually all geological environments, except for low thermal conductivity soils such as dry sand or dry gravel. As the forced circulation media is selected anti-freeze mixtures with water in proportion to the requirements of the operating conditions. Circulation of the working medium in the deep hole requires circulation pump. The paper presents a design of equipment for the usage of low-potential heat collected from rock in a deep borehole by means of heat pipes (HP). Part of the paper deals with the processing of measurement results gathered from the comparative experimental equipment requiring forced and unforced circulation (heat pipe) of the working substance on the primary side of the heat pump.

Streszczenie

Gruntowe pompy ciepła współpracujące z wymiennikami pionowymi nie wymagają znacznej powierzchni terenu i nie są uzależnione od natężenia promieniowania słonecznego padającego na powierzchnię Ziemi. Gruntowe pionowe wymienniki ciepła działają wydajnie praktycznie w większości gruntów, z wyjątkiem tych o niskiej przewodności cieplnej, takich jak suchy piasek czy suchy żwir. Czynnikiem roboczym jest niezamarzający roztwór wodny o składzie wynikającym z wymagań eksploatacyjnych. Przepływ czynnika w obiegu zapewnia pompa cyrkulacyjna. Artykuł prezentuje projekt układu do odzysku niskotemperaturowej energii geotermalnej przy użyciu pompy ciepła współpracującej z pionowym wymiennikiem gruntowym. Część artykułu dotyczy obróbki danych pomiarowych zebranych porównawczo dla obiegu wymuszonego i cyrkulacji naturalnej (jako rura cieplna) czynnika roboczego.

MILAN MALCHO
RICHARD LENHARD
KATARÍNA KADUCHOVÁ
PETER ĎURČANSKÝ

ACCUMULATION OF LOW-POTENTIAL THERMAL ENERGY
MAGAZYNOWANIE NISKOTEMPERATUROWEJ ENERGII GEOTERMALNEJ

Structure and Environment No. 1/2018 vol. 10, p. 87

DOI: 10.30540/sae-2018-009

Abstract

The article presents interpretation of accumulation of thermal energy in a vertical borehole. It describes measuring device and final graph of measurement. It studies mainly the influence of water on storage capacity of the vertical borehole.

Streszczenie

Artykuł przedstawia zagadnienie magazynowania ciepła w pionowym odwiercie w gruncie. Przybliża on zastosowane urządzenia pomiarowe i schemat układu pomiarowego, a także analizuje wpływ wody na zdolności magazynowania ciepła w pionowym odwiercie.

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

