
Scientific Review

Engineering and Environmental Sciences

Przegląd Naukowy
Inżynieria i Kształtowanie Środowiska

Vol. 29 (4)

2020

Nr 90

Quarterly – Kwartalnik

SCIENTIFIC REVIEW
ENGINEERING AND ENVIRONMENTAL SCIENCES
Kwartalnik / Quarterly

RADA PROGRAMOWA / EDITORIAL BOARD

Kazimierz Adamowski (University of Ottawa, Canada), Monim Hakeem Khalaf Al-Jiboori (Al-Mustansiriyah University, Baghdad, Iraq), Kazimierz Banasik – Chairman (Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Poland), Andrzej Ciepeliowski (Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Poland), Tomáš Dostál (Czech Technical University in Prague, Czech Republic), Valentin Golosov (Moscow State University, Russia), Vidmantas Gurlkys (Aleksandras Stulginskis University, Kaunas, Lithuania), Małgorzata Gutry-Korycka (University of Warsaw, Poland), Zbigniew Heidrich (Warsaw University of Technology, Poland), Silvia Kohnova (Slovak University of Technology, Bratislava, Slovak Republic), Andrzej J. Kosicki (Maryland State Highway Administration, Baltimore, USA), Pavel Kovar (Czech University of Life Sciences, Prague, Czech Republic), Hyosang Lee (Chungbuk National University, Korea), Athanasios Loukas (University of Thessaly, Volos, Greece), Ľuboš Jurík (Slovak Agriculture University, Nitra, Slovak Republic), Viktor Moshynskiy (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne, Ukraine), Magdalena Daria Vavrková (Mendel University in Brno, Czech Republic)

ZESPÓŁ REDAKCYJNY / EDITORIAL OFFICE

Weronika Kowalik, Grzegorz Wrzesiński (sekretarz / Assistant Editor), Mieczysław Połoński (przewodniczący / Chairman), Zbigniew Popek, Magdalena Daria Vavrková, Grzegorz Wierzbicki

RECENZENCI / REVIEWERS Vol. 29 2020

Dana Adamcová, Aymen H. Alaq, Robaa Alsead, Nahir Al-Ansari, Salwan Ali Abed Al-Hamzawi, Tumadhir B. Al-Jaberi, Monim H. Al-Jiboori, Mudhar A. Al-Obaidi, Abbas Ban Abed Al-Razak, Amani Ibraheem Al-Tmimi, Magdalena Balintova, Mohamed Elsayed Ali Basiouny, Ambika Behl, Dheyaa Azeez Bilal, Ayla Bilgin, Włodzimierz Biniś, Weny Budiati, Ewa Burszta-Adamiak, Joanna Bzówka, Anna Cellmer, Anca Constantin, Justyna Czajkowska, Ali Abdul Zahra Douabul, Agnieszka Dziadosz, Ahmed M. El-Kenawy, Marcin Gajzler, Pedro Montes García, Jacek Gębicki, Boriss Gjunsburgs, Tomasz Godlewski, Andrzej Gruchot, Michał Gumniak, Tomáš Hanák, Khalid Hashim, Ayman A. Hassan, Bożena Hoła, Ibrahim Abd Ibrahim, Joanna Kamińska, Salman A. Khan, Farshad Golbabaee Kootenaei, Viktor Kowalchuk, Leonid Kozhushko, Barbara Kozielska, Teerawong Laosuwan, Stanislav Lenard, Marzena Lendo-Siwicka, André Lenouo, Agnieszka Leśniak, Tomasz Lewiński, Samir Lillouch, Oleg Lyashuk, Ayat Hussein Mahdi, Priti Maheshwary, Grzegorz Majewski, Dorota Mirosław-Świątek, Jahanshir Mohammadzadeh-Habili, Yuri Monastyrskiy, Hussain Musa, Abdelazim M. Negm, Piotr Ostrowski, Krzysztof Parylak, Edyta Plebankiewicz, Konrad Podawca, Anna Podlasek, Wojciech Puła, Diana Car Pušić, Mohamed Radin Maya Saphira Radin, Elżbieta Radziszewska-Zielina, Flávia Noronha Dutra Ribeiro, Shilton Rica, Hugo Rondón-Quintana, Tomasz Rozbicki, Gabriela Rutkowska, Lutfu Sagbansua, Novita Sari, Carles Serrat, Mohammed S. Shamkhi, Hasanain Khaleel Shareef, Anastasiia V. Sharanova, Narinder Singh, Emil Soból, Izabela Sówka, Maria Jolanta Sulewska, Anna Szafarczyk, Anna Szymczak Graczyk, Zenon Szypcio, Barbara Tora, Neslihan Türkmenoğlu Bayraktar, Yuliya Trach, Milan Trivunić, Katarzyna Umiejewska, Zdeněk Vacek, Anatoliy Vlasjuk, Piotr Wichowski, Weishi Zang, Askar Zhussupbekov, Krzysztof Zima, Elvis Žic, Maria Żygadło

ADRES REDAKCJI / EDITORIAL OFFICE ADDRESS

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
tel. (22) 59 35 248, 59 35 240
e-mail: iks_pn@sggw.edu.pl
http://iks_pn.sggw.pl

ISSN 1732-9353
e-ISSN 2543-7496

Wydawnictwo drukowane jest pierwotną wersją Przeglądu Naukowego Inżynieria i Kształtowanie Środowiska

„Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska” jest indeksowane w bazach: AGRO(Poznań), Biblioteka Nauki, CrossRef, DOAJ, EBSCO, E-publikacje Nauki Polskiej, Google Scholar, Index Copernicus, INFONA, POL-Index, SCOPUS, SIGZ(CBR).

Scientific Review

Engineering and Environmental Sciences

Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska

Vol. 29 (4)

2020

Nr 90

Spis treści

Contents

PRACE ORYGINALNE

Original papers

- PALACIOS J., PAREDES M., CASTILLO T., PAREDES O.: Mortar for 3D printers using river sand, Portland cement and hydraulic lime 399
- Al-FATLAWI T.J.M., Al-MANSORI N.J.H., OTHMAN N.Y.: Laboratory study of stilling basin using trapezoidal bed elements 409
- KUTLIYAROV D., RYZHKOV I., KUTLIYAROV A., KHAFIZOV A., ZUBAIROV R.: Role of accuracy and quantity of field tests in engineering-geotechnical researches for construction 421
- Al-NAQIB S.Q., SULAIMAN A.M., Al-YOUBAKEY K.T.: Preliminary investigations of rocks and soil at the lower reach of the Al-Shor Wadi for water harvesting 435
- NAGIRNIAK M.: Płyty kołowe Hencky'ego–Bolle'a spoczywające na podłożu sprężystym Własowa
Hencky–Bolle's circular plates resting on the Vlasov's elastic subsoil 444
- KERNYTSKYI I., STORCHUN Y., YAKOVENKO Y., HORBAY O., HUMENYUK R.,
SHOLUDKO Y.: Prospects of electrosleep therapy devices for long-distance drivers 454
- WITKOWSKA-DOBREV J., SZLACHETKA O., BRZEZIŃSKA A.: Najczęściej występujące uszkodzenia fundamentów słupów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć i sposoby ich napraw 461
The most common damage to the foundations of poles of extra high voltage power lines and the methods of their repair

MAROVIĆ I., TIJANIĆ K., ŠOPIĆ M., CAR-PUŠIĆ D.: Group decision-making in civil engineering based on AHP and PROMETHEE methods 474

KONIOR J., SZÓSTAK M.: Odchylenia i wykonania budżetu oraz harmonogramu przedsięwzięć budowlanych monitorowanych przez nadzór bankowy na przykładzie budynków zbiorowego zamieszkania 485
Deviations and implementation of the budget and schedule of construction projects monitored by the bank supervision on the example of residential buildings

KOWACKA M., SKORUPKA D., DUCHACZEK A., DUDZIAK-GAJOWIAK D., WANIEWSKA A.: Określenie charakteru i wartości ryzyka prac geodezyjnych z zastosowaniem logiki rozmytej 494
Determining the nature and value of the risk of geodetic works using fuzzy logic

SAWICKI M., SZÓSTAK M.: Wpływ alkoholu na ryzyko wypadku na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych 504
The effect of alcohol at the workplace with the use of scaffolding on individual's occupational accident risk

AI-ATABY I.K., AI-TMIMI A.I.: Estimate the probability density function for maximum temperature for the Middle East 517

SEDAYU A.: Developing Jati Kudus Terminal into a sustainable transportation infrastructure in Indonesia using the green concept 532

AINANE A., MOHAMED ABDOUL-LATIF F., MOHAMED ABDOUL-LATIF T., AINANE T.: Evaluation of biological activities of two essential oils as a safe environmental bioinsecticides: case of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* 544

PRACE NAUKOWO-PRZEGLĄDOWE

Research review papers

NOWOGOŃSKA B.: Consequences of improper renovation decisions in a 17th century half-timbered building 557

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 399–408

Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 399–408

Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)

<http://iks.pn.sggw.pl>

DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.34

Javier PALACIOS, Marcel PAREDES, Tito CASTILLO, Oscar PAREDES

National University of Chimborazo, Faculty of Engineering

Mortar for 3D printers using river sand, Portland cement and hydraulic lime

Key words: 3D printing, mortars, hydraulic lime, resistance, compression

Introduction

The 3D printing in concrete is a new, economically sustainable system that provides multiple advantages such as speed, automation and therefore the optimization of the process. Also, the independence of human labor during execution would reduce labor costs and risks (Hager, Golonka & Putanowicz, 2016).

Currently there are several companies that have bet big capital in the world of printing according to Campillo Mejía (2017). The printable materials for construction can be concrete (mixture of cement, gravel, sand and water) or mortars (mixture of cement, fine aggregate and water). The mortars for these printers are made according to the characteristics that the developer requires without reaching a standardization nor to define

the minimum desirable properties of the materials for this new technology, which prevents its application in a massive way (Wu, Wang & Wang, 2016). Consequently, many researchers begun to make several mortars with different types of raw material taking into account that the main basis of all of them are Portland cement mixed with other materials such as aggregate, natural fibers or synthetic fibers, many combinations have been tested (Altamirano, Cuevas & Sanchez, 2015).

The properties of the material to be printed became a main element in the 3D printing process in construction (Malaeb et al., 2015) and many studies have been developed on this issue. The properties of a concrete made with fly ash, silica fume and fibers, developing a printable mortar, with constant flow and other mechanical properties such as the compressive strength of the material were studied by Le et al. (2012). The variation of the physical and mechanical properties of the mortar depending on the type of cement

used were analyzed by Khalil, Aouad, El Cheikh and Rémond (2017), and Salgueiro (2018). They produced mortars with ordinary Portland cement (OPC) and calcium sulfo aluminate cement (CSA), however, the printed samples exhibited a variable compression resistance at different points, due to the additional porosity related with the workability of the mixture. From the cited studies it is clear that mortars for use in 3D printing must comply with some properties before their settlement such as workability, adherence and speed of setting; and other properties after their settlement such as compressive strength, being the latter the main characteristic considering the structural behavior of the printed elements.

The technology and the methods of construction by means of 3D printing have had a remarkable advance in the last decade, from the first elements printed in a workshop and that later had to be assembled in site, until the appearance of the portable printers that allow the total elaboration of the constructions on site (Torres Remón, 2016). Nevertheless, it is important to have local materials that allow the execution of buildings at low cost and efficiently, these materials must have good properties of workability, setting and resistance (Sakin & Kiroglu, 2017). This construction technology that uses cement mortars, among other materials, is spreading worldwide and will soon arrive in Ecuador. Little has been researched about the capacity of local materials to satisfy the need for 3D printing, although the systematic application of mixing designs, with appropriate adjustments for local materials is an imperative for the development of this technology (Van Zijl & Tan, 2017).

To fill this gap, the objective of the present research was to investigate the conditions of workability, setting and strength of four mortars made with Portland cement types I and HE with the addition of hydraulic lime. In this way, it seeks to reduce the limitations faced by construction based on 3D printing, while developing new materials that may possibly offer different properties for the construction industry.

Material and methods

First, the research team explored suitable dosages that according to the literature allows to design a printable mortar. Considering the results obtained by the dosage used by Salazar (2016), it was taken as a reference to prepare 50 kg of cement mortar: 62.25 kg of sand, 50 kg of Portland cement, 17.3 kg of water and 0.13 kg of plasticizer. Mentioned dosages were elaborated with types I and HE cement, fine aggregate, plasticizer additive and water with the addition of different percentages of hydraulic lime. In addition, based on this information, seven pilot dosages were elaborated and tested for compression strength, based on the ASTM C39-05 standard (American Society for Testing and Materials, 2005).

Analysis of physical properties

Moisture content. The ANSI/ASTM D2216-71 test procedure (American National Standard Institute/American Society for Testing and Materials, 1979) suggests to obtain the moisture content of a soil. A representative portion of fine aggregate is placed in a previously weighed container, then it is in-

troduced to the drying oven, maintaining a temperature of 110°C for 24 h. Then, the dry weight is obtained and the moisture content is calculated.

Granulometry. The ASTM D422 test procedure indicates drying a sample of river sand to obtain a constant mass at a temperature of 110°C, take 1,000 g of the sample and place it in a series of sieves located downwards: Nos 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 (American Society for Testing and Materials, 2014).

Analysis of mechanical properties

Short-term compression resistance test. Sixteen test tubes were manufactured for each proposed dosage. These specimens have a cubic form of 50 × 50 mm, the same ones that were tested under compression at early ages, such as 6, 9, 12 and 24 h, following the procedures of the ASTM C109/C109M-07 standard (ASTM, 2007).

Long-term compression resistance test. As experimental knowledge, 64 specimens were prepared, 16 for each type of mixture in the form of standardized cylinders of 10 cm in diameter by 20 cm in height, to be tested in compression. The samples were subjected to a water cure and were tested by compression at ages 7, 14, 21 and 28 days.

Workability. To measure the workability of the mixtures, ASTM C187-04 standard (ASTM, 2004) was used, the test determines the consistency of the mortar in its fresh state. It is important to define the exact time in which the conical mold rises to produce the runoff, this is a variable defined by the decrease or increase in the diameter of the stabilized mixture as time increases.

Statistical analysis

Finally, after carrying out the described tests, statistical analyzes were performed using the software Minitab 16 (MiniTab Inc. PA, USA), in order to obtain descriptive information on the mixtures developed.

Results and discussion

The results obtained based on the dosage of Khalil et al. (2017) by varying amounts of lime and plasticizer, and cement type are detailed in Table 1.

Moisture content

Results of moisture content measured in nine river sand samples are shown in Figure 1. The average water absorption of 1.86% was taken as representative value for mortar design, considering the low variability. It is considered appropriate that the percentage of absorption is less than 5% in fine aggregates for mortar uses.

Granulometry

Table 2 indicates a value of fineness modulus of 2.66 and the results that are within the limits established by the ASTM C33-03 standard (ASTM, 2003), not inferior to 2.3 nor superior to 3.1. Therefore, it can be expected that the material presents good workability and texture.

Organic content in fine aggregate

This test was performed under the ASTM C33-03 standard (ASTM, 2003), which showed a similarity with color 1, a sample is presented in Figure 2.

TABLE 1. Pilot dosages for 50 kg of cement

Specification	Sand	Cement	Lime	Water	Additive
	kg				
Dosing for cement I with water percentage correction	62.25	50.00	0.00	25.44	0.14
Dosage 1 plus 10% lime in relation to the percentage of cement	69.72	50.00	5.00	28.27	0.15
Dosage 1 plus 7% lime in relation to the percentage of cement	67.19	50.00	3.50	27.36	0.15
Dosage 1 plus 12% lime in relation to the percentage of cement	71.55	50.00	6.00	28.91	0.16
Dosing for cement I with correction of the percentage of plasticizer and water	62.25	50.00	0.00	21.00	1.00
Dosage for HE cement with correction of the percentage of plasticizer and water	62.25	50.00	0.00	20.75	1.00
Dosage for cement I with correction of the percentage of plasticizer and water	62.25	50.00	0.00	24.05	0.50

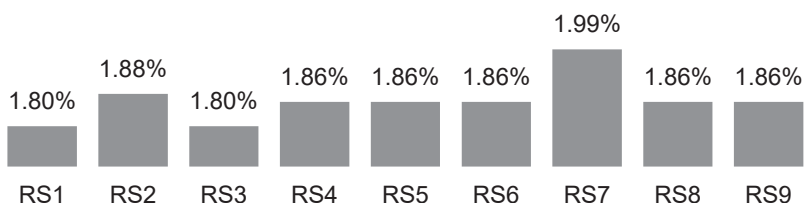


FIGURE 1. Moisture content in river sand samples

TABLE 2. Summary of the granulometric test of fine aggregate

Specification	Partial retention	Accumulated retention	Crosses
	%		
Sieve 4	0.00	0.00	100.00
Sieve 8	0.10	0.10	99.90
Sieve 16	14.20	14.30	85.70
Sieve 30	22.80	37.10	62.90
Sieve 50	28.30	65.40	34.60
Sieve 100	20.50	85.9	14.10
Sieve 200	9.80	95.7	4.30
Tray	4.30	100.00	0.00
Fineness module	2.66		

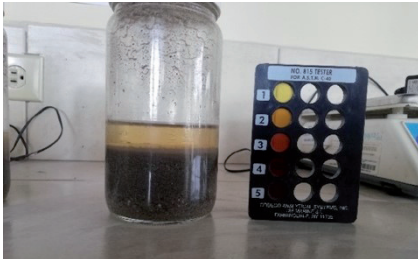


FIGURE 2. Collation through a color plate for the analysis of organic matter content in the fine aggregate

Mechanical properties

The results of compressive strength for each of the dosages are shown in Figure 3. As can be seen in Figure 3, the higher strength was obtained with the D6 for cement type HE, it has a compressive strength remarkable superior to the other dosages for 7, 14, 21 and 28 days age. Following, the best dosage with ce-

ment type I is the D5. The inclusion of lime to 10% does not significantly affect the compressive strength of the mortar made with cement type I (D3, D4 and D5). However, it produces lower resistances than without the use of lime. Table 3 lists the final dosages selected for this research work.

Workability

The results of the ASTM C187-04 test are summarized in Table 4. The diameters of workability have a tendency of decreasing in time, which means that there is no runoff and mixtures are stabilized immediately. Mortar M-0-HE starts with a diameter of 22 cm and reaches a 16 cm one, complying with the norm that is 15 cm, which is considered as a minimum diameter for good workability (Table 4).

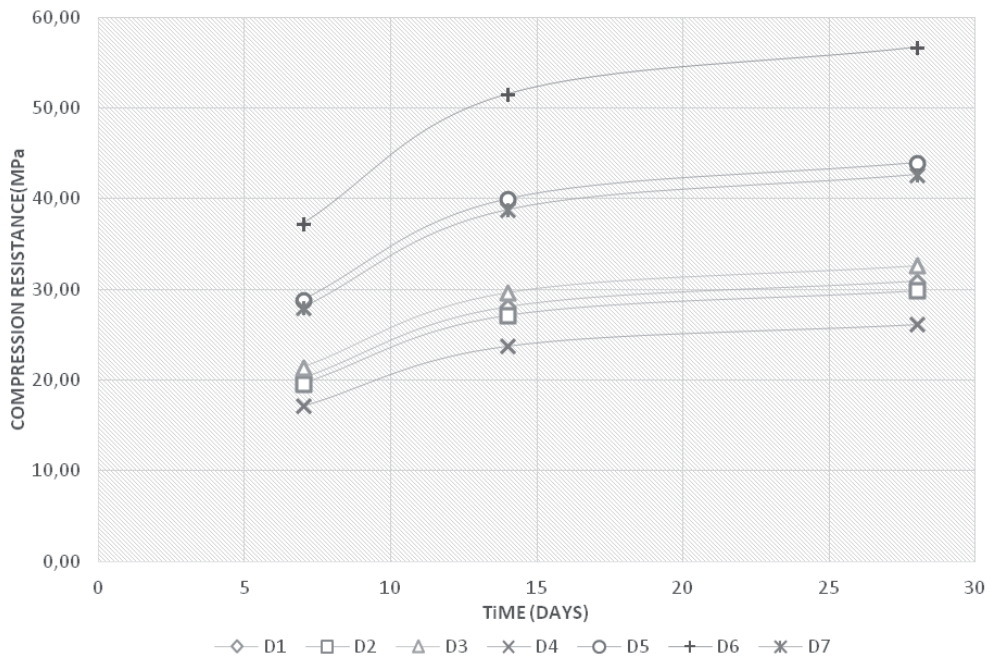


FIGURE 3. Evolution of the long-term compressive strength

TABLE 3. Summary of dosages

Mortar	Cement type	Sand	Cement	Lime	Water	Plasticizer
		kg				
M-0-I	Portland cement type I	62.25	50.00	0.00	21.00	1.00
M-7-I	Portland cement type I	67.2	50.00	3.50	25.45	1.00
M-0-HE	Portland cement type HE	62.25	50.00	0.00	20.75	1.00
M-7-HE	Portland cement type HE	67.2	50.00	3.50	22.45	1.00

TABLE 4. Established diameters to evaluate workability

Time [min]	Diameter [cm]			
	M-0-I	M-7-I	M-0-HE	M-7-HE
1	21	18	22	19
2	19.5	16	19.5	16.5
3	19	15	18	15.5
5	16.5	14.8	16	14.3

Resistance to short-term compression

A statistical analysis of significance for the results of the test was carried out on 64 cube samples, values that are shown and analyzed from Figure 4 and Table 5.

In Table 5, it is observed that the mortar M-0-HE presented the best compression

result at 24 h of setting and is also superior to the others, while the mortars M-0-I and M-7-I they are partially the same; as well as the significant difference of each one of the obtained values is identified.

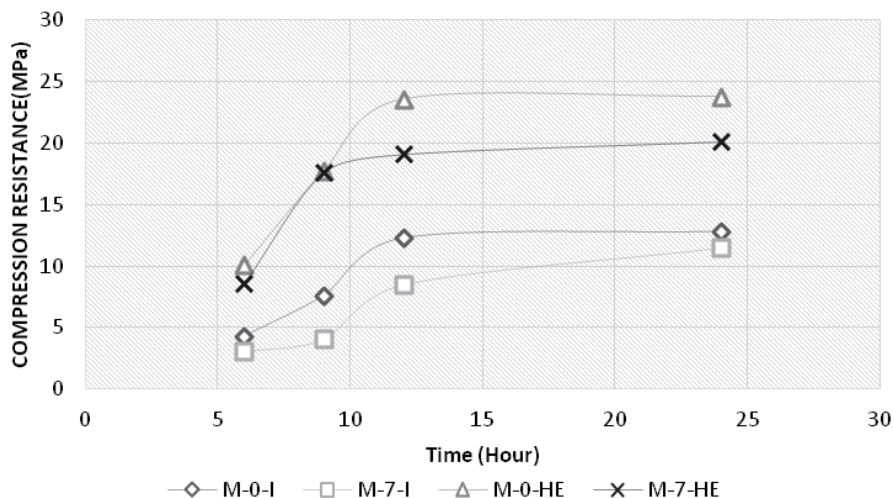


FIGURE 4. Evolution of short-term compressive strength

TABLE 5. Statistical analysis of specimens tested in the short term

Hour	Specification	M-0-I	M-7-I	M-0-HE	M-7-HE
6	average compression resistance [MPa]	4.08	3.04	10.11	8.59
	deviation E	0.23	0.33	0.22	0.39
	letter	C	D	A	B
9	average compression resistance [MPa]	7.60	4.05	17.73	17.58
	deviation E	0.30	0.27	0.84	0.39
	letter	B	C	A	A
12	average compression resistance [MPa]	12.29	8.45	23.56	19.01
	deviation E	1.34	0.75	0.25	0.87
	letter	C	D	A	B
24	average compression resistance [MPa]	12.81	12.30	23.80	20.16
	deviation E	0.39	0.58	0.80	1.06
	letter	C	C	A	B

A, B, C and D indicate significant differences through the Tukey test ($p < 0.05$).

Resistance to long-term compression

The results of ASTM C39-05 test carried out on 64 specimens are shown in Figure 5 and its summary of data in Table 6.

It can be seen in Figure 5, that the four types of mixtures show different results during the analyzed period, with the

mortar M-0-HE having the highest resistance to compression at 28 days with a remarkable difference. The results of Tables 5 and 6 after analyzed, it can be said that the mortar with the higher resistance to compression in the short and long term is the mortar M-0-HE, due to the type of cement used (type HE). This cement has less quantity of bicalcium

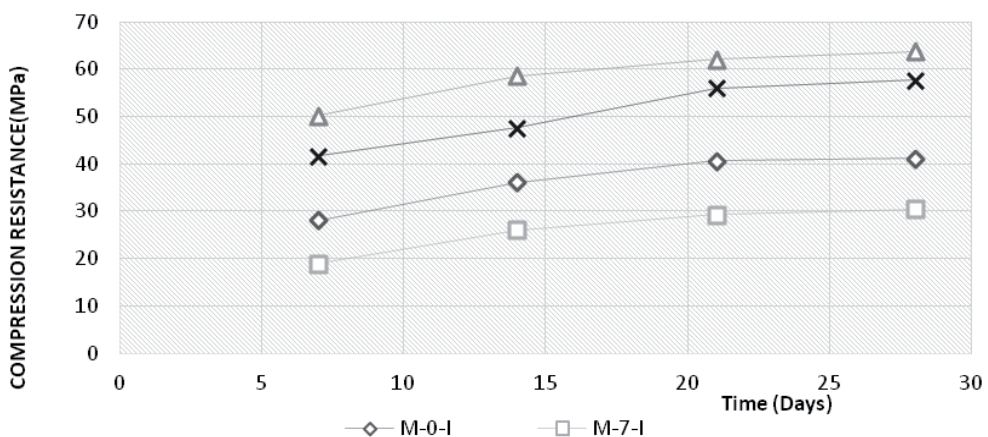


FIGURE 5. Evolution of long-term compressive strength

TABLE 6. Statistical analysis of long-term tested specimens

Day	Specification	M-0-I	M-7-I	M-0-HE	M-7-HE
7	average compression resistance [MPa]	21.46	19.09	37.97	42.39
	deviation E	1.63	1.25	0.82	2.30
	letter	C	D	A	B
14	average compression resistance [MPa]	31.10	25.50	52.92	46.96
	deviation E	1.64	0.89	0.43	1.04
	letter	C	D	A	B
21	average compression resistance [MPa]	37.63	26.56	58.54	55.40
	deviation E	1.22	1.94	0.92	2.36
	letter	C	D	A	B
28	average compression resistance [MPa]	40.80	29.80	61.67	55.73
	deviation E	1.17	1.05	0.98	2.40
	letter	C	D	A	B

A, B, C and D indicate significant differences through the Tukey test ($p < 0.05$).

silicate (C2S) which causes high early resistance and increase at advanced ages, thus confirming what is stated in the literature. It is noticeable that all the results achieved exceed the specified value of a structural concrete that is 21 MPa, which is an advantage that must be exploited for the use of these mortars in other applications. Moreover, the mortar M-0-HE has the best results due to its better workability and optimal long and short term resistance, aiming to printability. Nonetheless, mortars including lime (M-7-I and M-7-HE) has in average a 10% less compression strength

resistance at similar ages than non-lime mixtures.

Figure 6 presents an image of the results of the various preliminary tests of the mortars designed in this investigation.

Conclusions

With the local materials used in this research it was possible to obtain a mortar suitable to be used in 3D printers, since it meets the required parameters of workability and compression resistance. The mortar that presents better mechanical characteristics to be used in 3D printers is the sample M-0-HE composed of Portland cement type HE of high resistance and river sand. However, the remaining mortars can also be tested for printing process since their characteristics are in accordance with the stipulations for such purpose.

The inclusion of hydraulic lime to the mortar mix reduces the compressive strength of the studied specimens.



FIGURE 6. Mortar test in 3D printing

The dosages developed in this research were composed of a high content of cement, resulting in high cost, however, more components could be added to the mixture that can partially supply the cement and that can preserve or improve the properties of the mortars.

References

- Altamirano, G., Cuevas, A. & Sanchez, Z. (2015). *Utilización De Fibra De Coco En La Elaboración De Piezas Ecosustentables De Mampostería. Perspectiva En México Y Avance De Estudio [Use of coconut fiber for ecological bricklaying. Perspective in Mexico]*. XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica – SESPID, Mexico. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/288991375_UTILIZACION_DE_FIBRA_DE_COCO_EN_LA_ELABORACION_DE_PIEZAS_ECOSUSTENTABLES_DE_MAMPOSTERIA_PERSPECTIVA_EN_MEXICO_Y_AVANCE_DE_ESTUDIO
- American National Standard Institute/American Society for Testing and Materials [ANSI/ASTM] (1979). Standard method of laboratory determination of moisture content of soil. ANSI/ASTM D2216-71. ANSI/ASTM: Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials [ASTM] (2003). Standard specification for concrete aggregates. ASTM C33-03. ASTM: West Conshohocken, PA.
- American Society for Testing and Materials [ASTM] (2004). Standard test method for normal consistency of hydraulic cement. ASTM C187-04. ASTM: Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials [ASTM] (2005). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. ASTM C39-05. ASTM: Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials [ASTM] (2007). Standard test methods for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or 50-mm cube specimens). ASTM C109/C109M-07. ASTM: Philadelphia.
- American Society for Testing and Materials [ASTM] (2014). Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. ASTM D422. ASTM: Philadelphia.
- Campillo Mejía, M. (2017). *Prefabricación en la arquitectura: Impresión 3D en hormigón [Precast architecture: concrete 3D printing]* [thesis]. ETSAM – Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Retrieved from: http://oa.upm.es/47556/1/TFG_Campillo_Mejias_Miriam.pdf
- Hager, I., Golonka, A. & Putanowicz, R. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? *Procedia Engineering*, 151, 292-299. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>
- Khalil, N., Aouad, G., El Cheikh, K. & Rémond, S. (2017). Use of calcium sulfoaluminate cements for setting control of 3D-printing mortars. *Construction and Building Materials*, 157, 382-391. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.109>
- Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Gibb, A.G.F. & Thorpe, T. (2012). Mix design and fresh properties for high-performance printing concrete. *Materials and Structures*, 45(8), 1221-1232. <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9828-z>
- Malaeb, Z., Hachem, H., Tourbah, A., Maalouf, T., El Zarwi, N. & Hamzeh, F. (2015). 3D concrete printing: machine and mix design. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 6(6), 14-22.
- Sakin, M. & Kiroglu, Y.C. (2017). 3D printing of buildings: construction of the sustainable Hhouses of the future by BIM. *Energy Procedia*, 134, 702-711. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.562>
- Salazar, M.A.M. (2016). *Elaboracion de una dosificacion para fabricacion de superadobe, con ensacado de yute, cabuya [Obtaining of Superadobe, with jute, cabuya bagging]*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Salguero, C.E.M. (2018). *Diseño de un mortero con cemento portland tipo i y he incluida cal hidráulica para su uso en impresoras 3D [Mortar design with type I portland cement*

and hydraulic lime for use in 3D printers]. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.

- Torres Remón, R. (2016). *Diseño de hormigón para impresión en 3D [Concrete design for 3D printing]*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Wu, P., Wang, J. & Wang, X. (2016). A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction*, 68, 21-31. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>
- Zijl, G. Van & Tan, M.J. (2017). Properties of 3D printable concrete. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2016)* (pp. 421-426). Singapore: Research Publishing Services.

Summary

Mortar for 3D printers using river sand, Portland cement and hydraulic lime. The 3D printing is a construction technology that uses mortar to make elements

and structures. In this research, four types of mortar were elaborated using Portland cement types I and HE, adding hydraulic lime. Mortars with cement types I and HE without hydraulic lime presented higher resistance to compression than mortars made with lime. The four mortars had an adequate resistance to compression and features that are suitable for use in 3D printers.

Authors' address:

Javier Palacios
(<https://orcid.org/0000-0002-6059-6171>)
Marcel Paredes – corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0002-3762-9633>)
Tito Castillo
(<https://orcid.org/0000-0002-3472-3456>)
Oscar Paredes
(<https://orcid.org/0000-0003-1616-6753>)
National University of Chimborazo
Faculty of Engineering
Av. Antonio José de Sucre Km 1,5
060150 Riobamba
Ecuador
e-mail: marcelparedes@unach.edu.ec

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 409–420

Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 409–420

Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)

<http://iks.pn.sggw.pl>

DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.35

**Thair Jabbar Mizhir Al-FATLAWI, Nassrin Jassim Hussien Al-MANSORI,
Nariman Yahya OTHMAN**

University of Babylon, College of Engineering

Laboratory study of stilling basin using trapezoidal bed elements

Key words: baffle blocks, stilling basins, energy dissipation, spillway, hydraulic jump

Introduction

Stilling basins can be characterized as vitality dissipaters built downstream of water system frameworks. These dissipaters' elements mostly rely upon the hydraulic jump's properties. Ordinarily, the stilling basins have more elements, which implies that they require an enormous region and that the development costs are high. For example, Eshkou, Dehghani and Ahmadi (2018) investigated the impact of calculated confuse hinders for improving water-driven hop attributes in a continuously veering stilling bowl with an unfavorable bed incline. The best assembly point (i.e. the edge between longitudinal pivot and stream course) of the elements was found to be 30° , which decreased the length and pro-

fundity proportions of the water-driven bounce by up to 35–16%. Whereas Habibzadeh, Loewen, Mark and Rajaratnam (2016) presented laboratory estimations of the disturbance in lowered water-driven bounces with squares downstream of a floodgate entryway, our work provides knowledge regarding the creation and scattering of choppiness in lowered streams and clarifies why a lowered hop with obstructs with a low submergence factor (i.e. the DSJ stream system) is as powerful as free hops in disseminating vitality.

Ali and Elhamaimi (2020) examined stream boundaries with a lowered hop under door-utilizing physical and mathematical models. Twenty test runs were completed to consider the effect of dispersed layered beds on fundamental attributes of a lowered pressure-driven hop for estimations of Froude numbers from 1.5 to 9.5. Substantial agreement was found among trial results and mathemat-

ical simulations; creased beds decreased bounce length and sequent profundity by 5.69% and 12.96%, respectively. Disturbance models $k-\epsilon$ and RNG $k-\epsilon$ can simulate this observation. Finally, the RNG $k-\epsilon$ model gives results that are more in agreement with tests.

Recently, the concept of baffle blocks has been used in advanced water treatment units to mix water and dissipate excessive energy (Al-Mansori, 2014; Al-Baidhani, Al-Mansori & Al-Khafaji, 2018). The impacts of a chute hindering both the length and increased dependability of water-driven bounce were recently numerically analyzed by Valero Huerta, Garcia-Bartual and Marco (2015) for both designed and adverse conditions. The developed model showed an impressive ability to reproduce the change in the length and stability of the hydraulic jump.

Numerous examinations have been performed on sills under vertical sluice gates for both free and submerged flow conditions (e.g.: Mohamed, Saleh & Ali, 2015; Elsaed, Ali, Abdelmageed & Ibrahim, 2016). Abdelhaleem (2017) studied the lowered move through outspread doors with and without an entryway ledge. He combined the negative effect of ledges under lowered outspread entryways and found that the close by scour phenomenon occurred instantly downstream of the stilling bowl of some current lowered spiral doors with a door ledge in Egypt.

Ibrahim (2017) investigated the effect of block shapes on the flow pattern downstream of a radial gate. The blocks were highly proficient in limiting the detached impact of the flow pattern downstream of the gate. Abbas, Alwash and

Mahmood (2018) concluded from their study that utilizing an astound square caused a decrease in sequent profundity extent, length of hop extent and roller length; however, vitality dispersal increased. Maatooq and Taleb (2018) found that utilizing a two-column arrangement of standard USBR Recommendations astound hinders blockage by 50–37.5%; at predefined separations, this arrangement can diminish sequent profundity, and the speed becomes approximately consistently circulated over the bowl width. Al-Husseini (2016) indicated that the stream vitality dispersal diminishes with stream rate increases, and the roughed step spillway surface increasingly contrasts with the other spillway surfaces at low or high stream rates.

Aydin and Ulu (2018) observed a decrease in scour downstream of a weir by utilizing vitality dissipaters with various calculations. The stream and scouring events on the weir were demonstrated in two measurements utilizing computational fluid dynamics (CFD). The findings were discussed in the context of various downstream conditions.

Hilo and Lafta (2019) used stream 3D programming in their mathematical examinations. The recreation model utilized an RNG $k-\epsilon$ disturbance model with VOF. Utilizing three half balls (one on the internal edge and two at the external edge of steps) gave higher vitality dispersal by approximately 54% in the skimming stream system; expansions of at least 57% are considered to be at an advanced level.

Mohammadzade-Habili, Heidarpour and Samiee (2018) examined the vitality scattering and downstream stream system of maze weirs. To correlate the

results, the condition of highest conceivable vitality dispersal $\Delta E_{\max}$ on maze weirs was acquired by utilizing the particular vitality bend. Dimensional investigations demonstrated that the relative vitality dissemination on maze weir $\Delta E / E_0$ was uniformly diminished with expanding relative basic profundity y_c / E_0 , where E_0 is the absolute upstream vitality. Consequently, vitality dissemination structures are not required downstream of the weir. The impact of nappes, coursing stream in constructed pools behind the nappes, and a water-driven bounce on weirs downstream of the face are primarily responsible for the substantial vitality differences observed on maze weirs. Mohammadzade-Habili and Honar (2018) examined a pressure-driven hop on a creased bed, with a specific vitality bend being utilized. A wide scope of existing test information from water-powered bounces on smooth and folded beds was similarly utilized; the vitality dissemination of a water-powered bounce on a layered bed was found to be affected by level good ways from the floodgate door area to the beginning of the ridged bed. These baffle blocks could be used, for example, to enhance water treatment unit performance (Abdulahadi, Kot, Hashim, Shaw & Khaddar, 2019; Hashim et al., 2019; Hashim, Ali, Al Rifaie et al., 2020; Hashim, Kot, Zubaidi et al., 2020).

In this context, the current examination explored the observation of a new three-puzzle-square structure in terms of reducing the number of required components of stilling bowls in water system frameworks. Moreover, this new bewilder square contrasts to a substantial degree with standard perplex squares.

Because of the ongoing advancements in innovation and utilization of perplex plates in various water treatment offices, Ryecroft et al. (2019) suggested utilizing detection devices to screen drag power and water bounce conduct, providing useful data for future investigations. Teng et al. (2019) carried out a naval laboratory study to evaluate the pressure-driven execution of another plan for bewilder squares utilized in stilling bowls. These new three squares differed from standard trapezoidal blocks.

Material and methods

Examined blocks

Another three shapes with standard trapezoidal bewilder squares have been produced at the research center of design at the University of Babylon, utilizing local wood as suggested by USBR proposals. The shapes were painted with waterproof paint to avoid water spillage that could damage their shape. The examined customary confuse obstruct as per USBR proposals (model A) has a trapezoidal-formed segment with outer elements of 37.5 cm in width and 5.0 cm in height. Three baffle block models were used with a trapezoidal shape. Figure 1 illustrates the baffle block arrangement inside the stilling basin and Figure 2 shows the flow inside the stilling basin with the baffle blocks of model D provided as an example of flow. Each model was made with a specific apex angle (55° for model B, 75° for model C and 85° for model D). Table 1 provides the baffle model dimensions.

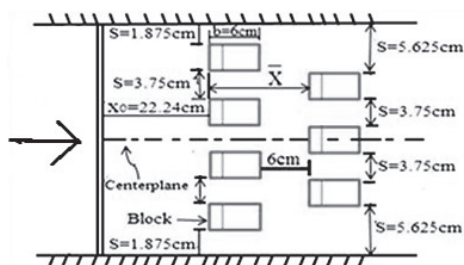


FIGURE 1. Arrangement of studied baffle blocks of model A

17.5 m, 0.3 m and 0.3 m in length, width and height. It was provided with a spillway, 0.355 m in height, introduced 6.50 m upstream of the flume. Water profundity and scour opening were estimated utilizing a point gage, with a precision of 0.1 mm, mounted on an aluminum outline that could be moved vertically and horizontally along the flume bed. The territory and length of the scour hole were estimated utilizing a scale introduced on the inside

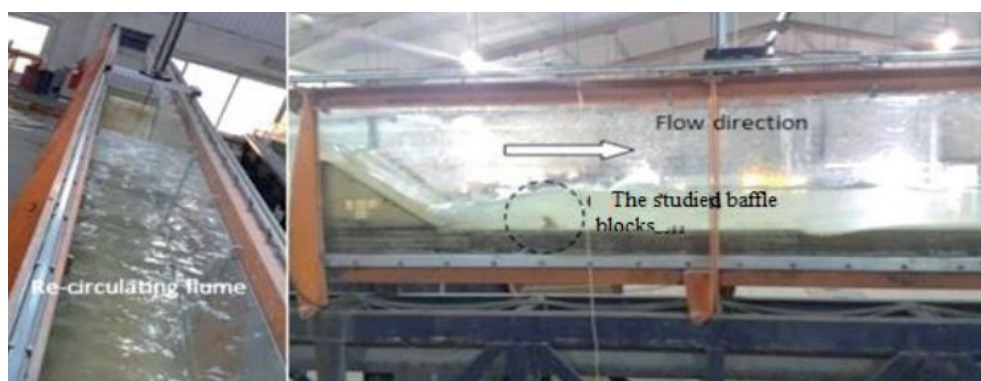


FIGURE 2. Flow inside stilling basin with blocks of model D

TABLE 1. Baffle block model dimensions

Baffle model	Height (hb) [mm]	Width [mm]		Length (b) [mm]	
		W1	W2	upper side	lower side
A	50	37.5	37.5	10	60
B	50	25	37.5	21.5	21.5
C	50	25	37.5	15.4	15.4
D	50	25	60	12	12

Experimental setup

Trial work was completed utilizing a rectangular open-inclining flume produced using Perspex. The flume was

mass of the flume. A rear end was utilized to control the downstream water profundity. Figure 3 provides longitudinal cross-section of the experimental setup.

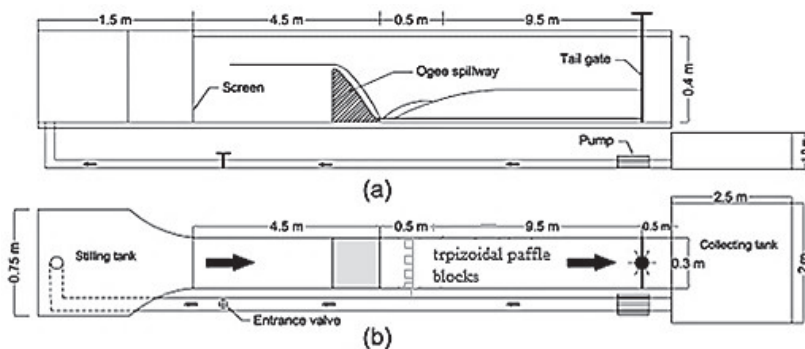


FIGURE 3. Experimental setup: a – cross-section; b – longitudinal section

Experimental procedure and measurement

Three different baffle block shapes were used as vitality dissipaters of the spillway model downstream. An aggregate of 120 runs was made. Six distinct releases were considered for the discharge (6.50, 10.70, 12.50, 16.33, 17.75 and 19.62 L/s). At each run, water must be fixed, and a profundity of Y_2 was utilized. All utilized models were organized in the flume with approximately the same level of conduit (around 40%) The row location of the baffle block models from the spillway end (X_0 and Y_2) was downstream of the water depth.

Because for the given delivery, the pressure-driven hop must be framed consistently in the stilling bowl, there should be several impediments for the Froude number of the approaching stream, with Fr_1 indicating the profoundly waviness and flimsiness of the water surface; Fr_1 was observed to increase from 6.5 to 9.2.

The experimental work began with the backwater first until the Y_2 profundity was more than the ideal water profundity of a specific release. At that point, the

upstream section was progressively and balanced. The back end was deliberately brought down until the ideal downstream water profundity (Y_2) was achieved. When there were no obvious changes in scour hole estimations (from this exploratory work, a run took approximately 2 h to arrive at an almost steady condition), the flume delta valve was shut. Finally, scour hole estimations were assessed using a point check and scale.

Results and discussion

Sequent depth proportion

Figures 4 and 5 illustrate that a 0.08 and 0.00 slope respectively explained a decrease in y_2/y_1 for model D when compared with the smooth bed and models A, B and C. For a specific incline, a decrease in the extent of y_2/y_1 was noted for the confound model D compared to the smooth bed (Fig. 5). Examination was conducted for two cases (at slopes of 0.00 and 0.08), as seen in Table 2. Moreover, replacing baffle model A at 0.00 slope (horizontal slope) by baffle model D with 0.08 slope caused a reduction in

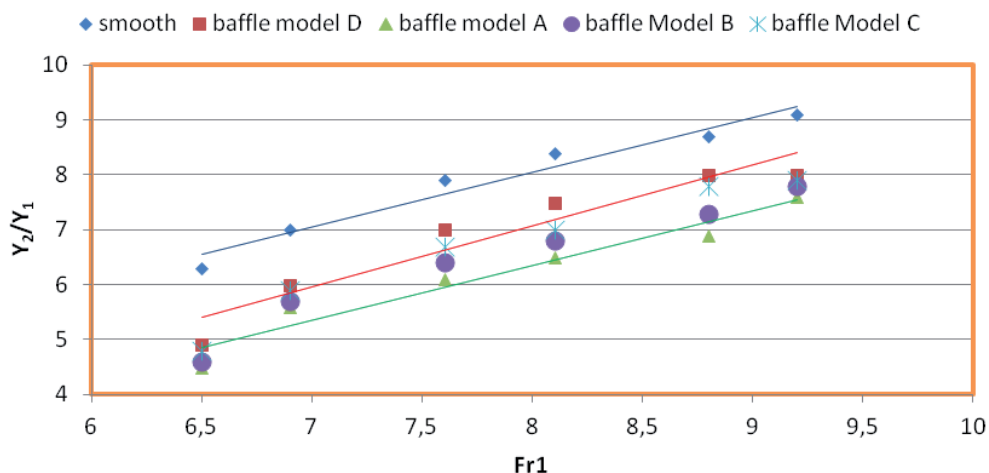


FIGURE 4. Relation of y_2 / y_1 with Fr_1 for suggested models at bed slope 0.08

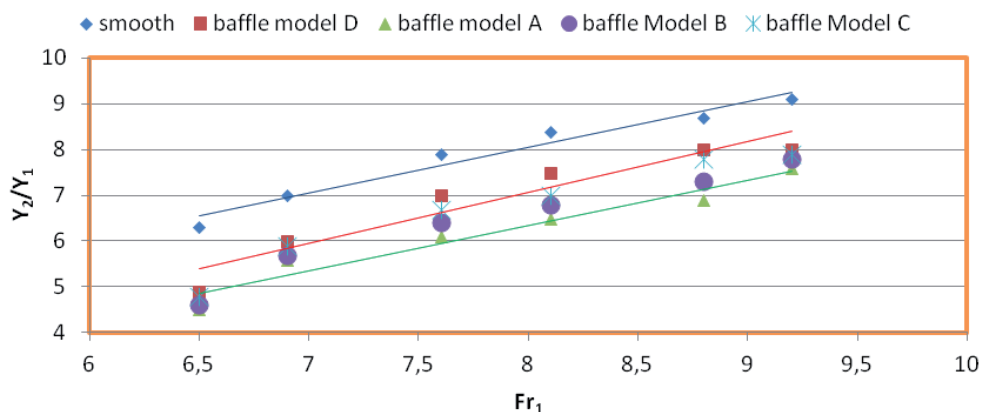


FIGURE 5. Relation of y_2 / y_1 with Fr_1 for suggested models at bed slope 0.00

TABLE 2. Decrease in y_2 / y_1 various cases with 0.00 and 0.08 slopes

Bed state	Percent of reduction in y_2 / y_1 for	
	0.08 slope	0.00 slope
Smooth	27.4	23.2
Model D	12.8	10.3
Model C	11.3	8.5
Model B	9.6	7.9
Model A	7.3	4.3

y_2 / y_1 of approximately 12.8%. The decrease in y_2 / y_1 when model D utilized was due to water particles facing constant obstacles in the column and having to course within the constrained zone; hence, reducing the tail water is fundamental for reducing submerged jump arrangements. Comparing baffle model A with 0.00 slope with baffle model D with 0.08 slope led to a suitable reduction in sequent depth proportion (7.3%). A re-

duction in y_2 / y_1 resulted in a decreased basin sidewall and, therefore, lower stilling basin construction costs.

Jump proportion length

Regarding basin bed changes due to jump proportion (L_j / y_1) length variations, outcomes for a specific incline showed decreases in the extent of L_j / y_1 . For instance, compare the results for the model D baffle with smooth bed cases and models A, B and C shown in Figures 6 and 7 for bed slopes of 0.08 and 0.00. Results of various cases with

0.08 slope are provided in Table 3. Additionally, replacing the model A baffle with the model D baffle with 0.08 slope reduced L_j / y_1 by 18.9% because water particles constantly push and confine its movement; hence, the jump does not stretch out in the downstream direction. Replacing the model A baffle with the model D baffle with 0.00 slope produced a significant decrease in jump proportion length (L_j / y_1) of approximately 13.8%. This result was indicative of a stilling basin length decrease and a subsequent decrease in the total cost.

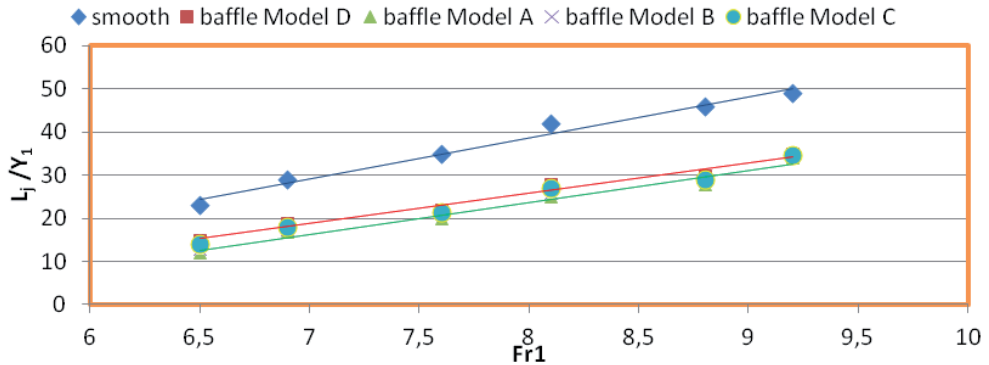


FIGURE 6. L_j / y_1 in bed conditions for 0.08 slope

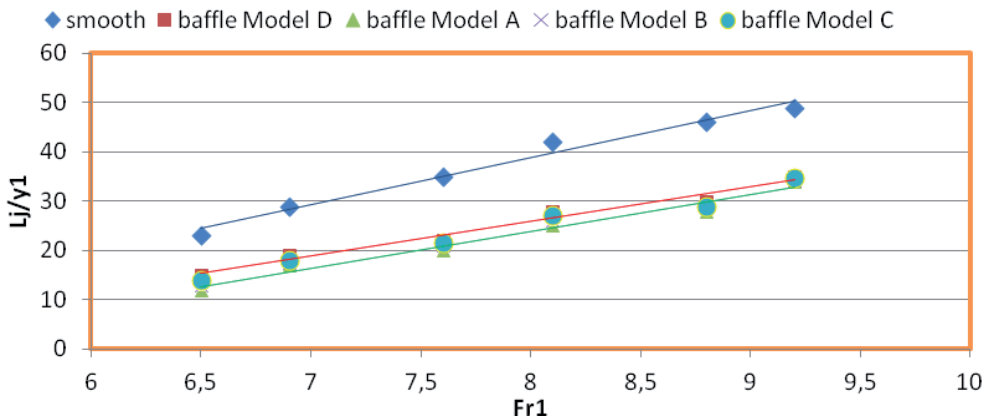


FIGURE 7. L_j / y_1 in bed conditions for 0.00 slope

TABLE 3. Decrease in L_j / y_1 for various cases with 0.08 and 0.00 slope

Bed state	Percent of reduction in L_j / y_1 for	
	0.08 slope	0.00 slope
Smooth	32.5	29.2
Model D	18.9	13.8
Model C	15.7	10.7
Model B	12.3	9.4
Model A	8.7	5.3

(2018) was plotted, as shown in Figures 7 and 8. For both 0.00 and 0.08 bed slopes, at the bed surface, the highest velocity tended to lead to a larger momentum exchange between the eddies trapped in corrugations and the main flow. The normal addition of energy ($\Delta E / E_1$) reached 8.3% when the model D baffle with slope 0.08 was utilized rather than the level smooth bed (Fig. 8); for slope 0.00, this value was 5.2 (Figs. 8 and 9). The results for various

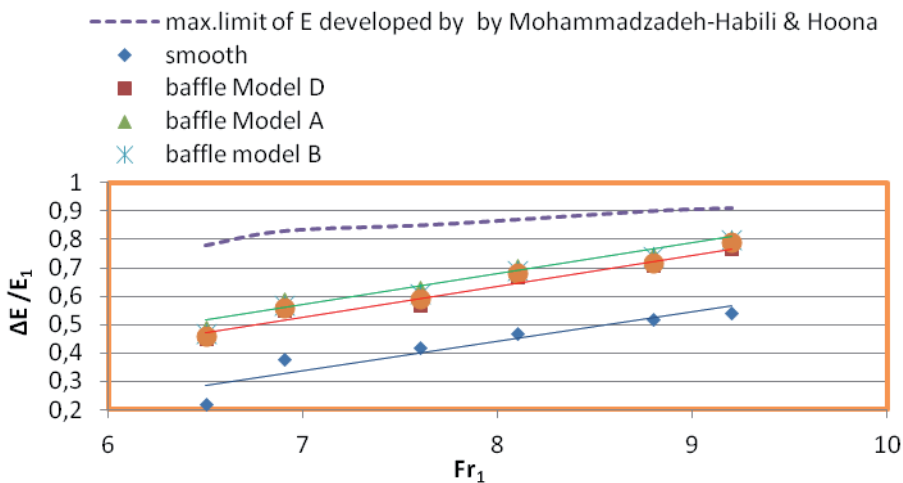


FIGURE 8. $\Delta E / E_1$ in bed conditions on 0.08 slope

Proportion of energy dissipation

When the bed situation changes, the hydraulic jump energy dissipation proportion also alters, as referenced previously by utilizing a smooth stilling basin with 0.08 slope rather than an even, smooth bed, which caused a decrease in vitality dissemination. However, utilizing puzzle squares led to this decrease increasing vitality scattering. For comparison of energy dissipation, the curve of maximum possible limit of energy dissipation developed by Mohammadzadeh-Habili and Hoonar

cases are listed in Table 4. The additional effect activity produce from the blocks increased $\Delta E / E_1$, and the chosen shape (trapezoidal) of the model D baffle made the water particles affect each one of it and lose their vitality. Such streams are flimsy and must be avoided downstream of water-powered structures because even relatively small changes in bed rise lead to a substantial variety of stream profundity. Given these clarifications, arriving at the best conceivable measure of vitality dissemination is not reasonable.

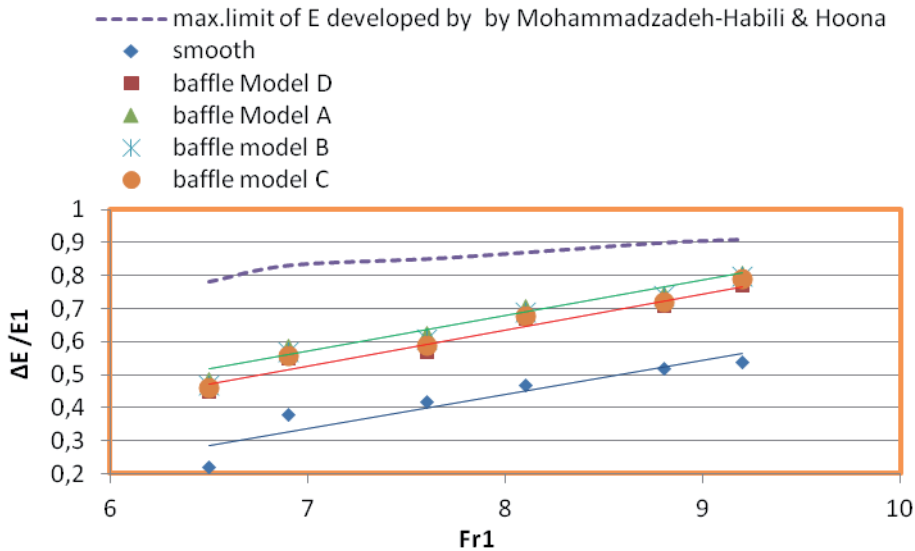


FIGURE 9. $\Delta E / E_1$ in bed conditions on 0.00 slope

TABLE 4. Decrease in L_j / y_1 for various cases on 0.08 and 0.00 slopes

Bed state	Gain in $\Delta E / E_1$ for	
	0.08 slope	0.00 slope
Smooth	23.2	20.7
Model D	8.3	5.2
Model C	6.2	3.4
Model B	4.9	3.1
Model A	3.4	2.5

Conclusions

The main conclusions from this study are:

- For the model D, the hydraulic jump in the stilling basin led to a lower L_j / y_1 , y_2 / y_1 and higher $\Delta E / E_1$ compared to the models A, B and C and smooth state. Therefore, the most suitable model (trapezoidal)

appeared to be the model D, utilized with the model A on different inclines showing their effects when the bed slants are changed.

- When the model D baffle was used instead of a smooth bed at 0.08 slope, y_2 / y_1 decreased by 12.8%, and L_j / y_1 was 18.9%.
- Among the difference in bed slopes of 0.00, 0.04, 0.06, 0.08, the average decrease in y_2 / y_1 was approximately 10.3%, whereas the average decrease in L_j / y_1 was about 13.8 % when the model D baffle was used instead of the model A baffle with a horizontal slope bed (0.00).
- At 0.08 slope, $\Delta E / E_1$ was 8.3% when the model D baffle was utilized rather than the smooth bed. However, at 0.00 slope, $\Delta E / E_1$ was 5.2% when the model D baffle was used rather than the smooth bed.

References

- Abbas, A., Alwash, H. & Mahmood, A. (2018). Effect of baffle block configuration on characteristics of hydraulic jump in adverse stilling basins. *MATEC Web of Conferences*, 162, 03005. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201816203005>
- Abdelhaleem, F.S. (2017). Hydraulics of submerged radial gates with a sill. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 23(2), 177-186. <https://doi.org/10.1080/09715010.2016.1273798>
- Abdulhadi, B.A., Kot, P., Hashim, K.S., Shaw, A. & Al Khaddar, R. (2019). Influence of current density and electrodes spacing on reactive red 120 dye removal from dyed water using electrocoagulation/electroflotation (EC/EF) process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 584(1), 012035. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/584/1/012035>
- Al-Husseini, T.R. (2016). A novel experimental work and study on flow and energy dissipation over stepped spillways. *Journal of University of Babylon*, 24(4), 1050-1063.
- Al-Baidhani, J.H., Al-Mansori, N.J. & Al-Khafaji, D.H. (2018). Using of granular filters with different materials of media for water treatment. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13, 10976-10982.
- Ali, H.M. & Elhamaimi, A. (2020). An experimental and numerical investigation for characteristics of submerged hydraulic jump over corrugated beds. *Port-Said Engineering Research Journal*, 24(1), 1-11. <https://doi.org/10.21608/pserj.2020.18744.1015>
- Al-Mansori, N.J. (2014). Experimental study of height and surface roughness effects of crump weirs on over flow characteristics. *Journal of University of Babylon*, 22(4), 845-859. <https://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aid=95777>
- Aydin M.C. & Ulu, A.E. (2018). Effects of different shaped baffle blocks on the energy dissipation and the downstream scour of a regulator. *Journal of Science and Technology*, 8(2), 69-74. <https://doi.org/10.17678/beuscitech.469053>
- Elsaeed, G.H., Ali, A.M., Abdelmageed, N.B. & Ibrahim, A.M. (2016). Effect of end step shape in the performance of stilling basins downstream radial gates. *Journal of Scientific Research & Reports*, 9(1), 1-9. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2016/21452>
- Eshkou, Z., Dehghani, A.A. & Ahmadi, A. (2018). Forced hydraulic jump in a diverging stilling basin using angled baffle blocks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(8), 2088-2095. <https://doi.org/10.29007/zx1w>
- Habibzadeh, A., Loewen, M.R. & Rajaratnam, N. (2016). Turbulence measurements in submerged hydraulic jumps with baffle blocks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 43(6), 553-561. <https://doi.org/10.1139/cjce-2015-0480>
- Hashim, K.S., Ali, S.S.M., AlRifaie, J.K., Kot, P., Shaw, A., Al Khaddar, R., Idowu, I. & Gkantou, M. (2020). *Escherichia coli* inactivation using a hybrid ultrasonic-electrocoagulation reactor. *Chemosphere*, 247, 125868. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125868>
- Hashim, K.S., Hussein, A.H., Zubaidi, S.L., Kot, P., Kraid, L., Alkhaddar, R., Shaw, A. & Alwash, R. (2019). Effect of initial pH value on the removal of reactive black dye from water by electrocoagulation (EC) method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1294(7), 072017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1294/7/072017>
- Hashim, K.S., Kot, P., Zubaidi, S.L., Alwash, R., Al Khaddar, R., Shaw, A., Al-Jumeily, D. & Aljefery, M.H. (2020). Energy efficient electrocoagulation using baffle-plates electrodes for efficient *Escherichia coli* removal from wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 101079. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101079>
- Hilo, A.N. & Lafta, B.S. (2019). Numerical study for improving energy dissipation over stepped spillway by using different configurations on steps. In *12th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE)*, Kazan, Russia, 7-10 October 2009 (pp. 421-428). Kazan: IEEE. <https://doi.org/10.1109/dese.2019.00084>
- Ibrahim, M.M. (2017). Improve the efficiency of stilling basin using different types of blocks.

- American Journal of Engineering Research*, 6(8), 295-304. [http://www.ajer.org/papers/v6\(08\)/ZJ0608295304.pdf](http://www.ajer.org/papers/v6(08)/ZJ0608295304.pdf)
- Maatooq, J. & Taleb, E. (2018). The performance of hydraulic jump over rough bed stilling basin consisting of cubic-shape elements. *MATEC Web of Conferences*, 162, 03001. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816203001>
- Mohamed, Y.A., Saleh, Y.K. & Ali, A.M. (2015). Studying the effect of different configurations and positions of sill over stilling basin on flow characteristics behind radial gate (case study Nagaa Hammadi regulator). *Journal of Engineering Sciences*, 43(3), 311-329.
- Mohammadzade-Habili, J. & Honar, T. (2018). Theoretical solution for analysis and design of hydraulic jump on corrugated bed. *Water SA*, 44(4), 647-452. <https://doi.org/10.4314/wsa.v44i4.13>
- Mohammadzade-Habili, J., Heidarpour, M. & Samiee, S. (2018). Study of energy dissipation and downstream flow regime of labyrinth weirs. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(2), 111-119. <https://doi.org/10.1007/s40996-017-0088-6>
- Ryecroft, S., Shaw, A., Fergus, P., Kot, P., Hashim, K., Moody, A. & Conway, L. (2019). A first implementation of underwater communications in raw water using the 433 MHz frequency combined with a bowtie antenna. *Sensors*, 19(8), 1813. <https://doi.org/10.3390/s19081813>
- Teng, K.H., Kot, P., Muradov, M., Shaw, A., Hashim, K., Gkantou, M. & Al-Shamma'a, A. (2019). Embedded smart antenna for non-destructive testing and evaluation (NDT&E) of moisture content and deterioration in concrete. *Sensors*, 19(3), 547. <https://doi.org/10.3390/s19030547>
- Valero Huerta, D., Garcia-Bartual, R. & Marco, J. (2015). *Optimisation of stilling basin chute blocks using a calibrated multiphase RANS model*. 5th International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures, Spa, Belgium, 28–30 August 2014. Retrieved from: <https://www.flow3d.com/wp-content/uploads/2014/04/Optimisation-of-Stilling-Basin-Chute-Blocks-Using-a-Calibrated-Multiphase-RANS-Model.pdf>

Summary

Laboratory study of stilling basin using trapezoidal bed elements. When designing dam spillway structures, the most significant consideration is the energy dissipation arrangements. Different varieties of baffle blocks and stilling basins have been used in this context. However, the hydraulic jump form of stilling basin is considered to be the most suitable. The main objective of this research was to introduce four different baffle block shapes (models arranged from A to D, installed at slopes 0.00, 0.04, 0.06 and 0.08 in the stilling basins). To illustrate the consequences for the qualities of pressure-driven bounce, each model was attempted in the bowl. The trials applied Froude numbers between 6.5 and 9.2. The puzzle square model D provided the best outcomes compared to the models A, B, C and smooth. Model D with different models at inclines 0.00, 0.04, 0.06 and 0.08 was used to consider the impacts of perplex hinders on water driven-bounce when bed slants were changed. When the model D baffle used instead of a smooth bed at 0.08 slope, the reduction in y_2 / y_1 reached 12.8%, and L_j / y_1 was 18.9%. Among the different bed slopes, a normal decrease in y_2 / y_1 ranged from approximately 10.3%, whereas the normal decrease in L_j / y_1 was about 13.8% when the model D baffle was used instead of the model A baffle with a horizontal slope bed of 0.00. The results show that the new shapes led to a decrease in sequent profundity proportion and length of jump proportion; however, the energy dissipation proportion increased.

Authors' address:

Thair Jabbar Mizhir Al-Fatlawi
(<https://orcid.org/0000-0001-8427-0400>)
Nariman Yahya Othman
(<https://orcid.org/0000-0002-1908-2080>)
University of Babylon
College of Engineering
Department of Civil Engineering
Babylon, 00964
Iraq

Nassrin Jassim Hussien Al-Mansori
– corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0002-8921-7868>)
University of Babylon
College of Engineering
Department of Environmental Engineering
Babylon, 00964
Iraq
e-mail: nassrin20052001@yahoo.com

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 421–434
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 421–434
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.36

**Damir KUTLIYAROV, Igor RYZHKOV, Amir KUTLIYAROV,
Ayrat KHAFAZOV, Ruslan ZUBAIROV**

Federal State Budgetary Educational Establishment of Higher Education – Bashkir State
Agrarian University, Faculty of Nature Management and Construction

Role of accuracy and quantity of field tests in engineering-geotechnical researches for construction

Key words: soil tests, accuracy (reliability) of tests, static sounding of soils, bearing capacity of piles, entropy, amount of information

Introduction

The engineering-geological and engineering-geotechnical surveys for the construction of buildings and structures are often associated with a large number of different soil tests (static sounding, dynamic testing of piles, dynamic sounding, static testing of piles “production” sizes, soil testing with a stamp and pressing meter, geophysical research, etc.). The results of such tests can vary significantly in their reliability and number (Trofimenkov, Matyashevich, Leshin & Khanin, 1983; Ryzhkov, 1995; Viana da Fonseca, 2010; Abu-Farsakh, Yoon & Tsai, 2014; Togliani, 2018). So it is difficult to generalize the data obtained, since

the researcher has to deal with many particular values of the desired indicator which does not reflect the conditions of various points on the site only, but also the reliability of the tests themselves. Neither Russian nor foreign regulatory documents on geotechnical issues contain clear guidelines for the analysis of unequal tests, which in practice leads to a simplified approach when decisions are made based on the results of the most accurate method, and the results of other methods are considered as “safety net” and practically do not affect the decisions taken (Ryzhkov, 1995; Lunne, Powell & Robertson, 2004; Viana da Fonseca, 2010; Zhang et al., 2010; Zhao, Sun, Zhang & Li, 2012; Abu-Farsakh et al., 2014; Davies, 2015; Ryzhkov, Norshayan & Khamidullin, 2016; Xia, Xiong, Dong & Lu, 2017; Hu, Yuan, Mei, Qian & Ye, 2018; Lu & Zhang, 2018; Melnikov, Kalashnik & Kalashnik, 2018; Qiu,

Wang, Lai, Zhang & Wang, 2018; Khafizov et al., 2019). Such an underutilization of approximate test methods is characteristic not only of Russian, but also foreign research practice. This situation seems abnormal, since it takes a lot of time and material resources to conduct approximate tests, and their influence on the final result is minimal.

This situation occurs in surveys for the construction of objects on pile foundations, when the bearing capacity of piles becomes the desired indicator, and methods of varying accuracy are used in parallel to determine it. Such methods usually include static sounding of soils and static tests of full-scale piles (according to modern terminology “soil testing with piles”) (Lunne et al., 2002; Ryzhkov & Isaev, 2016; Ryzhkov et al., 2016; SP 24.13330.2011). These are the most accurate methods for assessing the resistance of piles, but they differ significantly in many of their qualities, and therefore it is convenient to consider the role of approximate and “accurate” test methods in geotechnical surveys using their example (Mustafin et al., 2018; Khafizov et al., 2019).

Static sounding is a fast, cheap method for assessing the resistance of piles, which is widely used throughout the world (Lunne et al., 2002). By the reliability of the assessment of the resistance of piles, sounding is inferior to the static tests of full-scale piles, but the static tests are much more expensive and longer. Static sounding, conducted to a depth of 10–15 m allows (using the appropriate computer programs) in a few minutes to evaluate the resistance of piles of any length in the considered depth range (e.g. 3–15 m). But the “er-

ror” in determining the desired resistance of the pile is usually in the range of 30–35% “according to sounding data by Russian standards” (Trofimenkov et al., 1983; Ryzhkov & Isaev, 2016). Approximately the same reliability is in using the foreign methods for calculating the resistance of piles according to sounding data (Viana da Fonseca, 2010; Abu-Farsakh et al., 2014; Togliani, 2018).

At the same time, a static test of piles (“soil test of piles”) lasts several days, and before this, it is required to manufacture these piles, deliver these piles (test and anchor) to the place of testing, drive the piles and leave them for two or three weeks in the soil (“rest” of piles). All this takes about a month. Although the reliability of the result of such an assessment of pile resistance is high (“errors” of less than $\pm 5\%$), its cost is about 20–30 times higher than the cost of determining according to sounding data, and the time spent (taking into account driving and “rest”) is tens and even hundreds of times more than when using static sounding. For these reasons, static tests are usually carried out in rare cases (during the construction of high importance or in difficult soil conditions) and sounding is used everywhere (especially in foreign practice). At the same time, geotechnical experts all over the world consider the results of static tests of piles as conditionally “accurate”, and the results of calculations based on sounding data as “close”.

Methods

For a theoretical assessment of the information content of any approximate method, it is necessary to establish

quantitative criteria for the reliability of its results. These are usually data from the previous experience, in the form of a comparison of “accurate” and approximate indicators. When considering the reliability of determining the resistance of piles from sounding data, it is necessary to compare the resistance of piles determined by this method with the resistances taken as a standard, i.e. according to the results of static tests of natural piles (Ryzhkov & Isaev, 2016) in the period 1960s–1980s. Static sounding was performed by installation C-832 (heavy CPT rig of the USSR-Russ; the tensometric cone penetrometer).

The resistance calculations of piles were conducted according to the method described in the Russian regulatory documents in force at that time, i.e. SNiP II-17-77, SNiP 2.02.03-85 (the calculation procedure has remained unchanged to date). The engineering and geological conditions of the sites on which the comparison was carried out were characterized mainly by alluvial, deluvial deposits, mainly clay, but in some cases, sites with other deposits (fluvioglacial, moraine, etc.) were found. The sites were located in the European and West Siberian parts of the former USSR (Ufa, Sterlitamak, Salavat, Neftekamsk, Perm, Tyumen, Samara, Tobolsk, Nizhnevar-tovsk, Ryazan, Moscow, St. Petersburg, Astrakhan, etc.). The tests were associated with industrial and civil buildings’ construction in the period 60–80 years of the twentieth century. Soviet normative documents carried out probing and static testing of the piles. The method of testing and processing the obtained data did not fundamentally differ from the modern Russian rules. The test results

of 504 piles with a cross section from 0.2×0.2 to 0.4×0.4 m (mainly 0.3×0.3 m) and 3–18 m length were used. The tests were carried out in accordance with the requirements of the valid standards for static testing of piles, i.e. State standards GOST 5686-51, GOST 5686-78 (the criteria for assessing the ultimate resistance of piles did not differ significantly from the criteria currently adopted according to the State standard GOST 5686-2012. During static tests of piles, the load at which the draft was 2 cm was taken as the ultimate resistance “which corresponded to Soviet standards (during this period, the requirements of regulatory documents in the USSR were mandatory)”.

Similar results for other approximate tests were obtained in the 1980s by the specialists of the Foundation Project Institute (Ryzhkov et al., 2016).

Displayed on Figure 1 data allow to evaluate the accuracy of individual (single or generalized) values of the resistance of piles. But in practice there is usually a situation where it is necessary to assess not individual resistance values, but of the site as a whole, including finding out the location of its sections with different pile resistances. In other words, it may be necessary to evaluate the numerical “image of the site” in the form of a cartogram of the distribution (in terms of) of the resistance of piles. If such a cartogram is constructed according to approximate data, it will inevitably contain distortions of the true “image”. A similar problem arises when constructing a geological-lithological (or numerical) section from approximate initial data. With inaccurate source data, such a section will also be distorted.

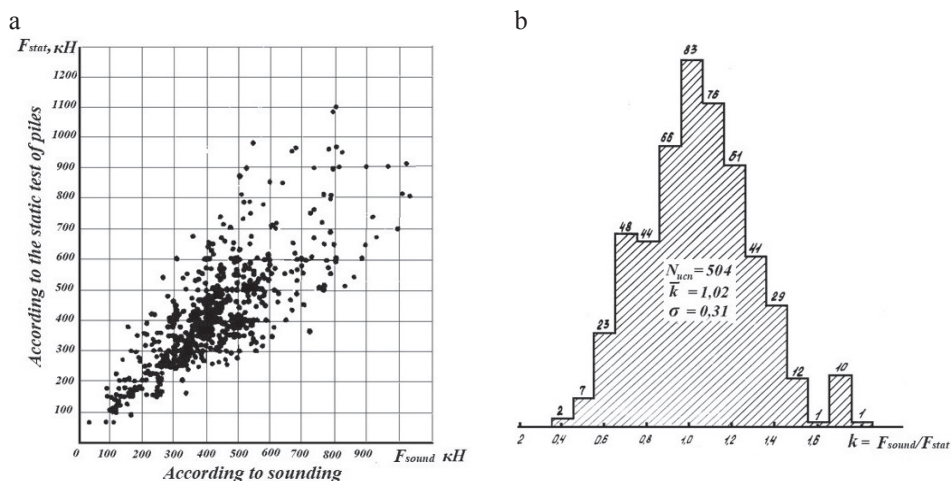


FIGURE 1. Results of comparison of ultimate resistance of driven prismatic piles, calculated according to sounding data, F_{sound} with the resistance obtained by their static tests, F_{stat} : a – scattering diagram of $F_{stat}-F_{sound}$; b – histogram of the distribution of relations F_{sound} / F_{sound} , constructed according to the same data

For a theoretical analysis of the influence of the accuracy of the source data on the resulting cartograms, it is necessary to introduce some quantitative criteria.

Figure 2 shows a site of arbitrary shape, divided into n small sections, within which the ultimate resistance of piles can be considered the same. In

practice, this is possible, for example, with plot sizes of 10–20 m². Each section will be characterized by its ultimate resistance of the piles (F_i), so that the entire site can be represented in the form of a cartogram of these resistances. As already been noted, depending on the reliability of the method for assessing the F_i , this cartogram will differ to some

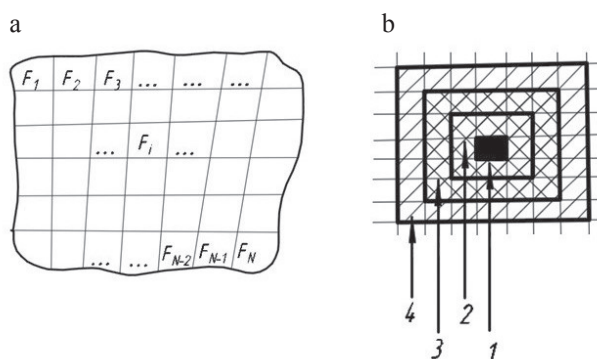


FIGURE 2. Scheme of dividing the site into sections and the scheme taking into account the heterogeneity of the soil when extrapolating the test results outside the test site: a – site plan (cartogram of ultimate resistance of piles F_i); b – zones of extrapolation of test results: 1 – “absolutely” heterogeneous soil; 2 – high heterogeneity; 3 – medium heterogeneity; 4 – almost homogeneous soil

extent from the true distribution of these resistances. The described approach was used by us earlier, but the methodological methods used now seem somewhat outdated (Shannon, 1963).

Let us consider this in more detail from a modern perspective. The number of possible “site images” (N) is very large, it should be

$$N = m^n \quad (1)$$

where:

m – number of possible values of piles resistance (most often they are in the range of 100–250 kH, which with an accuracy of ± 10 kH corresponds to $m = 10\text{--}25$);
 n – number of sites into which the site is divided.

For objects of medium size (1,000–2,000 m²), with an accuracy of estimating the resistance of piles of ± 10 kH, the number of “site images” will be expressed with a value of two to three dozen digits.

Before testing, complete uncertainty is assumed, i.e., all possible values of F_i are assumed to be equally probable. The number of “site images” (N), as noted, should be equal to m^n . After any tests are performed at the site, the uncertainty will decrease, and this decrease should depend on the accuracy of the tests and their number (more precisely, the number of sites on which they were carried out).

A quantitative analysis of such situations allows us to obtain a number of interesting regularities given below.

Results

The need for operations with large quantities is eliminated when using the concepts and representations of informa-

tion theory as mathematical models. So, for a quantitative assessment of the degree of uncertainty of information about the resistance of piles on the site, it is advisable to use the fundamental concept of information theory – entropy (Shannon, 1963; Yaglom & Yaglom, 1973). In the general case, the entropy (H) is understood as the quantity (Shannon, 1963)

$$H = \sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (2)$$

with:

p_i – probability,

i – that state of the system (in the given case i – that “site image”),

N – number of states of the system (in this case, the number of possible “site images”).

Since before the tests all the values F_i are taken equally probable, the probability of each of the considered options (“site images”) before the tests will be the same and equal to $p_i = 1 / (m^n)$. If we evaluate the uncertainty of such a situation by the value of entropy (H), it will be maximum and equal (in bits) (Yaglom & Yaglom, 1973):

$$H = -N \log_2 \left(\frac{1}{N} \right) \quad (3)$$

With the accuracy of determining the piles resistance ± 10 kH and the range of possible values $F_i = 0\text{--}2,500$ kH, i.e. at $m = 250$ (250 possible values of F_i), the entropy will be 8 bits in each section before testing.

After the first test in any site, this uncertainty will decrease. Suppose that a test was performed at the k -th site and the result F_k was obtained. The equal-

ity of probability is broken. On the test site (zone 1, shaded in black in Fig. 2b), the value of the sought indicator corresponding to the test result F_k will have the maximum probability. The closest possible values of F_{t-1} and F_{t+1} will have a lower probability, more distant (F_{t-2} and F_{t+2}) even less, etc. In adjacent sections, probabilities can be taken by interpolation between the values in the test section and outside the extrapolation zone. The distribution of F_k (in the k -th section) will depend on the accuracy of the test. It should correspond to the distribution of possible "errors", which is considered known for this method (from a statistical analysis of data from previous experience). For statistical sounding, such a distribution is shown in Figure 1a.

The change in the probabilities in the k -th section will entail a decrease in the entropy (H_k), which will also affect the overall entropy of the site (H), since according to the ideas of information theory, the entropy of the components of the system is equal to the sum of the entropies of these components. In this case, the total entropy of the values of F_i over the entire site is equal to the sum of the entropies of individual sections.

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_k + \dots + H_n \quad (4)$$

This decrease in H will be the more significant, the more accurate the test. If, for example, the test had a zero error, the uncertainty in the k -th section would completely disappear: the probability of the value of F_k would become equal to 1, i.e. $p(F_k) = 1$, and the entropy in the k -th section (H_k) would become equal zero ($H_k = 1 \log 1 = 0$). Thus, if we take into account the result on the k -th site,

the total entropy would become 8 bits less.

If the test result is partially extended to neighboring sites, the decrease in H will be even greater. Obviously, the possibility of such an extrapolation of the results will depend on the heterogeneity of the soil of the site. We conditionally distinguish four cases of site heterogeneity (Fig. 2b):

- "maximum" heterogeneity, which does not allow any extrapolation of the results outside the test site;
- high heterogeneity, allowing extrapolation of the results to only one row, that is, to the nearest sections directly adjacent to the test site;
- average heterogeneity allowing extrapolation to two rows in all directions;
- homogeneous soil, allowing extrapolation to three rows in each direction.

Testing in any other part of the site would cause a similar decrease in entropy in this site, which also depends on the accuracy of the test. This would further reduce the overall entropy of the site. Thus, each new test will reduce the uncertainty of our ideas about the values of F_i within the site, i.e. reduce the entropy.

Let us consider the idealized example mentioned above, when the entropy became equal to 0 in the test site. The dimensions of the sites were taken to be the same and equal to 3×3 m. In this case, in a homogeneous soil, the test results can be spread by 10.5 m in each direction, and the entropy value there will be 4 bits in this zone (interpolation between 0 and 8 bits). With medium heterogeneity, the test results can be spread

over 7.5 m, and the entropy value in this zone will be 4 bits, as in the previous case. With high heterogeneity, distribution is possible at 4.5 m (entropy is also 4 bits) at maximum at 1.5 m (i.e. within the test site, entropy should be assumed to be 0, beyond it 8 bits).

Obviously, the decrease in the total entropy (H) will be the more significant the more homogeneous the soil.

The difference in entropy before and after the test characterizes the amount of information (Shannon, 1963; Yaglom & Yaglom, 1973)

$$I = H_0 - H_1 \quad (5)$$

with H_0 and H_1 the entropy before and after the test, respectively.

The second test at another section of the same site, as already noted, will lead to a similar decrease in the entropy of N . The third test will additionally also reduce the entropy, etc. The difference between the previous and subsequent entropy values will each time give the amount of information about the site (in bits) introduced by the new test.

This technique allows to evaluate the total amount of information contained in the results of any test group for any accuracy and heterogeneity of the soil.

Let us consider the question of how much information this or that method of determining the piles resistance can bring depending on the reliability of its results and the number of points on the site at which such a determination was made.

Figure 3 shows the curves of the same amount of information on the piles resistance obtained by two independent types of tests of different accuracy for a different number of such tests. In Figure 3a, we examined static sounding and static tests of piles. In Figure 1b, the dynamic tests of piles (calculations of “failures” during driving) and static sounding were compared.

The solid lines show the “equivalent” informative volumes of work, the dashed lines represent the same duration of field work. The shaded areas correspond to situations where the time spent on testing the piles (without preparatory

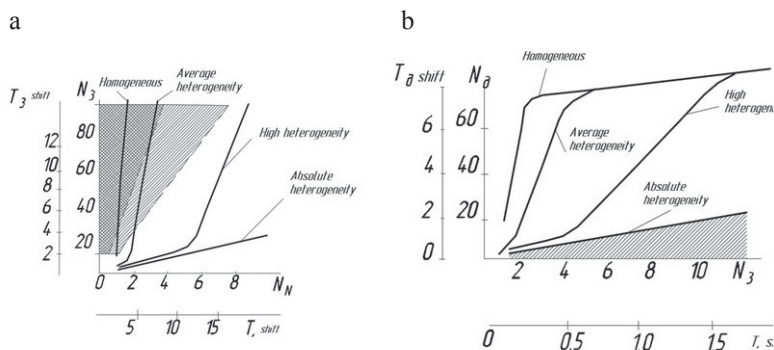


FIGURE 3. Lines of “equivalent” in their informative content quantities of soil tests of different reliability (i.e. introducing the same amount of information about the piles resistance): a – comparison of static sounding with tests of piles with static load; b – the same with dynamic tests of piles. N_3 , N_u , N_d are the numbers of tests, respectively, by sounding, static loads, and dynamic tests; T_3 , T_u , T_d the duration of the test complex, respectively, by sounding, static load, dynamic tests

and auxiliary works) is less than the time spent on the sounding during single-shift (single hatching) or two-shift (double hatching) work.

At the first glance the calculation results shown on Figure 3 reveal a paradoxical result: the amount of information from a sufficiently large number of approximate tests may (due to heterogeneity of the soil) exceed the amount of information from small exact tests. In this case, the concept of “test inaccuracy” conditionally includes the insufficient adequacy of the design scheme used.

The calculation performed for the idealized conditions described above shows that on a site divided into 100 sections in homogeneous soils (according to the criteria adopted above), 20 approximate tests with a unit test error of $\pm 30\%$ characterize the site in much the same way as one “exact” test with an error of $\pm 5\%$. With medium heterogeneity, the same number of approximate tests is equivalent to two exact ones, with high heterogeneity – to five ones (with two exact tests equivalent to six–eight approximate ones), and with “maximum” heterogeneity nine (two exact tests are equivalent to five approximate ones). The accepted separation of soil heterogeneity levels in this mathematical model is taken for reasons of convenience. It is of no fundamental importance, i.e. taking any other division, we get about the same result.

A similar conclusion is drawn from a consideration of the average values of the desired characteristic $\bar{F}$. In this case, it is more convenient to use the standard deviation of the test results (σ) or its relative value – the coefficient of variation ($v = \sigma / F$) (Gmurman, 2000). The very

consideration of average characteristics also deserves attention, since the averaging of test results is one of the stages in establishing the calculated characteristics (according to the standard ISO 2394:2015 and the national standards of many states, including Russia).

The value of the coefficient of variation v should be $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$, where v_1 and v_2 are the coefficients of variation due to the inaccuracy of the test and the heterogeneity of the soil, respectively. The coefficient of variation v_2 for homogeneous soils can be taken equal to 0.025, with an average heterogeneity of 0.1, with a high heterogeneity of 0.2. Non-accuracy of tests can be characterized by coefficients of variation of 0.2 (approximate test) and 0.025 (“accurate”). Naturally, the coefficients of variation adopted for the example are not of fundamental importance, since they are only an illustration of the laws under consideration.

Relative test errors should be equal in accordance with the rules of error theory:

$$\Delta = t_\alpha v \quad (6)$$

where:

t_α – Student’s coefficient, depending on the accepted confidence probability (α) and the number of test results.

The calculations of the errors of the average test results of various accuracy also confirmed the prevailing effect of soil heterogeneity. For example, the error of the average result from two exact tests turns out to be the same as the average of 15 approximate ones – in homogeneous soils; six approximate – in soils of medium heterogeneity; and only

three approximate ones – with high heterogeneity.

Obviously, all of the above does not apply to the site as a whole only, but also to any part of it, to a separate engineering-geological element.

Thus, the heterogeneity of the soil significantly reduces the value of “accurate” tests. It makes the results of such tests seem less representative. If, for example, we assume that at some point on the site an “exact” test revealed the ultimate resistance of a pile of 600 kH, is there a guarantee that at 15–20 m from this point the ultimate resistance will not be one and a half times lower if neither sounding, nor drilling was carried out in this part of the site? Obviously, the answer is negative. For this reason, an insufficient number of tests may in some cases turn out to be more dangerous than their insufficient accuracy. At the same time, “accurate” tests, as already noted, are very expensive, complex, and time consuming. Complex and expensive methods cannot be applied in volumes that allow taking into account the actual heterogeneity of the soil. The use of such a simple method as static sensing completely solves the mentioned problem.

However, it should be noted that in addition to random errors, the results of any tests may contain a systematic error, which is not eliminated by increasing the number of tests. Such an error can be eliminated only by comparing a part of the approximate results with the “exact” ones taken as a standard. The works by Ryzhkov (1995), Ryzhkov and Isaev (2016), and Ryzhkov et al. (2016) describe the method used in Bashkortostan for sharing approximate and “accurate” methods for determining various

geotechnical parameters, including the bearing capacity of piles. Its essence is that the whole territory of the studied site is estimated by the approximate method (“express method”), and in the most typical place or in several places called key sites, “exact” tests are carried out, according to which the adjustment is made to the approximate estimates. The adjustment involves the refinement of the calculation reliability coefficient (γ_k) as applied to the conditions of a particular site.

The theoretical basis for this adjustment is the “Bayesian” approach to sharing data obtained directly on the study site, and as a result of a statistical analysis of data from previous experience. The Bayesian formula is used, which allows to estimate the probabilities of various assumptions (“a priori hypotheses”) again after obtaining any specific data about the studied object (Kay, 1977; Ryzhkov & Isaev, 2016). The role of “a priori hypotheses” is played by statistically processed data from previous experience. In this case, these are the probabilities of the possible values of the bearing capacity of piles. It should be noted that domestic specialists usually use discrete distributions without taking into account the analytical distribution law, while the foreign ones prefer continuous distributions.

In the process of practical application of the obtained results we revealed certain inaccuracies and unnecessary complications that were eliminated, and their modern interpretation is given below (Djamaev, 2018).

The reliability coefficient (γ_k) is proposed to be determined by the formula (Abu-Farsakh et al., 2014):

$$\gamma_k = \left(\frac{F_{u,sound}}{F_{u,full}} \right) + \Delta_{sl} \quad (7)$$

where:

$$\left(\frac{F_{u,sound}}{F_{u,full}} \right) - \text{average ratio of } \left(\frac{F_{u,sound}}{F_{u,full}} \right)$$

in key areas,

Δ_r – an amendment that reflects the impact of random events, determined by Table 1 and correction reflecting the influence of random, determined by Tables 1 and 2,

$F_{u,sound}$, $F_{u,full}$ – limit resistances of piles based on probing data and static tests.

Obviously, the number of results of “accurate” tests can be very insignificant and static sounding allows it to be reduced to values that are economically optimal.

In some cases, the corrective information may be the data of previous surveys, including that in neighboring territories, similar in terms of engineering and geological conditions. The above considerations show that it is advisable to consider the approximate methods of soil testing such as static sounding as a necessary element of research, complementing more accurate tests. Small exact tests, no matter how thoroughly they

TABLE 1. Values of Δ_r at one key site (one static pile test)

k'	≤ 0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.25
Δ_r	0.12	0.11	0.10	0.10	0.08	0.03	0.00

TABLE 2. Values of Δ_r for two key sections (two static tests of piles)

k'_1	Δ_r value at k'_2 equal						
	≤ 0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.25
0.7	0.11	0.10	0.07	0.05	0.03	0.01	–
0.8	0.10	0.10	0.09	0.07	0.05	0.03	0.04
0.9	0.07	0.08	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04
1.0	0.05	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05
1.1	0.03	0.05	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05
1.2	0.01	0.03	0.06	0.06	0.06	0.03	0.03
1.25	–	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.00

As practice has shown, the coefficients k'_1 and k'_2 should be limited to 0.8 and 1.25, i.e. for values k'_1 or k'_2 less than 0.8, take 0.8, for k'_1 or k'_2 more than 1.25, take 1.25. In addition, it was proposed not to take the reliability coefficient γ_k less than 0.95, i.e. upon receipt of the values $\gamma_k < 0.95$, the acceptor is $\gamma_k = 0.95$.

were carried out, without the use of “express methods”, which can be “probed” the entire site, characterize only those areas where they were carried out.

The conducted studies contribute to the alternative to the approach established in the survey practice to establish estimated geotechnical indicators. The adoption as the calculated indicator of

the result of the most accurate test or simply the minimum result does not fully take into account the test conditions and the specifics of a particular site. Nevertheless, despite the absence of objections to the presented ideas, the “Bayesian” methods for adjusting the approximate results are not considered by most of engineers. Apparently, the informational concepts that are so familiar with the use of computers are too unusual in theoretical questions of geological methods. More than 40 years have passed since the publication of the article by Kay (1977) on the application of the Bayesian approach to choosing the permissible load on a pile; nevertheless, practically no one develops this direction except for a narrow circle of Russian geological specialists. The Bayesian approach is mentioned neither in the Western European, nor in the Russian regulatory documents (Doc, 1990; EN 1997-1:2004; EN 1997-2:2007; GOST 5686-78; GOST 5686-2012; ISO 22475-2:2005; ISO 22475-4:2005; ISO 22475-1:2017; SP 47.13330.2012), nor in the textbooks on the foundations. Nevertheless, its application allows (without reducing the reliability of the foundation) to take the load on piles 5–10% higher than the current regulatory documents recommend (Ryzhkov & Isaev, 2016).

Conclusions

Approximate tests performed on the studied site in a sufficiently large amount can carry more information than the small number of “accurate” tests. This is due to the fact that under conditions of real

heterogeneity of the soil, the accuracy of a particular test does not guarantee the representativeness of the result obtained (i.e. its type for a given site).

Due to the fact that an increase in the number of measurements does not reduce “systematic errors”, it is optimal to use static sounding in combination with a few “accurate” tests, which can be used to correct the sounding results, minimizing systematic (for this site) errors. An updated methodology for correcting approximate determinations of the piles resistance with the data of static sounding and statistical tests of piles is proposed.

Using this technique allows to make more economical (5–10%) and more reliable decisions when choosing pile lengths. Inaccuracies in determining the piles resistance are compensated by a special reliability factor, adopted individually for each particular site. This coefficient is established by comparing the approximate values of the piles resistance (according to the sounding data) with the values taken as a standard (i.e. the results of tests of full-scale piles with a static load directly on the study site). This approach is acceptable for the correction of any approximate indicators (not necessarily according to sounding data), and the calculation of particular values of such indicators can be carried out according to the norms of any country. It is only necessary to clarify the corrections reflecting the influence of random factors (see Δ_r values in Tables 1 and 2) depending on the accuracy of the calculations used. With the accuracy of determination corresponding to the scattering diagram in Figure 1, you can use Tables 1 and 2.

References

- Abu-Farsakh, M.Y., Yoon, S. & Tsai, Ch. (2014). *Calibration of resistance factors for CPT-based design methods of axially load driven piles*. 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT'14. Las Vegas, Nevada.
- Davies, T.C. (2015). Urban geology of African megacities. *Journal of African Earth Sciences*, 110, 188-226.
- Djamaev, M.N. (2018). *Improving the reliability of determining the bearing capacity of piles in environmental construction* [abstract of a master's thesis]. Bashkir State Agrarian University, Ufa.
- Doc, W.E.C.C. (1990). *19-1990. Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations*. Western European Calibration Cooperation.
- EN 1997-1:2004. Eurocode 7. Geotechnical design. Part 1: General rules.
- EN 1997-2:2007. Eurocode 7. Geotechnical design. Part 2: Ground investigation and testing.
- Gmurman, B.E. (2000). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of probability and mathematical statistics]. Moskva: Vysshaya shkola.
- GOST 5686-2012. Grunty. Metody polevykh ispytaniy svayami [Soils. Field test methods by pile].
- GOST 5686-51. Svai probnyye. Metody ispytaniy [Test piles. Test methods].
- GOST 5686-78. Svai. Metody polevykh ispytaniy [Piles. Field test methods].
- Hu, C., Yuan, Y., Mei, Y., Qian, W. & Ye, Z. (2018). Initial geo-stress balance method for the finite-element model using the stratum-structure method. *Modern Tunnelling Technology*, 55(4), 76-86.
- ISO 22475-1:2017. Geotechnical investigations and testing. Field testing. Part 1: Static and piezo-static reconnaissance using an electrical probe.
- ISO 22475-2:2005. Geotechnical investigations and testing. Field testing. Part 2: Dynamic probing.
- ISO 22475-4:2005. Geotechnical investigations and testing. Field testing. Part 4: Ménard pressuremeter test.
- ISO 2394:2015. General principles on reliability for structures.
- Kay, J.N. (1977). Factor of safety for pilets in cohesive soils. In *Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Tokyo. Vol. I. Tokyo: Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.
- Khafizov, A., Khazipova, A., Kutliyarov, D., Mustafin, R., Kamaletdinova, L., Nedoseko, I. & Zubairov, R. (2019). Justification of reclamative watershed regimes of the forest-steppe zone of the western part of the Republic of Bashkortostan with regard to their provision with heat and moisture. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 16(2), 101-108.
- Lu, W. & Zhang, G. (2018). Influence mechanism of vertical-horizontal combined loads on the response of a single pile in sand. *Soils and Foundations*, 58(5), 1228-1239.
- Lunne, T., Powell, J.J. & Robertson, P.K. (2002). *Cone penetration testing in geotechnical practice*. Boca Raton: CRC Press.
- Melnikov, N.N., Kalashnik, A.I. & Kalashnik, N.A. (2018). Integrated multi-level geofluid mechanics monitoring system for mine waterworks. *Eurasian Mining*, 2, 7-10.
- Mustafin, R.F., Ryzhkov, I.B., Sultanova, R.R., Khabirov, I.K., Khasanova, L.M., Zagitova, L.R. & Rayanova, A.R. (2018). Assessment of slope stability in coastal water protection zones. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(S10), 8331-8337.
- Qiu, J., Wang, X., Lai, J., Zhang, Q. & Wang, J. (2018). Response characteristics and preventions for seismic subsidence of loess in Northwest China. *Natural Hazards*, 92(3), 1909-1935.
- Ryzhkov, I.B. (1995). The approach to application of static CPT together with other methods of soil investigation. In *International Symposium on Cone Penetration Testing* (pp. 295-300). Lincoping: Swedish Geotechnical Society.
- Ryzhkov, I.B. & Isaev, O.N. (2016). *Cone penetration testing of soils in geotechnics*. Salt-sjö-Duvnäs: Efron & Dotter AB.
- Ryzhkov, I.B., Norshayan, A.V. & Khamidulin, V.A. (2016). *Static sounding of soils: a brief history and current status* (Anniversary

- issue dedicated to the 60th anniversary of the Bashkir Scientific Research Institute of Construction). Ufa: Bashkir Scientific Research Institute of Construction.
- Shennon, K.E. (1963). *Matematicheskaya teoriya kommunikatsii* [The mathematical theory of communication]. Moskva: Izdatel'stvo inostrannoy literatury.
- SNiP II-17-77. Svaynyye fundamenty [Pile foundations].
- SP 24.13330.2011. Svaynyye fundamenty. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.03-85 [Pile foundations. Updated edition of SNiP 2.02.03-85].
- SP 47.13330.2012. Inzhenernyye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnyye polozheniya [Engineering surveys for construction. Basic principles].
- Togliani, G. (2018). Soil behavior and pile design: lesson learned from recent prediction events – part 2: Unusual NC soils. In M.A. Hicks, F. Pisanó & J. Peuchen (eds.), *Cone Penetration Testing 2018. Proceedings of the 4th International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT'18)*, 21-22 June, 2018, Delft, The Netherlands (pp. 623-627). Boca Raton: CRC Press.
- Trofimenkov, Yu.G., Matyashevich, I.A., Leshin, G.M. & Khanin, R.E. (1983). Dostovernost' sposobov opredeleniya raschetnoy nagruzki na zabivnuyu svayu [Reliability of methods for determining the estimated load on a driven pile]. *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, 1, 15-17.
- Viana da Fonseca, A. (2010). CPT regional report for southern Europe. In P.K. Robertson, P.W. Mayne (eds.), *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing: CPT'10*, Huntington Beach, CA, May 9-10, 2010: conference proceedings. California: CPT'10 Organizing Committee.
- Xia, Y., Xiong, Z., Dong, X. & Lu, H. (2017). Risk assessment and decision-making under uncertainty in tunnel and underground engineering. *Entropy*, 19(10), 549. <https://doi.org/10.3390/e19100549>
- Yaglom, A.M. & Yaglom, I.M. (1973). *Veroyatnost' i informatsiya* [Probability and Information]. Moskva: Nauka.
- Zhang, Z.R., Sheng, Q., Yang, Y.S., Zhu, Z.Q., Zhang, Y.M. & Wang, Z.W. (2010). Study of size effect of rock mass deformation modulus based on in-situ test. *Rock and Soil Mechanics*, 31(9), 2875-2881.
- Zhao, T., Sun, J., Zhang, B. & Li, C. (2012). Analysis of slope stability with dynamic overloading from earthquake. *Journal of Earth Science*, 23(3), 285-296.

Summary

Role of accuracy and quantity of field tests in engineering-geotechnical researches for construction.

The aim of this work is to summarize previously conducted studies on the optimization of the unequal geotechnical testing program and on the selection of the desired calculation indicator based on the results of such tests. The approximate, but quick and cheap tests (“express methods”) are recommended to be performed on a large scale and considered as a means of assessing the geotechnical structure of the site as a whole. It is proposed to carry out expensive “accurate” tests in a reduced volume and to use them as a means of correcting approximate tests. In the article, these issues are considered by the example of determining the bearing capacity of piles according to the data of static sounding (cone penetration testing – CPT), dynamic and static tests of full-scale piles. We propose the mathematical model for evaluating the informative content of the test complex, based on the concepts of information theory. The site is mentally divided into several sections, each of which is characterized by one of the possible values of the ultimate resistance of piles of a certain length. All variants of “placement in the plan” of possible values of pile resistances (“site images”) are considered. Initially, when nothing is known about the true value of the pile resistances in each section, all possible values of the pile resistances are assumed to be equally probable, i.e. the uncertainty of the situation is maximum. In the theory of information, such uncertainty is quantified by the value called entropy. When any test is performed at the site, the uncer-

tainty decreases, and the more accurate the test the more significant is the decrease. The difference in entropy before and after the test represents the amount of information (in bits) that these tests carry. The calculations using this model showed that the information content of a large number of approximate tests can (due to heterogeneity of the soil) exceed the information content of small exact tests. Only one approximate test method can lead to the systematic error (overestimation or underestimation of the average value of the desired indicator). It is necessary to carry out control “exact” tests and approximate tests to eliminate such a danger. A technique is proposed for adjusting approximate estimates based on data from “accurate” tests, which ensures optimal “safety margins” in decisions being made.

Authors’ address:

Damir Kutliyarov – corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0002-6819-2518>)

Igor Ryzhkov
(<https://orcid.org/0000-0002-4269-8334>)
Ayrat Khafizov
(<https://orcid.org/0000-0001-7835-4608>)
Ruslan Zubairov
(<https://orcid.org/0000-0002-3646-6772>)
Federal State Budgetary Educational
Establishment of Higher Education
– Bashkir State Agrarian University
Faculty of Nature Management and Construction
Department of Nature Arrangement, Building
and Hydraulics
50-letia Ocityabrya 34, 450001 Ufa
Russian Federation
e-mail: Kutliarov-d@mail.ru

Amir Kutliyarov
(<https://orcid.org/0000-0001-9256-7431>)
Federal State Budgetary Educational
Establishment of Higher Education
– Bashkir State Agrarian University
Faculty of Nature Management and Construction
Department of Land Management
50-letia Ocityabrya 34, 450001 Ufa
Russian Federation

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 435–443
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 435–443
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.37

Salim Q. Al-NAQIB, Ali M. SULAIMAN, Kotayba T. Al-YOUBAKEY

University of Mosul, Dams and Water Resources Research Center

Preliminary investigations of rocks and soil at the lower reach of Al-Shor Wadi for water harvesting

Key words: water investigations, Al-Shor Wadi, water harvesting, Mosul, dams

Introduction

Rainwater harvesting is one of the promising ways of supplementing the surface and underground scarce water resources in areas where existing water supply system is inadequate to meet demand. Rainwater harvesting has been used for generations to cope with water scarcity and climatic uncertainty in arid and semiarid regions (Aladenola & Adeboye, 2010; Adham, Riksen, Quessar & Abed, 2017).

The critical need to the water in western areas of Mosul city and desertification progradation led to the study of the major water resources and to select the best site for the proposed dam on Al-Shor Wadi to store different harvested water types. Water harvesting in Iraq is an old application with limited extent.

Western Desert, Jazeera Desert and Eastern Valleys are the zones where the water harvesting must be employed (Abdullah, Al-Ansari & Laue, 2020). Two main sources of water prevailing the area; the precipitation in winter and the karstic spring water runoff in the area around, which collects their waters by the Al-Shor Wadi. The monthly average of: temperature, wind velocity and relative humidity for Tel Afar weathering station for the period 1961–2006 are shown in Table 1.

The dry years pass through Mosul reflected the rainfall declination which eventually affected the agricultural activities particularly in the northeastern part of Mosul and Al-Jazeera, weathering stations display by Mosul, Sinjar and Tel-Afer (Rasheed, 2010; Table 2). As well as, there is limited opportunity to recharge groundwater in Jazeera area due to existence of gypsum layers (Abdullah Al-Ansari & Laue, 2020), which are belong to Fat'ha Formation.

TABLE 1. Monthly average of temperature, wind velocity and relative humidity for Tel-Afer weathering station for the period 1961–2006

Month	Temperature [°C]	Wind velocity [km·h ⁻¹]	Relative humidity [%]
January	6.7	2.7	74
February	8.7	2.9	67
March	13	2.9	61
April	17.8	2.9	55
May	24.8	3.1	37
June	30.4	3.4	25
July	33.9	3.4	20
August	33.6	3.4	20
September	30	3.1	22
October	22.2	2.8	35
November	14.7	2.4	52
Decemer	8.5	2.9	73

TABLE 2. The highest and the lowest annual precipitation and the statistical medians for Mosul, Tel-Afer and Sinjar weathering stations for the period 1941–2002 (after Rasheed, 2010)

Weathering stations	Annual precipitation [mm]		
	the highest	the lowest	median
Mosul	632	129	377
Tel-Afer	613	134	331.2
Sinjar	670	164	392.8

The harvested water could be used for small agricultural projects and animals drinking. As well as, the stored water could be used as a good source for groundwater recharge. In an attempt of water harvesting west of Mosul, Al-Hamadani, Abdul-Baqee and Al-Shakarji (2010) used the WMS program to determine the best sites of dams on Al-Mur Wadi and Al-Shor Wadi. Twelve potential water-harvesting sites within Salah Al-Din Governorate, northern Baghdad, Iraq have been identified according to the remote sensing and GIS-based tech-

niques, which are used for this purpose (Alwan, Karim, Nadia & Aziz, 2019).

Al-Shor Wadi

The wadi runs in SW–NE direction, collects its rainfall water from the catchment area from the northeastern limbs of Shaikh Ibrahim and Saasan anticlines and the southwestern limbs of Qusair anticline (Fig. 1), to unite with Al-Mur Wadi and eventually to drain water south of Askia Mosul in the Tigris river. In the

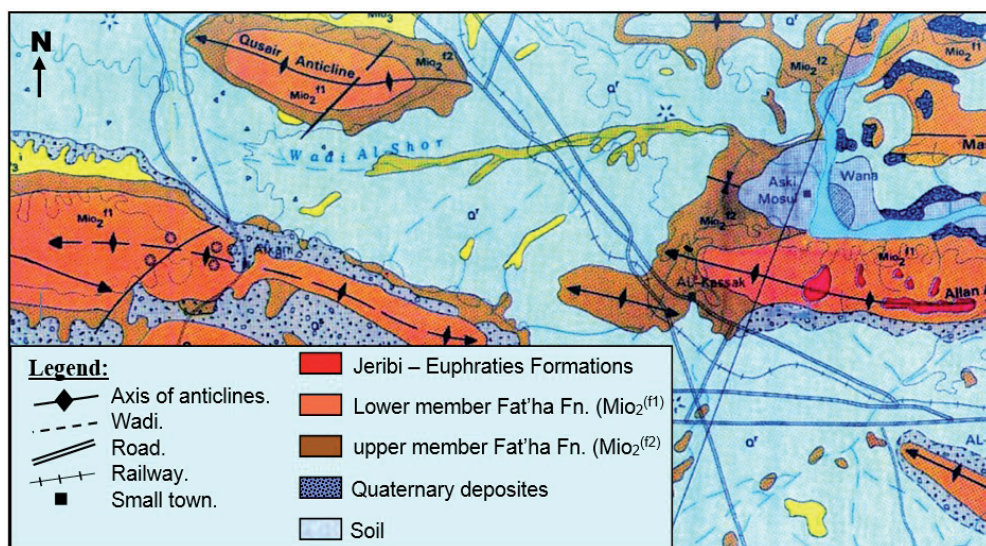


FIGURE 1. Geological map of the proposed dam site on Al-Shor Wadi (after State Establishment of Geological Survey and Mining, Geological map of Mosul Quadrangle, sheet HJ-38-13)

selected dam area, the wadi forms curve and give the northwestern Ala'an anticlinal plunge its rounded shape.

upward cycles of fluvial dominated deltas (Al-Naqib & Aghwan, 1993).

Geology

It is worth mentioning that Ala'an anticline extends nearly E-W direction with a slight shift to the NW-SE direction for its western plunge. Fat'ha Formation dominating all the outcrop areas and the Quaternary sediments furnishing the peneplain areas which were mostly used for agricultural activities.

The Fat'ha Formation was divided into two members by Al-Mubarak and Youkhana (1976); the lower and the upper one (Fig. 2). Both members were made up of a cyclic pattern of marl, limestone, and gypsum, but the upper one has a distinctive addition of red clastics of mudstone and fine sandstone. These additives represent successive coarsening

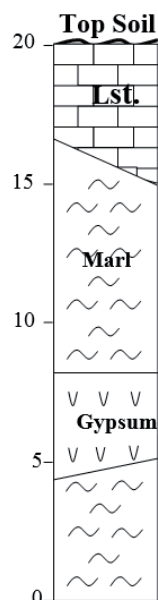


FIGURE 2. Lithologic section of the proposed dam site

The best position selected for dam construction on Al-Shor Wadi is confined due 3630.084N and 04240.499E in Figures 3 and 4 (according to the local GPS program). The selection relies on the presence of suitable very tough limestone bedrock foundation, least gypsum thickness, and high marl thicknesses, suitable elevation for dam height to achieve expected large water volume storage and the least or absence of karsts.

Anyhow, the main rock types furnishing the proposed dam site and lake beyond, from bottom to top:

- Marl 3–6-meter thick, yellow to yellowish brown, tough to medium tough, sometimes shows blocky appearance in fresh samples.
- Nodular gypsum 3–5-meter thick overlain the previous marl bed. The nodular gypsum bed is characterized by white to yellowish-white, some-

times greyish white, tough to very tough and has secondary gypsum along bedding planes. Very thinly laminated marl seams are occasionally coating the nodules. This bed forming scarps on both wadi sides and is overlain by thick marl bed.

- Marl 7–9-meter thick, yellowish-brown, medium tough to tough giving rise to its overlaying limestone bed to appear as the ridge.
- Limestone 3–5-meter thick, pale brown to yellowish brown, thinly bedded, jointed and fractured forms V-shape valley. It is well outcropped at the eastern (right) side of the wadi forming ridge. The angle of bedding planes went gentler at the western side of the rounded Alaan plunge furnishing relatively wide areas and forming small limestone fragments on the peneplane areas although its

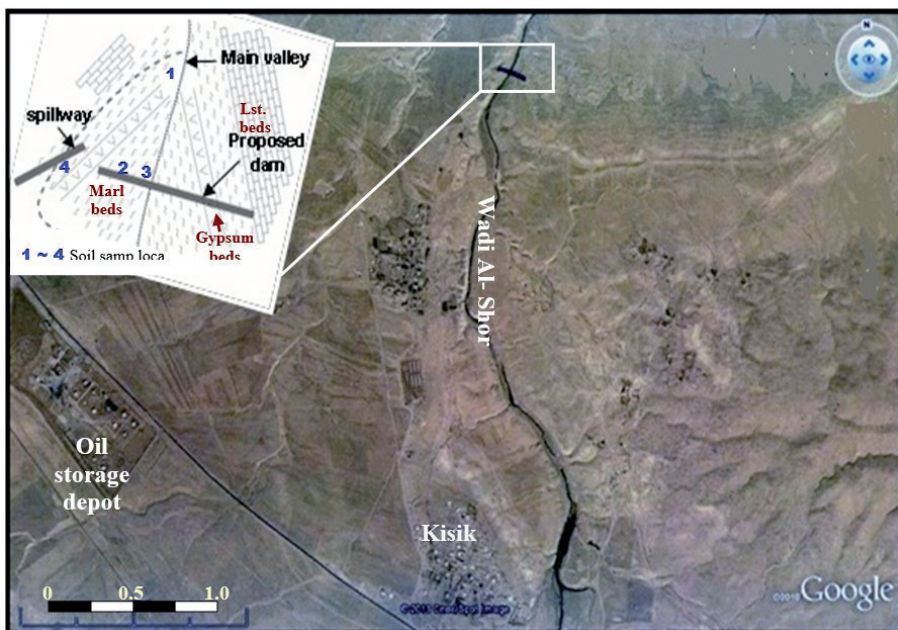


FIGURE 3. Satellite view of the proposed dam location with geological structure of the area



FIGURE 4. Location of the proposed dam

bed roots still appear in the valley bottom.

Bader (2008) studied the soil in the Al-Jazira area near Al-Jazira Irrigation Project, she indicated that about 60% of the area be saline and rising the level of the groundwater. Sulaiman and Abdul-Baqee (2013) studied the water quality of Al-Mur Wadi, they indicated that its water is regarded as very high saline, which is considered negative indicators for irrigation. Al-Youzbakey and Sulaiman (2017) studied the chemical composition of the springs in Al-Shor Wadi for cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} and K^{+}) and anion (HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} and NO_3^{-}), which shows that there is an increase in calcium and sulfate concentrations due to the dissolving of aquifer rocks (gypsum, limestone, and marly limestone). So that Al-Shor Wadi water is not suitable for drinking but it may be used for irrigation for the high salinity bearing plants.

Methodology

1. The office works involved geologic map preparation and Google Earth photographic interpretation.
2. Fieldworks:
 - a) Field checking for the selected proposed dam construction site.
 - b) Sampling of various rock types and soils in the selected site of the dam and the proposed lake.
3. Water sampling from the Al-Shore Wadi tributaries.
4. Laboratory works:
 - a) Soil and rock samples preparation and physical tests for the soil texture, field density, porosity, bulk density, and salt contents, according to soil physical treatment standards (Blake & Hartage, 1986).
 - b) Water quality for cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+}) and anion (HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , NO_3^{-}) were

analyzed in the geochemical laboratory in Dams and Water Resources Research Center according to the water analysis standard methods (Abawi & Hassan, 1990). Sodium and potassium were analyzed by flame spectrophotometer, calcium, magnesium, and alkalinity by titration, sulfates by UV-method and the other ions by the colorimetric method.

Results and discussion

The high temperature during the summer season, the dry years about 56% and the wet years about 44%, according to Rasheed (2010), and the drop in relative humidity for the years 1961–2006 could indicate the need for water harvesting in the drylands.

Table 3 revealed high clay and silt percent and low sand percent in sites 1, 2, and 4 giving rise to silty clay. The sand percent is noticed to be increased in site 3 which displays the valley bottom, which can be classified as silty loam. The latter resulted from different depositional processes like; valley shoulder rock washing and sediments derived by surface runoff from nearby areas. The results show relatively low to medium permeability and

the salt content ranges from 1 to 1.6%, whereas the total porosity ranges from 43.1 to 56.7%. So, the increase of clay percent and the total porosity may indicate a good sign for the increase of field soil capacity. Consequently, less water infiltration will be produced. This has resulted in a marked increase in water storage within the soil. Anyhow, the high salt content in the area, in general, could cause increase its solubility during water storage and hence leads to increase water movement activities within the soil according to their persistence in the proposed dam lake.

The chemical properties of the water as shown in Table 4 represent the high concentration of calcium, magnesium and bicarbonates, which reflected the effect of dissolving and leaching on limestones of Fat'ha Formation. Additionally, the higher concentration of sulfates could be related to the calcium in the evaporite rocks (e.g. gypsum and anhydrite). Magnesium also presents in clay minerals (e.g. chlorite) in marls in the same formation, this type of rocks exposed to the water activity which causes dissolving magnesium.

In addition to the presence of secondary minerals-like halite, which dissolved easily by infiltrated water and groundwater led to increased sodium and chloride in the water. Potassium and

TABLE 3. The soil texture, porosity, and density of the soil in the studied sites

Location	Soil type	Total porosity [%]	Salts [%]	Clay [%]	Silt [%]	Sand [%]	Bulk density [gm·cm ⁻³]	Field density [gm·cm ⁻³]
1	silty clay	53.5	1.0	41.6	53.4	5.0	2.64	1.23
2	silty clay	43.1	1.6	43.5	46.5	10.0	2.30	1.13
3	silt loam	43.4	1.2	12.6	65.8	21.6	2.59	1.47
4	silty clay	56.7	1.2	47.2	44.8	8.0	2.70	1.17

TABLE 4. The physical and chemical properties of water from the stream

Water sample	Physical properties		Chemical properties							
	EC [$\mu\text{mhs}\cdot\text{cm}^{-1}$]	pH	anion [ppm]				cation [ppm]			
			NO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
S1	2 721	8.0	5	174	1 624	435	2	35	178	632
S2	2 932	8.2	5	187	1 774	448	3	46	171	671
S3	2 966	8.1	3	161	1 482	391	1	32	144	612
S4	3 139	8.1	3	182	1 561	475	3	49	128	635
Water sample	TH [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	TDS [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	anion [epm]				cation [epm]			
			NO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
S1	2 240	3 346	0.08	4.90	33.83	7.13	0.05	1.52	14.65	31.60
S2	2 290	3 471	0.08	5.27	36.96	7.34	0.08	2.00	14.07	33.55
S3	1 870	3 569	0.05	4.54	30.88	6.41	0.03	1.39	11.85	30.60
S4	1 810	3 552	0.05	5.13	32.52	7.79	0.08	2.13	10.53	31.75

nitrites were found in low concentrations because they represent mostly the activity of limited fertilization.

The most physical properties reflected by the type of aquifer rocks and their ability to dissolve in groundwater.

The pH of the water samples about 8.0–8.2, it may be due to the effect of alkalinity (bicarbonates), which yields from the dissolution of limestones within Fat'ha Formation. The electrical conductivity (EC) related to the dissolution of ions to groundwater from limestones and gypsum. The EC values range of 2,721–3,139 $\mu\text{mhs}\cdot\text{cm}^{-1}$ reflected the high concentration of ions. The dissolution process by groundwater sharing with the infiltration of runoff water rises the activity of the dissolution of sulfate and bicarbonate rocks of the aquifer. This is increasing the total dissolved solids (TDS) 3,346–3,569 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ and the total hardness (TH) 1,810–2,290 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

According to the chemical and physical properties of Al-Shor Wadi, which related to the water quality of the many

small springs along the wadi, the suitability of water to use for agriculture is low and related to the plants that bear the high salinity water conditions, so that it is not suitable for drinking too.

The water of Al-Shor Wadi is classified as very hard because $\text{TH} > 300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Tchobanoglous & Schroeder, 1985), and this water is a moderate saline water type depends on the TDS value are between 1,000–10,000 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Davis & De Wiest, 1966). It is clear that, the solubility of evaporites of Fat'ha Formation. Classified the water as non-carbonate hardness due to the high concentration of sulfate which pointed in the sixth area of Piper diagram (Khattab, 2000). Train (1979) classified the water depending on the TDS. The TDS values are between 2,000–5,000 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, which indicates the ability to use water for irrigation plants that bear high salinity water conditions. As well as, the American Saline Lab. classified the water according to EC and TDS to four types (C1–C4), the studied water samples represent the type C4,

which used for plants that bear the high salinity water conditions.

The above assessment of Al-Shor Wadi water encourage to improve the water quality by water harvesting technique. This technique will collect the precipitation behind a small dam in the selected location. The precipitation will dilute the concentration of dissolved salts and improve the usage of water for agricultural purposes.

Conclusions

The primary soil tests, the proposed geological site for both the dam and the lake behind it, and the good proposed height of the dam at the site of about 17 m, can provide adequate water storage volume, and improve water quality for agricultural purposes, in addition to the least karstification in the proposed lake give good importance for the recommendation of the dam site.

Acknowledgements

I thank my colleague Dr. Azealddin Saleh Al-Jawadi for his kind efforts in reading the manuscript.

References

- Abawi, S.A. & Hassan, M.S. (1990). *The practice engineering for environment. Water analysis*. Mosul: Dar Al-Hekma for Publishing, University of Mosul.
- Abdullah, M., Al-Ansari, N. & Laue, J. (2020). Water harvesting in Iraq: status and opportunities. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 10(1), 199-217.
- Adham, A., Riksen, M., Ouessar, M. & Abed, R. (2017). *Water and land security in drylands. Response to climate change*. Berlin: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-54021-4>
- Aladenola, O.O. & Adeboye, O.B. (2010). Assessing the potential for rainwater harvesting. *Water Resources Management*, 24(10), 2129-2137.
- Al-Hamadani, A.A., Abdul-Baqee, Y.T. & Al-Shakarji, B.M. (2010). Rainwater harvesting for Al-Murr valley – Ninevah Governorate, Northern Iraq. *Iraqi Journal of Desert Studies*, 1(1), 72-85.
- Al-Mubarak, M.A.R. & Youkhana, R.Y. (1976). *The Regional Geological Mapping of Al-Fat'ha, Mosul area*. Geosurvey.
- Al-Naqib, S.Q. & Aghwan, T.A. (1993). Sedimentological study of the clastic units of the Lower Fars Formation. *Iraqi Geological Journal*, 26(3), 108-121.
- Alwan, I.A., Karim, H.H. & Nadia, A. & Aziz, N.A. (2019). Selecting the potential water harvesting sites using fuzzy GIS-based spatial selecting the potential water harvesting sites using fuzzy GIS-baseds multi-criteria evaluation in Salah Al-Din Governorate, Iraq. *Engineering and Technology Journal*, 37, Part C(2), 220-227. <https://doi.org/10.30684/etj.37.2C.4>
- Al-Youzbakey, K.T. & Sulaiman, A.M. (2017). Hydrochemical evaluation of Wadi Al-Shoor water resources, Northern Iraq. *International Journal of Environment & Water*, 6(1), 106-114.
- Bader, H.H. (2008). Effect of Irrigation on the Soil. In *The 6th Periodical Scientific Conference for Dams and Water Resources Research Center*, Mosul 27-28.10.2008 (pp. 175-184). Mosul: Mosul University Press.
- Blake, G.R. & Hartage, K.H. (1986). *Methods of soil analysis, part 1: physical and mineralogical methods*. Madison, WI: American Society of Agronomy.
- Davis, S.N. & De Wiest, R.J.M. (1966). *Hydrogeology*. London: John Eiley & Sons.
- Khattab, M.F.O. (2000). *Hydrological Bashiqa area, Northern Iraq, and the mathematical model for the groundwater flow in the area*. Mosul: University of Mosul.
- Rasheed, A.M.M. (2010). Analysis of rainfall drought periods in the North of Iraq using Standard Precipitation Index (SPI). *Al-*

- Rafldain Engineering Journal*, 18(2), 60-72.
<https://doi.org/10.33899/rengj.2010.28187>
- Sulaiman, A.M. & Abdul Baqee, Y.T. (2013). *Quality evaluation to Wadi Al-Murr for irrigation, lower north Jazira irrigation, Northern Iraq*. The Conference of the College of Engineering on the Occasion of the Golden Jubilee, 19–21 November 2013.
- Tchobanoglous, G. & Schroeder, E.D. (1985). *Water quality: characteristic, modeling, modification*. Boston: Addison-Wesley Publishing.
- Train, R.E. (1979). *Quality criteria for water*. London: Castle House Publication.

Summary

Preliminary investigations of rocks and soil at the lower reach of Al-Shor Wadi for water harvesting. The last four decades weather forecasting data marks the precipitation declination and increase dry years, in addition to the desertification migration on the west and northwestern Mosul city. This

led to studying the Al-Shor Wadi area to try to make use of the karstic spring water flow through it and to harvest the rainfall flow water. These need to select the best site to construct a dam taking into consideration the geological and geotechnical characteristics of both dam site and lake behind. The dam site appears to be appropriate relying on the large thickness and frequencies of the marl bed, the restriction of gypsum bed thicknesses and frequencies as well as, of the approximate nill karstification.

Authors' address:

Salim Q. Al-Naqib
 Ali M. Sulaiman
 (<https://orcid.org/0000-0002-7424-8514>)
 Kotayba T. Al-Youzbakey – corresponding author
 (<https://orcid.org/0000-0003-4155-6817>)
 University of Mosul
 Dams and Water Resources Research Center
 Mosul, Iraq
 e-mail: kotaybatawfiq@uomosul.edu.iq

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 444–453

Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 444–453

Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)

<http://iks.pn.sggw.pl>

DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.38

Mykoła NAGIRNIAK

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Inżynierii Lądowej

Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Institute of Civil Engineering

Płyty kołowe Hencky’ego–Bolle’a spoczywające na podłożu sprężystym Własowa

Hencky–Bolle’s circular plates resting on the Vlasov’s elastic subsoil

Słowa kluczowe: płyty kołowe Hencky’ego–Bolle’a, podłoże Winklera, podłoże Własowa

Key words: Hencky–Bolle’s circular plates, Winkler’s subsoil, Vlasov’s subsoil

Wprowadzenie

W praktyce inżynierskiej istnieje potrzeba rozwiązania zagadnień zginania płyt spoczywających na podłożu gruntowym, będących fundamentem budynków i innych obiektów inżynierskich. Naprężenia i przemieszczenia konstrukcji w znacznym stopniu zależą od właściwego zaprojektowania fundamentu. Płyty średniej grubości rozmaitego kształtu są stosowane przy budownictwie dużej liczby obiektów budowlanych (Gabbasow i Hoang Tuan, 2014). Budynki, zbiorniki, piece, kominy itp. konstrukcje w kształcie koła, a także maszty, wieże,

elektrownie wiatrowe często posadowione są na płytach kołowych średniej grubości lub grubych. Płyty kołowe jako fundamenty pod kominami czy masztami są głównie obciążone siłą skupioną lub równomiernym obciążeniem na okręgu koła o danym promieniu, w szczególności na brzegu płyty. Sposób rozwiązania tak obciążonych płyt cienkich Kirchhoffa spoczywających na podłożu dwuparametrowym przedstawiono w monografii Własowa i Leontiewa (1960).

Zagadnienia współpracy konstrukcji z podłożem najczęściej dotyczą fundamentowania i obudowy wykopów. Aktualnie duże przedsięwzięcia (np. fundamenty wysokościowców) są w praktyce obliczane metodą elementów skończonych przy wykorzystaniu sprężysto-plastycznego modelu gruntu. Zdecydowana większość zagadnień dotyczących mniejszych obiektów jest rozwiązywana

przy wykorzystaniu programów, w których podłoże reprezentowane jest przez materiał sprężysty odpowiadający założeniom Winklera. Takie podejście jest powszechnie krytykowane ze względu na nieadekwatność założeń teorii Winklera do podłoża gruntowego, np. w pracy Bednarka (2014). Przede wszystkim współczynnik sprężystości podłoża (k) nie jest wielkością stałą dla danego gruntu. Także model Winklera nie uwzględnia przemieszczeń podłoża poza obciążonym miejscem, np. w przypadku belki obciążonej równomiernie (Leontiew, Leontiew, Sobolew i Anochin, 1982).

W literaturze przedmiotu znajdujemy prace, w których opisano zginanie płyt zarówno cienkich Kirchhoffa spoczywających na podłożach Winklera i Własowa, półprzestrzeni sprężystej i innych modelach podłoża, jak i średniej grubości (głównie teorii płyt Reissnera) bądź grubych spoczywających głównie na podłożu Winklera (Zwoliński, 1980). Wybór teorii płyt zależy od rozważanego problemu i żądanej dokładności rozwiązania. Teorie jednorodnych płyt średniej grubości należy stosować w przypadku, gdy iloraz grubości płyty (h) do charakterystycznego wymiaru (a) jest większy od $1/10$, a mniejszy od $1/4$ (Jemielita 2001). Teorie te zastosowano m.in. przy badaniu efektu brzegowego (Bolle, 1947; Nagirniak, 2019).

W prezentowanej pracy, w odróżnieniu od monografii Własowa i Leontiewa (1960), rozpatrzono płyty średniej grubości Hencky'ego–Bolle'a spoczywające na podłożu sprężystym Własowa. Porównano wartości przemieszczeń i sił przekrojowych otrzymanych według teorii płyt Kirchhoffa i uogólnionej teorii płyt Hencky'ego–Bolle'a spoczywa-

jących na podłożu sprężystym Własowa. Zbadano wpływ współczynnika Poissona materiału płyty na wartości ugięć i sił przekrojowych.

Równanie różniczkowe płyt spoczywających na podłożu sprężystym Własowa

W pracy Nagirniaka (2020) przedstawiono m.in. następujące równania płyt na podłożu sprężystym Własowa, właściwości którego są opisywane dwoma uogólnionymi charakterystykami k i t , przy założeniu, że kontakt między płytą a podłożem zawsze istnieje (więzy dwustronne, oznacza to spełnienia równości $w(x_\alpha) = w_g(x_\alpha, 0)$):

– płyty cienkiej Kirchhoffa

$$\nabla^4 w(x_\alpha) - 2r_1^2 \nabla^2 w(x_\alpha) + s_1^4 w(x_\alpha) = \frac{p(x_\alpha)}{D} \quad (1)$$

gdzie:

$$r_1^2 = \frac{t}{D}, \quad s_1^4 = \frac{k}{D} \quad (2)$$

$$k = \frac{E_g (1 - \nu_g)}{(1 + \nu_g)(1 - 2\nu_g)} \int_0^{h_g} \left(\frac{d}{dz} (\mathcal{G}(z)) \right)^2 dz \quad (3)$$

$$t = \frac{E_g}{4(1 + \nu_g)} \int_0^{h_g} \mathcal{G}(z)^2 dz \quad (4)$$

E_g – moduł sprężystości gruntu [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$],
 ν_g – współczynnik Poissona gruntu [-],
 h_g – grubość warstwy gruntu [m],

$\mathcal{G}(z)$ – funkcja zanikania przemieszczeń z głębokością [-],

D – sztywność płyty na zginanie [$\text{N}\cdot\text{m}$],

$p(x_\alpha)$ – obciążenie zewnętrzne działające na płytę [$\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$];

– płyty średniej grubości Hencky’ego–Bolle’a

$$\nabla^4 w(x_\alpha) - 2r_2^2 \nabla^2 w(x_\alpha) + s_2^4 w(x_\alpha) =$$

$$= \frac{p(x_\alpha)}{D} - \frac{1}{K} \nabla^2 p(x_\alpha)$$

(5)

$$\nabla^2 \psi - \frac{2K}{D(1-\nu)} \psi = 0$$

(6)

gdzie:

$$r_2^2 = \frac{\left(\frac{k}{K} + \frac{t}{D}\right)}{2\left(1 + \frac{t}{K}\right)}, \quad s_2^4 = \frac{k}{D\left(1 + \frac{t}{K}\right)} \quad (7)$$

ψ – część rotacyjna wektora przemieszczeń,

K – sztywność płyty na ścinanie [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$].

Funkcja $\mathcal{G}(z)$ jest funkcją zanikania przemieszczeń w podłożu, przy czym przyjmujemy $\mathcal{G}(z) = 1$.

Własow proponuje przyjąć następujące postacie funkcji $\mathcal{G}(z)$:

– funkcję liniową

$$\mathcal{G}(z) = 1 - \frac{z}{h_g} \quad (8)$$

– funkcję hiperboliczną

$$\mathcal{G}(z) = \frac{sh\gamma(h_g - z)}{sh\gamma h_g} = \frac{sh\gamma_1\left(1 - \frac{z}{h_g}\right)}{sh\gamma_1} \quad (9)$$

gdzie:

γ – współczynnik zanikania osiadania gruntu [m^{-1}],

γ_1 – współczynnik zanikania osiadania gruntu [-].

Równanie modelu podłoża Własowa zapiszemy w postaci (Własow i Leontiew, 1960):

$$q(x_\alpha) = kw_g(x_\alpha) - 2t\nabla^2 w_g(x_\alpha) \quad (10)$$

W przypadku ugięć obrotowo symetrycznych płyt kołowych spoczywających na podłożu sprężystym równania (1) i (5) stają się równaniami różniczkowymi zwyczajnymi:

– płyty cienkiej Kirchhoffa na podłożu Własowa

$$\left\{ \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} \right) \right]^2 - 2r_1^2 \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} \right) + s_1^4 \right\} w = \frac{p(r)}{D} \quad (11)$$

– płyty średniej grubości Hencky’ego–Bolle’a na podłożu Własowa

$$\left\{ \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} \right) \right]^2 - 2r_2^2 \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} \right) + s_2^4 \right\} w(r) = \frac{p(r)}{D} - \frac{1}{K} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} \right) \right] p(r) \quad (12)$$

$$\left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d}{dr} \right) - \frac{2K}{D(1-\nu)} \right] \psi(r) = 0 \quad (13)$$

Wprowadźmy współrzędną bezwymiarową $\rho = \frac{r}{a}$, przy czym a jest wielkością o wymiarze długości, np. promień płyty.

W przypadku kiedy na płytę nie działa rozłożone obciążenie powierzchniowe

(p), jednorodne równania różniczkowe (11) i (12) zapiszemy w postaci:

$$\left\{ \left[\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{d}{d\rho} \right) \right]^2 - 2\hat{r}_\alpha^2 \frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{d}{d\rho} \right) + \hat{s}_\alpha^4 \right\} w(\rho) = 0 \quad (14)$$

gdzie:

$$\hat{r}_\alpha^2 = r_\alpha^2 a^2, \quad \hat{s}_\alpha^4 = s_\alpha^4 a^4, \quad \alpha = 1, 2 \quad (15)$$

a równanie (13) przyjmuje postać:

$$\left[\frac{1}{a^2 \rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{d}{d\rho} \right) - \frac{2K}{D(1-\nu)} \right] \Psi(\rho) = 0 \quad (16)$$

Równania (14) możemy zapisać w postaci iloczynowej:

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{d}{d\rho} \right) - \left(\hat{r}_\alpha^2 + \sqrt{\hat{r}_\alpha^4 - \hat{s}_\alpha^4} \right) \right] \times \\ \times \left[\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{d}{d\rho} \right) - \left(\hat{r}_\alpha^2 - \sqrt{\hat{r}_\alpha^4 - \hat{s}_\alpha^4} \right) \right] w(\rho) = 0 \quad (17)$$

Rozwiązanie równania różniczkowego czwartego rzędu można zastąpić układem dwóch równań drugiego rzędu:

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{d}{d\rho} \right) - \mu_{\alpha\beta}^2 \right] w_{\alpha\beta}(\rho) = 0 \quad (18)$$

gdzie:

$$\mu_{\alpha\beta}^2 = \hat{r}_\alpha^2 \pm \sqrt{\hat{r}_\alpha^4 - \hat{s}_\alpha^4} \quad (19)$$

gdzie:

$$\alpha = 1, 2; \beta = 1, 2.$$

Przy oznaczeniach:

$$\mu_{\alpha 1} = \sqrt{\hat{r}_\alpha^2 + \sqrt{\hat{r}_\alpha^4 - \hat{s}_\alpha^4}} \quad (20) \\ \mu_{\alpha 2} = \sqrt{\hat{r}_\alpha^2 - \sqrt{\hat{r}_\alpha^4 - \hat{s}_\alpha^4}}$$

równania różniczkowe (18) zapiszemy w postaci:

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{d}{d\rho} \right) - \mu_{\alpha 1}^2 \right] w_{\alpha 1} = 0 \quad (21) \\ \left[\frac{1}{\rho} \frac{d}{d\rho} \left(\rho \frac{d}{d\rho} \right) - \mu_{\alpha 2}^2 \right] w_{\alpha 2} = 0$$

Rozpatrzmy dwa przypadki:

$$1. \hat{r}_\alpha^4 > \hat{s}_\alpha^4$$

W tym przypadku rozwiązaniem równania różniczkowego (14) są zmodyfikowane funkcje Bessela zerowego rzędu, pierwszego i drugiego rodzaju. Całkę ogólną równania (14) zapiszemy w postaci:

$$w_\alpha(\rho) = C_1 I_0(\mu_{\alpha 1} \rho) + \\ + C_2 K_0(\mu_{\alpha 1} \rho) + C_3 I_0(\mu_{\alpha 2} \rho) + \\ + C_4 K_0(\mu_{\alpha 2} \rho) \quad (22)$$

$$2. \hat{r}_\alpha^4 < \hat{s}_\alpha^4$$

W tym przypadku parametry $\mu_{\alpha\beta}^2$ są liczbami zespolonymi

$$\mu_{\alpha\delta}^2 = \hat{r}_\alpha^2 \pm i\sqrt{\hat{s}_\alpha^4 - \hat{r}_\alpha^4} \quad (23)$$

Rozwiązanie równania (14) tym razem można przedstawić w postaci (Kączkowski, 2000):

$$\begin{aligned}
w_\alpha(\rho) = & C_1 \text{ber}(\kappa_\alpha \rho, \psi_\alpha) + \\
& + C_2 \text{bei}(\kappa_\alpha \rho, \psi_\alpha) + \\
& + C_3 \text{ker}(\kappa_\alpha \rho, \psi_\alpha) + \\
& + C_4 \text{kei}(\kappa_\alpha \rho, \psi_\alpha)
\end{aligned} \quad (24)$$

gdzie:

$$\kappa_\alpha^2 = \hat{s}_\alpha^2, \quad \psi_\alpha = \frac{1}{2} \arccos\left(\frac{\hat{r}_\alpha^2}{\hat{s}_\alpha^2}\right) \quad (25)$$

$\text{ber}(\rho, \psi)$, $\text{bei}(\rho, \psi)$, $\text{ker}(\rho, \psi)$, $\text{kei}(\rho, \psi)$ – zmodyfikowane funkcje Bessela, przy czym (Kączkowski, 2000):

$$\text{ber}(\rho, \psi) = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\rho^{2n} \cos(2n\psi)}{2^{2n} (n!)^2} \right) \quad (26)$$

$$\text{bei}(\rho, \psi) = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{\rho^{2n} \sin(2n\psi)}{2^{2n} (n!)^2} \right) \quad (27)$$

$$\begin{aligned}
\text{kei}(\rho, \psi) = & [\ln 2 - C - \ln(\rho)] \text{bei}(\rho, \psi) - \\
& - \psi \text{ber}(\rho, \psi) + \\
& + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\rho^{2n} \sin(2n\psi)}{2^{2n} (n!)^2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \right)
\end{aligned} \quad (28)$$

$$\begin{aligned}
\text{ker}(\rho, \psi) = & [\ln 2 - C - \ln(\rho)] \text{ber}(\rho, \psi) - \\
& - \psi \text{bei}(\rho, \psi) + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\rho^{2n} \cos(2n\psi)}{2^{2n} (n!)^2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \right)
\end{aligned} \quad (29)$$

Przy $\psi = \frac{\pi}{4}$ otrzymujemy tzw. funkcje Thomsona.

Płyta kołowa obciążona równomiernym obciążeniem na brzegu spoczywająca na podłożu Własowa

Rozpatrzmy płytę kołową Hencky'ego–Bolle'a obciążoną równomiernie rozłożonym na brzegu obciążeniem P_k , spoczywającą na podłożu Własowa (rys. 1).

Dla rzeczywistych gruntów występujących w praktyce budowlanej mamy do czynienia z drugim przypadkiem, tzn. $\hat{r}_2^4 < \hat{s}_2^4$. Rozwiązanie równania różniczkowego (14) zapiszemy w postaci (24). Z uwagi na interpretację fizyczną rozpatrywanego zagadnienia zmodyfikowane funkcje Bessela ber , bei , ker , kei muszą spełniać warunki: $w_\alpha(0) < \infty$ oraz $\frac{dw_\alpha(0)}{d\rho} = 0$.

Uwzględniając powyższe warunki, stałe $C_3 = C_4 = 0$. Ostatecznie rozwiązanie równania różniczkowego (14) zapiszemy w postaci:

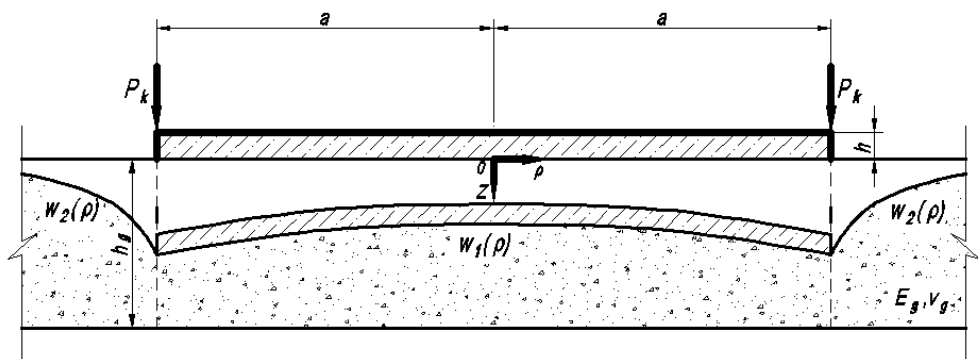
$$w_1(\rho) = C_1 \text{ber}(\kappa_2 \rho, \psi_2) + C_2 \text{bei}(\kappa_2 \rho, \psi_2) \quad (30)$$

gdzie κ_2 , ψ_2 są dane wzorem (25).

Poza granicą płyty przy $R \leq \rho < \infty$ stan naprężeniowo-odkształceniowy w podłożu sprężystym wyznacza się w ogólnym przypadku równaniem różniczkowym (10). Przy braku obciążenia powierzchniowego działającego na podłożu w granicach rozpatrywanego odcinka równanie (10) zapiszemy w postaci:

$$kw(\rho) - 2t \nabla_\rho^2 w(\rho) = 0 \quad (31)$$

Rozwiązaniem równania różniczkowego (31) są zmodyfikowane funkcje



RYSUNEK 1. Przekrój płyty kołowej obciążonej równomiernie na okręgu koła, spoczywającej na podłożu Własowa

FIGURE 1. Cross-section of a circular plate evenly loaded on a circle of a circle, resting on the Vlasov's subsoil

Bessela zerowego rzędu, pierwszego i drugiego rodzaju. Uwzględniając, że $w_2(\infty) = 0$, ostateczne rozwiązanie równania (31) zapiszemy w postaci:

$$w_2(\rho) = C_3 K_0(\lambda \rho) \quad (32)$$

gdzie:

$$\lambda = a \sqrt{\frac{k}{2t}}$$

$K_0(\lambda \rho)$ – zmodyfikowana funkcja Bessela zerowego rzędu, drugiego rodzaju.

Warunki brzegowe zapiszemy w postaci:

$$\begin{aligned} w_1(1) &= w_2(1), \quad M_\rho(1) = 0, \\ Q_\rho(1) + S_{1\rho}(1) &= S_{2\rho}(1) + P_k \end{aligned} \quad (33)$$

Dla płyty Hencky'ego–Bolle'a siły przekrojowe zapiszemy w postaci (Jemielita, 2001):

$$\begin{aligned} M_\rho &= D \left[(1-\nu) \kappa_\rho + \nu (\kappa_\rho + \kappa_\varphi) \right] + \\ &+ \frac{\nu h^2 p_3}{10(1-\nu)} \end{aligned} \quad (34)$$

$$Q_\rho = K \chi_\rho \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \kappa_\rho &= -\frac{1}{a} \frac{d\phi_\rho}{d\rho}, \quad \kappa_\varphi = -\frac{\phi_\rho}{a\rho} \\ \chi_\rho &= \frac{1}{a} \frac{dw}{d\rho} - \phi_\rho \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} \phi_\rho &= \frac{1}{a} \frac{dw(\rho)}{d\rho} + \frac{D(1-\nu)}{2K} \times \\ &\times \left[\frac{2}{(1-\nu)a^3} \frac{d}{d\rho} (\nabla_\rho^2 w(\rho)) + \right. \\ &\left. + \frac{2}{(1-\nu)Ka} \frac{d}{d\rho} (p_3) \right] \end{aligned} \quad (37)$$

$$K = \kappa h G = \frac{5hG}{6} \quad (38)$$

$$D = \frac{Gh^3}{6(1-\nu)} \quad (39)$$

gdzie:
 h – grubość płyty,

ν – współczynnik Poissona materiału płyty,
 a – promień płyty.

We wzorze (38) przyjęto współczynnik ścinania $\kappa = 5/6$ (Jemielita, 2002).

Uogólnioną siłę poprzeczną S_{ap} w podłożu gruntowym modelu Własowa w układzie współrzędnych biegunowych wyznaczmy ze wzoru:

$$S_{ap} = \frac{2t}{a} \frac{dw_\alpha(\rho)}{d\rho} \quad (40)$$

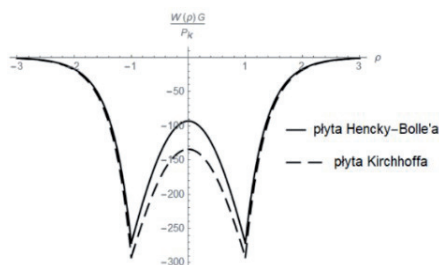
Przyjmując funkcje zanikania przemieszczeń $\mathcal{H}(z)$ w postaci (8) oraz zakładając $\delta = \frac{h}{a} = \frac{1}{10}$, $\delta_1 = \frac{h_g}{a} = 1$, $\delta_2 = \frac{\nu_g}{\nu} = 1$,

$$\delta_3 = \frac{G_g}{G_p} = \frac{1}{500}, \text{ dane dla gruntu przyjęto}$$

na podstawie Sorochan i Trofimenkow (1985), a dla betonu według PN-EN 1992-1-1:2004+AC:2008 (gdzie: δ – stosunek grubości płyty do jej promienia, δ_1 – stosunek grubości warstwy gruntu do promienia płyty, δ_2 – stosunek współczynnika Poissona gruntu do współczynnika Poissona płyty, δ_3 – stosunek modułu sprężystości gruntu do modułu sprężystości płyty).

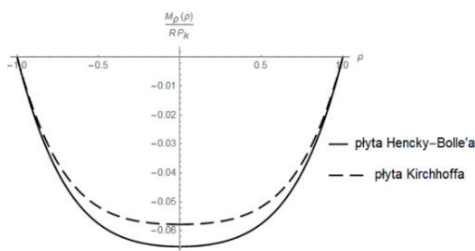
Na rysunkach 2–4 przedstawiono bezwymiarowe porównawcze wykresy ugięcia oraz sił przekrojowych dla płyt Kirchhoffa oraz Hencky’ego–Bolle’a spoczywających na podłożu sprężystym Własowa. Porównano wyniki ugięć oraz sił przekrojowych dla płyt kołowych (otrzymane według teorii Kirchhoffa oraz Hencky’ego–Bolle’a) spoczywających na podłożu sprężystym Własowa. Widoczne jest, że bardzo szybko zanikają przemieszczenia i zastępcze siły poprzeczne w podłożu gruntowym.

Ugięcia otrzymane według teorii płyt Hencky’ego–Bolle’a są mniejsze od tych według teorii Kirchhoffa, a momenty zginające są większe w płycie Hencky’ego–Bolle’a.



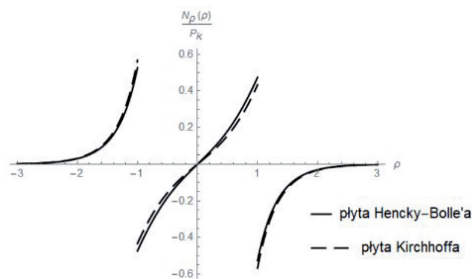
RYSUNEK 2. Wykres ugięcia płyty spoczywającej na podłożu Własowa dla $\nu = 0$

FIGURE 2. Diagram of deflection of plate resting on the Vlasov's subsoil for $\nu = 0$



RYSUNEK 3. Wykres momentów zginających w płycie spoczywającej na podłożu Własowa dla $\nu = 0$

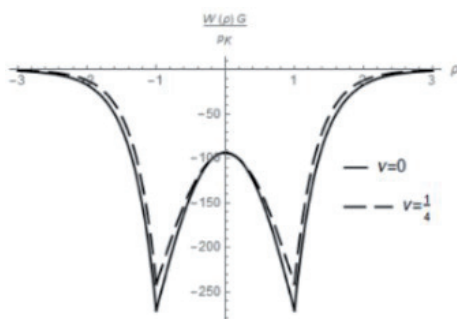
FIGURE 3. Diagram of the bending moments in the plate resting on the Vlasov's subsoil for $\nu = 0$



RYSUNEK 4. Wykres siły poprzecznej w płycie spoczywającej na podłożu Własowa dla $\nu = 0$

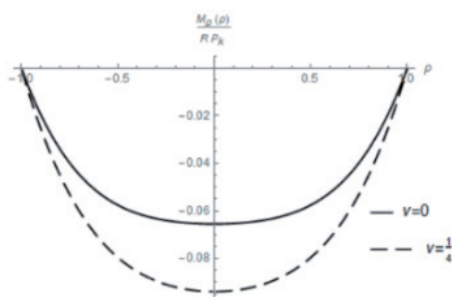
FIGURE 4. Diagram of lateral force in the plate resting on the Vlasov's subsoil for $\nu = 0$

W pracy przeanalizowano także wpływ współczynnika Poissona materiału płyty na wartości momentów zginających, sił poprzecznych i ugięć płyty (wyniki przedstawiono na rys. 5–7). Współczynnik Poissona w znacznym stopniu wpływa na wartości momentów oraz ugięć, praktycznie nie ma zaś wpływu na wartości sił poprzecznych zarówno w płycie, jak i podłożu gruntowym. W tabeli przedstawiono bezwy-



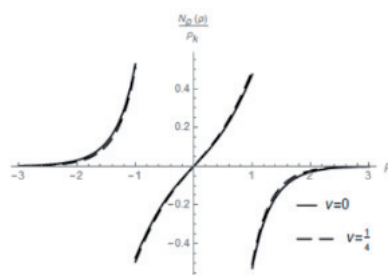
RYSUNEK 5. Wykres ugięcia płyty Hencky'ego-Bolle'a spoczywającej na podłożu Własowa dla $\nu = 0$ i $\nu = 1/4$

FIGURE 5. Diagram of deflection of the Hencky-Bolle plate resting on the Vlasov's subsoil for $\nu = 0$ and $\nu = 1/4$



RYSUNEK 6. Wykres momentów zginających w płycie Hencky'ego-Bolle'a spoczywającej na podłożu Własowa dla $\nu = 0$ i $\nu = 1/4$

FIGURE 6. Diagram of the bending moments of the Hencky-Bolle plate resting on the Vlasov's subsoil for $\nu = 0$ and $\nu = 1/4$



RYSUNEK 7. Wykres siły poprzecznej w płycie Hencky'ego-Bolle'a spoczywającej na podłożu Własowa dla $\nu = 0$ i $\nu = 1/4$

FIGURE 7. Diagram of lateral force of the Hencky-Bolle plate resting on the Vlasov's subsoil for $\nu = 0$ and $\nu = 1/4$

miarowe wartości ugięcia oraz momentów zginających dla płyt Kirchhoffa oraz Hencky'ego-Bolle'a spoczywających na podłożu Własowa dla $\rho = 0$ i $\rho = 1$.

Wprowadzono oznaczenie: $N_p(\rho) = Q_\rho(\rho) + S_\rho(\rho)$ – suma sił poprzecznych w płycie oraz w podłożu gruntowym.

Podsumowanie

W pracy rozpatrzono teorię płyt cienkich Kirchhoffa oraz średniej grubości Hencky'ego-Bolle'a na jednokierunkowym, dwuparametrowym podłożu sprężystym Własowa. Ten model uwzględnia naprężenia styczne w podłożu gruntowym, co z kolei daje dokładniejsze wyniki w porównaniu z modelem podłoża Winklera i pozwala na wyliczenie przemieszczeń w podłożu gruntowym poza granicami konstrukcji spoczywającej na podłożu (np. płyty). Przyjęto liniową funkcję zanikania przemieszczeń wraz z głębokością. Dla płyty obrotowo-symetrycznej funkcja ugięcia zależy tylko od jednej zmiennej przestrzennej (ρ). Teoria płyt Kirchhoffa, jak wiadomo,

TABELA. Porównanie wyników obliczeń płyt Kirchhoffa i Hencky’ego–Bolle’a spoczywających na podłożu Własowa w punktach charakterystycznych
TABLE. Comparison of the results of the calculations of Kirchhoff and Hencky–Bolle plates resting on the Vlasov’s bedrock at characteristic points

Ugięcie płyty	$\frac{w(\nu=0)G}{P_k}$		$\frac{w\left(\nu=\frac{1}{4}\right)G}{P_k}$	
Rodzaj płyty	Kirchhoffa	Hencky’ego–Bolle’a	Kirchhoffa	Hencky’ego–Bolle’a
$\rho = 0$	134,2	93,1	121,8	93,8
$\rho = 1$	292,1	271,2	256,1	241,5
Moment zginający płyty	$\frac{M_\rho(\nu=0)}{R P_k}$		$\frac{M_\rho\left(\nu=\frac{1}{4}\right)}{R P_k}$	
$\rho = 0$	–0,058	–0,065	–0,085	–0,094

ma ograniczony zakres stosowania: zależy od stosunku grubości płyty (h) do jej wymiaru charakterystycznego (a), obciążenia i warunków brzegowych. W przypadku płyt, których iloraz h do a jest większy od 1/10, należy stosować teorie płyt średniej grubości, dlatego że wyniki mogą być obarczone dużym błędem (Jemielita, 2001). Ten sam wniosek dotyczy płyt spoczywających na podłożu sprężystym. Różnice między wartościami ugięć i sił przekrojowych płyt spoczywających na podłożu Własowa (uzyskane według teorii Kirchhoffa oraz Hencky’ego–Bolle’a) zostały pokazane na rysunkach 2–4 oraz w tabeli. Wpływ współczynnika Poissona (ν) na wyniki jest istotny dla wartości ugięć i momentów zginających, a dla wartości sił poprzecznych jest zaś znikomy.

Literatura

- Bednarek, R. (2014). Osiadanie powierzchni ograniczonej na podłożu sprężystym. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 3, 221–224.
- Bolle, L. (1947). Contribution au problème linéaire de flexion d’une plaque élastique. *Bulletin Technique de la Suisse Romande*, 73, 293–298.
- Gabbasow, R. i Hoang Tuan, A. (2014). Rasczet izgibajemych plastin sredniej tolszcziny na dinamiczeskije nagruzki s ispolzowanijem obobszczennykh urawnenij mietoda koniecznykh raznostiej. *Wiestnik MGSU*, 10, 16–23.
- Jemielita, G. (2001). Teorie płyt sprężystych. W C. Woźniak (red.), *Mechanika techniczna*. Tom VIII. *Mechanika sprężystych płyt i powłok*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Jemielita, G. (2002). Coefficients of shear correction in transversely nonhomogeneous moderately thick plates. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 1(40), 73–84.
- Kączkowski, Z. (1980). *Płyty. Obliczenia statyczne*. Warszawa: Arkady.
- Leontiew, N., Leontiew, A., Sobolew, D. i Anochin, N. (1982). *Osnovy teorii balok i plit na dieformirujemom uprugom osnovanii*. Moskwa: Tipografija MISI im. W.W. Kujbyszewa.
- Nagirniak, M. (2019). Ocena zasięgu efektu brzegowego w płytach Hencky’ego–Bolle’a o wybranych warunkach brzegowych. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 18(2), 93–105. doi: 10.22630/ASPA.2019.18.2.26
- Nagirniak, M. (2020). Płyty średniej grubości Hencky’ego–Bolle’a na podłożu spręży-

- stym. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 19(2), 51-58. doi: 10.22630/ASPA.2020.19.2.17
- PN-EN 1992-1-1:2004+AC:2008. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- Sorochan, E. i Trofimenkow, I.U. (1985). *Osnowaniya, fundamenti i podzemnyye sooruzheniya*. Moskwa: Strojizdat.
- Własow, V. i Leontiew, N. (1960). *Balki, plitki i obolozki na urugom osnovy*. Moskwa: Gosudarstvennoye izdaniye fiziko-matematicheskoy literatury.
- Zwołński, W. (1980). Analiza płyty kołowej grubej o ortotropii cylindrycznej spoczywającej na sprężystym podłożu. *Mechanika Teoretyczna i Stosowana*, 3(18), 449-461.

Streszczenie

Płyty kołowe Hencky'ego–Bolle'a spoczywające na podłożu sprężystym Własowa. W pracy przedstawiono równania teorii płyt obrotowo symetrycznych, spoczywających na jednokierunkowym, jednowarstwowym, dwuparametrowym podłożu Własowa. Przeanalizowano dwa przypadki rozwiązania równania różniczkowego ugięcia płyty cienkiej oraz średniej grubości na podłożu gruntowym w zależności od wielkości całkowitych charakterystyk $\hat{r}_\alpha^4$ i $\hat{S}_\alpha^4$. Rozpatrzono przykład obciążenia płyty kołowej obciążeniem P_k rozłożonym równomiernie na brzegu i przedstawiono bezwymiarowe wykresy ugięcia, momentów zginających oraz sił poprzecznych w płycie oraz podłożu gruntowym. Zbadano wpływ współczynnika Poissona materiału płyty na wartości ugięć oraz sił przekrojowych. Wykazano, że

współczynnik Poissona w znacznym stopniu wpływa na wartości ugięć, momentu zginającego, ma zaś pomijalny wpływ na wartości sił poprzecznych.

Summary

Hencky–Bolle's circular plates resting on the Vlasov's elastic subsoil. The work presents the equations of the theory of symmetrical plates, resting on one-way, single-layer, two-parameter Vlasov's subsoil. Two cases of differential equation solution of the plate deflection of thin and medium thickness on the ground substrate were analyzed depending on the size of the integral characteristics $\hat{r}_\alpha^4$ and $\hat{S}_\alpha^4$. The example of loading the circular plate with a P_k load evenly distributed over the edge was considered and shows dimensionless graphs of deflection, bending torques and transverse forces in the plate and in the ground subsoil. The effect of the Poisson's coefficient of the plate on deflection values and cross-sectional forces was investigated. The Poisson's number has been shown to have a significant influence on deflection values and bending torque, however shown negligible effect on transverse forces values.

Author's address:

Mykola Nagirniak
<https://orcid.org/0000-0003-4996-7397>
 Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
 w Warszawie
 Instytut Inżynierii Lądowej
 ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
 Poland
 e-mail: mykola_nagirniak@sggw.edu.pl

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 454–460

Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 454–460

Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)

<http://iks.pn.sggw.pl>

DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.39

**Ivan KERNYTSKYI¹, Yevhen STORCHUN², Yevheniia YAKOVENKO²,
Orest HORBAY², Ruslan HUMENYUK³, Yaroslav SHOLUDKO³**

¹Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Institute of Civil Engineering

²Lviv Polytechnic National University, Institute of Engineering Mechanics and Transport

³Lviv National Agrarian University, Institute of Mechanical and Power Engineering

Prospects of electrosleep therapy devices for long-distance drivers

Key words: encephalogram, biorhythms, correlation coefficients, impulse signals, electrosleep therapy devices, long-distance drivers

to use portable devices of electrosleep (transcranial) therapy (Fig. 1).

Electrosleep (other terms – cranial electrostimulation therapy, transcranial

Introduction

Uncompensated exhaustion is a fairly common problem for truck and bus drivers on international routes. In case of uncompensated exhaustion, the driver is unable to overcome the resulting attention violations with will effort, which increases the probability of errors and accidents. The last claim is confirmed by the increase in the number of incidents after 7 h and especially 10 h of work. To overcome this problem, it is necessary to stop and fall asleep for a short time. Recovery comes in about 10–15 min of relaxation. In order for the recovery to be as complete as possible within the specified short period of time, it is reasonable



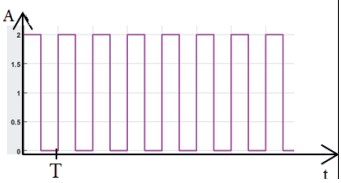
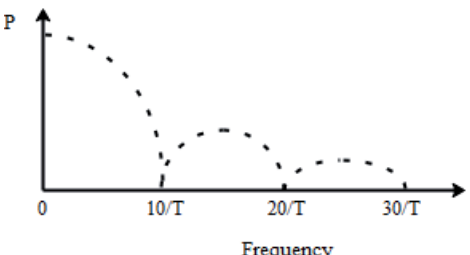
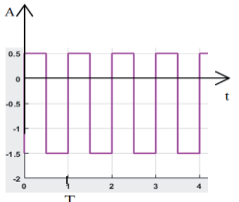
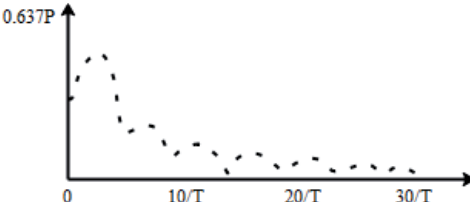
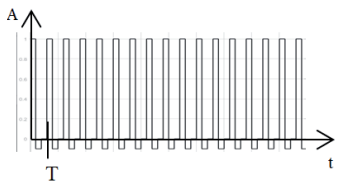
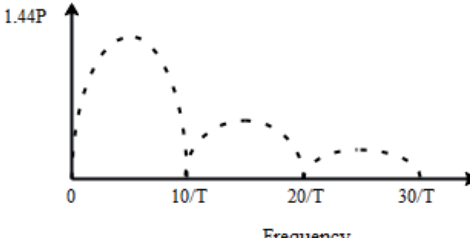
FIGURE 1. Portable device for electrosleep therapy (<https://thebrainstimulator.net/wp-content/uploads/2016/11/tDCS-Brain-Stimulator-v3.jpg>)

electrotherapy) is a general name for a group of methods aimed at inducing a similar state in a subject (Peterchev et al., 2012). The source of stimulation of the brain is weak impulse current, which causes sleep of varying depth and duration. Clinical studies have shown that the strongest impact is on pulses with a duration of approximately 0.3–0.5 ms and a frequency of repetition ranging from 0.5–2 to 80–100 Hz. Current levels are typically of 50–5 mA. More detailed information can be found on some websites, for example <https://caputron.com/pages/best-tdcs-device> or <https://www.tdcs.com/best-tdcs-devices>.

Pulse repetition rate is selected for each user individually, based on the functional state of the central nervous system, as well as the effect that is achieved at certain frequencies (Peterchev et al., 2012). The mechanism of pulsed currents influence is not completely studied (Shekelle et al., 2018).

Transcranial electrotherapy is considered to stimulate endorphin production and affect the hypothalamus, causing changes in neurohormonal regulatory mechanisms and reticular formation of the brain stem. The reticular formation is involved in many behavioral reactions

TABLE. Classes of devices and types of signals

Class	Signal shape	Spectrum
IA		
IIA		
IIB		

and has a significant impact on body functioning and thought processes.

There are several classes of electro-sleep therapy devices studied (Shekelle et al., 2018; Kernytsky et al., 2020). They differ in electrode parameters (number, location and shape) and in signal shape features such as intensity and general shape, as well as pulse shape, amplitude, duration, polarity, repetition rate, and pulse series interval. Features of signal forms of different classes of electrosleep therapy devices are shown in the table.

In this regard, the development of methods for determining the parameters of the electrosleep signal, the action of which will be most effective, is an important task.

Models and methods

The aim of this work was to determine correlation between human brain biorhythms and electrosleep device signal by calculating mutual correlation. For this purpose, the model in MATLAB Simulink environment was developed. The main elements of the model were an impulse generator, filters that were used to extract brain biorhythms from the common encephalogram, and a block for calculating correlation coefficients. The encephalogram was

previously obtained and processed using the EEGLAB program (Guleyupoglu, Schestatsky & Fregni, 2015). ICA and ADJUST accessories were used for rejecting the artifact components (<https://sccn.ucsd.edu/wiki/EEGLAB>). According to the recommendations (<http://xai-medica.com/neurocom/ica.htm>), 4 (F4) lead was taken for delta and alpha rhythm separation, and 30 (O1) lead was taken for theta and beta rhythm separation according to the scheme “10–20”. The processed signals of the leads are shown in Figure 2.

Analysis of simulation results

Subsequent model studies were conducted in several stages. First, the frequency dependencies of correlation coefficients for the signal of devices of classes IA and IIA were calculated. For this purpose, the frequency of the rectangular pulse generator was changed within 0.25–100 Hz, the pulse width was 20% of the period of repetition.

Figure 3 shows the graphs of correlation coefficient dependence on the frequency for a unipolar signal is common for delta, theta and alpha rhythms. The values of correlation coefficients are within 0.42–0.63 and reach the maximum values in the frequency range of

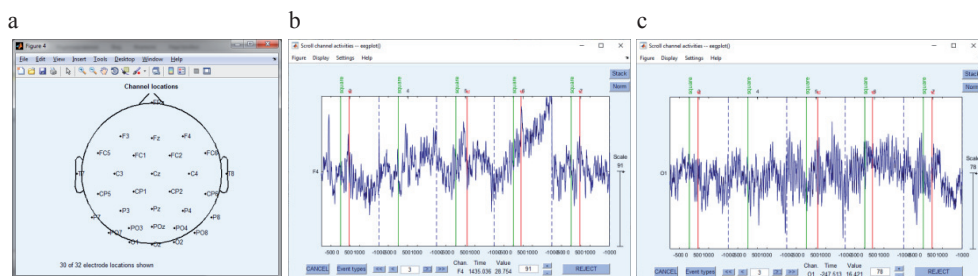


FIGURE 2. The processed signals of the leads: a – the leads placement; processed signals; b – signal F4; c – signal O1

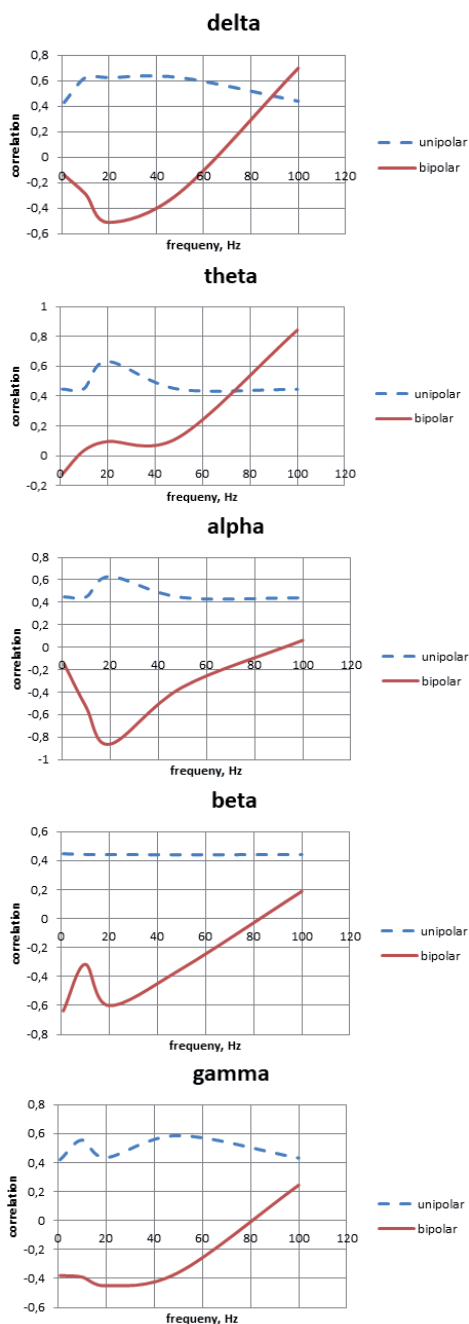


FIGURE 3. Dependence of the correlation coefficient on frequency

30–60 Hz. The values of correlation coefficients for beta and gamma rhythms are approximately within the same limits, but the dependence is monotonous. For a bipolar signal, the situation is significantly different. For theta rhythm at frequencies up to 20 Hz, the correlation coefficient is close enough to 0, and then gradually increases to 0.8 at 100 Hz. For all other rhythms, the correlation coefficient in the frequency range of 0.25–70 Hz is negative. The maximum modulus values are for the frequencies 15–25 Hz, and then they gradually decrease to almost zero values. At frequencies 80–100 Hz correlation coefficient changes its sign and then gradually increases to 0.2.

The next stage was the study of the correlation coefficient dependence on the pulse duration for cases of unipolar (Fig. 4a) and bipolar signal (Fig. 4b). The frequency of the oscillator was 1 Hz. On the diagrams it is visible, that for the delta rhythm this dependence in both cases has approximately the same character: the maximum on the modulus correlation coefficient corresponds to the pulse duration of 10%. It can also be argued that the polarity of the signal almost does not affect the general type of correlation coefficient dependencies for alpha and beta rhythms.

Finally, correlation coefficients for signals characteristic of class IIB devices have been calculated. In Figure 5 there are the families of graphs of correlation coefficients dependence on frequency for bipolar signals with the values of pulses of negative polarity (0.1–0.5) on the maximum amplitude of the signal. The graphs show that in the dependencies for delta and theta rhythms is not observed strongly pronounced minimums

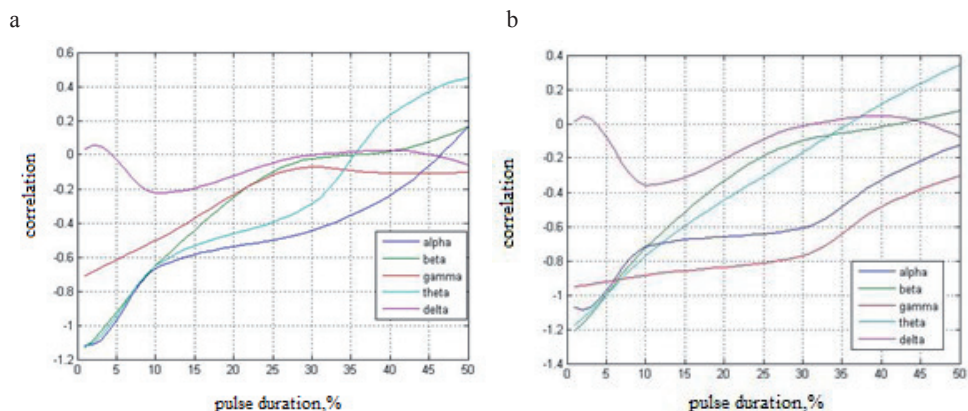


FIGURE 4. Dependencies of the correlation coefficient on the pulse duration from: a – unipolar signal; b – bipolar signal

and maximums. In the case of alpha rhythm the maximum is at 20 Hz. In beta and gamma rhythms there is a change in signs of correlation coefficients.

Figure 6 shows the graphs of correlation coefficients dependence on frequency for signals, consisting of the sequence of two pulses, the amplitude of the second pulse was (0.1–0.5) the amplitude of the first pulse. In general, the character of the graphs coincides with the graphs in Figure 5, but the values of correlation coefficients are higher.

Common to Figures 3, 5 and 6 is that the correlation coefficients reach their maximum modulus values in the frequency range of 15–25 Hz.

Conclusions

The encephalogram was processed using the EEGLAB tool to remove artifacts. A model in the MATLAB Simulink environment was developed to evaluate the effect of the signal characteristics of electrosleep therapy devices on brain biorhythms, with the help of which correlation coefficients were calculated.

Impulse signals of different forms are investigated, in particular, the influence of repetition frequency, duration and polarity of impulses on the value of correlation coefficients is shown. It is shown that the strongest influence of the signal from electrosleep therapy devices on delta and alpha rhythms of the brain is observed. This is consistent with a study of encephalograms (Borges et al., 2020), which states that these rhythms are related to the resting state, while their stimulation promotes deep sleep and improves memory and attentiveness. In this regard, the introduction of electrosleep practices for long-distance drivers is promising, as it will contribute to improved driving safety. It is possible to increase the effectiveness of the stimulation signal by individual selection of amplitude characteristics.

References

- Borges, H., Dufau A., Paneri, B., Woods, A.J., Knotkova, H. & Bikson, M. (2020). Updated technique for reliable, easy, and tolerated transcranial electrical stimulation including transcranial direct current

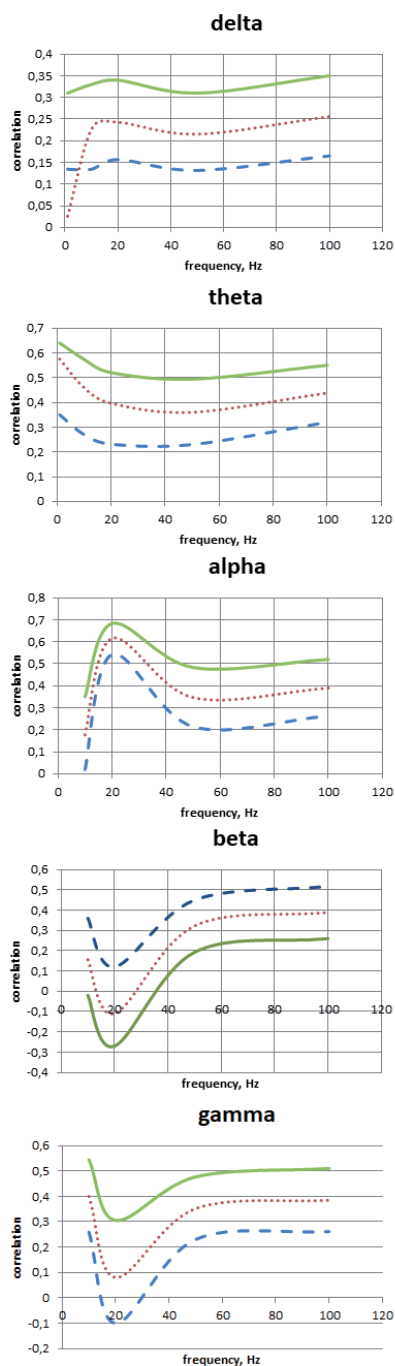


FIGURE 5. Dependencies of frequency correlation coefficients for bipolar signals of class IIB

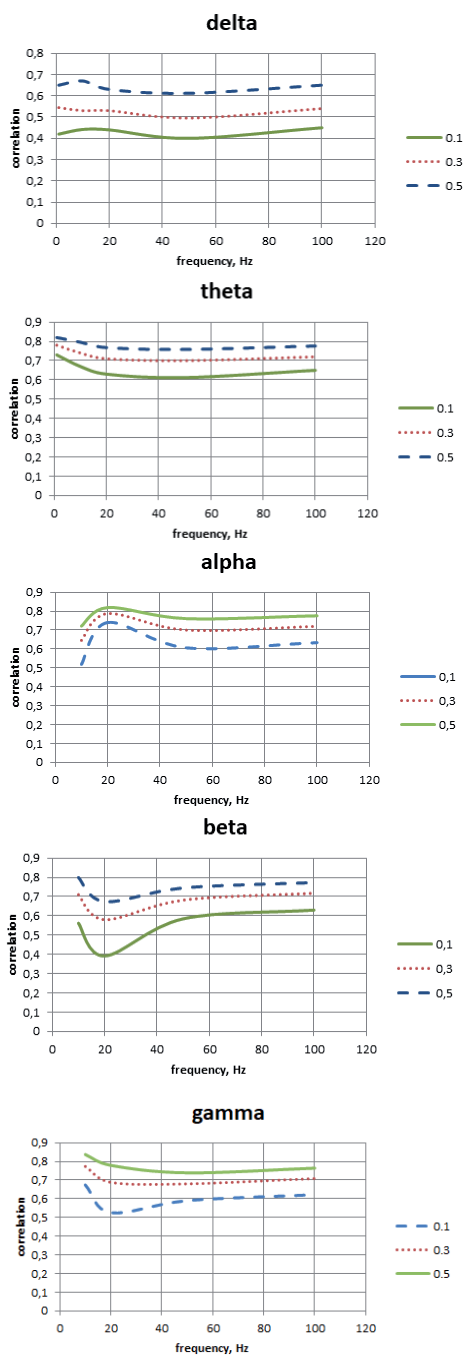


FIGURE 6. Dependencies of frequency correlation coefficients for signals consisting of a sequence of two pulses

- stimulation. *Journal of Visualized Experiments*, 155, e509204. <https://www.doi.org/10.3791/59204>
- Guleypoglu, B., Schestatsky, P. & Fregni, M. (2015). Methods and technologies for low-intensity transcranial electrical stimulation: waveforms, terminology, and historical notes – textbook of neuromodulation. In H. Knotkova, D. Rasche (eds.), *Textbook of Neuromodulation*. Macmillan: Springer.
- Kernysky, I., Yakovenko, Y., Storchun, Y., Horbay, O., Humenyuk, R., & Sholudko, Y. (2020). Modelling of artery stiffness for driver's heart rate monitoring systems development. *Acta Scientiarum Polonorum. Architectura*, 19(3), 93-102.
- Peterchev, A.V., Wagner, T.A., Miranda, P.C., Nitsche, M.A., Paulus, W., Lisanby, S.H., Pascual-Leone, A. & Bikson, M. (2012). Fundamentals of transcranial electric and magnetic stimulation dose: Definition, selection, and reporting practices. *Brain Stimulation*, 5(4), 35-53.
- Shekelle, P., Cook, I., Miake-Lye, I.M., Mak, S., Booth, M.S., Shanman, R. & Beroes, J.M. (2018). *The effectiveness and risks of cranial electrical stimulation for the treatment of pain, depression, anxiety, PTSD and insomnia: a systematic review*. Washington, DC: Department of Veterans Affairs (US). Retrieved from: <https://www.hsrd.research.va.gov/publications/esp/CES-REPORT.pdf>
- varying depth and duration. Clinical studies have shown that the strongest impact is on pulses with a duration of approximately 0.3–0.5 ms and a frequency of repetition ranging from 0.5–2 to 80–100 Hz. Current levels are typically between 50 and 5 mA.
- Transcranial electrotherapy is considered to stimulate endorphin production and affect the hypothalamus, causing changes in neurohormonal regulatory mechanisms and reticular formation of the brain stem. The reticular formation is involved in many behavioral reactions and has a significant impact on body functioning and thought processes.
- The aim of this work was to determine correlation between human brain biorhythms and electrosleep device signal by calculating mutual correlation. For this purpose, the model in MATLAB Simulink environment was developed.
- The encephalogram was processed using the EEGLAB tool to remove artifacts. A model in the MATLAB Simulink environment was developed to evaluate the effect of the signal characteristics of electrosleep therapy devices on brain biorhythms, with the help of which correlation coefficients were calculated.

Summary

Prospects of electrosleep therapy devices for long-distance drivers. Accumulated exhaustion is a fairly common problem for long-distance truck and bus drivers on international routes. In case of uncompensated exhaustion, the driver is unable to overcome the resulting attention violations with will effort, which increases the probability of errors and accidents. The last claim is confirmed by the increase in the number of incidents after 7 h and especially 10 h of work. To overcome this problem, it is necessary to stop and fall asleep for a short time. Recovery comes in about 10–15 min of relaxation.

The source of stimulation of the brain is weak impulse current, which causes sleep of

Authors' address:

Ivan Kernysky – corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0001-6084-1774>)
Yevhen Storchun
(<https://orcid.org/0000-0002-7778-1728>)
Yevheniia Yakovenko
(<https://orcid.org/0000-0001-9065-5649>)
Orest Horbay
(<https://orcid.org/0000-0002-0915-5637>)
Ruslan Humenyuk
(<https://orcid.org/0000-0001-7511-3673>)
Yaroslav Sholudko
(<https://orcid.org/0000-0001-5588-0066>)
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
Instytut Inżynierii Lądowej
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: ivankernysky@ukr.net

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 461–473

Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 461–473

Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)

<http://iks.pn.sggw.pl>

DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.40

**Joanna WITKOWSKA-DOBREV¹, Olga SZLACHETKA²,
Anna BRZEZIŃSKA³**

¹Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Instytut Inżynierii Lądowej

²Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Centrum Wodne

³PRK 7 NIERUCHOMOSCI Sp. z o.o.

Najczęściej występujące uszkodzenia fundamentów słupów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć i sposoby ich napraw

The most common damage to the foundations of poles of extra high voltage power lines and the methods of their repair

Słowa kluczowe: trwałość konstrukcji, korozja, badanie *pull-off*, naprawy niekonstrukcyjne, badanie zagęszczenia gruntu

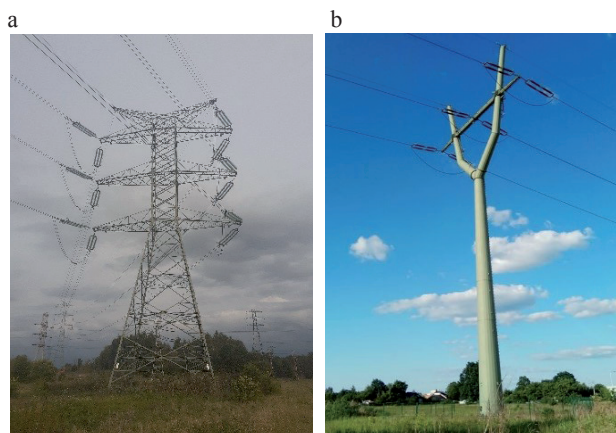
Key words: durability of the structure, corrosion, pull-off test, non-structural repair, soil compaction test

Wprowadzenie

W polskiej sieci elektroenergetycznej istnieje łącznie ponad 40 000 km linii 110–750 kV, z czego około 14 000 km stanowią linie najwyższych napięć (NN), tj. o napięciu 220, 400 lub 750 kV (Dołowy, Kraszewski i Różycki, 2015; PN-EN 50341-1:2013-03). W skład sieci elektroenergetycznej wchodzi połączone ze sobą linie i stacje elektroenergetyczne, których zadaniem jest rozdzielanie

i przesyłanie energii elektroenergetycznej. Cała sieć charakteryzuje się dużą jednolitością stosowanych rozwiązań słupów i fundamentów (Zawodniak, 2015). Konstrukcję wsporczy linii NN stanowią zazwyczaj stalowe słupy kratowe (rys. 1a), a w przypadku nowo budowanych linii coraz częściej są to słupy rurowe (rys. 1b).

Rodzaj fundamentu zależy głównie od wielkości podstawy konstrukcji wsporczej. W przypadku słupów kratowych na ogół wykonuje się fundamenty pod każdą nogą konstrukcji wsporczej, tak zwane fundamenty rozdzielone (wielostopowe) (Scheibe i Szwarczewski, 2019). Wówczas każdy fundament pracuje niezależnie, a nieduża współpraca między nimi wynika z połączenia ich za



RYSUNEK 1. Konstrukcja wsporcza linii NN: a – słup kratowy. Linia 400 kV Miłosna–Płock (fot. O. Szlachetka); b – słup rurowy. Linia 220 kV Mory–Miłosna (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 1. Support construction of the EHV line: a – lattice tower. Power line of 400 kV Miłosna–Płock (photo by O. Szlachetka); b – tubular pole. Power line of 220 kV Mory–Miłosna (photo by A. Brzezińska)

pomocą konstrukcji wsporczej mającej małą sztywności. Fundamenty wielostopowe mogą być wykonywane jako monolityczne (terenowe) bądź prefabrykowane (grzybkowe) w postaci stóp fundamentowych, których wymiary i kształt dobiera się na podstawie rodzaju konstrukcji wsporczej, wielkości przenoszonych obciążeń oraz cech wytrzymałościowych podłoża i warunków gruntowych (Mendera, Szojda i Wandzik, 2014; Zawodniak i Nowicki, 2017).

Żywotność linii elektroenergetycznych wynosi maksymalnie 50 lat, a większość z nich powstała w latach 50. i 60. XX wieku. Wydłużający się czas eksploatacji wymusza konieczność doskonalenia systemu monitoringu stanu technicznego tych obiektów, a tym samym również rozwój metod diagnostycznych pozwalających na kontrolowanie, zapobieganie i wczesne identyfikowanie zagrożeń mogących prowadzić do awarii (Abramowicz i Lewandowska, 1995; Freeseaman i in., 2016).

Dotychczas w Polsce nie notowano awarii linii NN, której pierwotną przyczyną byłyby uszkodzenia fundamentów słupów. Niemniej jednak fundamenty i słupy istniejących linii z biegiem lat wymagają renowacji i modernizacji (Kaługa i Zawodniak, 2016). Ponadto ograniczeniem rozbudowy polskiej sieci elektroenergetycznej linii NN są restrykcje prawne – przepisy prawa budowlanego i w zakresie ochrony środowiska przyrodniczego. Z tego względu większego znaczenia nabiera ocena stanu technicznego już istniejących elementów, planowanie działań konserwatorskich oraz stosowanie odpowiednich środków naprawczych tak, aby infrastruktura linii elektroenergetycznych w Polsce dorównała standardom europejskim.

Diagnostyka powinna być przeprowadzana w wyniku okresowych kontroli lub wyższej konieczności spowodowanej potrzebą rozbudowy lub naruszeniem struktury konstrukcji (Rajwa, 1995). W zależności od wyników przeprowa-

dzanej diagnostyki wykonywane są mniej lub bardziej skomplikowane działania naprawcze (Harris, 2001).

Celem głównym pracy jest uwypuklenie, jak wczesna diagnostyka fundamentów konstrukcji wsporczych słupów linii NN, wykorzystująca nieinwazyjne i nieniszczące metody oceny stanu technicznego, przekłada się na długoletnią i niezawodną pracę całego systemu przy jednoczesnych małych nakładach finansowych. Celem pośrednim pracy jest przedstawienie programu napraw niekonstrukcyjnych oraz zabezpieczeń antykorozyjnych fundamentów słupów linii elektroenergetycznych NN w wybranych lokalizacjach.

Warunki wpływające na trwałość konstrukcji fundamentów słupów

Zgodnie z normą PN-EN 1992-1-1:2008 konstrukcje żelbetowe należy projektować w taki sposób, aby przez przewidywany okres użytkowania spełniały wymagania nośności, stateczności i użyteczności bez nieprzewidywanych kosztów utrzymania. Rozróżnia się trzy fazy wpływające na trwałość konstrukcji – projektową, wykonawczą i eksploatacyjną.

W fazie projektowej fundamentom słupa linii NN należy przypisać odpowiednią kategorię geotechniczną. Zgodnie z normą PN-EN 1997-1:2008 tego typu fundamenty klasyfikuje się do drugiej lub trzeciej kategorii (Runkiewicz, 2011). W przypadku drugiej kategorii parametry geotechniczne ustala się na podstawie istniejącej dokumentacji oraz analizy porównawczej wyników pochodzących z badań polowych i la-

boratoryjnych. Jeżeli fundamenty są zaklasyfikowane do trzeciej kategorii geotechnicznej, należy wykonać dodatkowe badania specjalistyczne (PN-EN 1992-1-1:2008; Rozporządzenie MTBGM z 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych). W fazie projektowej należy wziąć pod uwagę okres użytkowania, a klasę betonu dobrać na podstawie klasy ekspozycji zależnej od warunków środowiskowych. Z punktu widzenia trwałości fundamentu ważne są również grubość otulenia zbrojenia oraz szerokość rozwarcia rys. Zgodnie z normą PN-EN 1992-1-1:2008 minimalna grubość otulenia powinna chronić zbrojenie przed korozją oraz zapewniać bezpieczne przekazanie sił przyczepności, a rysy nie powinny powodować zmniejszenia ochronnego działania otuliny i przyczyniać się do wnikania agresywnych składników do betonu.

W fazie wykonawczej należy zachować szczególną ostrożność, gdyż podczas wykonywania fundamentów linii elektroenergetycznych NN można popełnić wiele błędów wpływających na ich trwałość. Najczęściej popełniane błędy to: słaba jakość betonu, wykonywanie konstrukcji w niesprzyjających warunkach atmosferycznych, złe rozmieszczenie przerw roboczych przy betonowaniu, brak zgodności wykonanego zbrojenia z projektem, niezachowanie projektowanej grubości otuliny, brak zabezpieczenia zbrojenia przed przemieszczeniem, zbyt rzadkie rozmieszczenie elementów dystansowych zbrojenia, zastosowanie nieodpowiedniego materiału na elementy dystansowe, niewłaściwe zagęszczenie lub jego brak, niewłaściwa pielęgnacja, prowadzenie prac w czasie

twardnienia betonu, zbyt wczesne rozde-szkowanie konstrukcji (Łapiński, 2011).

W fazie eksploatacyjnej w przypadku linii elektroenergetycznych największym zagrożeniem są agresywne substancje ze środowiska oraz uszkodzenia mechaniczne. Uszkodzenia fundamentu dzielą się na te zachodzące w betonie oraz zbrojeniu. Podczas użytkowania nie wolno dopuścić do uszkodzenia otuliny w wyniku korozji betonu bądź jego całkowitego rozpadu (Abramowicz i Lewandowska, 1995).

Wyróżnia się trzy stadia uszkodzeń betonu. Pierwsze następuje, gdy beton zobojętnieje i nasyci się agresywnymi substancjami. Jest to najdłuższe stadium, beton wtedy zachowuje swoje właściwości. Początek kolejnego stadium następuje w chwili, gdy otulina traci swoje właściwości, a zbrojenie zaczyna korodować. Pojawienie się oraz nasilenie korozji na zbrojeniu generuje naprężenia w betonie, powodując ostatnie stadium – pękanie oraz odpadanie otuliny. Proces korozji można spowolnić poprzez zachowanie szczelności betonu oraz utrzymanie wysokiego pH otuliny betonowej (Zybura, Jaśniok i Jaśniok, 2011).

Podsumowując, przyczynami uszkodzeń fundamentów linii NN są: błędy projektowe, złe początkowe zabezpieczenie fundamentów przed korozją, uszkodzenia mechaniczne, czynniki atmosferyczne, agresywne działanie substancji z otoczenia oraz brak odpowiedniego kształtu. Chcąc zapobiegać uszkodzeniom lub usuwać już powstałe, należy przeprowadzać stały monitoring oraz wykonywać okresowe remonty. Jeżeli naprawa nie zostanie wykonana w odpowiednim czasie, uszkodzenia fundamentów będą postępowały, co zwiększa późniejsze koszty naprawy.

Uszkodzenia fundamentów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć

Rodzaj i wielkość uszkodzeń fundamentów linii elektroenergetycznych decydują o sposobie ich naprawy. Podstawą wyboru odpowiedniego sposobu jest właściwa diagnostyka. Niestety często na podstawie dokumentacji projektowej nie można ustalić, co jest przyczyną powstałych uszkodzeń. Dużym problemem w zakresie oceny stanu technicznego fundamentów słupów linii elektroenergetycznych jest częsty brak dokumentacji technicznej oraz to, że fundamenty znajdują się pod warstwą gruntu, a odkrywki są często kosztowne lub ze względów eksploatacyjnych niemożliwe.

Najlepszą metodą do sprawdzenia stanu konstrukcji jest ocena wizualna. Jest to pierwszy i najważniejszy krok podczas diagnostyki (Piekarczyk, 2014). Jeżeli na nadziemnej części fundamentu widoczne są uszkodzenia w postaci wykwitów soli, odprysków, złuszczeń, rys itp., należy odkopać go do głębokości maksymalnie 1–1,1 m (odkopanie na większą głębokość może spowodować utratę stateczności konstrukcji). Jeżeli uszkodzenia fundamentu występują głębiej niż 1–1,1 m, dalsze prace należy prowadzić pod nadzorem doświadczonego projektanta linii NN. Dodatkowo w trakcie oględzin na miejscu budowy można wykonać badanie wytrzymałości metodą sklerometryczną, ultradźwiękową, *pull-off* lub *pull-out*. Najczęściej jest to badanie *pull-off*. Jest ono najmniej czasochłonne (Biernat, 2018). W badaniu tym mierzy się wytrzymałość na odrywanie od powierzchni fundamentu stalowego krążka o średnicy 50 mm. Średnia

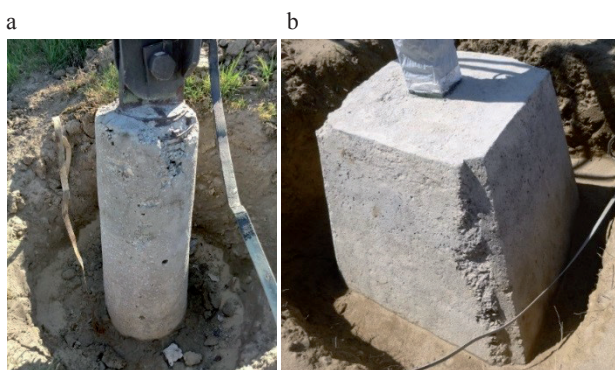
wytrzymałość podłoża na odrywanie nie może być mniejsza niż 1,5 MPa.

Na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej podejmuje się decyzję o naprawie niekonstrukcyjnej małej bądź dużej z ewentualnym zabezpieczeniem zbrojenia lub naprawie konstrukcyjnej. Naprawy niekonstrukcyjne ograniczają się do napraw powierzchniowych. Przywracają one kształt i wygląd oraz gwarantują ochronę przed korozją. Takie naprawy można wykonywać według informacji z karty technologicznej i instrukcji materiałów używanych do napraw, nie jest wymagany projekt techniczny. Naprawy konstrukcyjne mają na celu przywrócenie nośności i trwałości fundamentu. Do przeprowadzenia napraw konstrukcyjnych wymagane są projekt i ekspertyza obejmująca identyfikację przyczyn powstania uszkodzeń, ocenę stanu technicznego obiektu oraz zalecenia dotyczące napraw.

Jak podaje instrukcja PSE-Ts.FUND. NN PL/2014v1, małe naprawy niekonstrukcyjne przeprowadza się w przypadku uszkodzeń powierzchniowo-wgłębnych, tj. gdy stwierdzono odpryski, złuszcze-

nia i osypywanie się betonu, niewielkie ubytki powierzchniowe, drobne raki, kawerny i rysy o szerokości ok. 0,2 mm, bez śladów rdzawych zacieków. W przypadku licznych ubytków o głębokości do kilku centymetrów oraz rys i spękań o szerokości większej niż 0,3 mm naprawa niekonstrukcyjna klasyfikowana jest jako duża (rys. 2b). W zakres dużej naprawy niekonstrukcyjnej wchodzi również uszkodzenia w postaci rys otuliny zbrojenia oraz odspojeń bądź ubytków otuliny, ale bez widocznych wżerów (rys. 2a). W przypadku dużych ubytków betonu, odspojenia otuliny zbrojenia na dużych powierzchniach, występowania wżerów w stal zbrojeniową konieczne jest przeprowadzenie naprawy konstrukcyjnej.

Zakres napraw niekonstrukcyjnych ustala się następująco: jeżeli powierzchniowe zabezpieczenie fundamentu uległo zniszczeniu i występują niewielkie ubytki betonu, wówczas należy usunąć pozostałą powłokę ochronną, a następnie oczyścić podłoże z luźnych elementów i naprawić zaprawą wyrównawczą. Przy braku zabezpieczenia i występują-



RYSUNEK 2. Przykład uszkodzenia fundamentu: a – z odkrytym zbrojeniem; b – z widocznymi odpryskami betonu (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 2. An example of foundation's damage: a – with visible reinforcement; b – with visible chipping of concrete (photo by A. Brzezińska)

cych uszkodzeniach otulenia zbrojenia z widoczną warstwą korozji należy zaś usunąć zdegradowane części betonu, następnie oczyścić powierzchnię fundamentu i zbrojenia, po czym uzupełnić ubytki betonu zaprawą.

Zakres napraw konstrukcyjnych obejmuje, jak już wspomniano, wykonanie ekspertyzy stopnia degradacji fundamentu z ewentualnymi badaniami uzupełniającymi, następnie usunięcie uszkodzonych części betonu, odtworzenie otuliny zbrojenia oraz uzupełnienie brakującego betonu. Szczegółowe zasady i metody napraw betonu oraz ochrony zbrojenia określają normy serii PN-EN 1504 (PN-EN 1504-3:2006, PN-EN 1504-7:2017).

Systemy naprawcze i ochronne podczas napraw fundamentów na liniach elektroenergetycznych mogą być łączone. Należy jednak zwrócić uwagę, że połączenie dwóch różnych systemów może przynieść zarówno dobre, jak i złe skutki. Na przykład ochrona powierzchniowa może spowodować zatrzymanie wilgoci, co doprowadzi do obniżenia mrozoodporności betonu, a wykonanie dobetonowania przez wzrost zawilgocenia może przyspieszyć korozję (Czarnecki i Emmons, 2007).

Wykonanie napraw oraz zabezpieczeń fundamentów słupów na wybranych przykładach

Na podstawie przeprowadzonej wizji lokalnej stwierdzono, że na analizowanych stanowiskach występują cechy kwalifikujące fundamenty do napraw niekonstrukcyjnych. Ze względu na trudny dostęp do słupów wykopy wykonano szpadlem na szerokość ok. 40 cm od granicy fundamentów. Następnie funda-

menty oczyszczono metodą piaskowania. Na stanowiskach 134 (rys. 3a) oraz 123 (rys. 3b) po oczyszczeniu fundamentów nie stwierdzono znaczących uszkodzeń – zbrojenie nie było widoczne. Na stanowisku 38 zbrojenie również nie było widoczne, zaobserwowano jednak znaczne uszkodzenia górnej części fundamentu (rys. 3c). Odspojenia otuliny zbrojenia przy braku widocznych na odsłoniętym zbrojeniu wżerów zaobserwowano na stanowisku 108 (rys. 3d).

W kolejnym etapie wykonano badania *pull-off* zgodnie z normą PN-EN 1542:2000. Pomiarów wykonano cztery/pięć razy na danym stanowisku. Wyniki pomiarów dla trzech stanowisk zestawiono w tabeli.

Do naprawy fundamentów zostały użyte materiały firmy SIKA, które mają krajowe i międzynarodowe aprobaty techniczne. Do wyrównania powierzchni oraz uszczelnienia raków i rys na stanowiskach 123 i 134, po uprzednim zwilżeniu fundamentu, zastosowano szpachlówkę z cementu portlandzkiego modyfikowanego polimerem z dodatkiem kruszywa Sika MonoTop 620. Na rysunkach 4a i 4b przedstawiono fundamenty z naniesioną warstwą wyrównawczą. Na stanowisku 108 do zabezpieczenia antykorozyjnego odsłoniętego zbrojenia zastosowano zaprawę na bazie cementu modyfikowanego polimerami z dodatkami kruszywa Sika MonoTop 610. Jej głównymi zaletami są duża odporność na penetrację przez wodę oraz duża przyczepność do stali i betonu. Całkowita grubość powłoki zabezpieczającej miała ok. 1 mm. W miejscach większych ubytków betonu (stanowisko 38 i 108) zastosowano jednoskładnikową zaprawę Sika MonoTop 412 NFG zawie-



RYSUNEK 3. Oczyszczony fundament: a – stanowisko 134; b – stanowisko 123; c – stanowisko 38; d – stanowisko 108 (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 3. Cleaned foundation: a – workplace 134; b – workplace 123; c – workplace 38; d – workplace 108 (photo by A. Brzezińska)

TABELA. Wyniki badań *pull-off* (badania własne)

TABLE. Pull-off test results (own study)

Stanowisko Workplace	Średnia wytrzymałość na odrywanie Mean peel strength [MPa]	Wymaganie Requirement
38	1,89	> 1,5 MPa
123	1,74	
134	1,73	

rającą zbrojenie z włókien. Następnie, tak jak w przypadku stanowisk 134 i 123, użyto szpachlówki Sika MonoTop 620. Wykonując „czapkę”, zachowano małe spadki, aby na fundamentach nie gromadziła się woda. Wygląd fundamentów na

stanowiskach 38 i 108 po nałożeniu produktów naprawczych przedstawiono na rysunkach 4c i 4d.

Warto pamiętać, że nawet po naniesieniu warstw naprawczych fundament będzie pod wpływem tych sa-



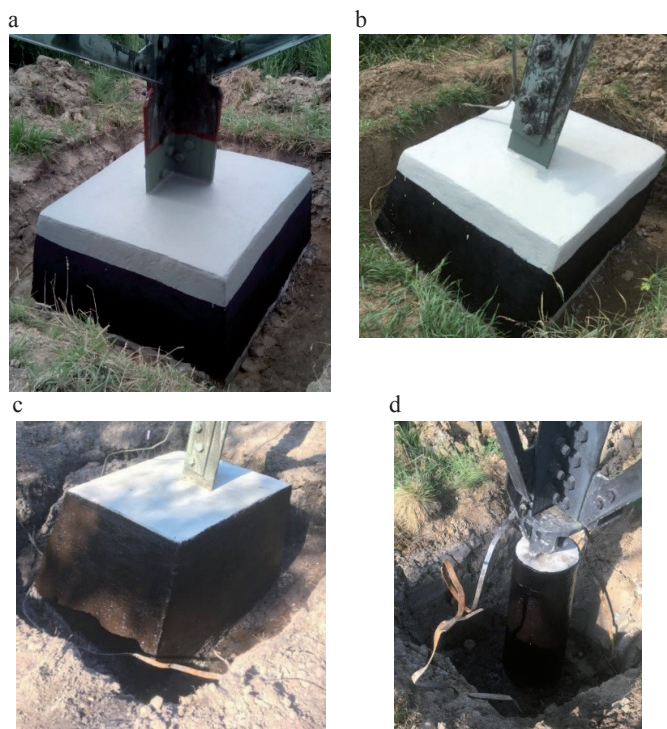
RYSUNEK 4. Fundament z naniesioną warstwą wyrównawczą (a – stanowisko 134; b – stanowisko 123) oraz z naniesioną warstwą zabezpieczającą zbrojenie wraz z warstwą wyrównawczą (c – stanowisko 38; d – stanowisko 108) (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 4. Foundation with an applied leveling layer (a – workplace 134; b – workplace 123) and with an applied reinforcement's protecting layer and with a leveling layer (c – workplace 38; d – workplace 108) (photo by A. Brzezińska)

mych oddziaływań, które spowodowały uszkodzenia, dlatego należy wykonać zabezpieczenia antykorozyjne. Dzięki nim przedłuży się trwałość fundamentu. Przed przystąpieniem do wykonania warstwy ochronnej nałożono warstwę gruntującą poprawiającą przyczepność materiałów ochronnych do podłoża. Następnie nałożono materiał na bazie oleju antracenowego i żywicy epoksydowej z dodatkami wypełniaczy (np. Sika Poxitar F). Materiał ten nałożono na część fundamentu znajdującego się poniżej

powierzchni terenu (PN-B-01807:1988). Górną część fundamentu zabezpieczono materiałem na bazie żywicy akrylowej, który utwardza się pod wpływem promieni UV. Na styku kotwy z betonem nałożono kit uszczelniający, który wiąże się pod wpływem wilgoci zawartej w powietrzu. Wygląd fundamentów po naniesieniu warstwy ochronnej przedstawiono na rysunku 5.

Po pracach zabezpieczających fundamenty wykop zasypano zagęszczonymi co 20–30 cm warstwami gruntu



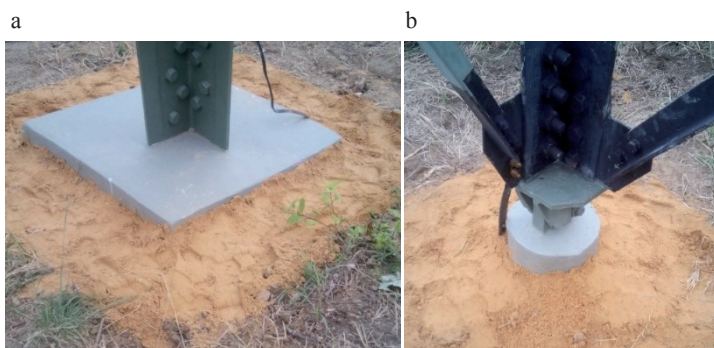
RYSUNEK 5. Fundamenty z naniesioną warstwą ochronną: a – stanowisko 134; b – stanowisko 123; c – stanowisko 38; d – stanowisko 108 (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 5. Foundation with an applied protecting layer: a – workplace 134; b – workplace 123; c – workplace 38; d – workplace 108 (photo by A. Brzezińska)

rodzimego aż do otrzymania wskaźnika zagęszczenia (I_s) większego lub równego 0,95. W przypadku stanowisk, gdzie grunt rodzimy nie nadaje się do zasypania, należy zastąpić go gruntem nośnym. Grunt spoisty plastyczny należy najpierw przesuszyć na odkładzie aż do uzyskania optymalnej wilgotności pozwalającej na prawidłowe zagęszczenie. Na stanowiskach 108, 123 oraz 134 wykonano zagęszczenie płytą dynamiczną HMP-LFG-SK.

Następnie przeprowadzono po jednym pomiarze wskaźnika zagęszczenia

przy każdej z czterech stóp fundamentowych danego stanowiska. Zmierzony wskaźnik zagęszczenia (I_s) wynosił 0,95, a dynamiczny moduł (E_{vd}) był większy niż 10 MPa. Należy podkreślić, że wiele stanowisk znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie pól uprawnych, co może prowadzić do zmian wskaźnika zagęszczenia gruntu. Na koniec prac teren w odległości 1 m od fundamentu wyrównano i ukształtowano tak, aby spadek znajdował się na zewnątrz stopy. Wygląd stanowisk 134 i 108 po zagęszczeniu gruntu przedstawiono na rysunku 6.



RYSUNEK 6. Zagęszczony grunt wokół fundamentu: a – stanowisko 134; b – stanowisko 108 (fot. A. Brzezińska)

FIGURE 6. Compacted soil around the foundation: a – workplace 134; b – workplace 108 (photo by A. Brzezińska)

Podsumowanie

Polska sieć elektroenergetyczna osiągnęła wiek 50–70 lat i większość jej elementów zaczyna ulegać degradacji. Rozpoznanie i określenie stopnia zaawansowania tego procesu jest trudne zwłaszcza w przypadku fundamentów konstrukcji wsporczych z powodu braku fizycznego dostępu do tych elementów. Jednocześnie ocena stanu technicznego jest niezbędna w planowaniu odpowiednich prac naprawczych i modernizacyjnych oraz służy utrzymaniu niezawodności całego systemu sieci. W celu zminimalizowania kosztów i zapewnienia niezawodności konstrukcji na dalsze lata eksploatacji należy realizować systematycznie program diagnostyki i renowacji elementów linii. Ważne jest, aby do oceny niezawodności eksploatowanych konstrukcji budowlanych, w tym szczególnie fundamentów, wykorzystywać wiarygodne metody diagnostyczne, dzięki którym można określić stan oraz stopień zniszczenia konstrukcji (Abramowicz i Lewandowska,

1995) oraz dobrać dla nich odpowiednie działania naprawcze. Bardzo duże znaczenie w zakresie prowadzonych renowacji i modernizacji fundamentów słupów linii NN w kontekście ich trwałości mają prace zabezpieczające antykorozyjnie beton i zbrojenie. Wykonana w porę ochrona fundamentów jest w stanie zminimalizować wydatki spowodowane zniszczeniami. Przy doborze materiałów potrzebnych do naprawy i zabezpieczeń fundamentów konstrukcji wsporczych linii elektroenergetycznych ważne jest, aby w trakcie użytkowania zapewniały one nieprzekraczalne dopuszczalne odkształcenia i odprężenia (Czarnecki, Łukowski i Garbacz, 2017). Skuteczna naprawa ma na celu przywrócenie stanu pierwotnego fundamentu. Należy jednak pamiętać, że wykonane zabiegi remontowe dają możliwość prawidłowego zabezpieczenia obiektu na dłuższy czas, ale ich skuteczność można ocenić dopiero po kilku latach.

Poddane diagnostyce fundamenty słupów linii NN Wielopole–Noszowice po wizji lokalnej zakwalifikowano do

napraw niekonstrukcyjnych. Zaproponowane działania naprawcze miały na celu przywrócenia kształtu oraz estetycznego wyglądu fundamentom. Zastosowane zabezpieczenia powierzchniowe przyczyniły się do zwiększenia odporności fundamentów na działanie szkodliwych czynników użytkowania, a dzięki wykonanemu zabezpieczeniu antykorozyjnemu przedłużono ich żywotność.

Literatura

- Abramowicz, M. i Lewandowska, S. (1995). *Raport IAE-12/A. Diagnostyka fundamentów betonowych słupów sieci elektroenergetycznych. Badania materiałowe na potrzeby elektrowni i sieci elektroenergetycznych*. II Seminarium naukowo-techniczne, Otwock-Świerk, 22-23 czerwca 1995.
- Biernat, A. (2018). *Diagnostyka fundamentów słupów elektroenergetycznych najwyższych napięć i możliwości ich napraw* (praca inżynierska). Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa.
- Czarnecki, L. i Emmons, P.H. (2007). *Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych*. Polski Cement. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Czarnecki, L., Łukowski, P. i Garbac, A. (2017). *Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu: komentarz do PN-EN 1504*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Dołowy, K., Kraszewski, A. i Różycki, S. (2015). *Linie elektroenergetyczne najwyższych napięć. Informator dla administracji publicznej i społeczeństwa*. Konstancin-Jeziorna: Wydawnictwo Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.
- Freese, K., Khazanovich, L., Hoegh, K., Nohjavan, A., Schultz, A.E. i Chao, S.H. (2016). *Nondestructive monitoring of subsurface damage progression in concrete columns damaged by earthquake loading*. *Engineering Structures*, 114, 148-157.
- Harris, S.Y. (2001). *Building pathology: deterioration, diagnostics, and intervention*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Kaługa, I. i Zawodniak, J.J. (2016). *Wymiana słupów z platformą pod gniazdo bociana w liniach NN*. *Automatyka, Elektryka, Zakłócenia*, 7, 4(26), 100-108.
- Łapiński, P. (2011). *Trwałość konstrukcji żelbetowych*. Lublin: Stowarzyszenie Producentów Elementów Betonowych dla Kanalizacji. Pobrano z <http://spebk.pl/publikacje/2011-09-07/trwalosc-zelbetu> [dostęp: 11.07.2020].
- Mendera, Z., Szojda, L. i Wandzik, G. (2014). *Stalowe konstrukcje wsporcze napowietrznych linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia: projektowanie według norm europejskich*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Piekarczyk, A. (2014). *Lokalizacja wad struktury betonu w konstrukcji*. XXIX Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 26-29 marca 2014 r.
- PN-B-01807:1988. *Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe. Zasady diagnostyki konstrukcji*.
- PN-EN 1504-3:2006. *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne*.
- PN-EN 1504-7:2017. *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 7: Ochrona zbrojenia przed korozją*.
- PN-EN 1542:2000. *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie*.
- PN-EN 1992-1-1:2008. *Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- PN-EN 1997-1:2008. *Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne*.
- PN-EN 50341-1:2013-03. *Elektroenergetyczne linie napowietrzne prądu przemiennego powyżej 1 kV. Część 1: Wymagania ogólne. Specyfikacje wspólne*.
- PSE-TS.INST.FUND.NN PL/2014v1. *Instrukcja wykonania napraw i zabezpieczeń antykorozyjnych fundamentów konstrukcji słupów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć*. Konstancin-Jeziorna: Polskie Sieci Elektroenergetyczne S.A.

- Rajwa, P. (1995). *Badania inżynierskie wybranych elementów elektroenergetycznych linii napowietrznych. Raport IAE-12/A. Badania materiałowe na potrzeby elektrowni i sieci elektroenergetycznych*. II Seminarium naukowo-techniczne, Otwock-Świerk, 22-23 czerwca 1995.
- Runkiewicz, L. (2011). Wykonywanie, kontrola i odbiór robót budowlanych przy wzmacnianiu konstrukcji żelbetowych. *Przegląd Budowlany*, 82(10), 44-52.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. Dz.U. 2012 poz. 463.
- Scheibe, A. i Szwarzewski, P. (2019). *Projektowanie linii elektroenergetycznych wysokich napięć – wybrane zagadnienia techniczne projektowania słupów kratowych oraz badań wytrzymałościowych w skali rzeczywistej na przykładzie projektu Pylon*. Konferencja elektroenergetyczna „Gdańskie Dni Elektryki”, Gdańsk, 9-10 maja 2019.
- Zawodniak, J.J. (2015). Projektowanie i wykonywanie inwestycji elektroenergetycznych na podstawie doświadczenia eksploatacyjnego. *Automatyka, Elektryka, Zakłócenia*, 6, 1(19) 24-39.
- Zawodniak, J. J., i Nowicki, R. (2017). Wybrane zagadnienia z zakresu prefabrykowanych fundamentów zginanych słupów linii elektroenergetycznych. *Automatyka, Elektryka, Zakłócenia*, 8, 2(28), 42-51.
- Zybura, A., Jaśniok, M. i Jaśniok, T. (2011). *Diagnostyka konstrukcji żelbetowych: Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

Streszczenie

Najczęściej występujące uszkodzenia fundamentów słupów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć i sposoby ich napraw. W pracy omówiono zagadnienia związane z trwałością fundamentów

słupów linii elektroenergetycznych najwyższych napięć (NN) oraz przedstawiono sposoby ich renowacji. W części badawczej przeprowadzono diagnostykę wybranych fundamentów słupów linii NN (400 kV) Wielopole–Noszowice. W trakcie wizji lokalnej ustalono, że istnieją odpryski i niewielkie ubytki powierzchniowe betonu, a w niektórych przypadkach ubytki otuliny zbrojenia bez widocznych wżerów. Na podstawie stopnia uszkodzeń określono zakres napraw niekonstrukcyjnych oraz zabezpieczeń antykorozyjnych, przedstawiając kolejne etapy ich realizacji.

Summary

The most common damage to the foundations of poles of extra high voltage power lines and the methods of their repair. The paper consists of the discussion of issues related to the durability of foundations of extra high voltage (EHV) power line poles and possibilities of their renovation. The research part is the diagnostics of selected foundations of the EHV line poles (400 kV) Wielopole–Noszowice. During the on-site inspection, it was found that there are chipping and small surface defects, and in some cases losses of the reinforcement cover without visible pits. Based on the degree of damage, the scope of non-structural repairs and anti-corrosive protection was determined, presenting the next stages of their implementation.

Authors' address:

Joanna Witkowska-Dobrev – corresponding author
<https://orcid.org/0000-0001-6613-5037>
 Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
 Instytut Inżynierii Lądowej
 ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
 Poland
 e-mail: joanna_witkowska@sggw.edu.pl

Olga Szlachetka
(<https://orcid.org/0000-0002-1195-3603>)
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
Centrum Wodne
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: olga_szlachetka@sggw.edu.pl

Anna Brzezińska
PRK 7 NIERUCHOMOŚCI Sp. z o.o.
ul. Leszno 12 II p., 01-192 Warszawa
Poland
e-mail: a.brzezinska@prk7nieruchomosci.com.pl

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 474–484
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 474–484
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.41

Ivan MAROVIĆ, Ksenija TIJANIĆ, Martina ŠOPIĆ, Diana CAR-PUŠIĆ

University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering

Group decision-making in civil engineering based on AHP and PROMETHEE methods

Key words: group decision-making, project management, outranking methods, AHP, PROMETHEE

Introduction

Project management in the construction industry is generally based on a detailed decision analysis, as the decisions made today are crucial for achieving project goals in the future. This is particularly important in early project phases without reducing the importance of decision-making throughout the project life-cycle. Fundamental reasons for the existence of decision-making problems in civil engineering arise from: specific conditions of the construction industry (the final products are inseparable from the location, i.e. the location has a strong influence on the building design and its structural characteristics as well as on the technology used during construction), the wishes and attitudes of investors, and the influence of socio-economic and environ-

mental aspects. Therefore, as Marović and Hanak (2017) argued, decision-making can be considered a critical success factor in construction management, as decisions drive projects from start to finish. To solve such problems, the multi-criteria decision-making methods (MCDM), such as analytic hierarchy process (AHP) and PROMETHEE, have gained increasing attention over the last two decades in the field of construction management as techniques to analyze complex situations and to support decision makers in their decisions. These two outranking methods are well used in the existing literature, where the decision problem in construction management is often viewed as single decision-making approach, but this is not the case with the group decision-making approach, where the environment of decision-making poses even more challenges. Therefore, this paper consolidates and discusses the current state of knowledge regarding the application of both methods against the background of the specifics of

the group decision-making in construction industry.

The main objective of this paper is to summarize the results of recent research articles on the application of the AHP and PROMETHEE methods as tools for group decision-making to achieve sustainability in civil engineering. Some of the other objectives have also been evaluated, such as (i) identifying specific problems and research areas where the above mentioned methods can help, and (ii) evaluating and highlighting the possible applications and their synergistic use.

Research methodology

In order to address how the existing body of knowledge in civil engineering has developed in the direction of group decision-making methods, in particular the AHP and PROMETHEE methods, a systematic literature review was conducted in this study. The research workflow was designed and developed (Fig. 1) in such a way that all relevant

literature on a specific research topic can be identified, examined and evaluated at an early stage.

The conducted workflow of systematic literature review consists of three processes: data collection, literature analysis, and thematic discussion. The first step of data collection process was database selection, followed by data retrieval, and literature screening and supplement. In order to collect the most recent and relevant references, we decided to use renowned databases Scopus and Web of Science to get a global overview of the research topic. The search scope in those databases was restricted to the “Title/Abstract/Keywords” field. The collected contributions and subsequent reviews reflects papers published in peer-reviewed journals, preferably articles and reviews. To ensure the high quality and novelty of analyzed knowledge, only journal papers published between January 2000 and December 2019 were considered. The survey was conducted using selected keywords (group decision-making, multi-criteria, AHP, PROMETHEE, civil engineering, sustainable develop-

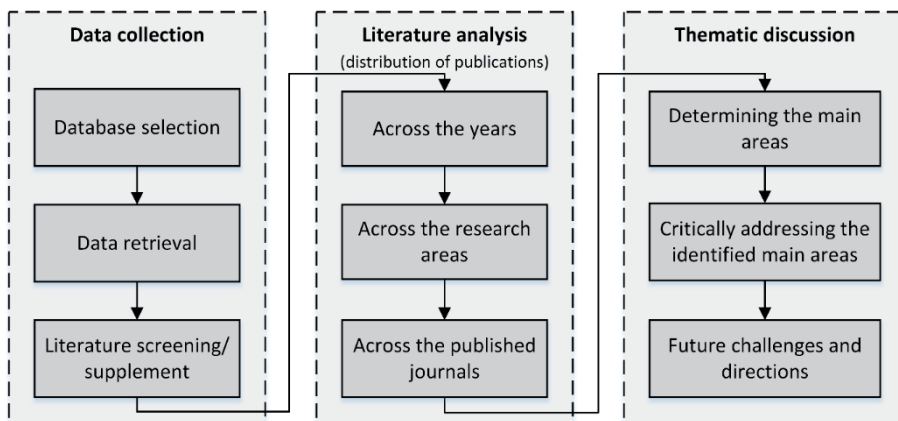


FIGURE 1. The systematic literature review workflow

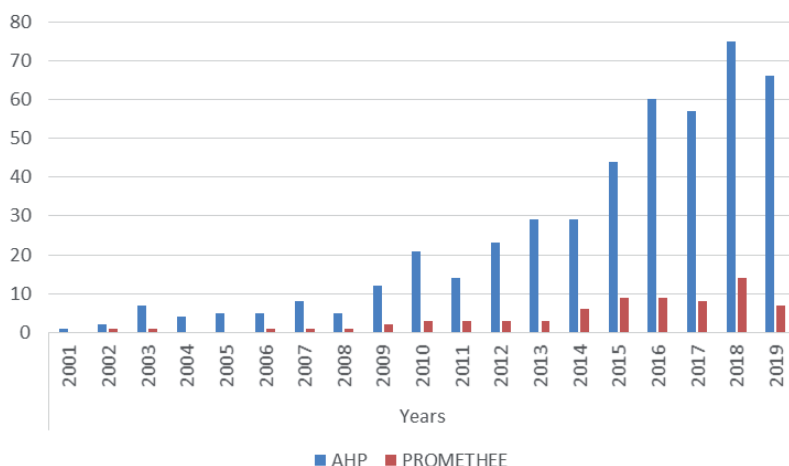


FIGURE 2. The distribution of AHP and PROMETHEE published papers from 2000 to 2019

ment), and their syntax derivatives. This resulted in two sets of papers:

- Set 1: Papers that consider the AHP method as a tool for group decision-making in civil engineering;
- Set 2: Papers that consider the PROMETHEE method as a tool for group decision-making in civil engineering

The literature screening/supplement was performed on all identified sets. During screening, both sets were checked in order to filter duplicates and off-topic ones. Then, a backward search (cross-referencing) was performed along the references to avoid missing important references. This led to the addition of several older references, and the possibilities of the synergic effect of the methods were discussed.

Concerning the first set, the conducted survey resulted in a total number of 503 (Scopus) and 443 (Web of Science) papers. As this paper focuses solely on group decision-making in civil engineering, a detailed analysis was carried out with regard to the decision support method, which allows a sustainable ap-

proach and/or sustainable development. For the second set 169 papers were found in Scopus and 78 in the Web of Science database. In addition, these sets were reduced by removing duplicities and papers that are outside the scope of this study. As the aforementioned clearly show, there is a large body of knowledge on group decision-making methods, but as far as papers related to civil engineering and sustainable development are concerned, the range of available literature is significantly narrower. The resulting number of studies that were included in a detailed investigation dropped significantly to a total of 463 (AHP) and 136 (PROMETHEE) papers. This procedure enabled grouping the thematically similar papers from the entire body-of-knowledge before the in-detail literature analysis.

The literature analysis process consists of two-step analysis: (1) the statistical distribution of collected publications across the year of publication, (2) their distribution across the research areas, and (3) published journals. The number

of identified publications and their corresponding year of publication are summarized in Figure 2. The following conclusions can be drawn from this brief overview: (i) that there is a significant difference in their application and publication between these two outranking methods in the years 2000–2019, and (ii) that both methods have been used more widely by the research community over the last 10 years.

The majority of the published papers are oriented towards Business, management and accounting, Environmental science, Engineering, Social sciences and Energy research areas. These research areas are harmonized with the Scopus research areas. All considered publications are published along with a huge number of journals indexed in the Scopus and Web of Science databases. Following are several journal names with the most published scientific papers: Sustainability (21 papers), Expert Systems with Applications (15 papers), Economic Research (10 papers), Energy (9 papers), Water Resources Management (9 papers), International Journal of Multicriteria Decision Making (8 papers), Land Use Policy (8 papers), Mathematical Problems in Engineering (8 papers), Resources, Conservation and Recycling (6 papers). Other journals published five or fewer papers on the subject topic and their number exceeds 200.

The final process of the conducted research workflow based on analysis and synthesis method, named “Thematic discussion” consists of three steps: (1) determining the main areas, (2) critically addressing them, and (3) identifying future challenges and directions. The synthesis of the conducted research is presented in the following sections.

Results and discussion

Over the last 20 years there have been numerous papers dealing with decision-making and the AHP and PROMETHEE methods covering various areas of civil engineering, such as road management, water management, waste management, construction site location selection, building design, facility refurbishment, logistics, etc. In addition, an overview of both methods has been published from time to time. For example, Danesh, Ryan and Abbasi (2015) presented a detailed literature review of the AHP method including its advantages and disadvantages, while Darko et al. (2019) gave an overview of the AHP application in the construction industry or specifically civil engineering (Deluka-Tibljša, Karleuša & Dragičević, 2013). The most recent literature review of the PROMETHEE method with application in the civil engineering was given by Marović (2020). Unfortunately, in none of these reviews was much attention paid to the problem of group decision-making.

Overview of the AHP as a tool for group decision-making in civil engineering

The solution to the problem of determining the best location or the best construction site for individual facilities is very popular with researchers. Some of the authors who have also dealt with this problem are, Cheng, Li and Yu (2005), Ishizaka and Labib (2011), Jajac, Bilić and Mladineo (2012), Wang, Shen, Tang and Skitmore (2013), Jeong, García Moruno and Hernández Blanco (2013),

Abdullahi, Mahmud and Pradhan (2014), Jajac, Marović and Hanak (2015), Jeong, García Moruno, Hernández Blanco and Jaraíz Cabanillas (2016), Güler and Yomralýoğlu (2017), Marović and Hanak (2017). The facilities for which they were looking for the best location are diverse and include different types of power plants, hospitals, shopping malls, wastewater treatment plants, tourist facilities, landfills, parking areas, etc. The AHP is most often used in combination with GIS, (Jajac et al., 2015; Marović, Završki & Jajac, 2015; Kilić, Jajac & Marović, 2018), which has proven to be a very good solution for such complex decisions.

Choosing the best alternative when designing a new facility or reconstructing an old one is also a problem that is widely discussed in the literature. Hence, Nassar, Thabet and Beliveau (2003) has developed a system that helps to make appropriate decisions about the assemblies to be used in the various building elements. This decision has a significant impact on the performance of the building in relation to the various design criteria and AHP is used to determine the relative importance weights of these criteria. Similarly, Marović, Car-Pušić and Hrvatin (2014) developed a model based on AHP to evaluate public administration projects. At the scale of single project, Macieira, Mendonca, Miranda, Guedes and Tereso (2019) presented an efficient solution for refurbishment with architectural membranes, while Hsieh, Lu and Tzeng (2004) used fuzzy logic to determine the weightings of the evaluation criteria among decision-makers for selecting planning and design alternatives in public office buildings. The

choice between two HVAC system designs by Hopfe, Augenbroe and Hensen (2013) led to practical way to jointly evaluate design options based on stakeholder's preferences and taking into the account the uncertainties associated with the designs.

In the field of road construction and management, Khademi and Sheikholeslami (2010) combined Delphi and AHP to develop decision-making tool for low-class roads maintenance programs. Their method can be useful in the context of decision-making at government agencies where decisions for all types of road facilities (pavement, bridges, traffic signs, etc.) are made together in one framework. Road maintenance has also been addressed by Jajac, Knezić and Marović (2009), Jajac et al. (2015) as they dealt with the pavement condition assessment. Using a case study of pavement condition, a flexible method is proposed that can accommodate the complexity of different roads. Similarly, Kušar and Šelih (2017) presented the development of a multi-criteria decision model based on AHP. Their model can be used in the planning and selection of passes within the national road network that intersects with a highway.

In the water management area the AHP method is mostly used as one of decision tools in decision support systems for selecting the best plan alternatives in the environment watershed (Chen et al., 2011), identifying flood-prone areas (Arabameri, Rezaei, Cerdà, Conoscenti & Kalantari, 2019), managing flood disasters (Nivolianitou, Synodinou & Manca, 2015), wastewater treatment plants (Jajac, Marović, Rogulj & Kilić, 2019), etc. Also, Ahmad and Verma (2018) ap-

plied AHP in combination with remote sensing and GIS to identify the most suitable water storage site. They all pointed out that the integration of AHP and GIS could be useful in decision making and in handling large data for effective water resources management.

The problem of making design decisions from an energy-saving and environmental perspective was handled by Liu, Hsueh, Wu and Chen (2012) with goal to provide a type of construction that can effectively provide high energy-saving building designs. Prioritization of large infrastructure projects handled Ziara, Nigim, Enshassi and Ayyub (2002) showed synergy of the Delphi technique and AHP as a framework for prioritization of urban infrastructure projects that are based on project deliverables and project life-cycle and implementation guidelines.

All authors highlighted the importance of reaching consensus in case of a synergistic group i.e. stakeholders. In other case, mathematical aggregation is mandatory. Regarding their research areas, all authors perform aggregation uniformly both at the comparison level and at the priorities level.

Overview of the PROMETHEE as a tool for group decision-making in civil engineering

The PROMETHEE is an outranking method for a finite set of alternative actions to be ranked and selected among criteria, which are often conflicting (Behzadian, Kazemzadeh, Albadvi & Aghdasi, 2010). The method requires very clear additional information that is

easily obtained and understood by both decision-makers and analyst (Brans & de Smet, 2016), and therefore is widely used in helping to solve civil engineering problems in more sustainable way.

Hence it is often used in the energy sector, to achieve sustainable energy development, where transition to investment and production of renewable energy sources is necessary. Some of the transition strategies include decarbonization of energy system, development and deployment of low-carbon technologies, acceleration of energy productivity improvement and falling fossil fuel use. Mardani, Jusoh, Zavadskas, Cavallaro and Khalifah (2015) emphasized use of MCDM in energy system options, planning, management, and the economy is helpful to energy systems development as well as evaluating their sustainability. Thus regarding multi-criteria and group decision-making, some of the researchers use PROMETHEE method to evaluate and prioritize the energy system considering a wide range of environmental, economic, technical, political and social criteria. Therefore, Papapostolou, Karakosta, Kourti, Doukas and Psarras (2019) presented multi-criteria approach based on an extension of the PROMETHEE method for group decision-making that incorporates fuzzy set theory in order to evaluate alternative transformation pathways for achieving a sustainable energy system while Soni, Singh and Banwet (2016) prioritize energy sector projects, namely, coal, gas, hydro and solar using the MCDM outranking approach of PROMETHEE under a fuzzy environment.

Building and construction management is another field in civil engineering where some researchers propose

their MCDM based models for solving complex decision-making problems. Balali, Zahraie and Roozbahani (2014) developed an algorithm combining two MCDM methods, namely, ELECTRE III and PROMETHEE II for ranking of structural systems, while Marović et al. (2015) gave a group decision support concept based on synergic effect of AHP and PROMETHEE based on GIS. Such followed by Kilić et al. (2018) as they described and tested their research based on the establishment of GIS-based decision support for the planning of land acquisition for the realization of urban public projects, while Jajac, Rogulj and Radonić (2017) presented a decision support concept for the management of rehabilitation projects during the planning phase, using PROMETHEE and AHP methods.

The MCDM can provide solutions for complicated water infrastructure management decision-making problems. For example, Inamdar, Sharma, Cook and Perera (2018) developed a comprehensive methodology framework for evaluating stormwater harvesting sites in urban areas using MCDM. In their research, the decision analysis methodology broadly consisted of deriving PROMETHEE rankings of eight alternatives, under two distinct group decision-making scenarios. Alhumaid, Ghumman, Haider, Al-Salamah and Ghazaw (2018) evaluate stormwater drainage options for urban areas of arid regions using MCDM on the basis of four sustainable criteria, i.e., flood risk, economic viability, environmental impacts, and techni-

cal constraints. In their research, criteria weights were established through group decision-making using both AHP and PROMETHEE. Silva, Morais and Almeida (2010) presented a tool to support the committee responsible for the management of the watersheds in order to promote decentralization and the participation of all involved in water resources management.

The method is also effective considering field of road, transportation and logistics management such as maintenance management of road infrastructure (Jajac et al., 2009), selection of the optimal toll collection system (Milenković, Glavić and Mladenović, 2018), as well as location selection of a multimodal logistics center (Pamučar, Tarle and Parezanović, 2018). They highlighted that PROMETHEE can offer consistent solutions and have a stable and well-structured analytical framework for ranking the alternatives. Macharis, de Witte and Ampe (2010), Macharis, Turcksin and Lebeau (2012) proposed a group decision support system as a tool to support sustainable decisions in transport projects, while Sarrazin and de Smet (2015, 2017) applied a multi-criteria clustering technique based on PROMETHEE to carry out an integrated and preventive assessment of road projects at their design stage.

Regarding their research areas, all authors perform either scenario ranking (where scenario represents group consensus) or two-step ranking approach (individual ranking of each involved stakeholder then group ranking based on the previously aggregated values).

Synergy of both methods in achieving sustainability in civil engineering

It is evident that many researchers combined both the AHP and PROMETHEE method or additional methods in order to achieve the most appropriate and sustainable solution in their field of interest. Such became more of use since 2004, when Macharis, Springael, de Brucker and Verbeke (2004) proposed model based on the idea of combining PROMETHEE and AHP whose synergy effect is most evident during the decision-making hierarchy setup. Since, many researchers used the synergic effect of these methods in order to solve their research problem in more sustainable way and can be found in building and construction management, road transportation and logistics management, energy management, water infrastructure management, etc.

Many combined AHP and PROMETHEE with other MCDM methods, but also introduced fuzzy logic to both methods. Especially interesting is the fact that almost all researchers suggest the use of GIS with both methods as a platform for visual representation of group decision-making in civil engineering.

Conclusions

Both AHP and PROMETHEE has become a popular methods for organizing, analyzing, and modelling complex decisions within the civil engineering. This paper attempted to review both methods in support group decision-making as to improve understanding of the decision

areas and decision problems that could be efficiently resolved in more sustainable manner. The findings revealed that, although popular, both methods has still lot to offer in group decision-making in civil engineering.

This paper could be useful for researchers and practitioners interested in the application of AHP and PROMETHEE to analyze and model their decisions in managing construction projects. For researchers, this paper provides a comprehensive review of past studies during last two decades, which is necessary for conducting future studies. In addition, this paper could help practitioners better understand and judge the usefulness of AHP and PROMETHEE in tackling specific decision-making problems in civil engineering.

Acknowledgements

This research has been fully supported by the University of Rijeka under the project uniri-pr-tehnic-19-18 and uniri-tehnic-18-125.

References

- Abdullahi, S., Mahmud, A.R.B. & Pradhan, B. (2014). Spatial modelling of site suitability assessment for hospitals using geographical information system-based multicriteria approach at Qazvin city Iran. *Geocarto International*, 29(2), 164-184.
- Ahmad, I. & Verma, M.K. (2018). Application of analytic hierarchy process in water resources planning: a GIS based approach in the identification of suitable site for water storage. *Water Resources Management*, 32(15), 5093-5114.
- Alhumaid, M., Ghumman, A.R., Haider, H., Al-Salamah, I.S. & Ghazaw, Y.M. (2018). Sustainability evaluation framework of

- urban stormwater drainage options for arid environments using hydraulic modeling and multicriteria decision-making. *Water*, 10(5), 581. <https://doi.org/10.3390/w10050581>
- Arabameri, A., Rezaei, K., Cerdà, A., Conoscenti, C. & Kalantari, Z. (2019). A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. *Science of the Total Environment*, 660, 443-458.
- Balali, V., Zahraie, B. & Roozbahani, A. (2014). Integration of ELECTRE III and PROMETHEE II decision-making methods with an interval approach: Application in selection of appropriate structural systems. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 28(2), 297-314.
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A. & Aghdasi, M. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 198-215.
- Brans, J.P. & Smet, Y. de (2016). *PROMETHEE methods: Multiple criteria decision analysis*. New York, NY: Springer.
- Chen, V.Y., Lien, H.P., Liu, C.H., Liou, J.J., Tzeng, G.H. & Yang, L.S. (2011). Fuzzy MCDM approach for selecting the best environment-watershed plan. *Applied Soft Computing*, 11(1), 265-275.
- Cheng, E.W., Li, H. & Yu, L. (2005). The analytic network process (ANP) approach to location selection: a shopping mall illustration. *Construction Innovation*, 5(2), 83-98.
- Danesh, D., Ryan, M.J. & Abbasi, A. (2015). Using analytic hierarchy process as a decision-making tool in project portfolio management. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Economic and Management Engineering*, 9(12), 4194-4204.
- Darko, A., Chan, A.P.C., Ameyaw, E.E., Owusu, E.K., Parn, E. & Edwards, D.J. (2019). Review of application of analytic hierarchy process (AHP) in construction. *International Journal of Construction Management*, 19(5), 436-452.
- Deluka-Tibljaš, A., Karleuša, B. & Dragičević, N. (2013). Review of multicriteria-analysis methods application in decision making about transport infrastructure. *Građevinar*, 65(7), 619-631.
- Güler, D. & Yomralıoğlu, T. (2017). Alternative suitable landfill site selection using analytic hierarchy process and geographic information systems: a case study in Istanbul. *Environmental Earth Sciences*, 76(20), 678. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7039-1>
- Hopfe, C.J., Augenbroe, G.L. & Hensen, J.L. (2013). Multi-criteria decision making under uncertainty in building performance assessment. *Building and Environment*, 69, 81-90. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7039-1>
- Hsieh, T.Y., Lu, S.T. & Tzeng, G.H. (2004). Fuzzy MCDM approach for planning and design tenders selection in public office buildings. *International Journal of Project Management*, 22(7), 573-584.
- Inamdar, P.M., Sharma, A.K., Cook, S. & Perera, B.J.C. (2018). Evaluation of stormwater harvesting sites using multi criteria decision methodology. *Journal of Hydrology*, 562, 181-192.
- Ishizaka, A. & Labib, A. (2011). Selection of new production facilities with the group analytic hierarchy process ordering method. *Expert Systems with Applications*, 38, 7317-7325.
- Jajac, N., Bilić, I. & Mladineo, M. (2012). Application of multicriteria methods to planning of investment projects in the field of civil engineering. *Croatian Operational Research Review*, 3(1), 113-124.
- Jajac, N., Knezić, S. & Marović, I. (2009). Decision support system to urban infrastructure maintenance management. *Organization, Technology & Management in Construction*, 1(2), 72-79.
- Jajac, N., Marović, I. & Hanak, T. (2015). Decision support for management of urban transport projects. *Građevinar*, 67(2), 131-141.
- Jajac, N., Marović, I., Rogulj, K. & Kilić, J. (2019). Decision support concept to selection of wastewater treatment plant location – the case study of town of Kutina, Croatia. *Water*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/w11040717>
- Jajac, N., Rogulj, K. & Radnić, J. (2017). Selection of the method for rehabilitation of historic bridges – a decision support concept for the planning of rehabilitation projects.

- International Journal of Architectural Heritage*, 11(2), 261-277.
- Jeong, J.S., García Moruno, L. & Hernández Blanco, J. (2013). A site planning approach for rural buildings into a landscape using a spatial multi-criteria decision analysis methodology. *Land Use Policy*, 32, 108-118.
- Jeong, J.S., García Moruno, L., Hernández Blanco, J. & Jaraíz Cabanillas, F.J. (2016). Sustainable modeling of new second homes placement in rural area. *Estudios Geográficos*, 77(280), 191-216.
- Khademi, N. & Sheikholeslami, A. (2010). Multi-criteria group decision-making technique for a low-class road maintenance program. *Journal of Infrastructure Systems*, 16(3), 188-198.
- Kilić, J., Jajac, N. & Marović, I. (2018). GIS-based Decision Support Concept to planning of land acquisition for realization of Urban Public Projects. *Croatian Operational Research Review*, 9(1), 11-24.
- Kušar, M. & Šelih, J. (2017). Determination of refurbishment priorities for passes on road network level. *Technical Gazette*, 24(4), 1129-1135.
- Liu, K.S., Hsueh, S.L., Wu, W.C. & Chen, Y.L. (2012). A DFuzzy-DAHP decision-making model for evaluating energy-saving design strategies for residential buildings. *Energies*, 5(11), 4462-4480.
- Macharis, C., Springael, J., De Brucker, K. & Verbeke, A. (2004). PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis. Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. *European Journal of Operational Research*, 153(2), 307-317.
- Macharis, C., Turcksin, L. & Lebeau, K. (2012). Multi actor multi criteria analysis (MAMCA) as a tool to support sustainable decisions: state of use. *Decision Support Systems*, 54(1), 610-620.
- Macharis, C., Witte, A. de & Ampe, J. (2010). The multi-actor, multi-criteria analysis methodology (MAMCA) for the evaluation of transport projects: theory and practice. *Journal of Advanced Transportation*, 43(2), 183-202.
- Macieira, M., Mendonça, P., Miranda Guedes, J. & Tereso, A. (2019). Evaluating the efficiency of membrane's refurbishment solutions to perform vertical extensions in old buildings using a multicriteria decision-support model. *Architectural Engineering and Design Management*. <https://doi.org/10.1080/17452007.2019.1656597>
- Mardani, A., Jusoh, A., Zavadskas, E.K., Cavallaro, F. & Khalifah, Z. (2015). Sustainable and renewable energy: an overview of the application of multiple criteria decision making techniques and approaches. *Sustainability*, 7(10), 13947-13984.
- Marović, I. & Hanak, T. (2017). Selection of adequate site location during early stages of construction project management: a multi-criteria decision analysis approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 251, 012044. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/251/1/012044>
- Marović, I. (2020). Multi-criteria decision-making in civil engineering – A PROMETHEE way. *Outranking & Decisions* [in print].
- Marović, I., Car-Pušić, D. & Hrvatin, Z. (2014). Establishing a model to evaluate public administration projects. *e-GFOS*, 5(8), 56-66.
- Marović, I., Završki, I. & Jajac, N. (2015). Ranking zones model – a multicriterial approach to the spatial management of urban areas. *Croatian Operational Research Review*, 6(1), 91-103.
- Milenković, M., Glavić, D. & Mladenović, M.N. (2018). Decision-support framework for selecting the optimal road toll collection system. *Journal of Advanced Transportation*. <https://doi.org/10.1155/2018/4949565>
- Nassar, K., Thabet, W. & Beliveau, Y. (2003). A procedure for multi-criteria selection of building assemblies. *Automation in Construction*, 12(5), 543-560.
- Nivolianitou, Z., Synodinou, B. & Manca, D. (2015). Flood disaster management with the use of AHP. *International Journal of Multi-criteria Decision Making*, 5(1-2), 152-164.
- Pamučar, D.S., Tarle, S.P. & Parezanović, T. (2018). New hybrid multi-criteria decision-making DEMATEL-MAIRCA model: sustainable selection of a location for the development of multimodal logistics centre. *Economic research-Ekonomska istraživanja*, 31(1), 1641-1665.

- Papapostolou, A., Karakosta, C., Kourti, K.A., Doukas, H. & Psarras, J. (2019). Supporting Europe's Energy Policy Towards a Decarbonised Energy System: A Comparative Assessment. *Sustainability*, 11(15), 4010. <https://doi.org/10.3390/su11154010>
- Sarrazin, R. & De Smet, Y. (2015). Applying multicriteria decision analysis to design safe road projects. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 15(4), 613-634.
- Sarrazin, R. & De Smet, Y. (2017). Solving a multicriteria road design problem: a practical example multiple criteria decision making. In C. Zopounidis, M. Doumpos (eds.), *Multiple criteria decision making applications in management and engineering* (pp. 113-136). Springer International Publishing.
- Silva, V.B., Morais, D.C. & Almeida, A.T. (2010). A multicriteria group decision model to support watershed committees in Brazil. *Water Resources Management*, 24(14), 4075-4091.
- Soni, V., Singh, S.P. & Banwet, D.K. (2016). Precise decisions in Indian energy sector by imprecise evaluation. *International Journal of Energy Sector Management*, 10(1), 118-142.
- Wang, H., Shen, Q., Tang, B.S. & Skitmore, M. (2013). An integrated approach to supporting land-use decisions in site redevelopment for urban renewal in Hong Kong. *Habitat International*, 38, 70-80.
- Ziara, M., Nigim, K., Enshassi, A. & Ayyub, B.M. (2002). Strategic implementation of infrastructure priority projects: case study in Palestine. *Journal of Infrastructure Systems*, 8(1), 2-11.

Summary

Group decision-making in civil engineering based on AHP and PROMETHEE methods. The Analytical Hierarchy Process (AHP) and PROMETHEE have gained in-

creasing attention in the field of construction management as techniques for the analysis of complex situations and as decision support for decision makers. However, these two methods in themselves or their potential applications to problems of construction management are not sufficiently defined in the existing literature. The environment of group decision-making bring even more challenges. This paper consolidates and critically discusses the current knowledge on the application of AHP and PROMETHEE methods in the light of the specifics of the construction industry. A systematic literature review was used to select the contributions indexed in the databases Scopus and Web of Science. The findings indicate that the studies deal with broad topics and different aspects in different phases of civil engineering projects. This paper provides a useful reference work for researchers and practitioners interested in the application of AHP and PROMETHEE as tools for group decision-making in civil engineering.

Authors' address:

Ivan Marović
<https://orcid.org/0000-0003-1524-0333>
 University of Rijeka
 Faculty of Civil Engineering
 Radmile Matejčić 3, HR-51000 Rijeka
 Croatia
 e-mail: ivan.marovic@uniri.hr

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 485–493

Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 485–493

Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)

<http://iks.pn.sggw.pl>

DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.42

Jarosław KONIOR, Mariusz SZÓSTAK

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Civil Engineering

Odchylenia i wykonania budżetu oraz harmonogramu przedsięwzięć budowlanych monitorowanych przez nadzór bankowy na przykładzie budynków zbiorowego zamieszkania

Deviations and implementation of the budget and schedule of construction projects monitored by the bank supervision on the example of residential buildings

Słowa kluczowe: zarządzanie przedsięwzięciami budowlanymi, koszt, czas, bankowy inspektor nadzoru

Key words: construction project management, cost, time, bank investment supervisor

Wprowadzenie

Nadrzędnym celem prawidłowego i skutecznego zarządzania przedsięwzięciami budowlanymi jest zrealizowanie zadania inwestycyjnego w określonych parametrach czasowych, kosztowych, zgodnie z ustalonymi wymaganiami technicznymi i jakościowymi. Podstawowymi elementami decydującymi o powodzeniu lub porażce przedsięwzięcia budowlanego są więc: czas, koszt, jakość oraz zakres zadania inwestycyjnego (Mingus, 2001).

Każde przedsięwzięcie budowlane wymaga zrównoważenia tych elementów, ponieważ wszystkie od siebie wzajemnie zależą. Nie można modyfikować budżetu, harmonogramu ani zakresu przedsięwzięcia, nie zmieniając co najmniej jednego z pozostałych elementów (Kerzner, 2003). Przykładowo gdy zakres przedsięwzięcia wzrośnie, musi to wpłynąć na pozostałe elementy i wówczas jedynym sposobem utrzymania stałych relacji między tymi elementami jest wydłużenie czasu, zwiększenie kosztu przedsięwzięcia bądź obu naraz (Połowski, 2018).

Niedotrzymanie zaplanowanych parametrów czasowych, kosztowych i jakościowych przedsięwzięcia budowlanego może być konsekwencją istniejącego ryzyka lub niepewności. Każde zadanie

inwestycyjne narażone jest na różnego rodzaju ryzyko. Do najczęstszych rodzajów związanych z realizacją przedsięwzięć budowlanych należą: ryzyko czasowe, ryzyko kosztowe, jakość pracy, ryzyko budowlane i ryzyko technologiczne (Zavadskas, Turskis i Tamošaitienė, 2010). Z kolei niepewność może mieć mierzalną i niemierzalną formę (Araszkiewicz, 2016). Zarządzanie niepewnością to zarządzanie zarówno ryzykiem oraz szansami, jak i zagrożeniami oraz potencjałami (Głodziński, 2014).

Niestety przekroczenie planowanego budżetu i/lub czasu jest bardzo charakterystyczne dla przedsięwzięć budowlanych i istnieje mało prawdopodobieństwo, że inwestycja budowlana będzie przebiegać zgodnie z zaplanowanym harmonogramem rzeczowo-finansowym (Al-Jibouri, 2003).

Celem niniejszego artykułu jest analiza wybranych przedsięwzięć budowlanych monitorowanych przez nadzór bankowy w odniesieniu do występujących odchyleń od harmonogramu i budżetu. Przedmiotem analiz były trzy budynki zbiorowego zamieszkania, a do analizy odchyleń zastosowano powszechnie znaną metodę wartości wypracowanej (ang. *earned value method* – EVM).

Metoda wartości wypracowanej – przegląd literatury

Prawidłowe zaplanowanie i skuteczne kontrolowanie oraz monitorowanie realizacji przedsięwzięć budowlanych jest istotne dla pomyślnej realizacji zadania inwestycyjnego. Obszerną grupę stosowanych metod kontroli i monitorowania przebiegu realizacji przedsię-

wzięć budowlanych stanowi metoda wartości wypracowanej. Metoda ta polega na kontroli zadania inwestycyjnego poprzez cykliczne porównywanie rzeczywiście zrealizowanego zakresu prac z ich planowanym czasem wykonania i planowanym kosztem realizacji zgodnie z przyjętym planowanym harmonogramem i budżetem projektu na początku realizacji zadania. Metoda wartości wypracowanej jest uważana za jedną z zaawansowanych technik kontroli projektów. Zarządzanie projektami z jej wykorzystaniem to dobrze znany system zarządzania, który integruje koszty, harmonogram i wydajność techniczną. Metoda ta umożliwia obliczanie odchyleń kosztów i harmonogramu oraz wskaźników wydajności, prognoz kosztów projektu i czasu trwania harmonogramu. Wczesne poznanie tych wartości jest pomocne przy planowaniu ewentualnych działań naprawczych (Project Management Institute [PMI], 2008).

W literaturze można odnaleźć wiele prac przedstawiających skuteczne zastosowanie metody wartości wypracowanej w rzeczywistych przedsięwzięciach budowlanych, np. budowa trzech lotnisk w Belgii (Vandevoorde i Vanhoucke, 2006), budowa centrum logistycznego w Korei Południowej (Kwon, Kim, Paek i Eom, 2008), budowa infrastruktury kolejowej na półwyspie w Malezji (Khamidi, Ali i Idrus, 2011) czy budowa budynku użyteczności publicznej w Polsce (Połowski i Komendarek, 2011).

Metoda wartości wypracowanej jest przystępna i zapewnia stosunkowo dokładną ocenę problemu, jednak zauważalne są pewne nieścisłości i problemy z jej praktycznym wykorzystywaniem. Istotnym problemem jest jakość uży-

skanych danych finansowo-rzeczowych z placu budowy. Metoda jest bardzo „wrażliwa” na wprowadzane dane, a najbardziej newralgicznym punktem analiz są modyfikacje harmonogramu z uwagi na sytuacje losowe występujące na placu budowy oraz sposób klasyfikacji kosztów (Dziadosz, Kapliński i Rejment, 2014). Dodatkowymi problemami, które pojawiają się w praktycznym zastosowaniu metody wartości wypracowanej, są: trudność w prawidłowym i rzeczywistym określeniu procentowego zaawansowania wykonanych prac, niepełne dane o rzeczywistych kosztach poniesionych na dzień kontroli. Wskazane nieprawidłowości mogą prowadzić do błędnych interpretacji otrzymanych wskaźników i szacowanych terminów zakończenia oraz kosztów projektu (Czarnigowska, 2008). Co podkreślają przeprowadzone badania, szacowany koszt i czas trwania są bardzo „wrażliwe” na dane wykorzystywane w analizie. Chcąc uzyskać najbardziej wiarygodne oszacowanie kosztów i czasu trwania inwestycji, należy prowadzić analizy zgodnie z faktycznym postępem realizacji projektu. Szacowane rzeczywiste koszty i czas trwania nie są niezawodne w pierwszym okresie projektu, a stabilizują się dopiero w drugim okresie, w którym w zależności od scenariusza przyjętego dla dalszych prac szacują rzeczywiste wartości z dużą dokładnością (Ziółkowska i Połowski, 2015).

Klasycznie metodę wartości wypracowanej stosuje się przy zarządzaniu kosztami, a nie do prognozowania czasu trwania projektu. Najnowsze trendy badawcze wykazują wzrost zainteresowania wykorzystaniem dodatkowych wskaźników wydajności do przewidy-

wania całkowitego czasu trwania projektu (Khamooshi i Golafshani, 2004). Rozszerzeniem metody wartości wypracowanej jest np. dodanie elementu dotyczącego zarządzania wypracowanym czasem (ang. *earned duration management* – EDM). Wiąże się to z wprowadzeniem standardowo niestosowanych dodatkowych miary, takich jak: wskaźnik wydajności projektu, wypracowany wskaźnik czasu trwania oraz współczynnik zgodności (Andrade, Martens i Vanhoucke, 2019).

Źródła danych o przedsięwzięciach budowlanych

Aby osiągnąć postawiony cel badań, tzn. dokonać analizy trzech wybranych przedsięwzięć budowlanych monitorowanych przez nadzór bankowy w odniesieniu do występujących odchyłeń od harmonogramu i budżetu, niezbędne było pozyskanie rzeczywistych danych dotyczących zakończonych i skutecznie zrealizowanych przedsięwzięć budowlanych. Podstawowymi danymi niezbędnymi do przeprowadzenia badań są zaplanowany budżet i czas trwania inwestycji w formie harmonogramu rzeczowo-finansowego oraz informacje o rzeczywistym przebiegu procesu budowlanego, zwłaszcza wartościach zapłaconych i wykonanych/wypracowanych robót budowlanych.

Dane do badań zgromadzono podczas wieloletniej praktyki autorów świadczących usługi bankowego inspektora nadzoru w imieniu banków udzielających kredyty inwestycyjne dla zamówień niepublicznych. Pozyskano dane dotyczące 40 inwestycji budowlanych, tj. 536 raportów sporządzonych przez uczest-

niczących w przebiegu analizowanych przedsięwzięć budowlanych inspektorów nadzoru bankowego (Bauer-Celny, Konior i Szóstak, 2006–2019).

Autorzy artykułu gromadzili i przetwarzali znaczącą część tych danych podczas prowadzonych comiesięcznych bezpośrednich inspekcji techniczno-finansowych na placach budów realizowanych inwestycji. Zebrane dane były wynikiem pomiarów bieżącego stanu zaawansowania harmonogramu i wykonanych robót budowlanych. Narastające wartości wykonanych prac na terenie budowie stanowiły skumulowany koszt, który określany cyklicznie i spójnie przez tych samych autorów z audytorskim podejściem do pomiaru wyznaczał przebieg krzywej odpowiadającej monitorowanej i kontrolowanej inwestycji budowlanej. Każda wartość kosztu wykonanych robót budowlanych w kontrolowanym okresie rozliczeniowym była wielokrotnie sprawdzana i weryfikowana – najpierw przez generalnego wykonawcę i podwykonawców, potem przez wielobranżowych inspektorów nadzoru, następnie przez zespół bankowego inspektora nadzoru i ostatecznie przez departament analiz ryzyk inwestycyjnych banku finansującego. Wartości kosztów wykonanych robót budowlanych były każdorazowo przedstawiane i przetwarzane dokumentacyjnie – w protokołach przerobu i raportach BIN. Wydanie raportu wstępnego, miesięcznego i końcowego BIN było poprzedzone wewnętrznym sprawdzeniem poprawności i weryfikacją spójności środków finansowych wskazywanych do finansowania lub refinansowania przez bank.

Zgodnie z przyjętą metodologią znając planowany koszt całkowity ro-

bót (*BAC*) i czas wykonania (*PD*), po oszacowaniu kosztów rzeczowego postępu robót (*EV*), porównaniu go z wartościami zaplanowanymi w okresie objętym aktualizacją (*PV*) oraz po zebraniu danych o rzeczywistych kosztach wykonanych robót (*AC*) można wyznaczyć podstawowe wskaźniki świadczące o realnym postępie prac, tj.: wskaźnik wykorzystania kosztu (*CPI*) oraz wskaźnik wykonania harmonogramu (*SPI*), a także prognozowane całkowite koszty zakończenia robót (*EAC*) oraz prognozowany całkowity czas wykonania robót (*ETTC*). Formuły obliczeniowe według EVM są powszechnie znane i opisane w wielu publikacjach (Połoński i Komentarek, 2011; Połoński, 2015; Połoński i Ziółkowska, 2018).

Analiza pomiaru czasu i kosztu

W niniejszym artykule przedstawiono przykładową analizę przeprowadzoną dla wybranych trzech przedsięwzięć budowlanych dotyczących budynków zbiorowego zamieszkania. Podstawowe dane o analizowanych przedsięwzięciach przedstawiają się następująco:

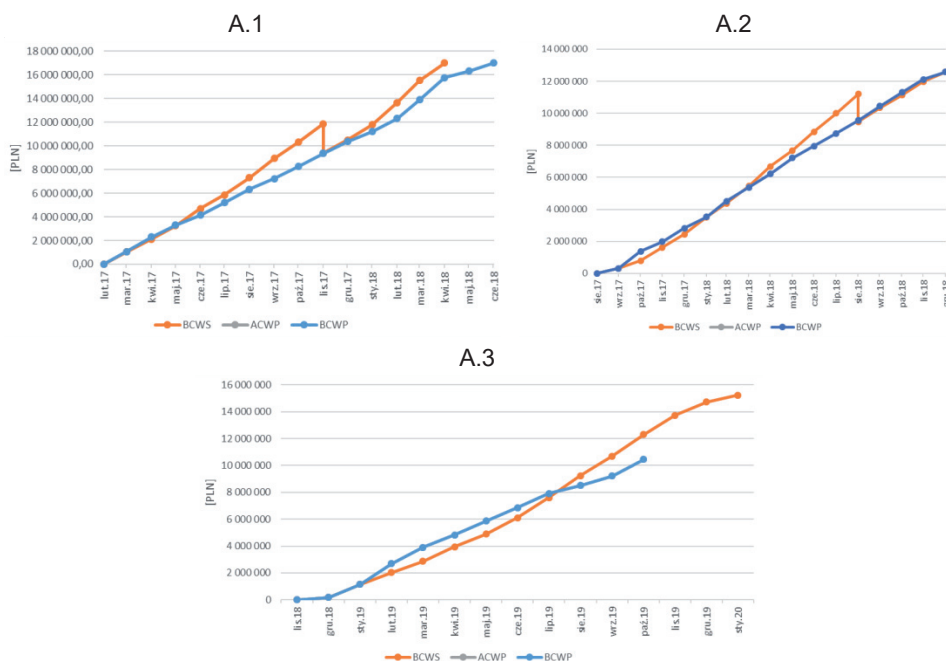
- przedsięwzięcie A.1: planowany koszt całkowity robót wynosił 17 002 557 PLN netto, planowany czas wykonania: marzec 2017 – marzec 2018 r. (tj. 13 miesięcy), rzeczywisty koszt całkowity robót wyniósł 17 002 557 PLN netto, a rzeczywisty czas wykonania: marzec 2017 – czerwiec 2018 r. (tj. 16 miesięcy),
- przedsięwzięcie A.2: planowany koszt całkowity robót wynosił 12 580 200 PLN netto, planowa-

ny czas wykonania: wrzesień 2017 – październik 2018 r. (tj. 14 miesięcy), rzeczywisty koszt całkowity robót wyniósł 12 580 200 PLN netto, a rzeczywisty czas wykonania: wrzesień 2017 – grudzień 2018 r. (tj. 16 miesięcy),

- przedsięwzięcie A.3: planowany koszt całkowity robót wynosił 15 231 003 PLN netto, planowany czas wykonania: grudzień 2018 – styczeń 2020 r. (tj. 14 miesięcy). Analiza dla tego przedsięwzięcia obejmuje okres od grudnia 2018 do października 2019 r., dlatego planowany koszt w analizowanym okresie wynosił 12 313 827 PLN netto, a rzeczywisty koszt robót wyniósł 10 457 726 PLN netto.

Na rysunku 1 przedstawiono planowany koszt całkowity robót w porównaniu do rzeczywistego kosztu robót dla analizowanych przedsięwzięć budowlanych. Wykresy kosztów skumulowanych przypominają kształtem literę „S”. Krzywe na początku i końcu realizacji są bardziej płaskie, a pomiędzy nachylenie jest strome.

Analizowane przedsięwzięcia budowlane realizowane były zgodnie z planowanymi budżetami. Krzywe *ACWP* pokrywają się z krzywymi *BCWP*. Dla przedsięwzięć A.1 i A.2 w pierwszych miesiącach ($0,2 < t < 0,6$, gdzie t to całkowity czas trwania przedsięwzięcia budowlanego) tych realizacji dostrzegalny jest większy postęp niż planowa-



RYSUNEK 1. Planowany koszt całkowity robót w porównaniu do rzeczywistego kosztu robót dla analizowanych przedsięwzięć budowlanych (opracowanie własne)

FIGURE 1. The budgeted cost of the work scheduled versus the actual cost of the work performed for the analyzed construction projects (own elaboration)

no ($ACWP > BCWS$). Potwierdzają to wykresy wskaźników oceny stopnia zaawansowania robót (rys. 2).

czyną opóźnienia prac na terenie budowy przedsięwzięcia A.2.

Każda inwestycja odnotowała ujem-



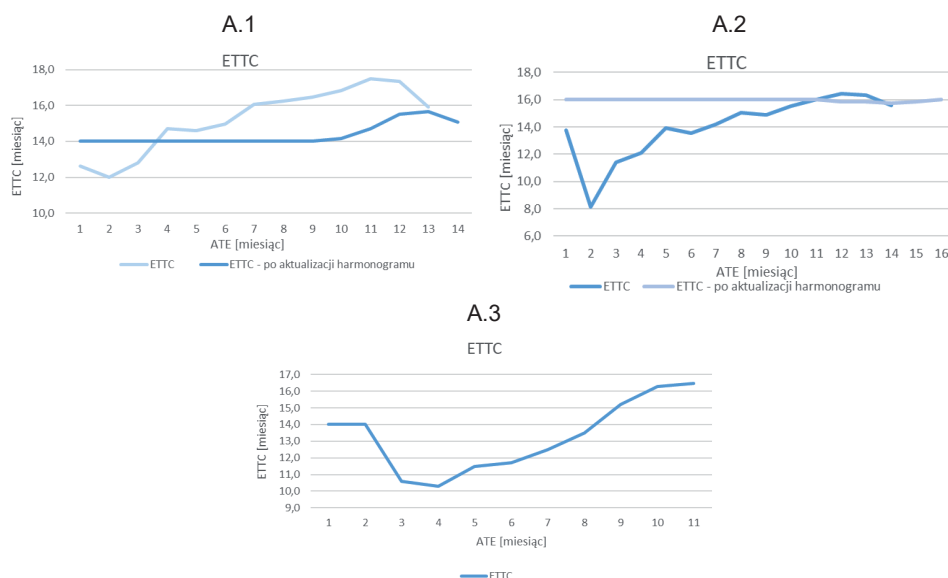
RYSUNEK 2. Zmienność podstawowych wskaźników SV , $SV\%$ oraz SPI dla analizowanych budynków zbiorowego zamieszkania (opracowanie własne)

FIGURE 2. Variability of basic indicators SV , $SV\%$ and SPI for the analyzed residential buildings (own elaboration)

W trzecim miesiącu budowy wykonano o 20–30% więcej prac niż zakładano (dotyczy to przedsięwzięć A.2 oraz A.3), od czwartego miesiąca widoczny jest zaś trend spadkowy wszystkich krzywych wskaźników. Zauważalne są również ujemne odchylenia od harmonogramu SV , które świadczy o opóźnieniu. W przypadku przedsięwzięcia budowlanego A.1 sytuacja ta związana była z trudnościami technologicznymi oraz większą pracochłonnością niż przewidywano w wykonaniu dwukondygnacyjnego wykopu szerokoprzestrzennego w ścianie szczelinowej, warunkami pogodowymi (kilkunastostopniowy mróz dobowy) oraz rynkowymi trudnościami kontraktowania podwykonawców przez generalnego wykonawcę. Zbyt mała liczba pracowników była również przy-

ne odchylenie (opóźnienie) od harmonogramu, co wiązało się z koniecznością jego aktualizacji. Wystąpienie opóźnień potwierdza wykres wskaźników wykonania harmonogramu przedstawiony na rysunku 3 ($SPI < 1$). Z tego powodu podczas trwania realizacji wykonano aktualizacje harmonogramów rzeczowo-finansowych w celu utrzymania możliwości wiarygodnego monitorowania kosztu i czasu prowadzonego zadania.

Na rysunku 3 zaprezentowano wykresy rozkładu zmiennej $ETTC$ analizowanych realizacji. Widoczne jest, że w pierwszej fazie przedsięwzięcia (25% zaawansowania harmonogramu) prognozy mają małą trafność. Dwa przedsięwzięcia inwestycyjne (A.1 oraz A.2) zakończono po 16 miesiącach. Dostrzegalne jest, że w drugiej połowie reali-



RYSUNEK 3. Wykresy prognozy całkowitego czasu trwania analizowanych budynków zbiorowego zamieszkania (opracowanie własne)

FIGURE 3. Forecasts of the total duration of for the analyzed residential buildings (own elaboration)

zacji wartość wskaźnika *ETTC* zdeteminowana jest niewielkim odchyleniem od rzeczywistego terminu zakończenia prac.

Wnioski ogólne i podsumowanie

Analiza odchyleń i wykonania budżetu oraz harmonogramu przedsięwzięć budowlanych monitorowanych przez nadzór bankowy wykazała, że:

- obliczenia wykonane zgodnie z metodą wartości wypracowanej pozwalają na ocenę rzeczywiste wypracowanych kosztów poszczególnych przedsięwzięć inwestycyjnych,
- na podstawie kilku prostych parametrów (*EV*, *PV*, *AC*) i wynikających z nich wskaźników (*CPI*, *SPI*, *EAC*, *ETTC*) można szybko ocenić rzeczy-

wisty postęp przedsięwzięć budowlanych,

- szacowane rzeczywiste koszty i czas trwania nie są niezawodne w pierwszym okresie projektu, a stabilizują się dopiero w drugim okresie, w którym w zależności od scenariusza przyjętego dla dalszych prac szacują rzeczywiste wartości z dużą dokładnością, co wskazują uzyskane wyniki dla analizowanych przedsięwzięć budowlanych,
- analiza i cykliczne monitorowanie wskaźników *CPI* i *SPI* pozwala na prawidłowe zarządzanie przedsięwzięciami inwestycyjnymi. Otrzymane wartości pozwalają w odpowiednim czasie na podjęcie działań związanych z aktualizacją harmonogramów rzeczowo-finansowych w celu odzwierciedlenia stanu fak-

tycznego i prawidłowe oszacowanie rzeczywistych kosztów i wyznaczenie realnego terminu zakończenia przedsięwzięcia.

W artykule analizę przeprowadzono tylko dla wybranych budynków zbiorowego zamieszkania. Uzasadnione jest kontynuowanie badań w odniesieniu do występujących odchyleń od harmonogramu i budżetu dla różnych obiektów budowlanych, np. budynków biurowych, obiektów handlowo-usługowych, budynków hotelowych i innych.

Literatura

- Al-Jibouri, S.H. (2003). Monitoring systems and their effectiveness for project cost control in construction. *International Journal of Project Management*, 21(2), 145-154.
- Andrade, P.A., Martens, A. de i Vanhoucke, M. (2019). Using real project schedule data to compare earned schedule and earned duration management project time forecasting capabilities. *Automation in Construction*, 99, 68-78.
- Araszkiewicz, K. (2016). Zarządzanie ryzykiem przedsięwzięć budowlanych w środowisku wieloprojektowym. *Finanse, Tynki Finansowe, Ubezpieczenia*, 4(82), 559-569.
- Bauer-Celny, A., Konior, J. i Szóstak, M. (2006–2019). Initial, Monthly, Close-out Reporting of Bank Investment Supervision; PM Group Polska sp. z o.o. 2006–2015 and 3EPCM sp. z o.o. 2016–2019: Wrocław, Poland.
- Czarnigowska, A. (2008). Earned value method as a tool for project control. *Budownictwo i Architektura*, 3(2), 15-32.
- Dziadosz, A., Kapliński, O. i Rejment, M. (2014). Usefulness and fields of the application of the Earned Value Management in the implementation of construction projects. *Budownictwo i Architektura*, 13(4), 357-364.
- Głodziński, E. (2014). Zarządzanie projektami w warunkach niepewności – zakres i metodyka. *Przegląd Organizacji*, 7, 34-40.
- Kerzner, H. (2003). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. New York NY: John Wiley & Sons.
- Khamidi, M.F., Ali, W. i Idrus, A. (2011). Application of Earned Value Management System on an Infrastructure Project: A Malaysian Case Study. *International Conference on Management Science & Engineering*, 8, 1-5.
- Khamooshi, H. i Golafshani, H. (2014). EDM: Earned Duration Management, a new approach to schedule performance management and measurement. *International Journal of Project Management*, 32(6), 1019-1041.
- Kwon, O., Kim, S., Paek, J. i Eom, S.J. (2008). Application of Earned Value in the Korean Construction Industry. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 7(1), 69-76.
- Mingus, N. (2001). *Alpha Teach Yourself Project Management*. New York: Simon & Schuster.
- Połoński, M. (2015). Kontrola kosztów realizacji obiektu budowlanego metodą Earned Value. W T. Kasprówicz (red.), *Inżynieria przedsięwzięć budowlanych: Rekomendowane metody i techniki* (strony 81-125). Warszawa: Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN.
- Połoński, M. (2018). *Kierowanie budowlanym procesem inwestycyjnym*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- Połoński, M. i Komendarek, P. (2011). Bieżąca kontrola kosztów realizacji obiektu budowlanego metodą earned value. *Metody ilościowe w Badaniach Ekonomicznych*, 12(2), 279-290.
- Połoński, M. i Ziółkowska, A. (2018). Prognozowanie w metodzie EVM terminu i kosztu końcowego realizacji obiektu na podstawie bieżącego zaawansowania. W A. Sobotka, E. Radziszewska-Zielina (red.), *Inżynieria przedsięwzięć budowlanych: problemy, modele, metody* (strony 207-233). Warszawa – Kraków: Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN.
- Project Management Institute [PMI] (2008). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. Pennsylvania: Project Management Institute.
- Vandevoorde, S. i Vanhoucke, M. (2006). A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International Journal of Project Management*, 24(4), 289-302.

- Zavadskas, E.K., Turskis, Z. i Tamodaitienė, J. (2010). Risk assessment of construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(1), 33-46.
- Ziółkowska, A. i Połowski, M. (2015). Application of the EVM method and its extensions in the implementation of construction objects. *Engineering Structures and Technologies*, 7(4), 189-196.

Streszczenie

Odchylenia i wykonania budżetu oraz harmonogramu przedsięwzięć budowlanych monitorowanych przez nadzór bankowy na przykładzie budynków zbiorowego zamieszkania. Kluczowymi elementami decydującymi o powodzeniu lub porażce przedsięwzięć budowlanych są czas i koszt. Celem artykułu jest analiza i ocena przebiegu zróżnicowanych przedsięwzięć budowlanych w zakresie badania odchylenia i wykonania budżetu oraz harmonogramu przedsięwzięć budowlanych. Obliczenia wykonane zgodnie z metodyką wartości wypracowanej (ang. *earned value method* – EVM) pozwoliły na ocenę rzeczywiste wypracowanych harmonogramów oraz kosztów poszczególnych zadań inwestycyjnych. Dane do analizy pozyskano z własnych doświadczeń i pracy zawodowej autorów artykułu świadczących usługi bankowego inspektora nadzoru w latach 2006–2019 w imieniu banków udzielających kredyty inwestycyjne dla zamówień niepublicznych.

Summary

Deviations and implementation of the budget and schedule of construction projects monitored by the bank supervision on the example of residential buildings. Time and cost are key elements that determine the success or failure of construction projects. The aim of the article is to analyze and assessment of the course of various construction projects in the field deviations and implementation of the budget and schedule of construction projects. Calculations made in accordance with the earned value methodology allowed the assessment of the actual cost of the work performed and scheduled for the analyzed construction projects. The data for analysis was obtained from the authors' own experience and professional work. The authors carried out bank investment supervision in the years 2006–2019 on behalf of the banks that grant investment loans for non-public contracts.

Authors' address:

Jarosław Konior
(<https://orcid.org/0000-0002-3824-1948>)
Mariusz Szóstak – corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0003-4439-6599>)
Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Katedra Budownictwa Ogólnego
pl. Grunwaldzki 11, 50-377 Wrocław
Poland
e-mail: mariusz.szostak@pwr.edu.pl

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 494–503

Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 494–503

Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)

<http://iks.pn.sggw.pl>

DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.43

**Magdalena KOWACKA, Dariusz SKORUPKA, Artur DUCHACZEK,
Dominika DUDZIAK-GAJOWIAK, Agnieszka WANIEWSKA**

Akademia Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza Kościuszki, Wydział Zarządzania
General Tadeusz Kościuszko Military University of Land Forces, Faculty of Management

Określenie charakteru i wartości ryzyka prac geodezyjnych z zastosowaniem logiki rozmytej

Determining the nature and value of the risk of geodetic works using fuzzy logic

Słowa kluczowe: budownictwo, ryzyko, geodezja, drogi

Key words: construction, risk, geodesy, roads

Wprowadzenie

Planowanie inwestycji (w tym inwestycji budowlanych) dotyczy przyszłości, więc obarczone jest błędem predykcji. Nie można na wstępnym etapie przewidzieć wszystkich potencjalnych zakłóceń, dlatego aby lepiej odzwierciedlić rzeczywistość *a priori*, zakłada się możliwość wystąpienia czynników ryzyka. Czynniki te występują nie tylko na etapie planowania, ale także na etapie realizacji przedsięwzięć budowlanych. Problem ten dotyczy różnych przedsięwzięć budowlanych (Leśniak i Janowiec, 2019; Leśniak, Juszczak

i Piskorz, 2019), w tym realizacji przedsięwzięć budowy dróg. Można w nich zidentyfikować wiele czynników ryzyka występujących na różnych poziomach zaawansowania poszczególnych zadań. Poprawna realizacja robót ziemnych, które w tego typu przedsięwzięciach występują już na etapie początkowym, może mieć ogromny wpływ nie tylko na koszt realizacji inwestycji, ale również na czas trwania poszczególnych prac czy konieczność wystąpienia robót naprawczych (Sobotka, Radziszewska-Zielina, Plebankiewicz, Zima i Kowalik, 2014).

Wystąpienie określonych czynników ryzyka może spowodować konsekwencje czasowe, kosztowe lub jakościowe. Podczas analizy literatury można również wyselekcjonować konsekwencje społeczne związane np. z utrudnieniami w przemieszczaniu się ludności lub wy-

padkowością na placach budowy (Hoła, 2010; Hoła i Szóstak, 2014).

Prace geodezyjne są niezbędnym elementem podczas trwania całego przedsięwzięcia budowy drogi. Obecność geodety na placu budowy związana jest z pomiarami wstępnymi, domiarami, pomiarami kontrolnymi bieżących elementów czy elementów do rozbiórki. Zatem, jak łatwo wywnioskować, ich błędna realizacja ma bardzo duży wpływ na wykonywane prace budowlane, co było jednym z głównych powodów zbadania tego tematu.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie praktycznego zastosowania logiki rozmytej jako elementu autorskiej metody MORAG (ang. *Method of Risk Analysis for Geodesy*) z wykorzystaniem danych pozyskanych z faktycznych przedsięwzięć budowlanych.

Logika rozmyta

Autorska metoda MORAG, czyli metoda analizy czynników ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg (Kowacka, 2019), polega na jednoczesnym zastosowaniu metody analitycznej i logiki rozmytej. Logikę rozmytą przedstawiono przy użyciu programu MATLAB do określenia charakteru i wartości ryzyka na podstawie bazy reguł oraz funkcji przynależności podanych przez ekspertów. Ekspert podaje swoje oceny, które są obarczone pewnym błędem i pewną niepewnością tym mniejszymi, im większe są jego wiedza i doświadczenie. Charakterystyczne jest również to, że problem występowania geodezyjnych czynników ryzyka w pracach budowy dróg nie jest deter-

ministyczny, występują tu niepewności w określaniu wartości w dłuższym czasie. Zaobserwować można, że czynniki ryzyka, a przede wszystkim ich wpływ na przedsięwzięcie nie są zamkniętą listą. Zarówno ich liczba, jak i poziom wyliczonego ryzyka może ulec zmianie, np. przy wystąpieniu mniej awaryjnego sprzętu zwiększy się poziom ufności, a co za tym idzie zmniejszy się możliwość popełnienia błędu (Pedrycz, 1993; Kacprzyk, 1997). Uwzględnić należy to, że przy ocenie zarówno ryzyka, jak i samych jego czynnikach kluczowy jest czynnik ludzki, co w sposób istotny wpływa na oceny ekspertów.

Na rysunku 1 przedstawiono klasyczny system typu MISO (ang. *Multiple Input Single Output*) jako model wyznaczania ryzyka dla pojedynczego czynnika ryzyka, na którym znajdują się trzy wejścia wygenerowane dzięki pozyskanej wiedzy ekspertów, określające hierarchię możliwości występowania danego czynnika oraz konsekwencje czasowe i kosztowe. W wyniku analizy otrzymujemy jedno wyjście będące odpowiednio wartością ryzyka. Zastosowano metodę wyostrzania (defuzyfikacji) na podstawie parametru środka ciężkości obszaru występującego pod krzywą funkcji przynależności (Sivanandam, Sumathi i Deepa, 2007).

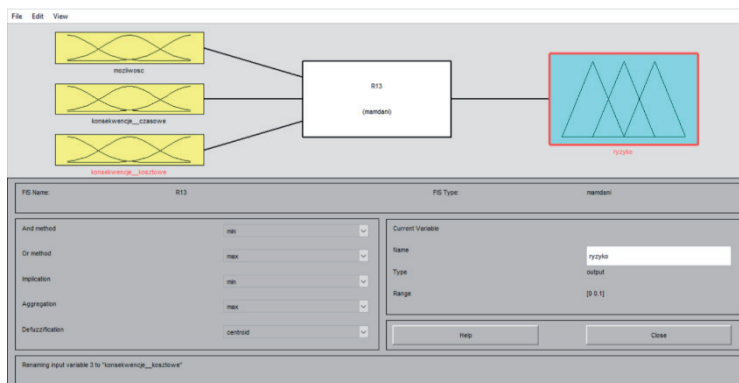
Zastosowano tutaj regulator rozmyty, tzw. sterownik Mamdaniego, wyliczając funkcję przynależności. Dla dwuwejściowego modelu reguła będzie miała postać (Ficoń, 2013)

$$\frac{IF \frac{(x1 \text{ IS } A1) AND}{OR} (x2 \text{ IS } A2) THEN (y \text{ IS } C)}{NOT}$$

gdzie:

x_1, x_2, y – zmienne lingwistyczne,
 A_1, A_2, C – zbiory rozmyte, które okre-
 ślają wartości zmiennych lingwistycz-
 nych x_1, x_2, y .

wykazały większą zbieżność wyników
 uzyskanych przy użyciu sterownika
 Mamdaniego od wyników uzyskanych
 przy użyciu sterownika Takagiego–Su-
 gena, w którym na wyjściu modelu



RYSUNEK 1. Schemat z programu MATLAB dla czynnika R13 (badania własne)

FIGURE 1. Diagram from MATLAB for R13 (own studies)

Dla omawianego modelu reguła
 sprowadzi się do postaci (Ficoń, 2013)

$$\frac{IF \frac{(x_1 IS A_1) AND}{OR} (x_2 IS A_2) AND}{NOT} \frac{OR}{NOT} (x_3 IS A_3) THEN (y IS C)$$

gdzie:

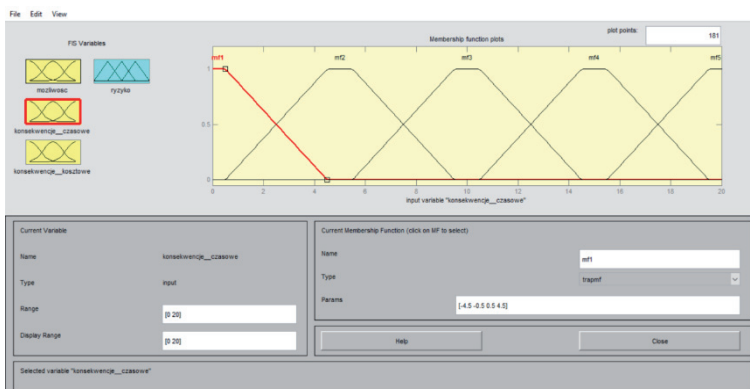
x_1, x_2, x_3, y – zmienne lingwistyczne,
 A_1, A_2, A_3, C – zbiory rozmyte, które
 określają wartości zmiennych lingwi-
 stycznych x_1, x_2, x_3, y .

Sterownik Mamdaniego zastoso-
 wano w modelu z dwóch powodów. Po
 pierwsze wartość wyjściowa jest w po-
 staci zbioru rozmytego. Po drugie mo-
 del Mamdaniego dobrze się sprawdza,
 gdy system ma stosunkowo mało wejść.
 Liczba reguł bowiem rośnie wykładniczo
 wraz z liczbą wejść modelu. Dodatko-
 wo badania własne na kilku czynnikach

zamiast zbiorów rozmytych otrzymywa-
 ne są funkcje najczęściej liniowe. Au-
 torzy planują kontynuację tego wątku
 w przyszłych publikacjach.

Model systemu rozmytego został od-
 powiednio przeskalowany tak, aby kore-
 lował z modelem analitycznym. Zakre-
 sy odpowiednich wartości wejściowych
 i wyjściowej muszą być zgodne z otrzy-
 manymi za pomocą metody analitycznej,
 gdyż trudno byłoby w innym przypadku
 porównać obie metody.

Na rysunku 2 przedstawiono funkcje
 przynależności przykładowej wartości
 wejściowej – zmiennej *konsekwencje
 czasowe*, w której określono dziedzi-
 nę funkcji w skali 0–20. Podobnie jak
 w przypadku zmiennej *możliwość*, zało-
 żenie dziedziny jest słuszne dla tego kon-
 kretnego przykładu, w każdym innym
 przypadku stosowana jest dziedzina do
 n . Górna granica skali określa bowiem



RYSUNEK 2. Przykładowy model wartości wejściowej – zmienna *konsekwencje czasowe* (badania własne)

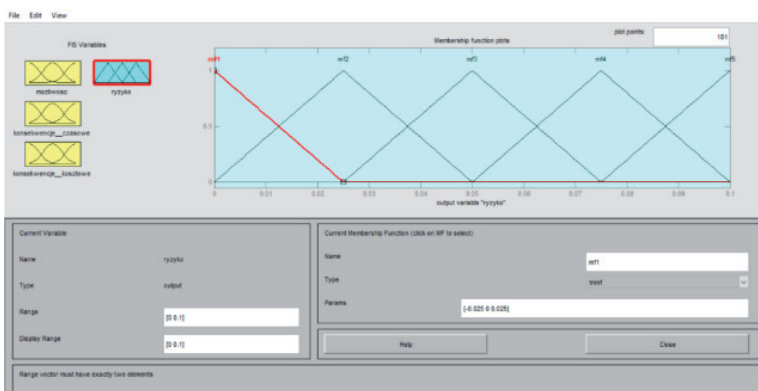
FIGURE 2. Sample input value model – variable *time consequences* (own studies)

liczebność zbioru czynników ryzyka, a w tym przypadku autorzy wspomagając się informacjami otrzymanymi od ekspertów, sprecyzowali 20 czynników ryzyka geodezyjnego w przedsięwzięciach budowy dróg. Przedstawiona funkcja przynależności wizualizuje kształt funkcji jako trapezowy.

Analogicznie przedstawione są pozostałe wartości wejściowe modelu, tj. zmienna *możliwość* oraz zmienna *konsekwencje kosztowe*. W wyniku przeglądu

literatury dokonano wyboru określonych kształtów funkcji przynależności, których zastosowanie zaowocowało otrzymaniem przedstawionych wyników. Po przetestowaniu różnych możliwości autorzy dokonali takiego wyboru funkcji przynależności, ponieważ najlepiej korelowały z wynikami otrzymanymi wprost z metody analitycznej.

Na rysunku 3 przedstawiono ryzyko za pomocą funkcji trójkątnych oraz dziedziny 0–0,1. Wartość ryzyka zawarta jest



RYSUNEK 3. Model wartości wyjściowej ryzyka (badania własne)

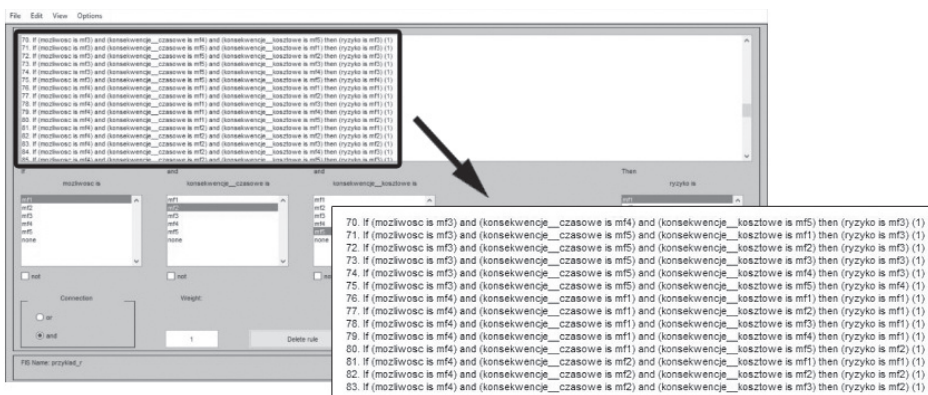
FIGURE 3. Risk baseline model (own studies)

w przedziale $[0, 0,1]$, co pokazano na rysunku 1. Zakres przedstawiania ryzyka został przeskalowany w celu zwiększenia przejrzystości wyników oraz ułatwienia porównania wartości uzyskanych za pomocą zmiennych rozmytych z wartościami wyznaczonymi wprost przy użyciu metody analitycznej.

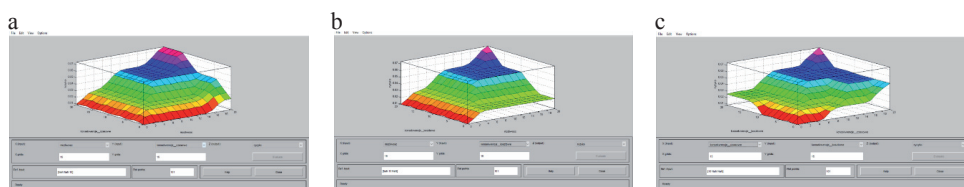
Na rysunku 4 przedstawiono bazę reguł zamodelowaną w przeznaczonym do tego edytorze. Każdy czynnik ryzyka zdefiniowano osobno jako system z trzema wejściami i jednym wyjściem. Zgodnie z danymi od eksperta każda ze zmiennych wyjściowych jest zamodelowana z użyciem pięciu funkcji przynależności, dlatego liczba reguł dla każdego czynnika wynosi $125 = 5^3$. Wartość ryzyka jest obliczana na podstawie możliwości wystą-

pienia czynnika, konsekwencji czasowej oraz kosztowej (Klir i Folger, 1988).

Ostatecznie otrzymano schematy, które wskazują na zmienność ryzyka i wizualizują określone wyniki (rys. 5). System jest zamodelowany w przestrzeni czterowymiarowej (trzy wejścia oraz jedno wyjście), zatem możliwość wizualizacji wyników wymaga wizualizacji częściowych. Na płaszczyźnie w sposób czytelny można przedstawić przestrzeń maksymalnie trójwymiarową. Z tego powodu na rysunku 5 przedstawiono wykresy ukazujące zależności wartości wyjściowej (ryzyka) umiejscowionej zawsze na osi Z (pionowej) od wartości wejściowych podanych parami odpowiednio na osiach X i Y (Kacprzyk, 1986; Bubnicki, 2005).



RYSUNEK 4. Edytor reguł (badania własne)
FIGURE 4. Rules editor (own studies)



RYSUNEK 5. Zależność ryzyka od konsekwencji: czasowych i prawdopodobieństwa (a), kosztowych i prawdopodobieństwa (b) oraz czasowych i kosztowych (c) (badania własne)
FIGURE 5. Risk dependence on consequences of: time and probability (a), cost and probability (b), and time and cost (c) (own studies)

Dane do obliczeń

Obliczenia sporządzono dla 20 czynników ryzyka prac geodezyjnych, opisanych szczegółowo w innej publikacji autorów (Kowacka, Skorupka, Duchaczek, Waniewska i Dudziak-Gajowiak, 2019), które wyspecyfikowano na podstawie analizy literatury przedmiotu, doświadczenia, wiedzy eksperckiej, dostępnej dokumentacji oraz analizy studium przypadku.

Określenie hierarchii prawdopodobieństwa oraz konsekwencji przy uwzględnieniu kryteriów czasu i kosztu dały wyniki określone w tabeli 1.

Analizy z wykorzystaniem logiki rozmytej

Podstawowym uzasadnieniem zastosowania logiki rozmytej w autorskiej metodzie analizy ryzyka prac geodezyjnych MORAG jest konieczność uwzględnienia niepewności w wiedzy eksperta. Przeprowadzenie analizy dostępnej literatury przedmiotu wykazało, że zastosowanie zmiennych losowych i rozkładów prawdopodobieństwa nie spełnia wymagań dla metody analizy ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg, założonych przez autorów. Istotnym elementem jest więc zastosowanie logiki rozmytej. Otrzymane wyniki wartości ryzyka oraz ryzyka z uwzględnieniem wpływu na koszt i czas realizacji harmonogramu przedstawiono w tabeli 2.

Analiza wyników

W wyniku zastosowania logiki rozmytej otrzymano konkretne wartości zarówno całkowitego ryzyka (tj. przy

uwzględnieniu wpływu na czas i koszt przedsięwzięcia), jak i ryzyka dla poszczególnych czynników przy uwzględnieniu tylko jednej z tych konsekwencji (tylko czasowych lub tylko kosztowych). Otrzymane wyniki wyraźnie nie przekraczają dla poszczególnych czynników 10% wartości całości.

Ideą zastosowania rozmytej reprezentacji wiedzy było uwzględnienie niepewności zarówno eksperta, jak i tej wynikającej z samego charakteru ryzyka.

Autorzy planują w kolejnych badaniach skupić się na analizie zastosowania innych parametrów modelu rozmytego, a także na pozyskaniu większej liczby ekspertów w celu uzyskania jeszcze bardziej precyzyjnych wyników.

Podsumowanie

Warto zwrócić uwagę, jak znaczące jest, aby prace geodezyjne podczas realizacji przedsięwzięć budowlanych były w jak najmniejszym stopniu obciążone występowaniem czynników ryzyka. Wykonanie błędnych pomiarów, które zostaną wdrożone do realizacji bez wychwycenia ich niepoprawności, może nieść za sobą znaczące koszty, a także opóźnienia w realizacji przedsięwzięcia oraz może spowodować konieczność rozbioru elementów gotowych. Z tego powodu podjęto prace nad opracowaniem metody analizy ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg, czego element przedstawiono w artykule. W pracy przedstawiono również zastosowanie logiki rozmytej do określenia charakteru i wartości ryzyka prac geodezyjnych na podstawie bazy reguł oraz funkcji przynależności

TABELA 1. Określenie hierarchii prawdopodobieństwa i konsekwencji wystąpienia zidentyfikowanych czynników ryzyka (Kowacka, 2019)

TABLE 1. Determining the hierarchy of probability and consequences of occurrence of identified risk factors (Kowacka, 2019)

Czynnik ryzyka Risk factor	Hierarchia prawdopodobieństwa Hierarchy of probability	Hierarchia konsekwencji – kryterium czas Consequence hierarchy – time criterion	Hierarchia konsekwencji – kryterium koszt Consequence hierarchy – cost criterion
R1 – błędnie przyjęty układ poziomy	2	11	13
R2 – błędnie przyjęty układ wysokościowy do opracowania danych i wyniesienia w teren	3	13	14
R3 – brak opracowania planu generalnego, a później jego aktualizacji	1	11	7
R4 – brak pozyskania z zasobu PODGiK informacji GESUT	2	12	12
R5 – błędne opracowanie numerycznego modelu terenu	5	11	11
R6 – brak odpowiedniego transportowania instrumentów geodezyjnych	9	6	8
R7 – brak bieżącej kontroli sprzętu	9	10	11
R8 – brak odpowiedniego doboru sprzętu	7	12	11
R9 – błędne nawiązanie wysokościowe	7	13	11
R10 – błędne nawiązanie sytuacyjne	5	14	12
R11 – brak kontroli wykonanego tyczenia	7	9	11
R12 – błędnie wykonane tyczenie poprzez opisywanie na paliku przewyższenia do poziomu projektowego	5	9	10
R13 – nieodpowiednie dobranie sposobu markowania tyczonych	4	9	9
R14 – brak tyczenia obiektów kubaturowych na ławicach	3	7	8
R15 – brak inwentaryzacji istniejących elementów przeznaczonych do rozbiórki	0	8	7
R16 – nieprawidłowa lokalizacja punktów kontrolnych, punktów osnowy	11	13	9
R17 – nieprawidłowa lokalizacja punktów osnowy realizacyjnej – punkty powodujące kolizje z elementami projektowymi	11	12	10
R18 – brak kontroli danych z zasobu PODGiK	4	9	9
R19 – brak komunikacji z wykonawcami poszczególnych asortymentów	12	15	14
R20 – brak odpowiedniej generalizacji pomiarów	7	6	5

TABELA 2. Wartość ryzyka dla i -tego czynnika (Kowacka, 2019)TABLE 2. Risk value for the i -th factor (Kowacka, 2019)

Czynnik ryzyka Risk factor	Wartość ryzyka Risk value	Wartość ryzyka kosztowego Value of cost risk	Wartość ryzyka czasowego Value of time risk
1	0,0369	0,0466	0,0343
2	0,0471	0,0482	0,0449
3	0,0262	0,0214	0,0324
4	0,0369	0,0423	0,0386
5	0,0472	0,0495	0,0471
6	0,0415	0,0495	0,0385
7	0,0616	0,0664	0,0570
8	0,0612	0,0558	0,0689
9	0,0618	0,0558	0,0705
10	0,0547	0,0522	0,0597
11	0,0498	0,0558	0,0501
12	0,0453	0,0452	0,0420
13	0,0368	0,0359	0,0378
14	0,0283	0,0319	0,0263
15	0,0192	0,0161	0,0185
16	0,0785	0,0650	0,0828
17	0,0781	0,0750	0,0815
18	0,0368	0,0359	0,0378
19	0,0939	0,0900	0,0917
20	0,0313	0,0265	0,0294

podanych przez ekspertów, co pozwala na porównanie uzyskanych wyników z tymi otrzymanymi przy użyciu tradycyjnych metod (analitycznych).

Literatura

- Bubnicki, Z. (2005). *Teoria i algorytmy sterowania*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Ficoń, K. (2013). Zastosowanie rozmytych sterowników Mamdaniego do określania ryzyka

wieloczynnikowego. *Zeszyty Naukowe Akademii Marynarki Wojennej*, 54(3), 65-88.

- Hoła, B. (2010). Methodology of hazards identification in construction work course. *Journal of Civil Engineering and Management*, 16(4), 577-585.
- Hoła, B. i Szóstak, M. (2014). Analysis of the development of accident situations in the construction industry. *Procedia Engineering*, 91, 429-434.
- Kacprzyk, J. (1986). *Zbiory rozmyte w analizie systemowej*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.

- Kacprzyk, J. (1997). *Multistage fuzzy control: a model-based approach to fuzzy control and decision making*. Chichester: Wiley.
- Klir, G.J. i Folger, T.A. (1988). *Fuzzy sets, uncertainty, and information*. Englewood Cliff: Prentice Hall.
- Kowacka, M. (2019). *Metoda analizy ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg* (rozprawa doktorska). Politechnika Wrocławska, Wrocław.
- Kowacka, M., Skorupka, D., Duchaczek, A., Waniewska, A. i Dudziak-Gajowiak, D. (2019). Risk analysis in surveying works related to roads construction. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 28(3), 377-382.
- Leśniak, A. i Janowiec, F. (2019). Risk assessment of additional works in railway construction investments using the Bayes Network. *Sustainability*, 11(19), 5388. <https://www.doi.org/10.3390/su11195388>
- Leśniak, A., Juszczak, M. i Piskorz, G. (2019). Modelling delays in bridge construction projects based on the logit and probit regression. *Archives of Civil Engineering*, 65(2), 107-120.
- Pedrycz, W. (1993). *Fuzzy control and fuzzy systems*. Taunton: Research Studies Press.
- Sivanandam, S.N., Sumathi, S. i Deepa, S.N. (2007). *Introduction to fuzzy logic using MATLAB*. Berlin: Springer.
- Sobotka, A., Radziszewska-Zielina, E., Plebaniakiewicz, E., Zima, K. i Kowalik, M. (2014). Realizacja robót ziemnych w opinii wykonawców budowlanych. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 23(1), 3-13.

Streszczenie

Określenie charakteru i wartości ryzyka prac geodezyjnych z zastosowaniem logiki rozmytej. Artykuł jest kontynuacją cyklu prac nad metodą analizy ryzyka prac geodezyjnych w przedsięwzięciach budowy dróg. W pracy przedstawiono zastosowanie

logiki rozmytej do określenia charakteru i wartości ryzyka prac geodezyjnych na podstawie bazy reguł oraz funkcji przynależności podanych przez ekspertów. Uzasadnione jest to tym, iż problem występowania geodezyjnych czynników ryzyka w pracach budowy dróg nie jest deterministyczny. W pracach tego typu występuje wiele niepewności w określaniu wartości czasu ich trwania w dłuższym okresie. Metodę przedstawiono w postaci teoretycznej wraz z przykładem jej zastosowania. Zaprezentowano również zestawienie wyników badań w formie porównawczej w odniesieniu do wcześniejszych publikacji wykorzystujących inne narzędzia badawcze.

Summary

Determining the nature and value of the risk of geodetic works using fuzzy logic.

The article is a continuation of the series of works on the method for risk analysis in surveying works in road construction projects. The paper presents the application of fuzzy logic to determine the nature and value of the risk of surveying works based on a database of rules and affiliation functions provided by experts. The fact that the issue of occurrence of risk factors in road construction works is not deterministic justifies the above. In such works, there are many uncertainties in establishing the value of their duration in the long term. The theoretical framework of the method is presented together with an example of its application. Moreover, research results are compared with previous publications using other research tools.

Authors' address:

Magdalena Kowacka – corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0002-3553-9853>)
Dariusz Skorupka
(<https://orcid.org/0000-0002-6347-6562>)

Artur Duchaczek
(<https://orcid.org/0000-0002-6263-5322>)
Dominika Dudziak-Gajowiak
(<https://orcid.org/0000-0001-6898-7241>)
Agnieszka Waniewska
(<https://orcid.org/0000-0002-6386-6579>)
Akademia Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza
Kościuszki
ul. Dubrownicka 1b/7, 51-208 Wrocław
Poland
e-mail: magdalena.kowacka@awl.edu.pl

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 504–516

Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 504–516

Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)

<http://iks.pn.sggw.pl>

DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.44

Marek SAWICKI, Mariusz SZÓSTAK

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Civil Engineering

Wpływ alkoholu na ryzyko wypadku na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych

The effect of alcohol at the workplace with the use of scaffolding on individual's occupational accident risk

Słowa kluczowe: rusztowanie budowlane, wypadek przy pracy, bezpieczeństwo pracy, używki, alkohol

Key words: scaffolding, accident at work, occupational health and safety, drugs, alcohol

Wprowadzenie

Nadużywanie spożywania alkoholu jest powszechnie uważane za poważne zagrożenie dla życia, zdrowia i bezpieczeństwa pracowników oraz osób postronnych (Miller, Zaloshnja i Spicer, 2007). Według World Health Organization alkohol znajduje się na trzecim miejscu wśród czynników ryzyka dla zdrowia ludzi, a ponad 60 rodzajów chorób i urazów ma związek ze spożywaniem alkoholu (Anderson i Baumberg, 2006; Państwowa Agencja Rozwiązywania Problemów Alkoholowych [PARPA] 2010).

Powszechnie wiadomo, że stosowane używki (m.in. alkohol, papierosy, a także substancje psychoaktywne) wpływają na zaistnienie sytuacji wypadkowej w różnych gałęziach gospodarki, m.in. w budownictwie (John, Hanke i Freyer-Adam, 2018). Według badań naukowych poświęconych nadużywaniu alkoholu grupa pracowników budowlanych należy do czołówki zawodów, w których odsetek alkoholików jest znaczący (du Plessis, Corney i Burnside, 2013; Yi i Chan, 2016).

Pracownik budowlany to typowo męski zawód wymagający wysiłku fizycznego, wykonywany na zewnątrz, zespołowo, niejednokrotnie w trudnych warunkach pogodowych. Te uwarunkowania sprzyjają, aby po wysiłku dla rozprężenia zespołowo spożyć alkohol. Dodatkowo czynnikiem przyczyniającym się do nadużywania alkoholu wśród

pracowników budowlanych jest napięcia psychiczne wywołane pracą w budownictwie, a mianowicie: stres, presja czasu i przełożonych, a także depresja (Flannery, Ajayi i Oyegoke, 2019).

Jak zostało to udowodnione, spożywanie alkoholu wpływa negatywnie na zdrowie człowieka, zmniejsza zdolność do prawidłowego bezpiecznego, tj. bezusterkowego i bezwypadkowego, wykonywania codziennych standardowych czynności (np. prowadzenie pojazdów, poruszanie się), a także czynności zawodowych (np. praca w biurze, na budowie, na rusztowaniach) (Demirel i in., 2018). Ponadto alkohol wpływa m.in. na zdolności psychomotoryczne (zaburzenia równowagi, mówienia i myślenia, spadek koncentracji, upośledzenie koordynacji ruchowej, pogorszenie zdolności postrzegania zagrożeń i inne), uszkadza wiele organów (Howland i in., 2001). Spożycie znacznej ilości alkoholu na czczo może prowadzić do hipoglikemii i spadku poziomu cukru we krwi (Huang i in., 2015). Taki stan może prowadzić do ograniczenia umiejętności manualnych, zmęczenia i rozdrażnienia, co może być przyczyną wypadków. Często osoby, które poprzedniego dnia spożywały alkohol, przeświadczone są o swojej trzeźwości na podstawie własnej oceny i dobrego samopoczucia, co jest niejednokrotnie nieprawdą. Nawet popularny wśród wielu osób mīt, że tempo spadku zawartości alkoholu we krwi można przyspieszyć poprzez długi sen, zimny prysznic, picie wody i kawy, jest nieprawdziwy.

Badania statystyczne pokazują, że organizm przeciętnego człowieka jest w stanie spalić od 0,12 do 0,15‰ alkoholu na godzinę. Proces spalania alkoholu zależy od wielu czynników, m.in.: płci,

masy ciała, indywidualnych predyspozycji związanych z przemianą materii, ilości i rodzaju spożywanych pokarmów czy stanu zdrowia. Przy małych ilościach spożytego alkoholu wydalanany jest on z wydychanym powietrzem i moczem, dopiero większe ilości atakują organizm, docierając do mózgu i innych narządów. Nadmierne i długotrwałe spożywanie alkoholu może prowadzić do wystąpienia alkoholowego uszkodzenia wątroby, uszkodzenia mięśnia sercowego i uszkodzeń mózgu (Liu i in., 2019).

Opublikowane przez Główny Urząd Statystyczny dane dotyczące średniego rocznego spożycia alkoholu na głowę statystycznego obywatela polskiego są niepokojące (GUS, 2016). Według nich poziom spożycia alkoholu wzrósł z ok. 6 l w 2002 r. do 10 l w 2018 r. Zwiększenie ilości spożycia alkoholu wpłynęło na zmniejszenie tempa przyrostu długości życia, a od 2013 r. zatrzymania tej tendencji. Ponadto według tych danych alkoholicy stanowią ok. 2% populacji w Polsce, tj. 600–800 tys. osób, a nadużywający alkohol stanowią ok. 12% populacji.

Celem prowadzonych badań było zidentyfikowanie głównych problemów związanych z nadużywaniem i ze spożywaniem alkoholu w pracy wśród pracowników budowlanych, ze szczególnym naciskiem na pracę na rusztowaniach budowlanych, a także określenie wzorców spożywania alkoholu, które jest niezbędne do ukierunkowania działań prewencyjnych w ramach skutecznej ochrony zdrowia publicznego (Biggs, Williamson i Davey, 2012). Jak dotąd nie przeprowadzono podobnych badań w Polsce i brak jest obecnie dostępnych informacji o spożywaniu alkoholu na polskich placach budowy.

Przegląd literatury

Spożywanie alkoholu w miejscu pracy w początkowym etapie prowadzi do pogorszenia wydajności pracownika, która może doprowadzić do absencji pracownika w pracy, powstania wypadku przy pracy lub innych istotnych problemów związanych z bezpieczeństwem pracowników na stanowiskach pracy, a także do problemów interpersonalnych między pracownikami (Elliott i Shelley, 2006).

Zwiększone ryzyko możliwości wystąpienia wypadku pod wpływem alkoholu wynika m.in. ze zmniejszonej koncentracji i z ograniczenia zdolności poznawczych, opóźnienia w podejmowaniu decyzji i działań mogących zapobiec powstaniu wypadku (Martin, Gadegbeku, Wu, Viallon i Laumon, 2017). Pracownik pod wpływem alkoholu staje się zagrożeniem zarówno dla siebie, jak i innych osób znajdujących się w jego otoczeniu (Marques, Jesus, Olea, Vairinhos i Jacunto, 2014).

Aby zapobiegać nadmiernemu spożywaniu alkoholu przez obywateli, w wielu państwach na świecie określano wytyczne dotyczące „bezpiecznej” konsumpcji alkoholu. Wytyczne na temat spożycia alkoholu przedstawiane są w dwójakiej formie: jako gramy alkoholu etylowego lub jako ilość „standardowych” napojów spożywanych w ciągu dnia. W przypadku ilości „standardowych” napojów określa się ilość gramów alkoholu etylowego w jednostce objętości, co pozwala na łatwe przeliczenie na poziom czystego alkoholu. W Polsce „standardowa” dawka alkoholu wynosi 10 g lub 12,5 ml czystego alkoholu etylowego. Dawka ta w przeliczeniu na

najczęściej spożywane rodzaje napojów alkoholowych wynosi odpowiednio 200 g piwa 4,5%, 100 g wina 10% oraz 25 g wódki 40%. Biorąc pod uwagę, że napoje alkoholowe zwyczajowo są sprzedawane w typowych jednostkach handlowych, miary objętościowe alkoholu wynoszą: 500 ml piwa (duże piwo) 4,5% to 22,5 ml (18 g) alkoholu, 175 ml wina (kieliszek) 10% to 21 ml (16,8 g) alkoholu, 50 ml wódki 40% to 20 ml (16 g) alkoholu.

Zgodnie z zaleceniami World Health Organization sugeruje się, aby spożywanie alkoholu w Polsce wynosiło maksymalnie 2 jednostki dziennie (tj. 20 g), maksymalnie pięć razy w tygodniu (nie więcej niż 100 g) z zachowaniem dwudniowej abstynencji w ciągu tygodnia (International Center for Alcohol Policies [ICAP], 2003).

Istotne z punktu widzenia analizowanego zagadnienia są wyniki badań przeprowadzonych przez zespół Bennera relacji między ilością spożycia alkoholu a ogólną przyczyną śmierci pracowników budowlanych (Brenner i in., 1997). Badania przeprowadzono na 8043 niemieckich pracownikach budowlanych w wieku 25–64 lat, zatrudnionych na następujących stanowiskach pracy: hydraulik, stolarz, malarz, tynkarz, murarz, niewykwalifikowani pracownicy budowlani, pracownicy biurowi, inżynierowie i architekci. Na podstawie przeprowadzonego wywiadu uzyskano informację dotyczącą liczby osób spożywających alkohol oraz ilości dziennego spożywanego alkoholu. Tylko 7,4% respondentów zadeklarowało abstynencję, a pozostali spożywali codziennie alkohol w dziennej dawce od 1 g do ponad 100 g. Najliczniejszą grupę, ponad połowa pi-

jących – 53,3%, stanowili pracownicy pijący okazjonalnie (1–49 g dziennie). Podczas prowadzonych badań zaobserwowano 172 zgony, głównie w grupie deklarujących spożycie 1–49 g dziennie.

Z kolei australijski zespół badawczy pod kierunkiem Biggsa zrealizował projekt mający na celu określenie wpływu spożywania alkoholu i stosowania innych używek na bezpieczeństwo w budownictwie (Biggs i Williamson, 2012). Badaniom ankietowym poddano 494 osoby w średnim wieku 35,7 lat ($\pm 11,4$). W ankietach pracownicy pytani byli o ilość i częstotliwość spożycia alkoholu, o zachowania związane z piciem, które mogłyby wskazywać na uzależnienie od alkoholu, oraz o negatywne konsekwencje związane ze spożywaniem alkoholu. Otrzymane wyniki wykazały, że 58% badanych osób (tj. 286 osób) w codziennej pracy ma styczność z alkoholem. Wysokie ryzyko występowania problemów alkoholowych zidentyfikowano wśród 185 badanych osób, a uzależnienie od alkoholu wystąpiło u 43 respondentów.

Jak zostało to wykazane w dokonanym przeglądzie literatury, zjawisko nadużywania i spożywania alkoholu w pracy jest powszechnie występującym problemem w wielu sektorach gospodarki. Szczególnie ten problem występuje w branżach zdominowanych przez mężczyzn (Roche i in., 2015).

Metodyka badań

W prowadzonych badaniach badano spożycie alkoholu przez pracowników pod kątem dziennej ilości spożywanego alkoholu przez pracowników budowlanych pracujących na stanowiskach pra-

cy z udziałem rusztowań budowlanych. Dane do analizy pozyskano z dwóch źródeł.

Pierwsze źródło danych o wypadkach przy pracy stanowiła dokumentacja powypadkowa sporządzana przez inspektorów Państwowej Inspekcji Pracy w Polsce. Analizie poddano 219 osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy z udziałem rusztowań budowlanych w latach 2008–2017. Na podstawie protokołu, tj. na podstawie opisu okoliczności i przyczyn wypadku, możliwe było pozyskanie informacji o stanie zdrowia poszkodowanego w trakcie i po wypadku. W protokole znajduje się również informacja, potwierdzona przez funkcjonariusza policji lub lekarza przyjmującego poszkodowanego na oddział szpitalny, o zawartości alkoholu we krwi (w % lub $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$) i ilości spożytych napojów alkoholowych, bądź stwierdzenie „stan wskazujący na spożycie alkoholu” lub „stan nietrzeźwości”. W Polsce spożycie alkoholu przez pracowników klasyfikuje się według zawartości alkoholu etylowego we krwi. Według Kodeksu karnego „stan wskazujący na spożycie alkoholu” rozumie się jako zawartość alkoholu etylowego we krwi od 0,2 do 0,5‰ lub od 0,1 do 0,25 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, a „stan nietrzeźwości” oznacza zawartość powyżej 0,5‰ lub 0,25 $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Drugie źródło danych stanowiły ankiety. Dane ankietowe były zbierane od stycznia 2016 do grudnia 2018 r. podczas realizowanego projektu naukowo-badawczego „Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych” („ORKWIZ”). Podczas badań 120 rusztowań budowla-

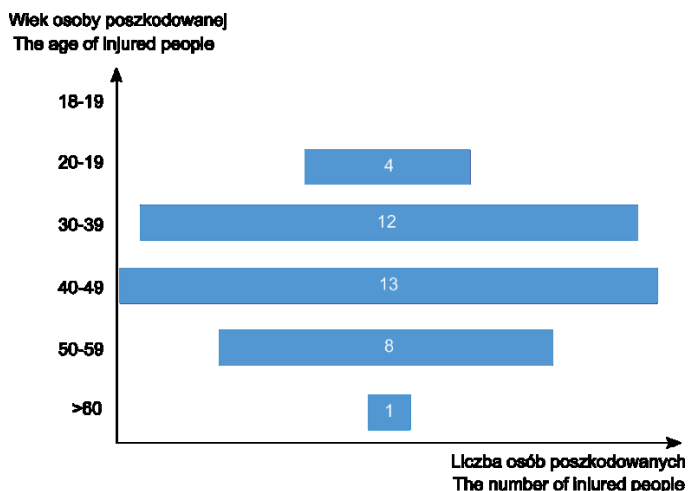
nych na wytypowanych terenach budowy przeprowadzono 573 badań ankietowych osób pracujących na takim sprzęcie. Na podstawie uzyskanych informacji od kierownictwa budów oszacowano, że dotyczy to łącznie 1500 osób. We wstępnej ankiecie, w części dotyczącej zespołu montującego rusztowanie pytano o wiek pracownika, staż pracy i posiadane doświadczenie w zakresie wykonywania tego typu pracy. Z kolei w ankiecie osobowej pytano respondentów pracujących na badanym rusztowaniu o stosowanie używek (alkoholu i innych środków odurzających czy papierosów). W pierwszej kolejności pytano ich, czy kiedykolwiek spożywali alkohol, a następnie czy spożywali go w ciągu ostatnich 12 miesięcy. W badaniach osobę niespożywającą alkohol zdefiniowano jako taką, która nigdy nie spożywała alkoholu lub która go spożywała, ale nie w ciągu ostatnich 12 miesięcy. Jeżeli respondenci twierdząco odpowiedzieli na oba pytania, zadano im kolejne pytania dotyczące częstotliwości picia. Odpowiedzią na zadane pytanie była ilość spożywanych „standardowych” napoi alkoholowych, tj. piw o pojemności 500 ml 4,5% („jedno duże piwo”), w ciągu dnia (co jest równoważne spożyciu kieliszka wina 10% o pojemności 175 ml lub wódki 40% o pojemności 50 ml). Pozyskane dane poddano szczegółowej analizie według wieku, stanu cywilnego, miejsca zamieszkania pracowników biorących udział w badaniu.

Wyniki badań – analiza dokumentacji powypadkowej

Zgromadzone protokoły kontroli dotyczące 219 osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych przeanalizowano pod kątem przyczyn wypadku. Dla autorów niniejszych badań interesująca była przyczyna ludzka: spożycie alkoholu, środków odurzających lub substancji psychotropowych (Hoła, Sawicki i Szóstak, 2018). Przyczyna związana ze spożywaniem alkoholu wystąpiła u 38 osób poszkodowanych, co stanowi 17,4% wszystkich poszkodowanych w wypadkach na rusztowaniach. Oznacza to, że co szósty wypadek przy pracy spowodowany jest nieprawidłowym stanem trzeźwości pracownika.

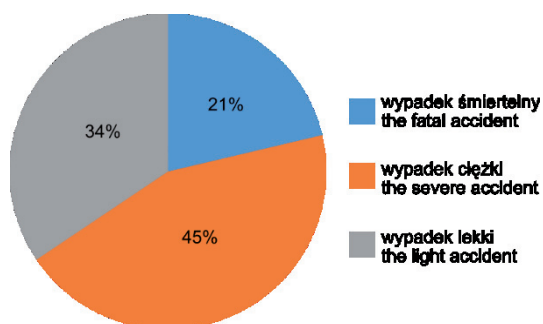
W 22 protokołach kontroli inspektorzy pracy określili dokładną zawartość alkoholu etylowego we krwi poszkodowanego, a w pozostałych 16 przypadkach w protokole umieszczono jedynie informację o przyczynie wypadku: spożycie alkoholu.

Szczegółowa analiza zawartości alkoholu etylowego we krwi poszkodowanego wykazała, że najmniejsza jego zawartość wynosiła 0,20‰ (stan wskazujący na spożycie alkoholu o typowych objawach: rozproszona uwaga), a największa 4,16‰ (stan nietrzeźwości o typowych objawach: zaburzenia równowagi, zaburzenia mowy, senność, spadek kontroli zachowania i poruszania się, upośledzenie koordynacji ruchowo-wzrokowej). Średnia zawartość alkoholu etylowego we krwi u poszkodowanych wyniosła $1,20 \pm 1,10\text{‰}$. U dwóch osób określono stan wskazujący na spo-



RYSUNEK 1. Poszkodowani w pracy pracownicy budowlani będący pod wpływem alkoholu według wieku (opracowanie własne na podstawie protokołów kontroli)

FIGURE 1. Builders injured at work, who were under the influence of alcohol, according to age (own elaboration based on control protocols)



RYSUNEK 2. Skutek wypadku w pracy, jakiemu ulegli pracownicy budowlani będący pod wpływem alkoholu (opracowanie własne na podstawie protokołów kontroli)

FIGURE 2. Result of an accident at work in which injured builders were under the influence of alcohol (own elaboration based on control protocols)

życie alkoholu, a u pozostałych 20 osób stan nietrzeźwości.

Najliczniejszą grupę stanowili pracownicy w wieku 40–49 lat (34,2% wszystkich osób, u których stwierdzono alkohol etylowy we krwi) oraz 30–39 lat (31,58%). To właśnie w tych przedziałach wiekowych (30–49) stwierdzono największą zawartość alkoholu etylowego we

krwi. Średni wiek osób poszkodowanych wyniósł 40 ± 8 lat. Jednoznacznie można stwierdzić, że wraz z wiekiem zwiększa się odsetek pracowników pijących.

Analizie poddano również skutek wypadku, który przedstawia się następująco:

- wypadkowi śmiertelnemu uległo 8 osób, co stanowi 21% analizo-

wanych wypadków; stwierdzona zawartość alkoholu w ich krwi wynosiła 0,53–4,16% (wartość średnia $1,97 \pm 0,94\%$),

- wypadkowi ciężkiemu uległo 17 osób, co stanowi 45%; stwierdzona zawartość alkoholu w ich krwi wynosiła 0,22–3,40% (wartość średnia $1,47 \pm 0,81\%$),
- wypadkowi lekkiemu uległo 13 osób, co stanowi 34%; stwierdzona zawartość alkoholu w ich krwi wynosiła 0,44–3,00% (wartość średnia $1,37 \pm 0,86\%$).

Analiza zawartości alkoholu we krwi pod kątem skutku wypadku wskazuje, że wraz ze wzrostem zawartości alkoholu etylowego we krwi wzrasta ciężkość wypadku. Duża zawartość alkoholu przyczynia się do śmierci pracownika budowlanego.

Wyniki badań – analiza danych ankietowych

Badania ankietowe wykonane wraz z badaniem 120 rusztowań w latach 2016–2018 miały na celu określenie profilu pracownika pracującego z rusztowaniami, ustalając m.in. czynniki powiązane ze spożyciem alkoholu. Spośród 1500 osób pracujących na badanych 120 placach budowy udział w ankiecie wzięło 573 z nich, co stanowi 38,3% osób zatrudnionych w badanych przedsiębiorstwach budowlanych. Struktura zatrudnienia przedstawiała się następująco:

- najliczniejszą grupą badanych byli pracownicy z przedziału wiekowego 30–39 lat, co stanowi 36,5% wszystkich ankietowanych. Są to głównie pracownicy ze średnim doświadczeniem, którzy w zawodzie

przepracowali minimum 10 lat, i według ustaleń autorów ta grupa w podobnej proporcji stanowi załogę na budowie,

- drugą grupę stanowili pracownicy w wieku 20–29 lat (31,1%) z dużo krótszym stażem pracy – od kilku dni do maksymalnie 10 lat,
- pozostali respondenci to doświadczeni pracownicy z ponad 15-letnim stażem pracy, z przedziałów wiekowych 40–49 lat (17,8%) oraz 50–59 lat (9,2%), kilku pracowników w wieku przekraczającym 60 lat, nierzadko w wieku emerytalnym (3,1%) oraz pracownicy młodociani (2,3%) – tabela 1.

Wśród respondentów dominowali pracownicy żonaci (53,1% wszystkich ankietowanych) oraz kawalerowie (43,8%), którzy wskazują jako miejsce zamieszkania stałego małe miasto (do 100 tys. mieszkańców) – 35,6%, wieś – 33,2%, oraz duże miasto (powyżej 100 tys. mieszkańców) – 31,2% (tabela 1).

Analiza miejsca zamieszkania wykazała, że najczęściej piły osoby deklarujące zamieszkanie na wsi – 99 osób, oraz w małych miastach (do 100 tys. mieszkańców) – 95 osób. Niewiele mniej, bo 80 osób, deklarowało, że mieszka na stałe w miastach o zaludnieniu powyżej 100 tys. osób.

Grupa 274 osób (tj. 47,8% ankietowanych pracowników) zadeklarowała, że w ciągu dnia spożywa alkohol, pozostałe 299 osób (52,2%) zadeklarowało, że nigdy nie spożywało alkoholu lub spożywało alkohol, ale nie w ciągu ostatnich 12 miesięcy. Podczas badań żaden pracownik nie deklarował nadużywania alkoholu, choroby alkoholowej czy spożywania alkoholu w pracy.

TABELA 1. Społeczno-demograficzne informacje o respondentach (badania własne)
TABLE 1. Socio-demographic information about respondents (own elaboration)

Profil społeczno-demograficzny ankietowanych Respondents socio-demographic profile	<i>n</i>	%
Wiek pracownika [lata] – Age of employee [years]		
18–19	13	2,3
20–29	178	31,1
30–39	209	36,5
40–49	102	17,8
50–59	53	9,2
> 60	18	3,1
Stan cywilny – Marital status		
kawaler – single	251	43,8
żonaty – married	304	53,1
rozwódziony – divorced	11	1,9
wdowiec – widower	7	1,2
Miejsce stałego zamieszkania – Place of residence		
miasto powyżej 100 tys. mieszkańców city of over 100 thous. residents	179	31,2
małe miasto do 100 tys. mieszkańców small town with up to 100 thous. residents	204	35,6
wieś village	190	33,2

Odpowiedzią na zadane w ankiecie pytanie była liczba spożywanych „standardowych” napoi alkoholowych, tj. piw o pojemności 500 ml 4,5% („duże piwo”). Spośród udzielonych odpowiedzi największa liczba spożytych w ciągu dnia „dużych piw” wyniosła 10 i została zadeklarowana przez 9 osób. Najczęściej występującą odpowiedzią było jedno piwo, a informacja taka padła od 144 respondentów, tj. 25,1% wszystkich ankietowanych osób. Wartość średnia dla badanej populacji wyniosła 2 ± 2 piwa.

Analizie poddano również wiek osób spożywających alkohol i abstynentów. Z otrzymanych danych wynika, że:

- najliczniejszą grupą spożywającą alkohol w ciągu dnia stanowili pra-

- cownicy w wieku 30–39 lat (100 osób) oraz 20–29 lat (85 osób),
- największy procent osób spożywających alkohol wystąpił wśród pracowników w wieku powyżej 60. roku życia (55,6%) oraz u osób z przedziału wiekowego 50–59 lat (54,7%),
- wraz z wiekiem zmniejsza się liczba osób pijących (tendencja malejąca) i zmienia się na niekorzyść proporcja pijących do abstynentów (zwiększa się liczba osób spożywających alkohol),
- u młodszych pracowników (18–19, 20–29, 30–39 lat) procent osób spożywających alkohol jest mniejszy niż abstynentów (tabela 2).

TABELA 2. Respondenci spożywający alkohol i abstynenci według wieku (badania własne)
TABLE 2. Consuming alcohol respondents and abstainers according to age (own elaboration)

Przedział wiekowy Age range	N	Grupa Group	n	%
18–19	13	spożywający alkohol – alcohol consumers	3	23,1
		abstynenci – abstainers	10	76,9
20–29	178	spożywający alkohol – alcohol consumers	85	47,8
		abstynenci – abstainers	93	52,2
30–39	209	spożywający alkohol – alcohol consumers	100	47,8
		abstynenci – abstainers	109	52,2
40–49	102	spożywający alkohol – alcohol consumers	47	46,1
		abstynenci – abstainers	55	53,9
50–59	53	spożywający alkohol – alcohol consumers	29	54,7
		abstynenci – abstainers	24	45,3
> 60	18	spożywający alkohol – alcohol consumers	10	55,6
		abstynenci – abstainers	8	44,4

Wnioski

Analiza 219 protokołów kontroli po-wypadkowych z wypadków przy pracy w budownictwie z udziałem rusztowań budowlanych, do których doszło w Pol-sce, pozwoliła na sformułowanie nastę-pujących wniosków:

- alkohol jest jedną z przyczyn prowa-dzących do wypadków przy pracy; w analizowanych wypadkach na rusz-towaniach przyczyna związana ze spo-żywaniem alkoholu wystąpiła u 17,4% wszystkich osób poszkodowanych, co oznacza, że co szósty wypadek przy pracy spowodowany był nieprawidłowym stanem trzeźwości pracownika,
- najliczniejszą grupę osób spożywa-jących alkohol stanowią pracowni-cy w wieku 40–49 oraz z przedziału 30–39 lat; średni wiek osób poszko-dowanych wynosi 40 ± 8 lat; wraz z wiekiem zwiększa się odsetek pra-cowników pijących,

- analiza zawartości alkoholu we krwi pod kątem skutku wypadku wska-zuje, że wraz ze wzrostem ilości alkoholu we krwi wzrasta ciężkość wypadku; duża zawartość alkoholu przyczynia się do śmierci pracowni-ka budowlanego.

Analiza 573 pracowników budow-lanych pracujących na badanych 120 rusztowaniach budowlanych pozwoliła na sformułowanie następujących wnio-sków dotyczących spożycia alkoholu na budowach:

- 47,8% ankietowanych pracowników deklaruje, że w ciągu dnia spożywa alkohol,
- najczęstszą deklarowaną ilością spo-żywanego alkoholu poza godzinami pracy jest 1 „duże piwo” (500 ml, 4,5%),
- analiza miejsca zamieszkania wy-kazała, że najczęściej piją osoby de-klarujące zamieszkanie na wsi oraz

w małych miastach (do 100 tys. mieszkańców);

- najliczniejszą grupę spożywającą alkohol w ciągu dnia stanowią pracownicy w wieku 20–39 lat, z których 47,8% deklaruje, że spożywa alkohol.

Analiza porównawcza protokołów kontroli i ankiet wykazała, że:

- wraz z wiekiem zmniejsza się liczba osób pijących, co wynika z tego, że od 40. roku życia spada udział poszczególnych grup wiekowych (tendencja malejąca w przedziałach wiekowych 40–49 lat – 17,8%, 50–59 lat – 9,2%, powyżej 60 lat – 3,1%),
- wraz z wiekiem zmienia się nieznacznie proporcja pijących do abstynentów – od ok. 48% w przedziale wiekowym 20–39 lat do blisko 56% dla pracowników powyżej 60 lat (zwiększa się liczba osób spożywających alkohol).

Dyskusja

Bardzo niekorzystnym czynnikiem wpływającym na łatwość spożywania alkoholu bezpośrednio przed pracą lub w trakcie przerwy w pracy jest duża powszechna dostępność alkoholu. W Polsce, w odróżnieniu do innych krajów europejskich, alkohol można kupić w każdym dyskoncie lub hipermarkecie. Asortyment jest bardzo szeroki i dostępny w różnych objętościach, zaczynając od buteleczek o pojemności 50 ml wódki 40% (kształt buteleczki pozwalający zmieścić ją w kieszeni lub saszetce), przez buteleczki o pojemności 200 ml wódki 40% (o wymiarach $7,8 \times 17$ cm o płaskim kształcie pozwalającym scho-

wać ją np. w kieszeni kurtki). Należałoby więc ograniczyć dostępność butelek o małych pojemnościach tak jak w innych krajach.

Dodatkowo, aby poprawić bezpieczeństwo pracowników w miejscu pracy i zlikwidować problem nietrzeźwych pracowników budowlanych należałoby zezwolić pracodawcom (w tym kierownikowi budowy, kierownikom robót, inspektorom ds. bhp) na przeprowadzanie kontroli trzeźwości. Obecnie prawo do przeprowadzenia kontroli pracodawca ma jedynie przy spełnieniu dwóch warunków: po pierwsze pracownik wyraził zgodę na przeprowadzenie takiego badania (badanie ma charakter dobrowolny) oraz pracodawca ma uzasadnione podejrzenie, że pracownik jest pod wpływem alkoholu. W związku z powyższym obecnie pracodawca nie może samodzielnie przeprowadzić badania, jeżeli pracownik nie wyraża na to zgody. Pracodawca ma jedynie prawo wystąpienia z żądaniem o przeprowadzenie przez uprawniony organ, np. policję. Pracodawca również nie ma możliwości prowadzenia rutynowych kontroli trzeźwości w stosunku do wszystkich bądź też losowo wybranych pracowników.

Podsumowanie

Budownictwo jest uznawane za jedną z najbardziej niebezpiecznych branż. Wiele wysiłków poświęcono na poprawę bezpieczeństwa i redukcję zagrożeń na stanowiskach pracy, jednak mniej uwagi poświęca się czynnikowi ludzkiemu, tj. pracownikom na stanowiskach pracy. Należy pamiętać, że w rozważaniach na temat bezpieczeństwa pracy najważ-

niejszy jest człowiek. Niniejsze badanie potwierdziło, że spożywanie alkoholu wpływa negatywnie na organizm człowieka, zmniejsza zdolność do prawidłowego bezpiecznego, tj. bezusterkowego i bezwypadkowego, wykonywania standardowych codziennych czynności (takich jak np. prowadzenie pojazdów, poruszanie się), jak i czynności zawodowych (np. praca w biurze, praca na budowie, praca na rusztowaniach) oraz może prowadzić do śmierci na stanowisku pracy.

Używanie alkoholu jest ważnym tematem bezpieczeństwa pracy w branży budowlanej. Badania te są istotne dla rozwoju interwencji mających na celu zmniejszenie liczby wypadków przy pracy i będących przedmiotem zainteresowania zdrowia publicznego. Wyniki uzyskane na podstawie przeprowadzonych badań mogą stanowić uzasadnienie dla kierunków działań profilaktycznych przeprowadzanych w celu zmniejszenia liczby wypadków przy pracy spowodowanych alkoholem w budownictwie. Znacząco przyczyni się to do wzrostu poziomu bezpieczeństwa pracy w budownictwie.

Finansowanie

Praca jest wynikiem realizacji przez autorów projektu badawczego 244388 „Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych” finansowanego przez NCBiR w ramach Programu Badań Stosowanych na podstawie umowy PBS3/A2/19/2015.

Literatura

- Anderson, P. i Baumberg, B. (2006). *Alcohol in Europe A public health perspective. A report for the European Commission*. Luxembourg: European Commission.
- Biggs, H.C. i Williamson, A.R. (2012). Safety impacts of alcohol and other drugs in construction: development of an industry policy and cultural change management program. In S. Smith (ed.), *Proceedings of the 28th Annual Association of Researchers in Construction Management (ARCOM) Conference*. Vol. 1 (pp. 445-454). Edinburgh: ARCOM.
- Biggs, H.C., Williamson, A.R. i Davey, T.M. (2012). The role of education and awareness in workplace alcohol and drug use in the Australian construction industry: Proposed program of research and preliminary results. *Vulnerable Groups & Inclusion*, 3(1), 17284. <https://doi.org/10.3402/vgi.v3i0.17284>
- Brenner, H., Arndt, V., Rothenbacher, D., Schuberth, S., Fraisse, E. i Fliedner, T.M. (1997). The association between alcohol consumption and all-cause mortality in a cohort of male employees in the German construction industry. *International Journal of Epidemiology*, 26(1), 85-91.
- Demirel, B., Ergin, M., Özhasenekler, A., Teke, C., Tanrıverdi, F., Kurtoglu Çelik, G., Şener, A., Pamukçu Günaydın G. i Gökhan, Ş. (2018). The influence of alcohol related accidents on health care cost. *Disaster and Emergency Medicine Journal*, 3(3), 71-74.
- Elliott, K. i Shelley, K. (2006). Effects of drugs and alcohol on behavior, job performance, and workplace safety. *Journal of Employment Counseling*, 43(3), 130-134.
- Flannery, J., Ajayi, S.O. i Oyegoke, A.S. (2019). Alcohol and substance misuse in the construction industry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. <https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1601376>
- Główny Urząd Statystyczny [GUS] (2016). *Stan zdrowia ludności Polski w 2014 r.* Warszawa: Główny Urząd Statystyczny.
- Hoła, A., Sawicki, M. i Szóstak, M. (2018). Methodology of classifying the causes of

- occupational accidents involving construction scaffolding using Pareto-Lorenz analysis. *Applied Sciences*, 8(1), 48. <https://doi.org/10.3390/app8010048>
- Howland, J., Rohsenow, D., Cote, J., Gomez, B., Mangione, T. i Laramie, A. (2001). Effects of low-dose alcohol exposure on simulated merchant ship piloting by maritime cadets. *Accident Analysis and Prevention*, 33(2), 257-265.
- Huang, J., Li, R., Huang, S., Sia, H., Chen, Y. i Tang, F. (2015). Lifestyle factors and metabolic syndrome among workers: the role of interactions between smoking and alcohol to nutrition and exercise. *International of Environmental Research and Public Health*, 12(12), 15967-15978.
- International Center for Alcohol Policies [ICAP] (2003). International drinking guidelines. Report ICAP 14. Washington, DC: ICAP.
- John, U., Hanke, M. i Freyer-Adam, J. (2018). Health risk behavior patterns in a national adult population survey. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5), 873. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050873>
- Liu, R., Chen, L., Zhang, F., Zhu, R., Lin, X., Meng, X., Li, H., Lei, X. i Zhao, Y. (2019). Trends in alcohol intake and the association between socio-demographic factors and volume of alcohol intake amongst adult male drinkers in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(4), 573. <https://doi.org/10.3390/ijerph16040573>
- Marques, P.H., Jesus, V., Olea, S.A., Vairinhos, V. i Jacinto, C. (2014). The effect of alcohol and drug testing at the workplace on individual's occupational accident risk. *Safety Science*, 68, 108-120.
- Martin, J.L., Gadegbeku, B., Wu, D., Viallon, V. i Laumon, B. (2017). Cannabis, alcohol and fatal road accidents. *PLOS ONE*, 12(11), e0187320. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187320>
- Miller, T.R., Zaloshnja, E. i Spicer, R.S. (2007). Effectiveness and benefit-cost of peer-based workplace substance abuse prevention coupled with random testing. *Accident Analysis and Prevention*, 39(3), 565-573.
- Państwowa Agencja Rozwiązywania Problemów Alkoholowych [PARPA] (2010). *Narodowy Program Profilaktyki i Rozwiązywania Problemów Alkoholowych na lata 2011-2015*. Warszawa: PARPA.
- Plessis, L. du, Corney, Y. i Burnside, L. (2013). Harmful drinking and experiences of alcohol-related violence in Australian male construction apprentices. *American Journal of Men's Health*, 7(5), 423-246.
- Roche, A.M., Lee, N.K., Battams, S., Fischer, J.A., Cameron, J. i McEntee, A. (2015). Alcohol use among workers in male-dominated industries: A systematic review of risk factors. *Safety Science*, 78, 124-141.
- Ustawa z dnia 6 czerwca 1997 r. – Kodeks karny. Dz.U. 1997 nr 88, poz. 553 z późn. zm.
- Yi, W. i Chan, A. (2016). Health profile of construction workers in Hong Kong. *International of Environmental Research and Public Health*, 13(12), 1232. <https://doi.org/10.3390/ijerph13121232>

Streszczenie

Wpływ alkoholu na ryzyko wypadku na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych. Spożywanie alkoholu w miejscu pracy jest surowo zabronione. Niestety zakaz ten jest często łamany. Nietrzeźwość pracownika może stworzyć zagrożenie, a w najgorszym przypadku może również doprowadzić do trwałego kalectwa, a nawet śmierci. Celem prowadzonych badań było zidentyfikowanie głównych problemów związanych z nadużywaniem i ze spożywaniem alkoholu przez pracowników budowlanych w trakcie pracy. Dane do analizy pozyskano z dokumentacji powypadkowej (analizie poddano 219 osób poszkodowanych w wypadkach przy pracy z wykorzystaniem rusztowań budowlanych) oraz ankiet zebranych podczas realizowanego projektu naukowo-badawczego „Model oceny ryzyka wystąpienia katastrof budowlanych, wypadków i zdarzeń niebezpiecznych na stanowiskach pracy z wykorzystaniem rusztowań

budowlanych” (573 badań ankietowych osób pracujących na rusztowaniach, na ankietowanych terenach budowy).

Summary

The effect of alcohol at the workplace with the use of scaffolding on individual's occupational accident risk. The consumption of alcohol in the workplace is strictly prohibited. Unfortunately, this interdict is often broken. Alcohol intoxication of an employee could lead to a threat, and in the worst case could also lead to permanent disability or even death. The aim of the research was to identify the main problems associated with heavy drinking of alcohol and consumption at work among construction workers. Data for the analysis were obtained from post-accident protocols (analyzed 219 people injured

in accidents at work involving scaffolding) and surveys collected during the research project “Model of the assessment of risk of the occurrence of building catastrophes, accidents and dangerous events at workplaces with the use of scaffolding” (573 surveys of people working in the construction scaffolding of respondents).

Authors' address:

Marek Sawicki
(<https://orcid.org/0000-0002-1220-0494>)
Mariusz Szóstak – corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0003-4439-6599>)
Politechnika Wrocławska
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Katedra Budownictwa Ogólnego
pl. Grunwaldzki 11, 50-377 Wrocław
Poland
e-mail: mariusz.szostak@pwr.edu.pl

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 517–531
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 517–531
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.45

Iqbal Khalaf Al-ATABY¹, Amani I. Al-TMIMI²

¹Mustansriyah University, Collage of Science

²Alkarkh University of Science, Energy and Environment Sciences Collage

Estimate the probability density function of maximum temperature for the Middle East

Key words: maximum temperature, probability distribution, Middle East

Introduction

Since 1950 the number of heat waves worldwide has increased, and heat waves have become longer. The hotter days and nights have become hotter more frequent. In the past several years the global area hit by extremely unusual hot summer-time temperatures has increased (Steffen, Hughes & Perkins, 2014). A heat wave is generally defined as a period of several days to weeks of abnormally hot weather. The National Weather Service (NWS) defines a heat wave as “a period of abnormally hot weather, uncomfortable and unusually humid”, and usually takes two or more days (Karl, Melillo & Peterson, 2009). In recent years, the Middle East region has witnessed a noticeable rise in temperatures (Brown &

Crawford, 2009), which clearly affects the daily behavior of the human being and his health in addition to its effects on plants, which led to the expansion of desertification and the deterioration of the vegetation cover, as well as affecting the food supply, water resources, and ecosystems. Hence, the increase of temperature average is considered one of the signs of climate change, which is one of the causes of environmental pollution so it is expected that heat wave incidence and intensity continue.

The Middle East spans several climates zones, where the eastern part is Mediterranean, the northern part is considered to be subtropical while the Arabian Peninsula has a hyper-arid desert climate. Different climate zones are found in the various mountain areas. The region has among the hottest and driest conditions found in the world. Numerous heat records were in the Middle East in the summer of 2010 with temperatures

reaching 52.0°C in Jeddah (WMO2011) (Brown & Crawford, 2009).

The first region-wide trend analysis of the Middle East extreme indices observed in the period 1950–2003 at 52 stations covering almost 15 countries was reported by Zhang et al. (2005). The results observed from this study shows statistically significant and spatially reasonable trends in temperature indices, which clearly indicate temperature increase in the region. Analysis of long-term temperature data suggests that since the 1970s the frequency of heat extremes has increased in the MENA (Tanarhte, Hadjinicolaou & Lelieveld, 2015). Simulating the climate of the region is a challenge for climate models (Evans, Smith & Oglesby, 2004), due in part to the high natural inter-annual variability, the topography of the region which includes multiple mountain ranges and inland seas, and the presence of a slight cooling trend in recent decades despite the global trend being a warming. This paper attempts to determine the most suitable probability distribution of daily maximum temperature and check the accuracy of the fitted probability distributions using the goodness of fit criteria.

Middle east climate

Middle Eastern climatic conditions vary greatly, depending on the season and the geography, but simply can be characterized in two words: hot and dry, although winters are mild with some rain. Is a region that spans southwestern Asia, western Asia, and northeastern Af-

rica. Although much of the Middle East region has a Mediterranean climate type, with wet winters and dry summers. Although the hot arid, or desert, climate predominates in the region, the well-watered highlands of Turkey and the mountains of Iran and Ethiopia are important as sources of the region's major rivers. The Middle East is as one of the regions most affected by dust, in the world, next to Africa. Dust or sand storms are caused by the outflow from low-pressure cells passing through a desert area from West to East. Sand storms can occur throughout the year in the Middle East, but the prime months are May–September.

The climate of the Middle East ranges from the warm summers and cold winters of highland Turkey and Iran, through hotter summers and cool winters of northern Mesopotamia and the Mediterranean coast, to the extreme temperatures of the Arabian Desert. Most, but not all, of the region is arid (Hasanean, 2015).

Study area

Middle East region located approximately between 10° and 40° latitudes and with 20° and 65° of longitude line approximately, and this region located basically southwestern Asia and northeastern Africa. It extends over 2,000 miles from the Black Sea in the northern region of the Arabian Sea in the South, and about 1,000 miles from the Mediterranean Sea in the West to the mountains of Iran. The Middle East domain used in this study is shown in Figure 1.

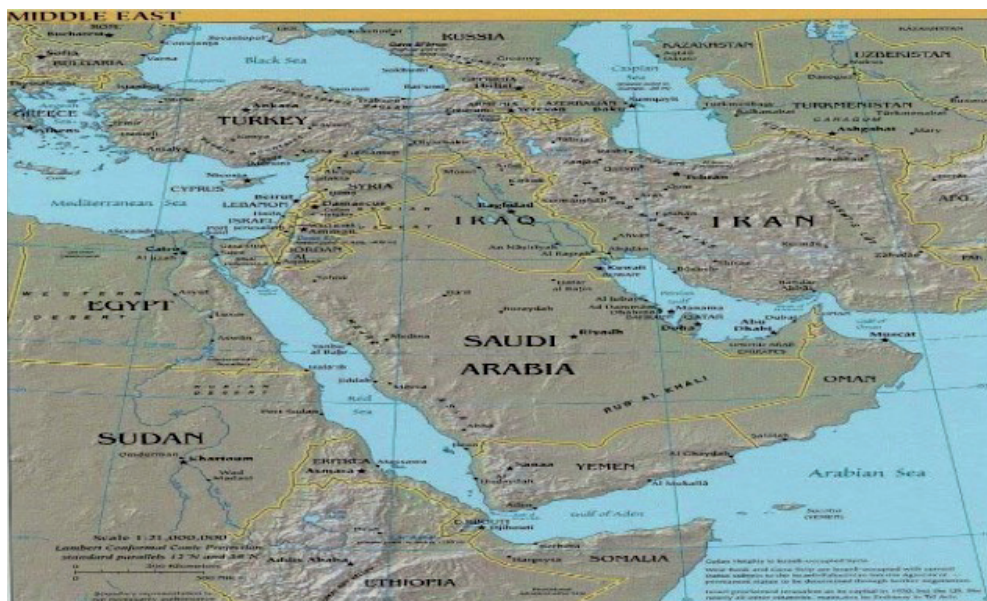


FIGURE 1. The Middle East

Material and methods

Data

The data used in this study are monthly daily mean of maximum temperature at height of 2 m covered Middle East as a grid of 1,581 points extends from 15–65° N latitudes and 15–45° E longitudes with a uniform grid interval of 1.5° longitude and 1.5° latitude for selected months (March, April, May) represent spring and selected months (June, July, August) represent summer for the period 1979–2018, at the time 00.00 UTC, from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (CMWF), model ERA-interim. This model is characterized by providing data with clarity degree ($0.75^\circ \times 0.75^\circ$) by having two forms of data (full resolution and low resolution) in the first type, the amount of spatial accuracy of the data

can be controlled, while the second type is the degree of clarity as shown in Figure 2 (Paul, 2013).

Probability distributions

Many probability distribution functions (PDFs) have been proposed in recent past years, but in this paper logistic, Rayleigh and gamma distribution are used to describe the characteristics of maximum temperature.

Logistic distribution

The logistic distribution is a continuous probability distribution. Its distribution function is the logistic function, which appears in logistic regression and feed forward neural networks. It resembles the normal distribution in shape but has heavier tails. Its probability density function is given as (Al-Kadim, 2011):

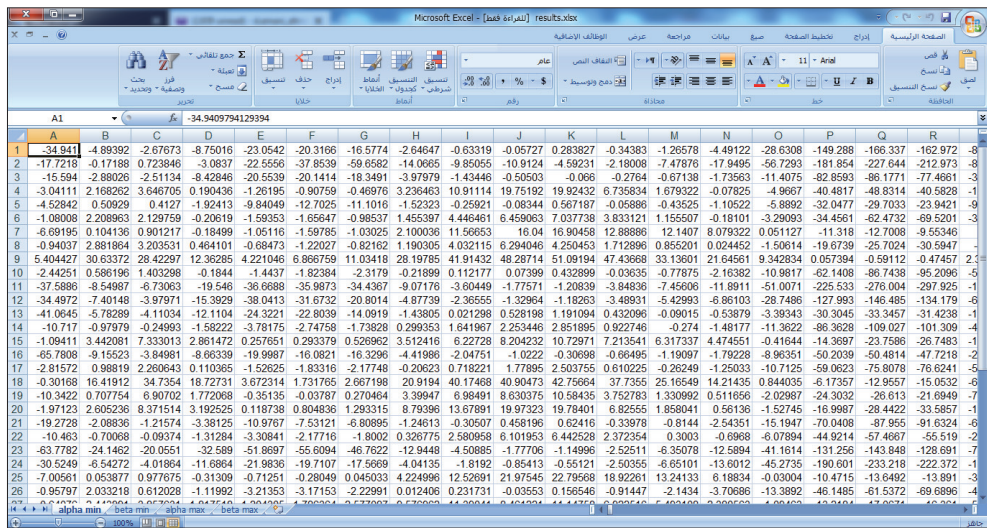


FIGURE 2. Daily mean of maximum temperature [°C]

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{x-\mu}{s}}}{s \left(1 + e^{-\frac{x-\mu}{s}} \right)^2} \quad (1)$$

$-\infty < x < \infty$

where:

μ – location parameter,

s – scale parameter,

x – random variable.

Rayleigh distribution

Rayleigh distribution is a continuous probability distribution named after the English Lord Rayleigh. The distribution is widely used:

- In communications theory to model multiple paths of dense scattered signals reaching a receiver.
- In the physical sciences to model wind speed, wave heights and sound/light radiation.

- In engineering to measure the life-time of an object, where the lifetime depends on the object's age, for example: resistors, transformers, and capacitors in aircraft radar sets.
- In medical imaging science to model noise variance in magnetic resonance imaging.

Rayleigh distribution is a special case of the Weibull distribution with a scale parameter of 2. When a Rayleigh is set with a shape parameter (σ) of 1, it is equal to a χ^2 distribution with 2 degrees of freedom.

The notation x Rayleigh means that the random variable x has a Rayleigh distribution with shape parameter (σ). The probability density function ($x > 0$) is:

$$\frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

The expected value of a probability distribution is:

$$E(x) = \int xf(x)dx \quad (3)$$

Substituting in the Rayleigh probability density function, this becomes:

$$E[x] = \int_0^{\infty} x \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (4)$$

This Wolfram calculator will solve the integral for you, giving the Rayleigh expected value of $\sigma\sqrt{\pi/2}$. The variance of a Rayleigh distribution is derived in a similar way, giving the variance formula of (Aslam, Tahir, Hussain & Al-Zahrani, 2015):

$$\text{var}(x) = \sigma^2 \left(\frac{4 - \pi}{2} \right) \quad (5)$$

Gamma distribution

Gamma distribution is a family of right-skewed, continuous probability distributions. These distributions are useful in real-life where something has a natural minimum of 0. For example, it is commonly used in finance, for elapsed times, or during Poisson processes.

Gamma distribution PDF

If x is a continuous random variable then the probability distribution function is:

$$f(x; \sigma; s) = \left\{ \frac{1}{(S'\sigma\Gamma(\sigma))} x'(\sigma-1)e' \left(\frac{x}{\sigma} \right) \right\} \quad (6)$$

$x \geq 0$

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (7)$$

where:

$\Gamma(x)$ – gamma function,

σ – shape parameter.

s (sometimes θ is used instead) – rate parameter (the reciprocal of the scale parameter).

Variables σ and s are both greater than 1. When $\sigma = 1$, this becomes the exponential distribution. When $s = 1$, this becomes the standard gamma distribution. Alpha and beta define the shape of the graph. Although they both have an effect on the shape, a change in s will show a sharp change (Artemiou, 2009).

Goodness-of-fit test

Goodness-of-fit tests are used to check the accuracy of the predicted data using theoretical probability function. To evaluate the goodness-of-fit of the PDFs to the monthly maximum temperature data, Z-test was used.

Z-test

The one-sample Z-test assumes that the data are a simple random sample from a population of normally distributed values that all have the same mean and variance (known). This assumption implies that the data are continuous and their distribution is symmetric. The calculation of the Z-test proceeds as follows (Weaver, 2011):

$$Z = \frac{X - A}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (8)$$

where:

X – mean of sample,

A – mean of population,

S – standard deviation of population,

n – number of observations.

Results and discussion

Basic statistics of maximum temperature for the study area for each month are shown in Table 1.

The estimation of parameters of all the PDFs considered in this study were carried out using maximum likelihood method and estimated parameters for the mean of each month of different PDFs used are presented in Table 2.

June, July and August was as follows: 0.119, 0.1395, 0.1399 (Figs. 3, 4).

The highest probability of an average maximum temperature in the Rayleigh distribution in March, April and May was as follows: 0.0289, 0.0331, 0.0201, in June, July and August was as follows: 0.0182, 0.0177, 0.0179 (Figs. 5, 6).

The highest probability of an average maximum temperature in the gamma distribution in March, April and May was

TABLE 1. Basic statistics of maximum temperature for all month at the study area

Month	Mean	Median	Maximum	Minimum	Standard deviation
	°C				
March	21.11	23.44	45.65	-16.43	1.41
April	22.03	25.49	36.30	-24.29	0.96
May	30.18	31.34	50.62	-23.99	1.10
Jun	34.49	35.21	52.63	5.89	0.92
July	35.67	36.20	53.79	8.83	0.84
August	36.32	36.33	54.70	8.39	0.94

TABLE 2. Parameters of different probability distribution

Probability distribution	Parameter	March, April, May	June, July, August
Logistic	location	25.76	33.9
	scale	3.00	1.91
Rayleigh	scale	25.76	33.9
Gamma	shape	80.1	321.8

By using STATSTIC program to estimate the probability density function was calculated using a number of distributions (logistic, Rayleigh and gamma distribution). Through the distributions the table was obtained.

In the logistic distribution the highest probability of an average maximum temperature in March, April and May was as follows: 0.077, 0.079, 0.093, in

as follows: 0.064, 0.049, 0.036, in June, July and August was as follows: 0.0259, 0.0219, 0.0211 (Figs. 7, 8).

Value of statistical test for different distribution of Middle East, test was performed between the calculated and tabulated value of each distribution as shown in Tables 3, 4 and 5 for all distributions (logistic, Rayleigh and gamma).

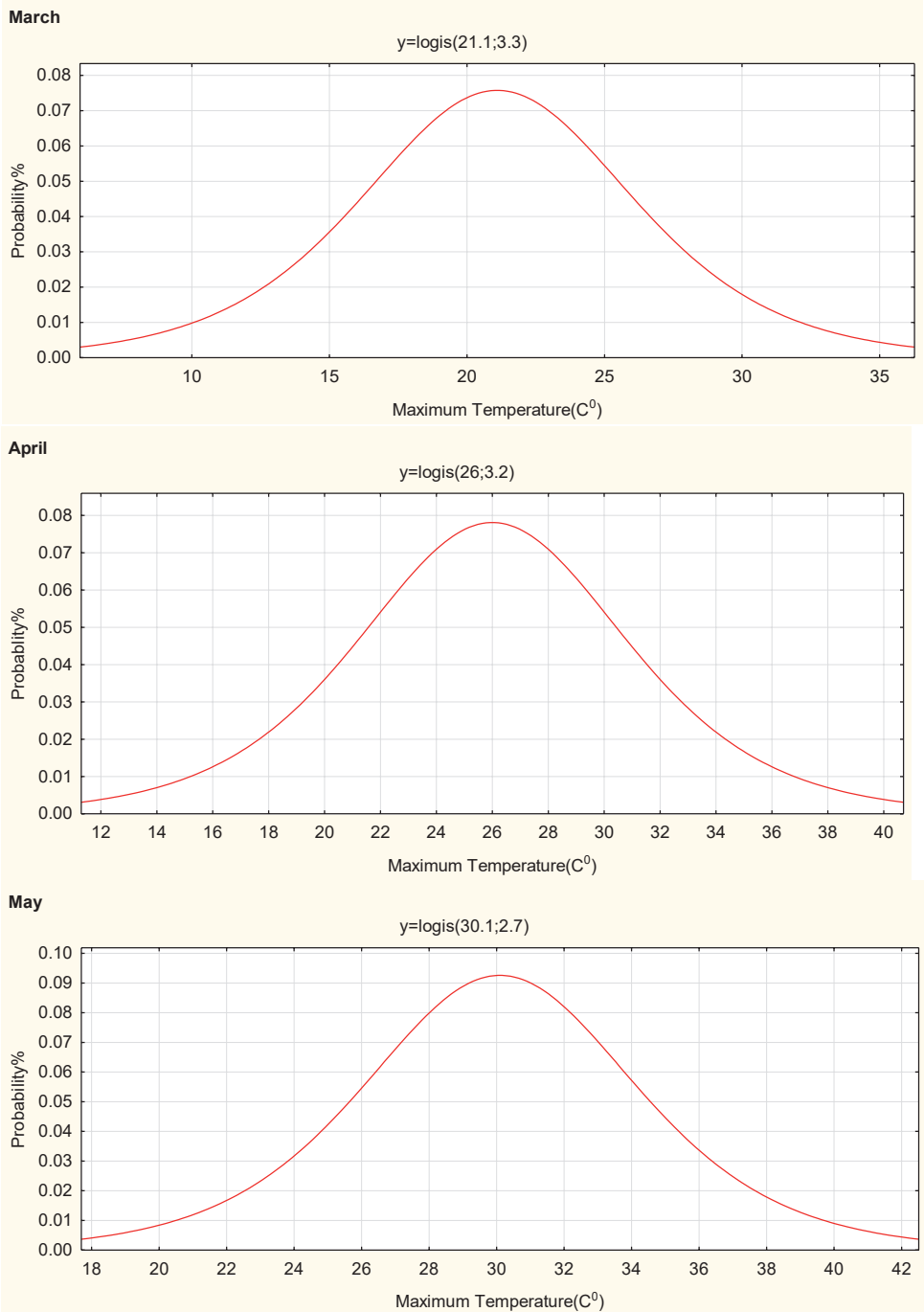


FIGURE 3. Logistic distribution for the maximum temperature in March, April and May at the study area

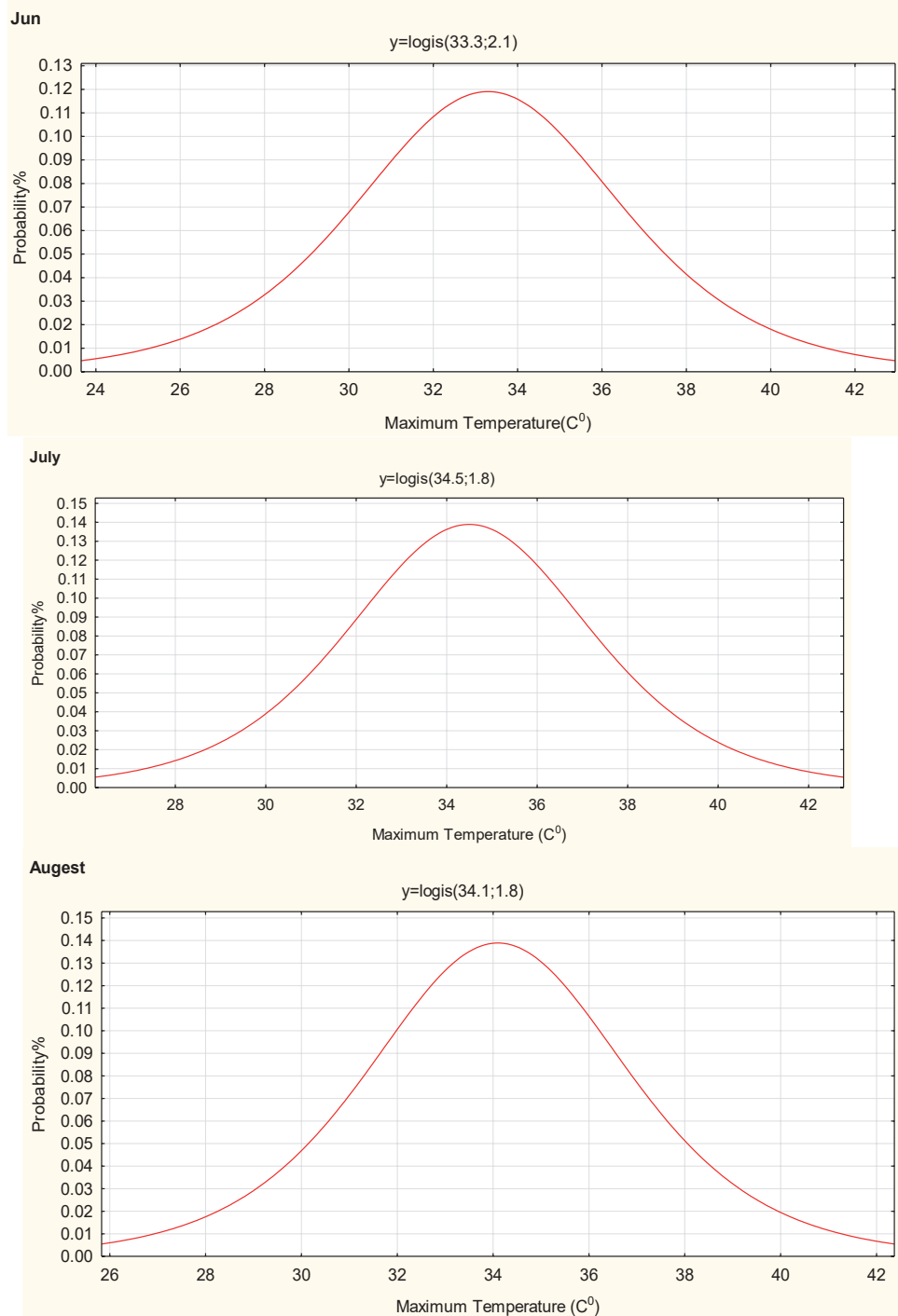


FIGURE 4. Logistic distribution for the maximum temperature in June, July and August at the study area

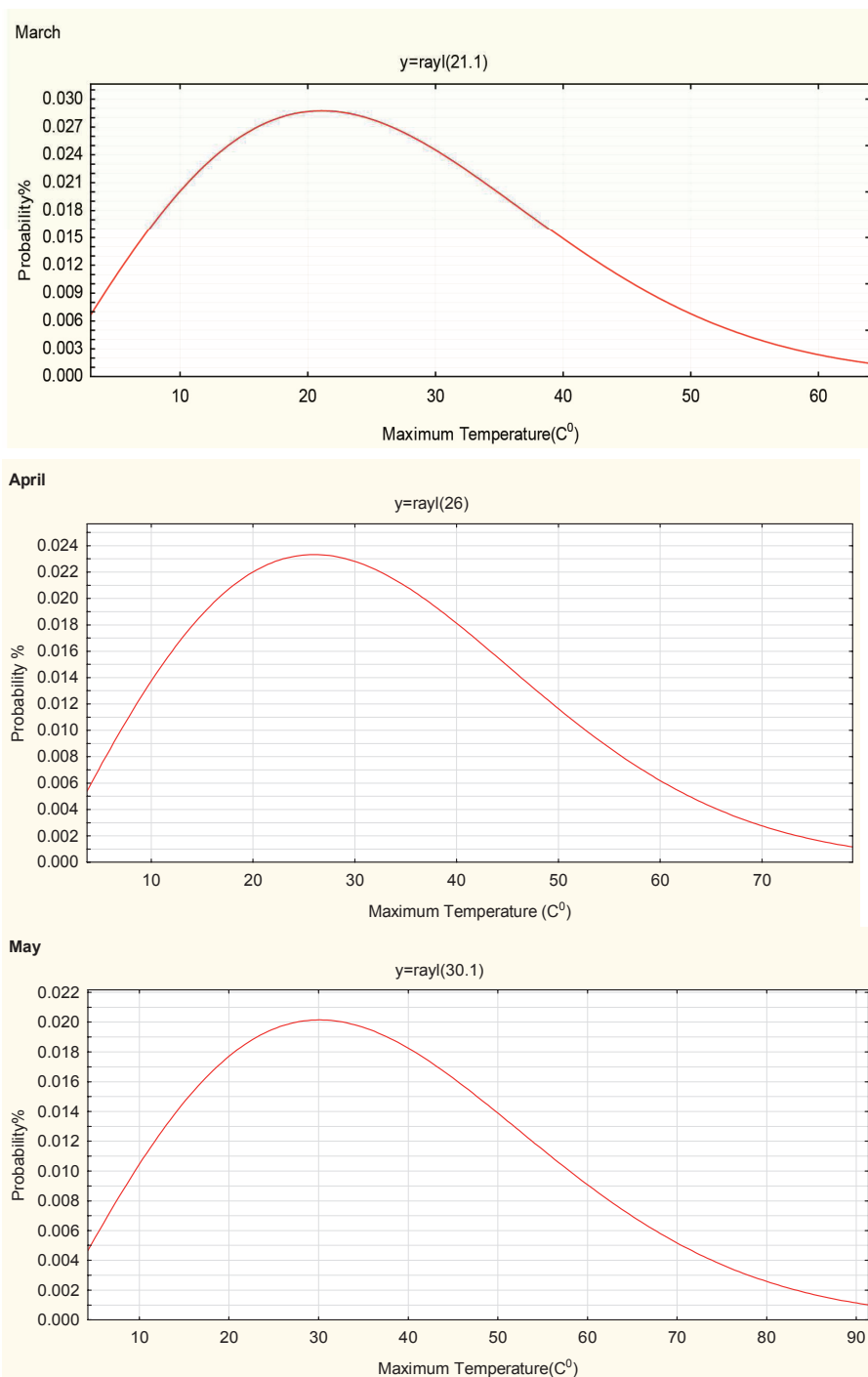


FIGURE 5. Rayleigh distribution for the maximum temperature in March, April and May at the study area

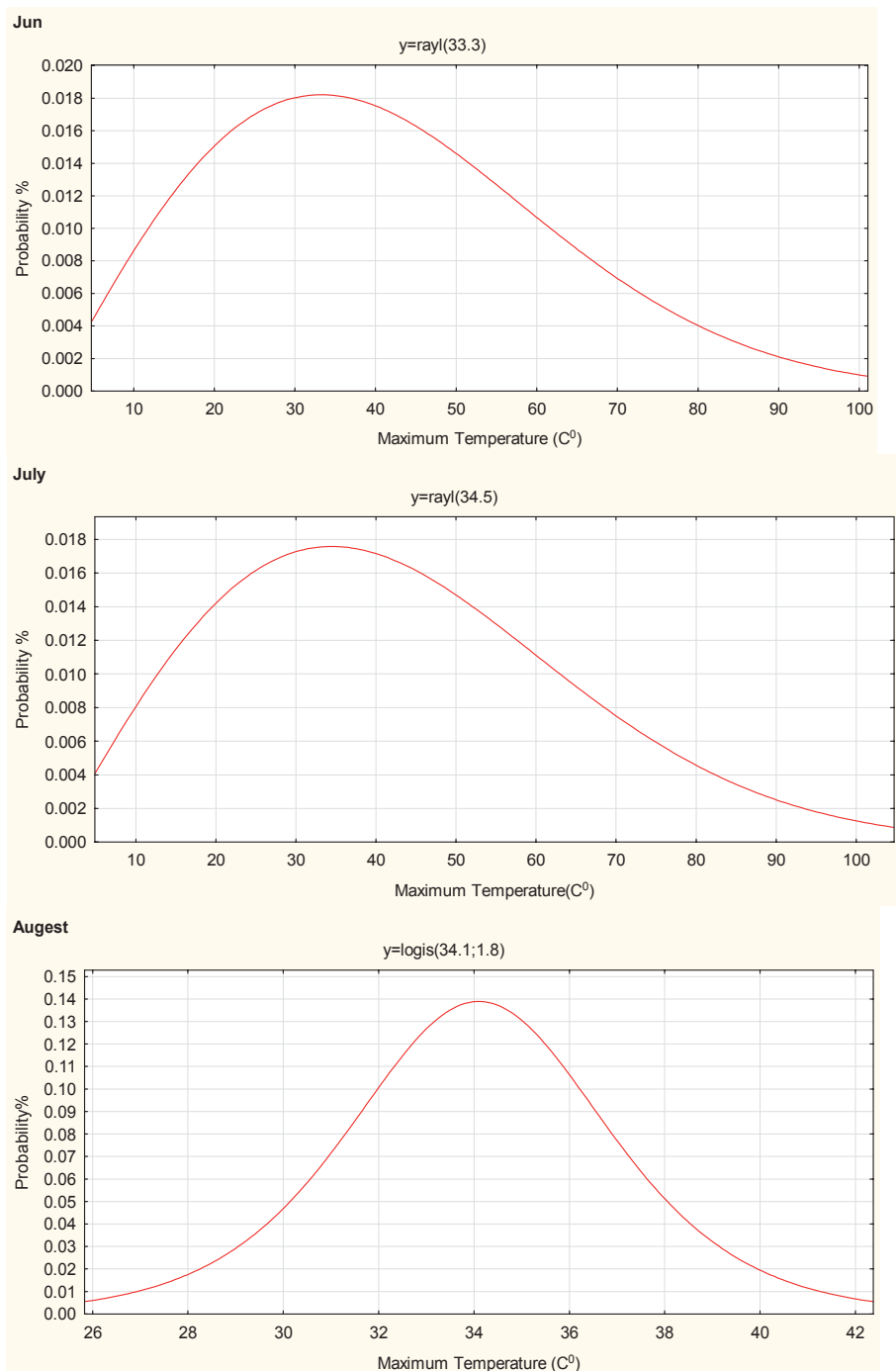


FIGURE 6. Rayleigh distribution for the maximum temperature in June, July and August at the study area

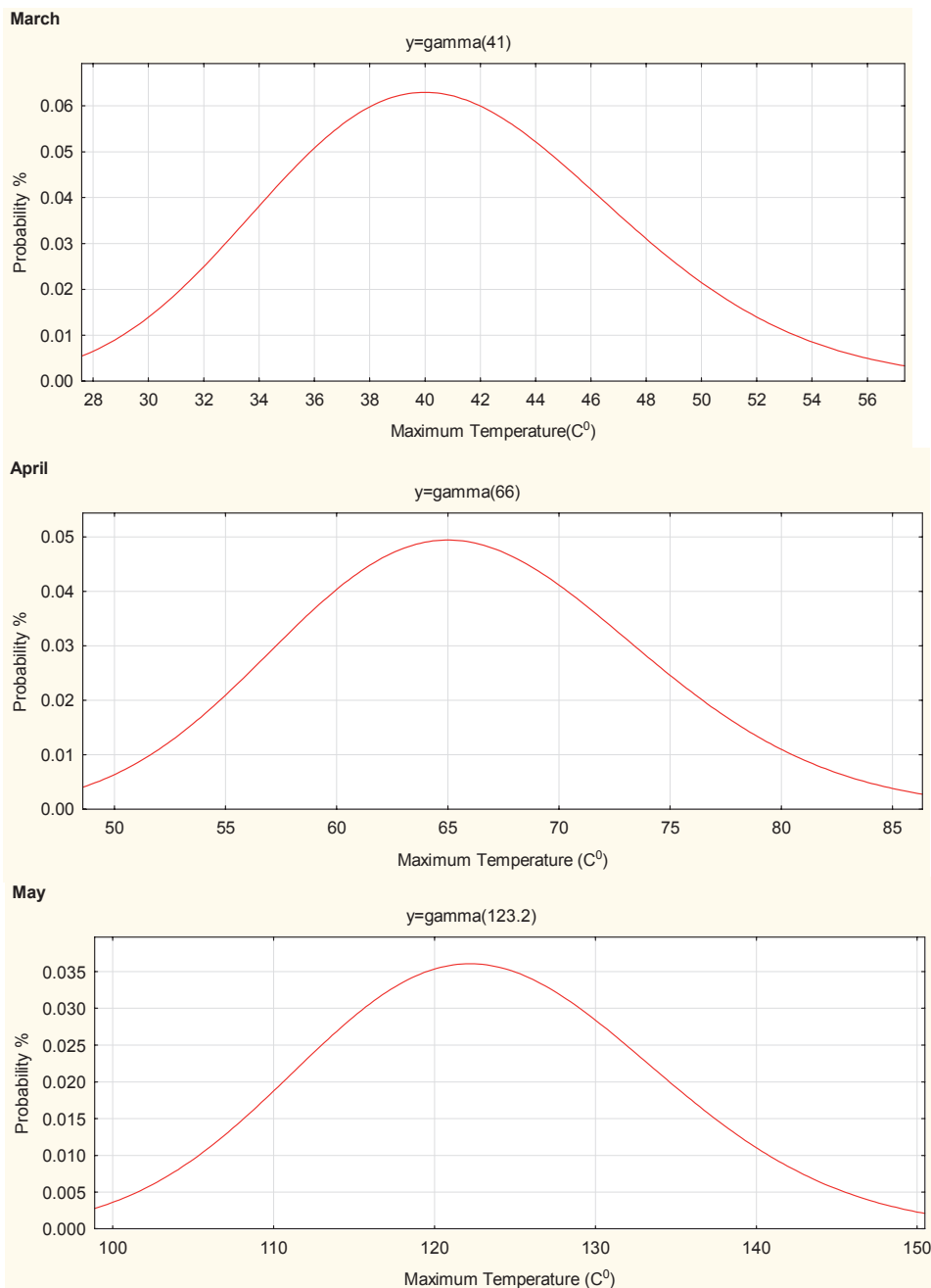


FIGURE 7. Gamma distribution for the maximum temperature in March, April and May at the study area

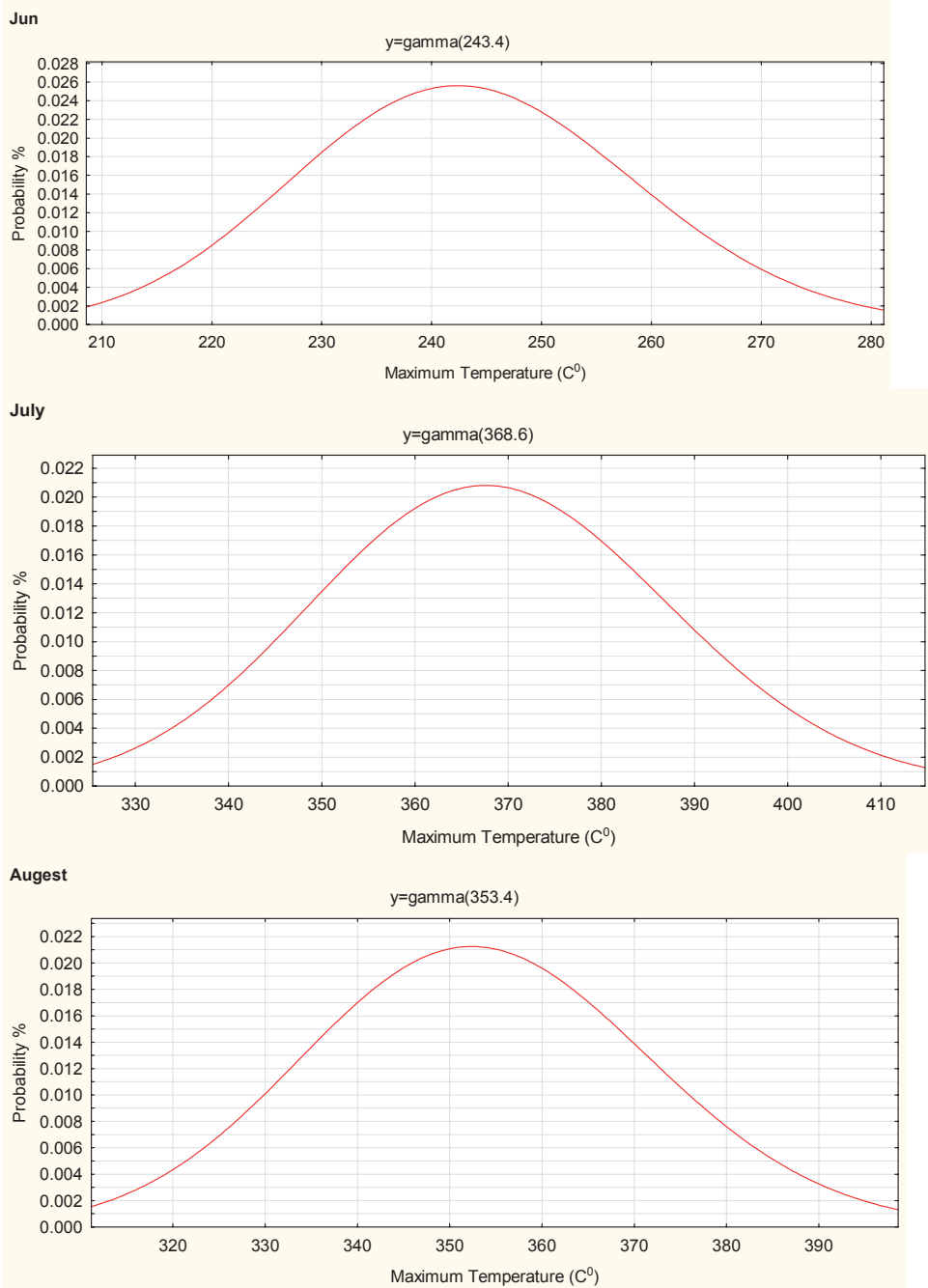


FIGURE 8. Gamma distribution for the maximum temperature in June, July and August at the study area

TABLE 3. Value of the calculated and tabulated probability by using logistic distribution for all months

Month	Tabulated Z	Calculated Z
March	0.9573	1.723
April	0.9429	1.58
May	0.9821	2.10
June	0.9778	2.01
July	0.9599	1.75
August	0.9941	2.52

TABLE 4. Value of the calculated and tabulated probability by using Rayleigh distribution for all months

Month	Tabulated Z	Calculated Z
March	0.9474	1.62
April	0.9306	1.48
May	0.9744	1.95
June	0.9713	1.90
July	0.9554	1.70
August	0.992	2.41

TABLE 5. Value of the calculated and tabulated probability by using gamma distribution for all months

Month	Tabulated Z	Calculated Z
March	0.6179	0.3030
April	0.6217	0.3210
May	0.6443	0.370
June	0.6808	0.476
July	0.7088	0.550
August	0.7291	0.610

Determine the null and alternative hypotheses null hypothesis: No difference in average and the mean of maximum temperature alternative hypotheses. There is a difference in average and the mean of maximum temperature, by using Eq. (8) for Z-test as shown in Tables

3, 4 and 5 for three probability distributions, find tabulated Z from Table 6. If the value of significance level 0.05, so tabulated $Z = 1.96$. Decision and interpretation: Therefore, we reject the null hypothesis.

Conclusions

Probability analysis of monthly daily mean of maximum temperature of Middle East was carried out by employing three probability distributions namely logistic, Rayleigh and gamma distribution. Goodness of fit of these distributions was tested by Z-test for monthly daily mean of maximum temperature. Logistic's distribution is found the best fit distribution. By comparing the value that was extracted for each of the summer and spring months with the tabular values, it was found that the calculated values are greater than the calculated values and when compared with the tabular values, it was found that the table values for summer months are greater than the tabular values of the spring months, therefore, we reject the null hypothesis and accept the alternative hypothesis, and this is concluded in this research through this distribution. This same statement applies to the other two distributions: Rayleigh and gamma distribution (Bhakar, Iqbal, Devanda, Chhajed & Bansal, 2008; Waterson, 2008).

References

- Al-Kadim, K.A. (2011). On characterization of the logistic distribution. Retrieved from: <https://tinyurl.com/y2qzh6e5>

TABLE 6. Table of the normal distribution



**Probability Content
from $-\infty$ to Z**

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990

- Artemiou, A. (2009). *Gamma distribution and its relatives*. Retrieved from: http://www.math.mtu.edu/aatemio/Courses/Stat318/Lectures/Chater4_Lecture4.pdf
- Aslam, M., Tahir, M., Hussain, Z. & Al-Zahrani, B. (2015). A 3-Component Mixture of Rayleigh Distributions: Properties and Estimation in Bayesian Framework. *PLoS ONE*, 10(5), e0126183. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0126183>
- Bhakar, S.R., Iqbal, M., Devanda, M., Chhajer, N. & Bansal, A.K. (2008). Probability analysis of rainfall at Kota. *Indian Journal of Agricultural Research*, 42(3), 201-206.
- Brown, O. & Crawford, A. (2009). *Rising tension, climate change and the risk of violent conflict in the Middle East*. Winnipeg: International Institute for Sustainable Development.
- Evans, J.P., Smith, R.B. & Oglesby, R.J. (2004). Middle East climate simulation and dominant precipitation processes. *International Journal of Climatology*, 24(13), 1671-1694.
- Hasanean, H.M. (2015-08-07). Tropical meteorology – Middle East meteorology. In *Encyclopedia of Life Support System*. UNESCO-EOLSS. Retrieved from: <https://www.eolss.net/Sample-Chapters/C01/E6-158-19.pdf>
- Karl, T.R., Melillo, J.M. & Peterson, T.C. (2009). *Global climate change impacts in the United States*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Paul, P. (2013). *ECMWF reanalysis: Resources for the wind energy community and a few global reanalysis myth-busters*. 2013 EWEA Technology Workshop Resource Assessment, Dublin, Ireland. ECMWF. Retrieved from: <http://www.ewea.org/events/workshops/wp-content/uploads/2013/06/EWEA-RA2013-Dublin-1-1-Paul-Poli-ECMWF.pdf> [slideshow].
- Steffen, W., Hughes, L. & Perkins, S. (2014). *Heat waves: hotter longer, more often*. Sydney: Climate Council of Australia.
- Tanarhte, M., Hadjinicolaou, P. & Lelieveld, J. (2015). Heat wave characteristics in the Eastern Mediterranean and Middle East using extreme value theory. *Climate Research*, 63(2), 99-113.
- Watterson, I.G. (2008). Calculation of probability density functions for temperature and precipitation change under global warming. *Jour-*

- nal of Geophysical Research*, 113, D12106. <https://doi.org/10.1029/2007JD009254>
- Weaver, B. (2011-05-27). *Hypothesis testing using z- and t-tests*. Retrieved from: http://www.angelfire.com/wv/bwhomedir/notes/z_and_t_tests.pdf
- Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T.H., Albert, P., Semawi, M., Karam, A.M., Al-Shabibi, M.H.S., Al-Oulan, Z., Zatari, T., Khelet, I.A.D., Hamoud, S., Sagir, R., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel, M., Alexander, L., Peterson, T.C. & Wallis, T. (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research*, 110, D22104. <https://doi.org/10.1029/2005JD006181>

Summary

Estimate the probability density function of maximum temperature for the Middle East. Pollution is one reasons for increase temperature which leads to increase the heat waves which have large socio-economic and healthy impacts on Middle East. By using monthly daily mean of maximum temperature at height of 2 m covered Middle East as a grid of 1,581 points for selected months (March, April, May) represent spring and June, July, August represent summer for

the period 1979–2018, from the ECMWF, model ERA-interim. Many PDFs have been proposed in recent past, but in present study logistic, Rayleigh and gamma distribution are used to describe the characteristics of maximum temperature. This paper attempts to determine the best fitted probability distribution of maximum temperature. To check the accuracy of the predicted data using theoretical probability distributions the goodness of fit criteria Z-test used in this paper. According to the goodness-of-fit criteria and from the graphical comparisons it can be said that logistic distribution provides the best fit for the observed monthly daily mean of maximum temperature data.

Authors' address:

Iqbal K. Al-Ataby – corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0002-0111-9324>)
Mustansiriyah University
College of Science
Atmospheric Sciences Department
Baghdad, Iraq
e-mail: iqbsl.atmsc@uomustansiriyah.edu.iq

Amani I. Al-Tmimi
(<https://orcid.org/0000-0002-7314-6057>)
Al-Karkh University of Science
Energy and Environment Sciences College
Baghdad, Iraq
e-mail: dr.amani_almimi@kus.edu.iq

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 532–543

Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 532–543

Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)

<http://iks.pn.sggw.pl>

DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.46

Agung SEDAYU

Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang, Faculty of Science and Technology

Developing Jati Kudus Terminal into a sustainable transportation infrastructure in Indonesia using the green concept

Key words: green terminal, infrastructure, transportation, sustainable, Jati Kudus Terminal

Introduction

In 2017, the Jati Terminal, located at Kudus Regency, Central Java Province, Indonesia, was classified as a type-A transportation terminal (Baedhowi, 2018). This terminal functions as an inter-city and inter-provincial public transportation node that connects the Surabaya city, East Java Province, with Jakarta city through Pantura. The operation is also based on the Indonesian Minister of Transportation Regulation No 132 of 2015. However, this terminal tends to experience a continual decline in its operation and service, thereby leading to a decrease in the number of passengers and transport vehicles. The implementa-

tion of the social distancing policies and large-scale restrictions due to the Covid-19 pandemic, which struck Indonesia in March 2020, has in variably decreased the operational rate of transportation terminals, including the Jati Kudus Terminal. In March 2020, data on the number of public transport vehicles and passengers in Jati Kudus Terminal consists of 3,638 buses operating, 42,331 passengers arriving, and 53,402 passengers departing. In April 2020, it decreased to 1,428 buses operating, 8,319 passengers arriving, and 8,831 passengers departing. Meanwhile, in May 2020, there was a significant decrease to 33 buses operating, 476 passengers arriving, and 380 passengers departing (Rahman & Munthoha, 2020). Therefore, this study aims to determine the effect of the green concept in Jati Terminal for the development of sustainable transportation infrastructure in Indonesia. Terminals play

essential roles in connecting various islands separated by oceans in Indonesia. However, a technical study is needed to evaluate and improve the Jati Terminal's performance, to prevent it from experiencing failure similar to Terboyo Semarang Terminal. Yasa (2020) stated that in 2018, the Terboyo Terminal, a type-A road transport passenger company, became a freight terminal due to a decline in performance and service. According to a research carried out by Sedayu (2019) at Tawang Alun Terminal, Jember Regency, East Java, 12 factors tend to affect terminals' performance level in accordance with the regulation of the Indonesian Minister of Transportation Regulation No 132 of 2015 on the operation of the road transport passenger terminals. These are: security, safety and health; management responsiveness; building utilities; architectural aesthetics; ease and accessibility; transportation reliability; building durability; frequency and density; comfort and regularity; availability and capacity of public facilities; application of environmentally friendly concepts. Therefore, the green terminal concept is used to ensure passengers, public transport operators, and tenants of commercial areas are satisfied. Humans need optimal environmental conditions because their comfort is influenced by physical and psychological environmental factors (Sugiono, Nurlaela, Kusuma, Wicaksono & Lukodono, 2020). The buildings and surrounding environment of a terminal act as a place of social, economic, and environmental interaction. Transportation infrastructure also has an impact on spatial and cultural development in the surrounding area (Stangel, 2019). The negative impact of transpor-

tation infrastructure can be minimized by the application of green concepts on buildings and facilities. The application of the green concept to terminal buildings and facilities, refers to the Green Building Council of Indonesia (GBCI, 2013). The green building principles can be applied to the built environment used by humans, especially public infrastructure such as road transport terminals.

Material and methods

Determination of research variables

Sedayu's (2019) study on the green terminal concept and the provisions in the Regulation of the Indonesian Minister of Transportation No 132 of 2015 on the operation of the road transport passenger terminal, were used to determine the research variables. The green concept of terminal buildings and facilities, refers to the green building principles by the Green Building Council of Indonesia (GBCI, 2013). A total of 10 prioritized attributes supporting the green concept, were also obtained in previous studies. These attributes are: a guarantee, responsiveness, performance, aesthetics, ease, reliability, durability, frequency, pleasure, and comfort, as well as availability (Sedayu, 2017). Furthermore, Sedayu (2018) conducted similar research at Tlogomas Terminal in Malang, East Java, Indonesia. The results showed an increase in public transport terminal services based on user expectations. The research target combines the technical and non-technical aspects of transportation with green terminals used to prevent damages to the environment. The green building emphasizes the physical aspects

and the surrounding area of the terminal (Sedayu, 2019; Figiel & Leciej-Pirczewska, 2020). Kuruvilla, Sreekumar, Valsalan, Nabeela and Kurian (2018) defined terminal as a public transportation node that causes environmental damages such as air pollution, noise, congestion, clean water damage, and land-use crisis. Complex efforts are needed for the planning and design stages of terminal infrastructure.

Validity and reliability tests of research instruments

The validity and reliability tests of research instruments were conducted on 30 respondents. The validity test uses Pearson's product-moment correlation which is to calculate the correlation coefficient of each item in the research instrument on the total score. The research instrument is called valid if the correlation value is above 0.60 (Sedayu & Mangkoedihardjo, 2019). The reliability test uses the consistency coefficient (Cronbach alpha). The research instrument is called reliable if the alpha coefficient (Cronbach alpha coefficient) is above 0.60 (Sedayu & Mangkoedihardjo, 2019). The measurement scale for the level of user importance and satisfaction is shown in Table 1.

TABLE 1. Measurement scale of research instruments

Measurement scale	User importance	User satisfaction
1	not important	not satisfied
2	not too important	less satisfied
3	quite important	quite satisfied
4	important	satisfied
5	very important	very satisfied

The Slovin formula was used to determine the number of respondents (Sedayu & Mangkoedihardjo, 2019). This study obtained data from a total of 1,800 people that use terminal services, consisting of passengers, public transport operators, and tenants of commercial areas. The number of respondents is daily data of terminal users during the 24-hour public transport service in the Jati Kudus Terminal. The respondent is aware of the daily development of the terminal so as to provide accurate information about the service and performance of the Jati Kudus Terminal. The public transport passengers chosen as respondents are daily users of the terminal. The number of respondents is calculated as follows:

$$n = \frac{N}{(1 + (N \cdot e^2))}$$

Thus, it becomes

$$n = \frac{1,800}{(1 + (1,800 \cdot 0.05^2))} = 327.3 \approx 328$$

where:

n – number of samples or respondents,
 N – total population,
 E – 5% error rate.

The results of these calculations explain that the research instrument was distributed to 328 respondents.

Multiple linear regression analysis

The multiple linear regression method was used to determine the effect of the research variables on the green concept. The multiple linear regression generates a mathematical model that can be used by Jati Kudus Terminal managers to

evaluate terminal performance based on the green concept. The terminal manager is the Directorate General of Land Transportation of the Indonesian Ministry of Transportation. This analysis phase used for a computer program called the SPSS 23 statistics to produce a regression model based on the level of terminal user satisfaction. In addition, the classical assumption test comprising of normality, linearity, multicollinearity, autocorrelation, heteroscedasticity, and the partial effect was used to carry out multiple regression analysis (Sedayu & Mangkoedihardjo, 2019). Figure 1 shows the relationship between independent and dependent variables. The multiple linear regression model is stated in the following function:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n$$

where:

Y – dependent variable (green terminal performance),

a_0 – constant,

a_1, a_2, a_3 – coefficient of independent variables,

X_1, X_2, X_n – 1st, 2nd, and n -th independent variables.

Results and discussion

Results of research instrument determination

The results used to determine the research instrument consists of 12 green terminal performance variables, as shown in Table 2. In addition, it also shows the average scores of user importance and satisfaction on the performance of the Jati Kudus green terminal. The performance variables refer to the Indonesian Minister of Transportation Regulation No 132 of 2015 on the operation of the road transport passenger terminals. The green concept in terminal buildings and facilities was developed based on green building principles by the Green Building Council of Indonesia (GBCI, 2013). The performance variables emphasize service to the terminal users by reducing environmental damage caused by transportation activities. The green terminal also provides convenience for users of disabled persons, including seniors, infants, pregnant women, and people with disabilities to use public transportation in the terminal. Green building also emphasizes the building and its facilities

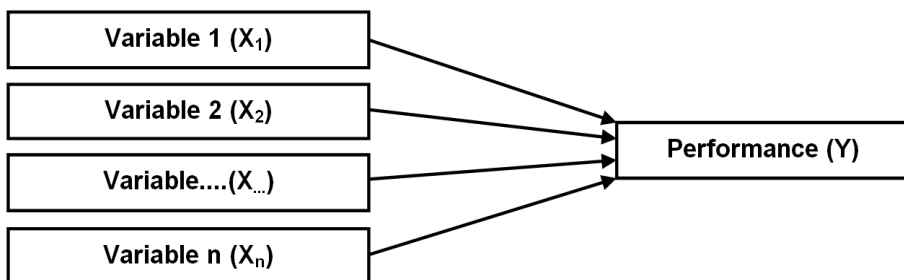


FIGURE 1. Relationship between green terminal performance variables

can guarantee comfort, safety, health, and safety for disabled persons (Sedayu, Setiono, Subaqin & Gautama, 2020). Table 2 explains that the variable of the transportation service reliability, ticketing, and travel costs (X_8) have the highest and lowest average scores based on user importance and satisfaction. This shows that timely and affordable transportation services are important (with an average score of 3.98) for users, but actual performance are less satisfied (with an average score of 2.24).

The green terminal concept is one of the solutions used to solve transportation problems in developing countries, including Indonesia. However, there are numerous problems associated with transportation terminals such as traffic congestion, unreliable service, accidents, environmental damage, and the difficulty in implementing non-motorized rules. (Babatunde & Perera, 2016; Yapicioglu, Mogbo & Yayani, 2017; Ahmed & El

Monem, 2020). The twelve performance variables shown in Table 2 are the regression model variables used to evaluate terminal performance. The green terminal is part of green transportation in the development of infrastructure that can use electric vehicles as an effort to apply environmentally friendly concepts. The benefits of this technology can reduce air pollution emissions and energy efficiency, especially in densely populated areas (Hamurcu & Eren, 2020).

The validity and reliability test results of research instruments

A total of 30 respondents were used to test the validity and reliability levels of the research instruments in Table 2. The validity test results of the instruments showed that the correlation coefficient of each item had a total score above 0.60, therefore, the instrument is valid. While the reliability test results explain that the Cronbach alpha coefficient is

TABLE 2. Levels of importance and satisfaction on the performance of the Jati Kudus green terminal

Green terminal performance variable	Average score	
	importance	satisfaction
Security guarantee and freedom from criminal acts (X_1)	3.72	2.58
Safety and health guarantee and freedom from accidents (X_2)	3.85	2.78
Responsiveness of the terminal manager in providing services (X_3)	3.64	3.47
Availability and capacity of supporting facilities (X_4)	3.80	3.06
Architectural aesthetics within and outside the buildings (X_5)	3.69	3.49
Ease of obtaining general travel information (X_6)	3.76	2.91
Affordability and accessibility in and out of the terminal (X_7)	3.66	3.58
Reliability of transportation services, ticketing, and travel costs (X_8)	3.98	2.24
Performance durability and visual of terminal building facilities (X_9)	3.63	3.73
The density of people and vehicles in the terminal area (X_{10})	3.71	3.82
Comfort, regularity and cleanliness (X_{11})	3.75	3.81
Application of environmentally friendly concepts on terminal and transportation facilities (X_{12})	3.87	2.31

above 0.60, so it can be concluded that the instrument is reliable. The validity and reliability test results showed that the research instrument is feasible and can be used as a data collection tool. Also, the use of questionnaires in carrying out surveys integrated the technical and non-technical aspects of the terminal. Data collection tool in the form of questionnaires that can obtain the perception of respondents, namely users of the Jati Kudus Terminal. The non-technical aspects of the terminal are sourced in the user interests and satisfaction used to evaluate the technical aspects of the terminal, thus manifesting conformity between the two aspects. User perception is considered to improve terminal performance, as terminals as public facilities and infrastructure aim to meet the public interests and needs (Sedayu, 2017; Dakhil, Shaheed & Alobaidi, 2019; Ferza, Hamudy & Rifki, 2019). Sustainable transportation networks by integrating infrastructures also consider the perception of all stakeholders, including users (Tadic, Krstic, Roso & Brnjac, 2019). Road transport terminals can be integrated with airports, seaports, railway stations, and other supporting transport hubs to realize effective and efficient sustainable transportation. Transportation infrastructure such as terminals can also connect with other public facilities can make it easier for people to reduce the use of private vehicles. This can solve transportation problems in the form of traffic congestion and accidents, environmental pollution, and travel cost inefficiencies.

Results of multiple linear regression analysis

The multiple linear regression analysis results in Table 3 were used to obtain the level of influence of 12 green terminal performance variables with an R^2 value of 0.94. This means that the regression equation is used to determine performance by 94%, while the remaining 6% analyzes external variables. R value of 0.97 means that the influence of 12 performance variables is very strong. The equation of the regression model obtained is as follows:

$$Y = 16.23 + 2.27X_1 + 4.30X_2 + 2.19X_3 + 3.56X_4 + 2.85X_5 + 5.13X_6 + 2.76X_7 + 6.34X_8 + 3.08X_9 + 1.71X_{10} + 3.42X_{11} + 5.78X_{12}$$

where:

- Y – green terminal performance,
- X_1 – security guarantee,
- X_2 – safety and health guarantee,
- X_3 – responsiveness, and responsibility of the terminal manager,
- X_4 – facility availability and capacity,
- X_5 – architectural aesthetics,
- X_6 – easy access to information,
- X_7 – terminal affordability and accessibility,
- X_8 – reliability of transportation services,
- X_9 – performance durability and visual of building facilities,
- X_{10} – density of people and vehicles,
- X_{11} – comfort, regularity, and cleanliness,
- X_{12} – application of environmentally friendly concepts.

TABLE 3. Results of multiple linear regression analysis

Variable	Unstandardized coefficients	t-Count	t-Table
constant	16.23		1.07 (<i>df</i> = 50; α = 5%)
X_1	2.27	4.82	
X_2	4.30	3.55	
X_3	2.19	4.74	
X_4	3.56	3.92	
X_5	2.85	4.15	
X_6	5.13	2.54	
X_7	2.76	3.90	
X_8	6.34	2.85	
X_9	3.08	5.18	
X_{10}	1.71	5.23	
X_{11}	3.42	4.02	
X_{12}	5.78	3.19	
$R = 0.97$ $R^2 = 0.94$ $\alpha = 0.05$		number of data (respondent) = 328 dependent variable (<i>Y</i>)	

The regression model shows that the variable constant is positive, therefore, a positive value is obtained when X is added to Y . This regression model is used as a model to evaluate the performance of the green terminal.

The classic assumption results were used to obtain the z-value of the Kolmogorov–Smirnov test. These results explained that each performance variable has an asymptotic significance value of 2 which is greater than the alpha level of 0.05. This means that the data comes from normally distributed populations. Furthermore, the linearity test results obtained significance values above 0.05 for 12 performance variables, therefore, the regression model is linear. The results showed no multicollinearity among the independent variables because the significance value is greater than the alpha

level of 0.05. The autocorrelation test results obtained a Durbin–Watson value of 1.996, which is close to 2. Therefore, there was no autocorrelation between the observational data. There was no significant value in the heteroscedasticity test results for 12 variables because the significance value of the alpha level is above 0.05. The partial effect test results show that the 12 variables have a very strong and significant effect on the results of the t-count > t-table. The regression model fulfilled the needed concept, therefore, it can be used to calculate the performance of the green terminal.

The Jati Kudus Terminal needs to improve its service to prevent customer decline and other forms of failures incurred by the Terboyo Semarang Terminal. In 2018, the Terboyo Terminal, a type-A road transport passenger com-

pany, became a freight terminal due to a decline in performance and service. It is connected to the Jati Kudus Terminal through Demak Regency and the North Coast (Pantura) route and links public transportation between Jakarta city and the Surabaya city, East Java Province. The Pantura route is a national road and a major alternative means of transportation on the Java island. Figure 2 shows the current quite condition of the Jati Kudus Terminal due to the limited number of passengers and public transportation. Figure 3 shows that the Terboyo Terminal is associated with the disruption of services due to the occurrence of tidal floods from the Java sea coast. The coastal area adjacent to this terminal was initially a mangrove forest with the ability to withstand a tidal flood, however, it has been converted into public facilities and infrastructure. Figure 3 shows water inundating the Terboyo Terminal area due to tidal flood from the Java Sea. The Jati Kudus Terminal management needs to learn from the failed experience of the Terboyo Terminal in providing infrastructure.



FIGURE 2. Jati Kudus Terminal which is quiet from passengers and public transportation (Baedhowi, 2018)



FIGURE 3. The terminal which is flooded due to tidal flood from the Java Sea (Purbaya, 2017)

Terminal becomes a node of changing modes of transportation for passengers and freights. Terminals can connect many areas with transportation activities that are the main needs of the community. This is because the terminal plays an important role in connecting regions (Idicula, Syam, Joseph & Harithamol, 2016). Road transport terminals can connect between regions in Indonesia as an archipelago country separated by many oceans that have high disparities in all development sectors. The national development can be evenly distributed throughout the region supported by transportation infrastructure including road transport terminals. Even development throughout Indonesia can reduce the level of disparity in the economic and investment sectors. Road transport terminals are also integrated with other infrastructures within urban and rural areas. Urban and rural areas can be connected with transportation infrastructure to realize the interaction between the two regions, thus preventing the negative impact of urbanization. Jati Kudus Terminal is connected to international airports, international seaports, and national railway stations in Indonesia's Central Java Province. Road transport

terminals integrated with airports, railway stations, seaports, and other transportation infrastructure can support the transfer of passengers and freights between domestic and international regions. The application of the green concept to airports, railway stations, and seaports provides many benefits and impacts on the economic, energy, environmental, and transportation safety sectors. Airports managed on a sustainable principle can reduce inefficiencies of energy consumption and operational costs. The life cycle of the airport and its facilities can be maintained with the use of renewable resources (Wan, Peng, Wang, Tian & Xu, 2020). In addition to serving as a node for passenger transfer, the seaport becomes a node of export and import activity between domestic and international regions, thus improving the national economic. A greening of port management in view of safeguarding their license to operate, and increasing their economic and environmental competitiveness (Notteboom & Lam, 2018). The integration between the road transport terminal and the railway station can provide ease of transfer of modes for passengers and freights by land line. The transfer of passenger mode between trains and public transport in urban areas can prevent traffic accidents and travel delays (Hasiak, 2019).

Conclusions

The results showed that the transportation service reliability, ticketing, and travel costs have the highest and lowest average score based on the level of user importance and satisfaction, re-

spectively. The influence of the 12 variables, represented by the R^2 value of 0.94, showed a regression equation of 94%, while external variables explain the remaining 6%. The influence of 12 performance variables is very strong and significant, with an R value of 0.97, therefore, the resulting regression model has also fulfilled the classical assumption requirement test. The twelve variables include Security guarantee; Safety and health guarantee; Responsiveness, and responsibility of the terminal manager; Facility availability and capacity; Architectural aesthetics; Easy access to information; Terminal affordability and accessibility; Reliability of transportation services; Performance durability and visual of building facilities; Density of people and vehicles; Comfort, regularity, and cleanliness, and; Application of environmentally friendly concepts. The Jati Kudus Terminal managers need to pay attention to the 12 performance variables to improve their performance and support the sustainable development of transportation infrastructure in Indonesia. Jati Kudus green terminal concept can reduce transportation problems in the form of traffic congestion and accidents, waste of energy consumption, environmental pollution, and inefficiencies of travel costs. The Jati Kudus Terminal plays an essential role in connecting various islands separated by oceans in Indonesia. The terminal is connected to airports, railways, seaports, and other transportation infrastructures, thereby increase the national economy and investment. Jati Kudus Terminal connects rural and urban areas so as to prevent the negative impact of urbanization.

References

- Ahmed, M.M.A.W. & El Monem, N.A. (2020). Sustainable and green transportation for better quality of life ase study Greater Cairo – Egypt. *HBRC Journal*, 16(1), 17-37. <https://doi.org/10.1080/16874048.2020.1719340>
- Babatunde, S.O. & Perera, S. (2016). Cross-sectional comparison of public-private partnerships in transport infrastructure development in Nigeria. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(6), 875-900. <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2015-0186>
- Baedhowi, I. (2018-02-10). *Sarana Perhubungan dan Terminal di Kabupaten Kudus*. Retrieved from: <https://isknews.com/sarana-perhubungan-dan-terminal-di-kabupaten-kudus> [access: 08.06.2020].
- Dakhil, A.J., Shaheed, S.M. & Alobaidi, D.A. (2019). Studying and evaluating the performance of pedestrian crossing facilities in Babil governorate. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 28(3), 417-431. <https://doi.org/10.22630/PNIKS.2019.28.3.39>
- Figiel, E. & Leciej-Pirczewska, D. (2020). The way to limit emission – energy efficient buildings. The example of the largest facility in Poland in nearly Zero Energy Building standard. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 29(1), 81-92. <http://doi.org/10.22630/PNIKS.2020.29.1.8>
- Ferza, R., Hamudy, M.I.A. & Rifki, M.S. (2019). Tirtonadi Bus Terminal Services: An Innovation Derailed? *Jurnal Bina Praja*, 11(2), 171-183. <https://doi.org/10.21787/jbp.11.2019.171-183>
- Green Building Council of Indonesia [GBCI]. (2013). *Perangkat Penilaian Greenship [Greenship Rating Tools]*. Retrieved from: https://www.gbciindonesia.org/download/doc_download/125-ringkasan-greenship-nb-v1-2-id [access: 09.09.2020].
- Hamurcu, M. & Eren, T. (2020). Electric Bus Selection with Multicriteria Decision Analysis for Green Transportation. *Sustainability*, 12(7), 2777. <https://doi.org/10.3390/su12072777>
- Hasiak, S. (2019). Access mobility to local railway stations: current travel practices and forecast. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.33488>
- Idicula, A.C., Syam., G.E., Joseph, E. & Harithamol, T.H. (2016). Improvisation of Nagampadam Bus Terminal. *International Journal of Science Technology & Engineering*, 3(01/041), 237-241. Retrieved from: <http://www.ijste.org/articles/IJSTEV3I1100.pdf> [access: 15.05.2020].
- Kuruvilla, R., Sreekumar, R., Valsalan, N., Na-beela M.M. & Kurian, T. (2018). Redesign of Existing Private Bus Terminal at Kothamangalam. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(3), 1430-1431. Retrieved from: <https://www.irjet.net/archives/V5/i3/IRJET-V5I3322.pdf> [access: 03.06.2020].
- Notteboom, T. & Lam, J.S.L. (2018). The Greening of Terminal Concessions in Seaports. *Sustainability*, 10(9), 3318. <http://doi.org/10.3390/su10093318>
- Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 132 Tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Terminal Penumpang Angkutan Jalan [Regulation of the Minister of Transportation of the Republic of Indonesia No 132 of 2015 concerning the implementation of road transportation passenger terminals]*. <http://hubdat.dephub.go.id/km/tahun-2015/1818-peraturan-menteri-perhubungan-republik-indonesia-nomor-pm-132-tahun-2015-tentang-penyelenggaraan-terminal-penumpang-angkutan-jalan> [access: 29.05.2020].
- Purbaya, A.A. (2017-06-02). *Banjir Rob Genangi Terminal Terboyo Semarang*. Retrieved from: <https://news.detik.com/berita-jawa-tengah/d-3518827/banjir-rob-genangi-terminal-terboyo-semarang> [access: 20.05.2020].
- Rahman, Y. A. & Munthoha, A. (2020-07-15). *Sempat Menurun, Jumlah Penumpang di Terminal Kudus Mulai Naik Lagi*. Retrieved from: <https://www.murianews.com/2020/07/15/191843/sempat-menurun-jumlah-penumpang-di-terminal-kudus-mulai-naik-lagi.html> [access: 11.09.2020].
- Sedayu, A. (2017). Prioritas Peningkatan Pelayanan Terminal Tlogomas Kota Malang [Service Improvement Priority in Tlogomas Terminal Malang City]. *Warta Penelitian*

- Perhubungan*, 29(2), 191-200. <http://doi.org/10.25104/warlit.v29i2.555>
- Sedayu, A. (2018). Pendekatan QFD Menggunakan Respon Teknis Untuk Peningkatan Pelayanan Terminal: Studi Kasus Terminal Tlogomas Kota Malang [The QFD Approach Uses Technical Response to Terminal Services Improvement: A Case Study of Malang City Tlogomas Terminal]. *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, 20(2), 65-74. <http://doi.org/10.25104/jptd.v20i2.631>
- Sedayu, A. (2019). Evaluation of Performance Satisfaction Level of Tawang Alun Green Terminal in Jember. *Advances in Engineering Research*, 186, 304-307. <https://doi.org/10.2991/apte-18.2019.54>
- Sedayu, A. & Mangkoedihardjo, S. (2019). Housing Project Performance Evaluation with Review Sharia Construction Management. *Current World Environment*, 14(2), 239-244. <http://dx.doi.org/10.12944/CWE.14.2.08>
- Sedayu, A., Setiono, A.R., Subaqin, A. & Gautama, A.G. (2020). Improving the Performance of Construction Project Using Green Building Principles. *Asian Journal of Civil Engineering*, 21(8), 1443-1452. <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00289-1>
- Stangel, M. (2019). *Airport City – an Urban Design Question*. Gliwice: Helion.
- Sugiono, S., Nurlaela, S., Kusuma, A., Wicaksono, A. & Lukodono, R.P. (2020). Impact of elevated outdoor MRT station towards passenger thermal comfort: a case study in Jakarta MRT. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 29(1), 93-107. <http://doi.org/10.22630/PNIKS.2020.29.1.9>
- Tadic, S., Krstic, M., Roso, V. & Brnja, N. (2019). Planning an Intermodal Terminal for the Sustainable Transport Networks. *Sustainability*, 11(15), 4102, 1-20. <http://doi.org/10.3390/sul1154102>
- Wan, L., Peng, Q., Wang, J., Tian, J. & Xu, C. (2020). Evaluation of Airport Sustainability by the Synthetic Evaluation Method: A Case Study of Guangzhou Baiyun International Airport, China, from 2008 to 2017. *Sustainability*, 12(8), 3334, 1-18. doi: 10.3390/sul2083334
- Yasa, R.M. (2020-03-11). *Terminal Parkir Truk Terboyo di Semarang*. Retrieved from: <https://kompas.id/baca/nu-santara/2020/03/11//terminal-parkir-truk-terboyo-di-semarang> [access: 12.05.2020].
- Yapicioglu, B., Mogbo, O.N. & Yitmen, I. (2017). Innovative strategies for transport policies in infrastructure development: Nigerian stakeholders' perspective. *International Journal of Civil Engineering*, 15(5), 747-761. <http://doi.org/10.1007/s40999-017-0172-0>

Summary

Developing Jati Kudus Terminal into a sustainable transportation infrastructure in Indonesia using the green concept. The Jati Kudus Terminal, which plays an important role as a public transportation node on the North Coast of Java Island, has experienced a continual decline in performance and service. This study aims to determine the effect of green terminal concept variables in the Jati Kudus Terminal using the multiple linear regression methods with SPSS 23. Data collection tool in the form of questionnaires distributed to respondents, namely terminal users who know the development of the Jati Kudus Terminal every day. The perception data used in the analysis is the level of interest and satisfaction with the service and performance of the Jati Kudus Terminal. The evaluation of terminal performance refers to the regulation of the Indonesian Minister of Transportation No 132 of 2015 on the operation of the road transport passenger terminals. The green concept of terminal buildings and facilities refers to the Green Building Council of Indonesia. The results showed that the variable of transportation service reliability, ticketing, and travel costs have the highest and the lowest average scores based on user importance and satisfaction, respectively. The other variables include: security guarantee and freedom from criminal acts; safety and health guarantee and freedom from accidents; responsiveness of the terminal manager in providing services; availability and capacity of supporting facilities; architectural aesthetics within and outside the buildings; ease of obtaining general travel information;

affordability and accessibility in and out of the terminal; the density of people and vehicles in the terminal area; comfort, regularity, and cleanliness; and application of environmentally friendly concepts on terminal and transportation facilities. Therefore, managers of the Jati Kudus Terminal need to repair and improve their services according to these 12 variables. The implementation of the green concept can develop Jati Kudus Terminal into a green terminal in Indonesia that serves as a node of sustainable and environmentally friendly public transportation.

Author's address:

Agung Sedayu
(<https://orcid.org/0000-0002-2013-7683>)
Maulana Malik Ibrahim State Islamic University
Faculty of Science and Technology
Gajayana 50, 65144 Malang City, East Java
Province
Indonesia
e-mail: uinsedayu@gmail.com

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 544–556
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 544–556
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.47

**Ayoub AINANE¹, Fatouma MOHAMED ABDOUL-LATIF²,
Talal MOHAMED ABDOUL-LATIF², Tarik AINANE¹**

¹University of Sultan Moulay Slimane, Superior School of Technology of Khenifra

²Center for Research and Study of Djibouti, Medicinal Research Institute

Evaluation of biological activities of two essential oils as a safe environmental bioinsecticides: case of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis*

Key words: *Eucalyptus globulus*, *Rosmarinus officinalis*, essential oils, insecticidal activity, microbial activity

Introduction

Insects harm crops in the field and may cause extensive damage during storage. The amount of insect damage in stored grain is 10–40% in countries that do not apply modern storage techniques (Banga, Kotwaliwale, Mohapatra & Giri, 2016; Pandey, Tripathi & Singh, 2018). In Africa the rate of insect damage in stored products can potentially reach 100% if control methods and storage conditions are poor. These environmental effects and the need to maintain a sustainable environment have created the need for environmental-safe, degra-

dable and target-specific insecticides (Cheng et al., 2017; Bottrell & Schoenly, 2018; Costa, Freitas, Cruz, Silveira & Morais, 2019). Many extracts and compounds have insecticidal activities, most being repellants, ovipositional deterrents and antifeedants against both agricultural pests and medically important insect species (Singh & Kaur, 2018; Vet al & Pardeshi, 2019; Isman, 2020).

The rather broad use of conventional insecticides as grain protectants remains a dominant pest management tactic against stored product insects particularly in warmer climates (Lamichane et al., 2016). Such use and recommendations are largely based on acute lethal studies, which although valuable, neglect the likely occurrence and importance of potential sublethal effects of insecticides on these pest species and

associated community (Vélez, Barbosa, Quintero, Chediak & Guedes, 2017). Nonetheless, sublethal effects of conventional grain protectants have been recorded in the granary, but compounds of more recent use in stored product protection were not targeted in such studies, as the biopesticide spinosad, in contrast with pyrethroids (Awan, Ahmad, Saleem & Shakoori, 2019).

The sustained levels of pyrethroid use against grain weevils have been leading to problems of resistance to these compounds in *Sitophilus granarius* (Puthur, Anoopkumar, Rebello & Aneesh, 2019). Therefore, new alternatives have been developed and launched in the market as grain protectants. One of them is the biopesticide spinosad, which belongs to a class of naturally derived compounds currently available in many countries (Shah et al., 2019). Therefore, essential oils have emerged as viable alternatives to synthetic pesticides for control of stored-grain insect pests; they are generally non-toxic to mammals, birds, fish, or humans, have limited persistence, are readily biodegradable, and are renewable resources (Owolabi, Ogundajo, Alafia, Ajelara & Setzer, 2020).

In this study, we assessed the insecticidal activities of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* essential oils against *Sitophilus granarius* adults. We also examined the effect of essential oils on the microbial activity against: *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica* and *Candida albicans*. This research provides the first view of the molecular events underlying the response to plant

essential oils in *Sitophilus granarius*. In the future, it could provide the foundation for developing plant essential oils as a novel environmentally friendly bioinsecticide against insect pests.

Material and methods

Plant material

The aerial part of plant were randomly collected from *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* in planting base (the planting base belongs to EST-Khenifra) in Morocco country (Middle Atlas in Morocco, 32°58'22.9" N 5°39'38.7" W), and the samples were collected once a month from March 2018 to May 2019. The plants were identified by our team from the research laboratory (University Sultan Moulay Slimane), and a voucher specimen for each plant (ESTK/2018/25 and ESTK/2018/29) were deposited in the laboratory collections. The herbs were air-dried in the room and then were milled into 80 mesh powder before hydrodistillation.

50 g dried of samples (50 g) were distilled by Clevenger-apparatus to collect 3 L of distillate (distillation time: 6 h), and the distillate was collected for extracting essential oils of the plants using 100 mL anhydrous diethyl ether under room temperature. The organic phases were dehydrated with anhydrous sodium sulfate and concentrated to obtain essential oils for each biomass. The essential oils were stored at -20°C in dark glass bottles until required for chemical and biological analyzes (maximum four weeks). The process was executed in 10 replicates.

Essential oil analysis

Gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) analysis was carried out using a GC/MS apparatus (Hewlett Packard 5971A, Vienna, Austria). The samples of essential oils components were separated on capillary column (30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μ m thickness). Helium (99.999%) was employed as carrier gas at a constant linear velocity of 35 cm $\cdot$ s⁻¹. The sample volume of 1 μ L was injected using AOC-20i+s autoinjector. The injection port was set at 290°C in splitless mode. The GC oven temperature was programmed as follows: 5 min at 50°C, heated in 1 min from 2°C to 300°C and held for 10 min. Ionization by MS of the sample components was performed in the EI mode (70 eV).

The identification of the essential oil constituents was accomplished by comparing retention indices from the literature data and mass spectra by computer library search.

Insecticidal activity

The insects *Sitophilus granarius* were reared respectively on wheat, tender in plastic boxes of one-liter capacity, transparent and wire mesh (Yattinamani, Bharati & Chimmad, 2019). The whole is placed in enclosures whose temperature is 30°C and the relative humidity is 70%. The insecticide evaluation procedure used in this work is as follows: in Petri dishes (experimental chambers) containing 10 insects, the EOCS were tested at increasing concentrations: $C_1 = 0.01 \mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-3}$, $C_2 = 0.02 \mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-3}$ and $C_3 = 0.03 \mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-3}$ and at different temperatures: $T_1 = 25^\circ\text{C}$, $T_2 = 30^\circ\text{C}$ and $T_3 = 35^\circ\text{C}$. The essential oils were placed

in steel cylinders with a constant depth of 0.5 cm and diameters: $D_1 = 1$ cm, $D_2 = 2$ cm and $D_3 = 3$ cm. The assembly was introduced into a fumigation chamber included in the experimental enclosure (semi-ventilated). Repetitions were carried out in triplicate for minimize errors with an oil-free control. The number of dead insects was recorded as a function of time after 24 h (Paventi et al., 2020).

Adjusted mortality in treated insects is expressed according to the equation:

$$M = \left(\frac{M_I - M_C}{100 - M_C} \right) 100 [\%]$$

where:

M – mortality;

M_I – mortality observed in insects;

M_C – mortality observed in controls.

The determination of the lethal dose of 50% LD_{50} was determined by linear interpolation on curves giving the percentage of mortality as a function of the logarithm of the concentration tested.

Antimicrobial activity

Antimicrobial tests of essential oils were performed against strains Gram(+) bacteria such as: *Staphylococcus aureus* (CECT 976), *Enterococcus faecium* (CECT 4932), *Listeria monocytogenes* (CECT 911) and *Bacillus subtilis* (CECT 4071), strains Gram(–) bacteria such as: *Escherichia coli* (CECT 431), *Yersinia enterocolitica* (CECT 4315) and the yeast *Candida albicans*.

The MIC and the MBC were determined in 96-well plates (12 columns and 8 rows). For each EO, 10 different concentrations were tested (3.125, 6.25,

12.5, 25.0, 50.0 and 100.0 $\mu\text{L}\cdot\text{mL}^{-1}$). Negative (MH broth and DMSO) and positive (MH broth and microbial inoculum, without essential oils). The plates were incubated overnight at 37°C. The *MIC* values corresponded to the first well of each row where no visible microbial growth was detected. The *MBC* was determined from the first three wells of each row that showed no microbial growth after plate incubation (Man, Santacroce, Iacob, Mare & Man, 2019; Abedini et al., 2020). For that, 10 μL from the corresponding wells were seeded on MacConkey agar plates. After overnight incubation at 37°C, any microbial growth was checked. The *MBC* values represent the concentrations from plates where no bacterial colonies were found.

Statistical analysis

All experiments were performed in triplicate and data were expressed as mean values $\pm$ standard deviation (*SD*). The statistical software used for this analysis is SPSS V20.

Results and discussion

The results of chemical analysis carried out by GC/MS of two essential oils of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* were mentioned in Tables 1 and 2, respectively. All spectroscopic data revealed the presence of 82 organic volatile compounds representing 98.63% of the total constituents of *Eucalyptus globulus* and the presence of 45 organic volatile compounds representing 98.53% of the total constituents of *Rosmarinus officinalis*.

Moreover, the major compounds for *Eucalyptus globulus* were estragole

(28.14%), terpinolene (7.12%), 1,4-hexadiene-5-methyl-3-(1-methylethylidene) (7.01%), linalool (5.54%) and furfural (4.66%). According to Ferrentino, Morozova, Horn and Scampicchio (2020), 1,8-cineole or/and eucalyptol are the main constituents (70–80%) and the other constituents are mainly terpene with low concentration.

On the other hand, the major compounds for *Rosmarinus officinalis* were (-)-camphor (31.16%) and β -caryophyllene (18.55%), 3,4-dimethyl-(*Z,Z*)-2,4-Hexadiene (9.08%), α -fenchene (4.67%), cis-verbenone (4.33%) and Bornyl acetate (3.4%). According to numerous previous studies, the essential oil composition of *Rosmarinus officinalis* strongly related chemotypes as well as the degree of development of the plant. Its main constituents can be 1,8-cineole, α -pinene, camphor, other compounds such as: borneol, bornyl acetate, verbenone, p-cymene or p-myrcene. They can be accompanied by β -caryophyllene, limonene, linalool, sabinene, γ -terpinene, α -terpineol and terpinenol-4 (Conde-Hernández, Espinosa-Victoria, Trejo & Guerrero-Beltrán, 2017; Chung, Lee, Lee, Chung & Lee, 2020).

The results of the insecticidal tests of the essential oils of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* against *Sitophilus granarius* are displayed in Table 3 in the form of lethal doses of 50% (*LD*₅₀), according to the studied parameters such as: the cylinder diameter (*D*) and the temperature of the incubation (*T*). The study of the insecticidal activity of these essential oils on an organism harmful to stored products *Sitophilus granarius* confirmed that the two essential oils studied have important insecticidal activity.

TABLE 1. Chemical composition of the essential oil of *Eucalyptus globulus*

Peak	R_T	Compound	C [%]
1	4.19	(-)-camphor	31.16
2	4.31	(+)-2-Bornanone	2.17
3	4.64	3,4-dimethyl-(Z,Z)-2,4-Hexadiene	9.08
4	4.82	3-Cyclopentene-1-ethanol. 2,2,4-trimethyl-	4.57
5	4.95	Isoborneol	4.37
6	5.17	α -Fenchene	4.67
7	5.25	cis-Verbenone	4.33
8	5.35	D-Verbenone	2.08
9	5.55	Cyclohexanone. 5-methyl-2-(1-methylethylidene)-	0.24
10	5.61	5-Hepten-1-ol. 2-ethenyl-6-methyl-	0.11
11	5.65	Cyclodecene. 1-methyl-	0.10
12	5.73	Piperitone	0.15
13	6.26	Bornyl acetate	3.44
14	6.47	β -Terpinene	0.58
15	6.69	p-Cymen-7-ol	0.18
16	6.78	4-Hydroxy-3-methylacetophenone	0.17
17	6.89	(Z)-Ocimenone	0.14
18	6.98	4-Hydroxy-3-methylacetophenone	0.24
19	7.11	2H-Inden-2-one. 1,4,5,6,7,7a-hexahydro-7a-methyl-, (S)-	0.33
20	7.45	α -Copaene	0.51
21	8.51	β -Caryophyllene	18.55
22	8.86	1,4,7,7-Cycloundecatriene. 1,5,9,9- tetramethyl-, Z,Z,Z-	3.67
23	9.19	γ -Murolene	0.43
24	9.39	ar-Curcumene	0.48
25	9.52	9-epi-(E)-Caryophyllene	0.15
26	9.62	α -Bergamotene	0.11
27	9.71	α -Amorphene	0.23
28	9.85	β -Bisabolene	0.85
29	9.95	δ -Cadinene	0.24
30	10.01	β -Sesquiphellandrene	0.23
31	10.19	Caryophyllene oxide	0.27
32	10.69	(-)-Globulol	1.85
33	11.02	Humulene epoxide II	0.22
34	11.48	β -Longipinene	0.31
35	11.48	10,10-Dimethyl-2,6-dimethylenebicyclo[7.2.0]undecan-5.beta.-ol	0.31
36	11.87	trans-Z- α -Bisabolene epoxide	0.44

TABLE 1, cont.

Peak	R_T	Compound	C [%]
37	12.06	1-Methyl-6-methylenebicyclo[3.2.0] heptane	0.15
38	13.93	Succinic acid. 3-methylbut-2-yl non-5-yn-3-yl ester	0.12
39	15.05	Isopimara-9(11).15-diene	0.19
40	15.33	(3aS,4R,7R)-1,4,9,9-Tetramethyl-5,6,7,8-tetrahydro-4H-3a,7-methanoazulene	0.16
41	16.05	Phosphonous dichloride. (1,7,7-trimethylbicyclo[2.2.1]hept-2-yl)-	0.18
42	16.17	(2,6,6-Trimethylcyclohex-1-enylmethanesulfonyl)benzene	0.24
43	16.62	Cyclohexanemethanol. 3,3-dimethyl- 2-(3-methyl-1-butenyl)-	0.29
44	17.17	Aminosalicylic Acid	0.11
45	17.55	4-Carene. (1S,3R,6R)-(-)-	0.13

R_T – retention time.

TABLE 2. Chemical composition of the essential oil of *Rosmarinus officinalis*

Peak	R_T	Compound	C [%]
1	3.17	Terpinolene	7.12
2	3.27	trans-Verbenol	0.47
3	3.36	Linalool	5.54
4	3.35	Spiro[2.4]heptane. 4-methylene-	1.00
5	3.58	4-Acetyl-1-methylcyclohexene	0.51
6	3.68	1,4-Hexadiene. 5-methyl-3-(1-methylethylidene)-	7.01
7	3.83	Tricyclo[4.1.0.0(2,7)]heptanes	2.15
8	3.90	4-Methyl-1,4-heptadiene	0.94
9	4.05	Dicyclopentadiene. tetrahydro. exo	0.83
10	4.11	Isoborneol	0.66
11	4.24	Terpinen-4-ol	2.07
12	4.33	Furfural	4.66
13	4.43	Myrtenal	1.50
14	4.69	Estragole	28.14
15	5.04	2,6-Dimethyl-3,5,7-octatriene-2-ol . Z,Z-	0.75
16	5.19	Propanal. 2-methyl-3-phenyl-	0.27
17	5.30	(-)-Carvone	1.59
18	5.79	Dihydrocarveol	0.14
19	5.88	α -Terpinen-7-al	0.21
20	6.03	Bornyl acetate	0.75
21	6.23	1-Methyltricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane	0.97
22	6.29	Artemisia triene	2.08

TABLE 2, cont.

Peak	R_T	Compound	C [%]
23	6.46	Cyclohexane, 4-methyl-2-methylene-1-(1-methylethylidene)-	0.61
24	6.65	p-Menth-8-ene, 3-methylene-	1.39
25	6.78	2H-Inden-2-one, 1.4.5.6.7.7a-hexahydro-7a-methyl-, (S)-	0.91
26	6.90	α -Longipinene	2.64
27	7.07	4-(2.4.4-Trimethyl-bicyclo[4.1.0]hept-2-en-3-yl)-butan-2-one	0.83
28	7.14	cis-Carvyl Acetate	1.91
29	7.42	5-Isopropenyl-2-methyl-7-oxabicyclo[4.1.0]heptan-2-ol	1.10
30	7.58	α -Bulnesene	0.78
31	7.69	Cycloheptane, 4-methylene-1-methyl-2-(2-methyl-1-propen-1-yl)-1-vinyl	0.66
32	7.82	α -Santalol	0.94
33	8.02	(2S,4R)-p-Mentha-[1(7).8]-diene 2- hydroperoxide	0.89
34	8.23	5-Isopropenyl-2-methyl-7-oxabicyclo[4.1.0]heptan-2-ol	0.56
35	8.33	cis-Sabinene hydrate	0.49
36	8.43	α -Himachalene	0.50
37	8.63	8-Oxabicyclo[5.1.0]oct-5-en-2-ol, 1.4.4-trimethyl-	0.52
38	8.93	β -Humulene	0.44
39	9.26	Eremophilene	0.59
40	9.36	β -Himachalene	0.65
41	9.79	α -Sinensal	0.23
42	9.85	β -Longipinene	0.25
43	9.98	Z-Ocimene	0.22
44	10.09	Methane, tribromo-	0.36
45	10.29	Ethanone, 1-(3-methylene cyclopentyl)-	0.15
46	10.44	β -Ocimene	0.38
47	10.53	Spiro[cyclopropane-1.6'-[3]oxatricyclo[3.2.1.0(2.4)]octane]	0.33
48	10.65	p-Menth-8-ene, 3-methylene-	0.19
49	10.96	Cyclohexane, (2-ethyl-1-methyl-1-butenyl)-	0.29
50	11.08	Limonene dioxide	0.12
51	12.60	cis. α -Santalol	0.13
52	12.77	Ocimene	0.10
53	13.28	(E)2.3-Dimethylcyclohex-2-en.oxime	0.37
54	13.38	1.2-Dipropylcyclopropene-3-carboxylic acid	0.36
55	14.13	2(5H)-Furanone, 4-methyl-3-(2-methyl-2-propenyl)-	0.16
56	14.78	(3S,6R)-3-Hydroperoxy-3-methyl-6-(prop-1-en-2-yl)cyclohex-1-ene	0.17
57	15.00	Camphene	0.16

TABLE 2, cont.

Peak	R_T	Compound	C [%]
58	15.08	Triselenothane	0.22
59	15.26	α -Farnesene	0.46
60	15.34	Acetic acid. 2,2-selenobis-	0.10
61	15.39	(E,E,E)-3.7.11.15-Tetramethylhexadeca-1.3.6.10.14-pentaene	0.24
62	15.69	1.6.10.14.18.22-Tetracosahexaen-3- ol. 2.6.10.15.19.23-hexamethyl-. (all-E)-(.+/-.)-	0.43
63	15.84	(Z)- β -Santalol	0.32
64	16.02	p-Menth-8-ene. 3-methylene-	0.28
65	16.13	p-Camphorene	0.91
66	16.2	β -Terpinene	0.21
67	16.35	Hexane. 1-chloro-5-methyl-	0.45
68	16.55	β -Bisabolene	0.57
69	16.71	Acetic acid. 2,2'-selenobis-	0.39
70	17.02	Succinic acid. 2-methylpent-3-yl 2,2-dichloroethyl ester	0.73
71	17.27	(3R,6R)-3-Hydroperoxy-3-methyl-6-(prop-1-en-2-yl)cyclohex-1-ene	0.31
72	17.43	Formic acid. 3.7.11-trimethyl-1.6.10-dodecatrien-3-yl ester	0.47
73	17.57	Acetic acid. 2,2'-selenobis-	0.75
74	17.83	7-Methylene-bicyclo[3.3.1]nonan-3-one oxime	0.33
75	18.41	Formic acid. 3.7.11-trimethyl-1.6. 10-dodecatrien-3-yl ester	0.55
76	20.21	1.5.6.7-Tetrahydro-4-indolone	0.23
77	20.61	β -Elemenone	0.26
78	20.84	(Z)-epi- β -Santalol	0.12
79	21.00	2-Ethyl-2-[(E)-(4-methoxyphenyl)diazenyl]malononitrile	0.16
80	21.30	Epi- β -Santalol	0.12
81	22.18	(3R,6R)-3-Hydroperoxy-3-methyl-6-(prop-1-en-2-yl)cyclohex-1-ene	0.10
82	28.12	Phenol. 2-(2-aminoethyl)-	0.18

R_T – retention time.

According to the lethal dose of 50% (LD_{50}), the activity of the essential oils tested varies widely depending on the nature of the essential oil and the factors used (Diniz do Nascimento et al., 2020). In addition, the insecticidal activities of these essential oils studied are probably due to the major constituents of each essential oil, thus and their synergetic. All

these tests carried out can confirm that the treatment of foodstuffs with essential oil from aromatic and medicinal plants can be very effective in controlling pests of stored foodstuffs. All these tests carried out can confirm that the treatment of foodstuffs with these two essential oils can be very effective in controlling pests of stored foodstuffs (Ainane et al., 2019).

TABLE 3. LD_{50} insecticide activities of different essential oils

Diameter	Temperature	<i>Eucalyptus globules</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i>
$D_1 = 1 \text{ cm}$	$T_1 = 25^\circ\text{C}$	0.041 ± 0.005	0.016 ± 0.005
	$T_2 = 30^\circ\text{C}$	0.007 ± 0.005	0.003 ± 0.005
	$T_3 = 35^\circ\text{C}$	0.005 ± 0.005	0.002 ± 0.005
$D_2 = 2 \text{ cm}$	$T_1 = 25^\circ\text{C}$	0.020 ± 0.005	0.011 ± 0.005
	$T_2 = 30^\circ\text{C}$	0.009 ± 0.005	0.002 ± 0.005
	$T_3 = 35^\circ\text{C}$	0.004 ± 0.005	0.001 ± 0.005
$D_3 = 3 \text{ cm}$	$T_1 = 25^\circ\text{C}$	0.020 ± 0.005	0.007 ± 0.005
	$T_2 = 30^\circ\text{C}$	0.007 ± 0.005	0.002 ± 0.005
	$T_3 = 35^\circ\text{C}$	0.002 ± 0.005	*

* LD_{50} is less than $0.001 \mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-3}$.

TABLE 4. Parameters of the antibacterial activity of two essential oils

Strains	Parameter	<i>Eucalyptus globules</i>	<i>Rosmarinus officinalis</i>
<i>Staphylococcus aureus</i>	$MIC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	655.13	47.31
	$MBC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	815.13	58.21
	MBC / MIC	1.24	1.23
<i>Enterococcus faecium</i>	$MIC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	713.11	54.23
	$MBC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	992.11	84.32
	MBC / MIC	1.39	1.55
<i>Listeria monocytogenes</i>	$MIC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	791.31	68.33
	$MBC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	871.31	89.53
	MBC / MIC	1.10	1.31
<i>Bacillus subtilis</i>	$MIC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	803.35	64.23
	$MBC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	996.35	74.33
	MBC / MIC	1.24	1.16
<i>Escherichia coli</i>	$MIC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	941.21	69.21
	$MBC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	1 471.21	88.21
	MBC / MIC	1.56	1.27
<i>Yersinia enterocolitica</i>	$MIC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	804.61	71.53
	$MBC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	994.41	91.13
	MBC / MIC	1.24	1.27
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$MIC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	not detected	56.23
	$MBC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	not detected	78.13
	MBC / MIC	not detected	1.39
<i>Candida albicans</i>	$MIC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	867.75	89.15
	$MBC [\mu\text{L} \cdot \text{mL}^{-1}]$	1 234.75	101.05
	MBC / MIC	1.42	1.13

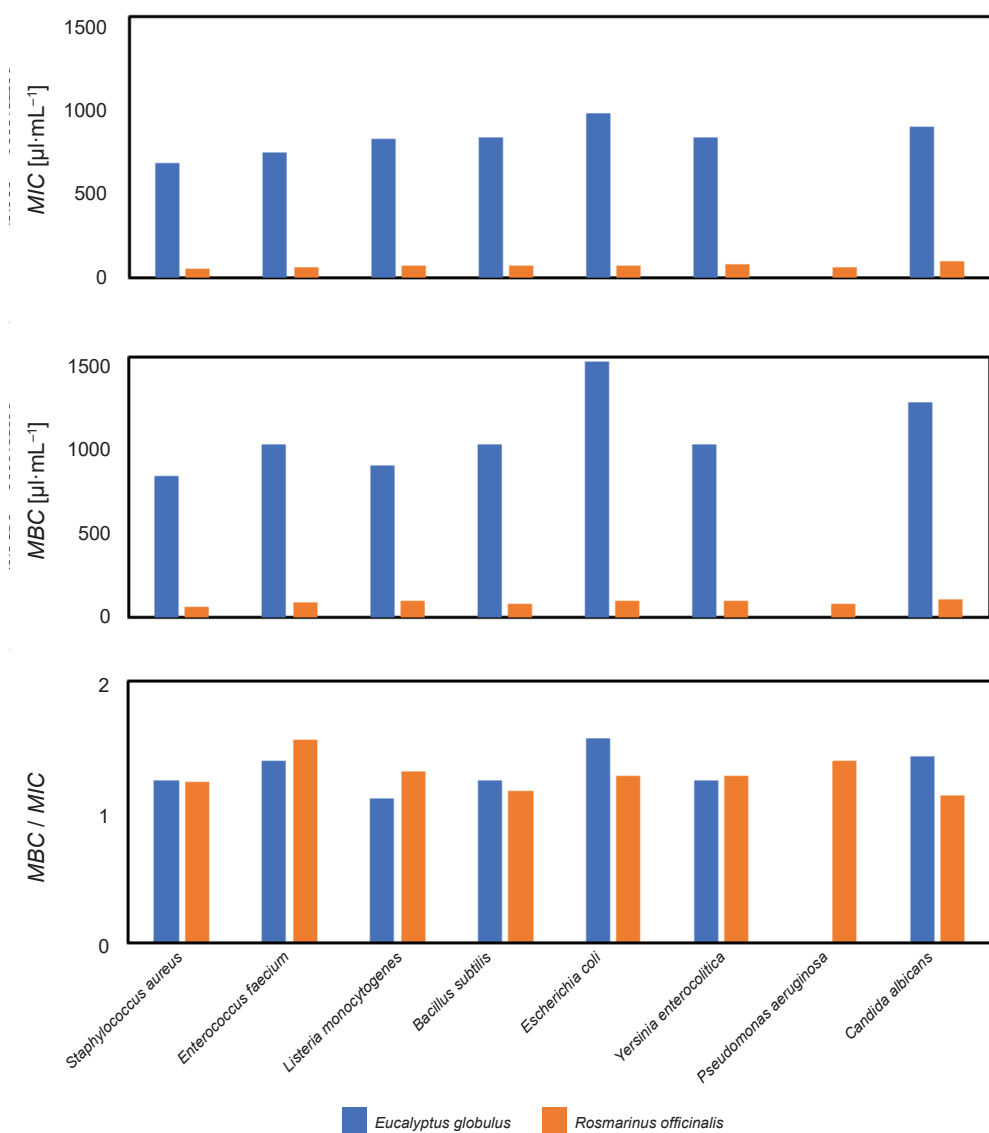


FIGURE. Graphical representation of parameter data: MIC, MBC and MBC / MIC

The results of the antibacterial activities of the microdilution broth method applied to the essential oils of *Eucalyptus globulus* and of *Rosmarinus officinalis* are expressed in terms of the minimum inhibitory concentration (MIC), the minimum bactericidal concentration (MBC)

and the fraction (MBC / MIC). All the values obtained are shown in Table 4 and the figure. It can be concluded after results obtained, that the two essential oils have interesting antimicrobial activities against *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium*, *Listeria monocytogenes*,

Bacillus subtilis, *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica* and *Candida albicans*. The minimum inhibitory concentrations MIC vary from 47.31 to 941.21 $\mu\text{l}\cdot\text{mL}^{-1}$ and the minimum bactericide concentrations MBC vary in the range from 58.21 to 1,234.75 $\mu\text{l}\cdot\text{mL}^{-1}$. The essential oil of *Eucalyptus globulus* has weak antimicrobial activities while the essential oil of *Rosmarinus officinalis* has moderate and acceptable antimicrobial activities (El Abboubi et al., 2019).

Finally, all the results obtained during the insecticidal activities and the complementary antibacterial activities, we can target the two essential oils in agricultural uses as bioinsecticides. They can be used as natural insecticides while respecting environmental standards.

Conclusions

During this study, the research carried out gave us a general work of view on the development of these two essential oils of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis*, from where, we carried out a chemical composition with other biological studies for agricultural applications. The results obtained have shown that the two essential oils have interesting prospects for the conservation of seeds against biotic aggressions (insect pests and infection microbes). These results can help reduce the amount of insecticides applied, and subsequently decrease the negative impact of synthetic agents, such as residues, resistance and environmental pollution.

References

- Abedini, A., Colin, M., Hubert, J., Charpentier, E., Angelis, A., Bounasri, H. & Renault, J.H. (2020). Abundant extractable metabolites from temperate tree barks: the specific antimicrobial activity of *Prunus avium* extracts. *Antibiotics*, 9(3), 111. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9030111>
- Ainane, A., Khammour, F., El Kouali, M., Talbi, M., Oussaid, A., Lemhidi, A. & Ainane, T. (2019). Evaluation of the toxicity of the essential oils of certain mints grown in the region of Settat (Morocco): *Mentha piperita*, *Mentha pulegium* and *Mentha spicata* against, *Sitophilus Granarius*, *Sitophilus Oryzae* and *Sitophilus Zeamais*. *Journal of Analytical Sciences and Applied Biotechnology*, 1(1), 1-10.
- Awan, D.A., Ahmad, F., Saleem, M.A., Shakoori, A.R. (2019). Synergistic effect of piperonyl butoxide and emamectin benzoate on enzymatic activities in resistant populations of red flour beetle, *Tribolium castaneum* Herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Environmental Science and Pollution Research*, 26(14), 14200-14213.
- Banga, K.S., Kotwaliwale, N., Mohapatra, D. & Giri, S.K. (2018). Techniques for insect detection in stored food grains: an overview. *Food Control*, 94, 167-176.
- Bottrell, D.G. & Schoenly, K.G. (2018). Integrated pest management for resource-limited farmers: challenges for achieving ecological, social and economic sustainability. *The Journal of Agricultural Science*, 156(3), 408-426.
- Cheng, W., Yang, J., Nie, Q., Huang, D., Yu, C., Zheng, L. & Zhang, J. (2017). Volatile organic compounds from *Paenibacillus polymyxa* KM2501-1 control *Meloidogyne incognita* by multiple strategies. *Scientific reports*, 7(1), 1-11.
- Chung, M.S., Lee, G.W., Lee, S.S., Chung, B.Y. & Lee, S. (2020). Comparative Analysis of Volatile Terpenoids Composition in Rosemary Leaves in Response to Ionizing Radiation. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 23(3), 594-600.

- Conde-Hernández, L.A., Espinosa-Victoria, J.R., Trejo, A. & Guerrero-Beltrán, J.Á. (2017). CO₂-supercritical extraction, hydrodistillation and steam distillation of essential oil of rosemary (*Rosmarinus officinalis*). *Journal of Food Engineering*, 200, 81-86.
- Costa, J.A.V., Freitas, B.C.B., Cruz, C.G., Silveira, J. & Morais, M.G. (2019). Potential of microalgae as biopesticides to contribute to sustainable agriculture and environmental development. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 54(5), 366-375.
- Diniz do Nascimento, L., de Moraes, A.A.B., da Costa, K.S., Pereira Galúcio, J.M., Taube, P.S., Costa, C.M.L. & Faria, L.J.G.D. (2020). Bioactive natural compounds and antioxidant activity of essential oils from spice plants: new findings and potential applications. *Biomolecules*, 10(7), 988. <https://doi.org/10.3390/biom10070988>
- El Abboubi, M., Bennani, L., Ainane, A., Charaf, S., Bouhadi, M., Elkouali, M. H., Ainane, T. (2019). Treatment of mycoses by essential oils: Mini Review. *Journal of Analytical Sciences and Applied Biotechnology*, 1(2), 35-40.
- Ferrentino, G., Morozova, K., Horn, C. & Scampicchio, M. (2020). Extraction of essential oils from medicinal plants and their utilization as food antioxidants. *Current Pharmaceutical Design*, 26(5), 519-541.
- Isman, M.B. (2020). Botanical insecticides in the twenty-first century – fulfilling their promise? *Annual Review of Entomology*, 65, 233-249.
- Lamichhane, J.R., Aubertot, J.N., Begg, G., Birch, A.N.E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S. & Kiss, J. (2016). Networking of integrated pest management: a powerful approach to address common challenges in agriculture. *Crop protection*, 89, 139-151.
- Man, A., Santacroce, L., Iacob, R., Mare, A. & Man, L. (2019). Antimicrobial activity of six essential oils against a group of human pathogens: a comparative study. *Pathogens*, 8(1), 15. <https://doi.org/10.3390/pathogens8010015>
- Owolabi, M.S., Ogundajo, A.L., Alafia, A.O., Ajelara, K.O. & Setzer, W.N. (2020). Composition of the essential Oil and insecticidal activity of *Launaea taraxacifolia* (Willd.) Amin ex C. Jeffrey growing in Nigeria. *Foods*, 9(7), 914. <https://doi.org/10.3390/foods9070914>
- Pandey, A.K., Tripathi, S. & Singh, P. (2018). Plant essential oils: a substitute for conventional insecticides against *Tribolium* species (Coleoptera: Tenebrionidae) – achievements and challenges. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 51(13-14), 696-728.
- Paventi, G., Acutis, L., de, De Cristofaro, A., Pistillo, M., Germinara, G.S. & Rotundo, G. (2020). Biological Activity of *Humulus lupulus* (L.) Essential Oil and Its Main Components against *Sitophilus granarius* (L.). *Biomolecules*, 10(8), 1108. <https://doi.org/10.3390/biom10081108>
- Puthur, S., Anoopkumar, A.N., Rebello, S., Aneesh & E.M. (2019). Synergistic control of storage pest rice weevil using *Hypericum japonicum* and deltamethrin combinations: a key to combat pesticide resistance. *Environmental Sustainability*, 2(4), 411-417.
- Shah, F.M., Razaq, M., Ali, Q., Shad, S.A., Aslam, M. & Hardy, I.C. (2019). Field evaluation of synthetic and neem-derived alternative insecticides in developing action thresholds against cauliflower pests. *Scientific Reports*, 9(1), 1-13.
- Singh, B. & Kaur, A. (2018). Control of insect pests in crop plants and stored food grains using plant saponins: a review. *LWT*, 87, 93-101.
- Vélez, M., Barbosa, W. F., Quintero, J., Chediak, M. & Guedes, R.N.C. (2017). Deltamethrin- and spinosad-mediated survival, activity and avoidance of the grain weevils *Sitophilus granarius* and *S. zeamais*. *Journal of Stored Products Research*, 74, 56-65.
- Vetal, D.S. & Pardeshi, A.B. (2019). Larvicidal potential of *Argemone mexicana* L. Plant extracts against *Spodoptera litura* fab. *The Pharma Innovation Journal*, 8(6), 698-702.
- Yattinamani, N.M., Bharati, P. & Chimmad, B.V. (2017). Breakfast behaviour of adolescents of karnataka and its contribution to nutrient intake. *Life Science Bulletin*, 14(2), 193-197.

Summary

Evaluation of biological activities of two essential oils as a safe environmental bioinsecticides: case of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis*. All works of this article were conducted to investigate chemical composition and insecticidal and antimicrobial properties of *Eucalyptus globulus* and *Rosmarinus officinalis* essential oils isolated by hydro-distillation of its aerial parts. Analysis of the essential oils on the basis of gas chromatography and mass spectrometry (GC/FID and GC/MS) revealed the presence of 82 organic volatiles representing 98.63% of the total constituents of *Eucalyptus globulus* and the presence of 45 organic volatiles representing 98.53% of the total constituents of *Rosmarinus officinalis*. The major compounds for *Eucalyptus globulus* were estragole (28.14%), terpinolene (7.12%), 1,4-hexadiene-5-methyl-3-(1-methylethylidene) (7.01%), linalool (5.54%) and furfural (4.66%) and for *Rosmarinus officinalis* were (-)-camphor (31.16%) and β -caryophyllene (18.55%), 3,4-dimethyl-(Z,Z)-2,4-Hexadiene (9.08%), α -fenchene (4.67%), cis-verbenone (4.33%) and Bornyl acetate (3.4%). The efficacy of the two essential oils was evaluated on the insect pests

Sitophilus granarius of wheat and was remarkable with lethal doses of 50% tending towards $1 \mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-3}$. The broth microdilution method as a complementary test was conducted to test the antimicrobial activity of the essential oil against: *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Candida albicans*, further for the two oils of shows promising activity against all strains.

Authors' address:

Ayoub Ainane
(<https://orcid.org/0000-0002-5004-6416>)
Tarik Ainane – corresponding author
(<https://orcid.org/0000-0001-6743-2666>)
University of Sultan Moulay Slimane
Superior School of Technology of Khenifra
(EST-Khenifra)
PB 170, Khenifra 54000
Morocco
e-mail: t.ainane@usms.ma

Fatouma Mohamed Abdoul-Latif
(<https://orcid.org/0000-0001-7213-4700>)
Talal Mohamed Abdoul-Latif
Medicinal Research Institute
Center for Research and Study of Djibouti
BP 486, Djibouti

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2020), 29 (4), 557–566
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2020), 29 (4)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2020), 29 (4), 557–566
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2020), 29 (4)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2020.29.4.48

Beata NOWOGOŃSKA

University of Zielona Góra, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Environmental Engineering

Consequences of improper renovation decisions in a 17th century half-timbered building

Key words: roof truss, technical condition, renovation

Introduction

In historic buildings, the selection of appropriate methods of renovation works should always take into account the historic character and historical values of not only the objects as a whole, but also its individual elements (Radziśzewska-Zielina & Śladowski, 2017; Drozd & Leśniak, 2018; Korentz & Nowogońska, 2018; Hoła & Sadowski, 2019; Monczyński, Ksit & Szymczak-Graczyk, 2019). In the case of historic half-timbered buildings, the consequences of erroneous decisions regarding renovation or neglected conservation lead to irreversible damage processes. The effective undertaking of protection

activities thus requires carrying out appropriate diagnostic studies (Hoła & Schabowicz, 2010; Cruz et al., 2015; Nowogońska, 2019; Rogala & Anysz, 2019; Sztubecka, Skiba, Mrówczyńska & Bazan-Krzywoszańska, 2020). The results of these studies will make it possible to put forth renovation solutions which do not interfere with the historic architectural-structural layout of the building.

The aim of the research is to analyze the effects of inappropriate renovation decisions on the example of a chess building. The indirect goal is to raise the awareness of the owners of the facilities that the renovation works should be planned correctly. Renovations of the building should be carried out comprehensively and not fragmentarily. A bad example is the replacement of a wooden foundation beam with a brick substructure.

ture only in a few walls of the building and not on the whole perimeter.

Wooden frame constructions have been used in Western Europe since the 12th century. Basing off of German frame architecture, rural houses, outbuildings, were erected in the area of the middle Odra region in the 17th century, peasant houses, outbuildings, taverns and inns, bourgeois house, churches, rectories and parish school (Franke 1936; Klein, 1985). The rich German ornamentation of the facades, however, was reduced to simple systems of posts, angle struts and stiffeners. The village of Sękowice (formerly Schekendorf) was first mentioned in 1301. The source materials from 1442 give the name of Has Wesenberg as its owner until the year 1482. Up until the 16th century, the village was under the ownership of the von Kocktritz family. In 1523, Sękowice (at that time known as Schenkendorf) was bought by the former Master of the Order of Joanites – George von Schlabendorf. During the Thirty Year's War, similarly to other towns and villages, fire was set to churches. In Sękowice, the castle of the owner and church were destroyed at this time. In the second half of the 17th century, most likely in place of the former temple, a half-timbered octagonal structure was erected, covered by an octagonal-slope roof with drum and lantern. The temple is maintained in such state to this day. In the 18th century, nearby the church, a wooden, free-standing tower covered by a hip roof was added on. In 1813, the village also came under royal ownership, and this is when renovation of the church was carried out. Later major renovations were done at the beginning and near the end of the 20th century [Karta ewidencyjna zabytków architektury i budow-

nictwa kościoła filialnego pw. Św. Rodziny w Sękowicach]. During World War II, the building was taken on by Catholics, with the church being blessed at the beginning of 1946.

Short description of the building

In Sękowice, a village located approximately 7 km south of Gubin, there is a church on a small hill, surround by old trees. The temple was erected in the second half of the 17th century. It is a single-naive building constructed using traditional frame technology. The outside walls are created by wooden posts, rafters and angle struts, with the areas lying between them laid with brick and plastered on both sides. The building was set up on the layout of a regular octagon with additions: a church porch from the south and a sacristy from the east. The structure of the church is formed by perimeter walls and eight inside posts supporting the galleries and structure of the drum, as well a roof framework.

The foundation was constructed as strip foundations made from erratic boulder on lime mortar. The depth of the foundation is 50 cm below the level of the terrain. On the foundation, there is a plinth made of solid fired brick measuring, on average, $28 \times 14 \times 9$ cm, on lime mortar with the addition of clay. Over the plinth in the southern, south-eastern and north-western elevation, there are wooden 30×30 cm ground beams. The remaining walls lack beams; the original elements underwent biological corrosion, and, most likely in the first half of the 20th century, were removed and replaced with a brick wall base (Fig. 1).



FIGURE 1. The south-western elevation. Damaged and damp foundation plinth, corroded wooden structure, significant missing areas of plaster in the masonry wall filling the post and beam structure

The post and beam structure of each outside wall comprises four posts measuring 30×30 cm placed directly on the foundation plinth, four levels of beams with 20×20 cm cross sections, as well as angle struts in corner areas, measuring 20×20 cm. Modern-day masking boards 2.4 cm in thickness and 30 cm (posts) and 19 cm (beams and struts) wide are nailed onto all original wooden structural elements (with the exception of the walls of the additions). The fill between wooden elements is a wall of fired solid brick, with dimensions of $28 \times 14 \times 9$ cm on lime mortar, and mortar depth of 2 cm on average, plastered on the inside and outside.

The perimeter walls along with eight inside posts support the galleries and structure of the drum as well as the wooden roof framework. The western part of the gallery turns into a balcony on the layout of a circle segment, protruding and bracket-mounted in the direction of the main naive. The galleries are structures supported on inside posts, with cross sections measuring 25×31 cm and

beams 20×20 cm, as well as on posts of outside walls. The ceiling beams with dimensions of 20×25 and 20×20 cm, in a radial layout, are supported by beams and inside posts, as well as posts in the outside walls. Rigidity of the structure is increased with angle struts between the inside posts and ceiling beams as well as wooden supports between the posts of the inside walls and ceiling beams. The supports are attached to the posts with screws. They were most likely applied during renovation works during the first half of the 20th century. The structure of the drum is post and beam. From the outside, it is covered by pine boards laid vertically; the connections between the boards are covered with strips of wood. The structure of the crowning tower wall is a post one, with areas between posts filled in with plastered brick.

The cover over the galleries is a wood-beamed ceiling with sound boarding without a floor and a ceiling from boards. In the tower part, the ceiling is beamed, at the same time functioning as horizontal elements of the roof framework. The boards are nailed from the bottom to the wooden structure creating a ceiling over the main naive. In the middle of the ceiling there is an octagonal opening, most likely the remains of a former lighting (lantern), currently covered up with boards (Fig. 2).

The area of the galleries is separated from the main naive by a wooden penal wall, creating a balustrade with a parapet wall. Painted scenes from the Stations of the Cross from the 1960s are found on the panels. In the western part, between the balcony and the main naive, there is a wall with vertical boarding. The gallery over the parapet is covered by mod-



FIGURE 2. Inside of the church

ern wooden plank paneling. In the tower part, there is a post and beam wall without angle struts, with brick infill, plastered and painted with chalk paint. The church roof is comprised of a three-story wooden structure. The lower part covers the space over the galleries. The middle part, along with the structure of the drum, covers the middle part of the main naivē, the upper – the tower.

The structure of the roof over the gallery is a single monopitch, with a slope of 90%. The trusses are supported by roof purlins and a roofing wall plate, which makes up the upper girt of the wall structure. The roof over the drum is also a monopitch. The trusses are supported by the girt beam of the drum wall and the girt of the tower. The roof over the tower is a tented, truss roof. That of the addition (the porch) is a monopitch inclined roof. The roof covering is of double-lapped plain tiles laid on lime mortar. The eaves are of profiled trusses supported by a beam with profiled ends. The crowning cornice is made of profiled boards coated with oil paint, nailed to the eave and protruding beyond the external face of the wall.

On the plinth and foundations is cement-lime plaster. The walls of the ground floor and gallery are covered by lime plaster with a smooth finish, with the entirety covered by an integrally colored (sand color) sand-lime coating. The half-timbered walls are covered by a smooth-finish lime plaster on the outside, which had been painted multiple times, most recently with emulsion paint.

Technical condition of the building

During on-site visits, detailed inspections of all structural and finishing elements of the building were carried out. Two foundation uncoverings were carried out, in the north-western building as well as in the corner between the sacristy and the main naivē in the south-western part. Surface damp from rainwaters as well as some minor loosening of the stones was confirmed (Figs. 3, 4, 5). The mortar is washed away in some areas, with missing areas partially re-filled with cement-lime mortar. Based on



FIGURE 3. Northern elevation – fragment. The corroded wooden post and beam structure. Loose-ened brick connections, missing plaster. Corroded attached canopies over the ground-floor window



FIGURE 4. Northern elevation. Corroded ground beam, loosened connections of plinth brick, missing areas of plaster. Between the post and the corroded and crushed ground beam, the crevice is filled with an insert from boards



FIGURE 5. North-western elevation – fragment. The corroded and compressed ground beam. Damp foundation plinth

current geotechnical documentation, it was confirmed that the existing geotechnical conditions are favorable, the ground waters are at a level of approximately 3.4 m below the surface of the terrain.

At the time of site inspections, the masking strips were removed with the aim of uncovering the wooden construction. The wooden construction elements have undergone damage by pests (old-house borer and common furniture

beetle). The woodworking joints are separated, with movement of the beams reaching as much as 7 cm. Numerous secondary strengthening elements are visible – iron clamps and ties. The wooden structure requires general repairs, partial reinforcement, and partial replacement of elements. Additionally, it is recommended that pesticide and fungicide impregnation be carried out.

The infill between the wooden elements is a wall from solid fired brick. In the western and south-western wall, there is a clear vertical crack of the plinth in the area of the base of two middle posts, and in the corner from the north-western side (Fig. 6).



FIGURE 6. Fragment of the south-western elevation. Cracking of the plinth in the corner between the south-western wall, missing plaster, cut-out fragment of post

On the western and north-eastern and south-eastern walls, from the inside of the church, two vertical structural cracks along the posts (vertical and diagonal) can be seen along the central posts, at the level up to the height of the galleries (Fig. 7). There are also two cracks of each kind (vertical and diagonal) on the northern and north-western side, between the

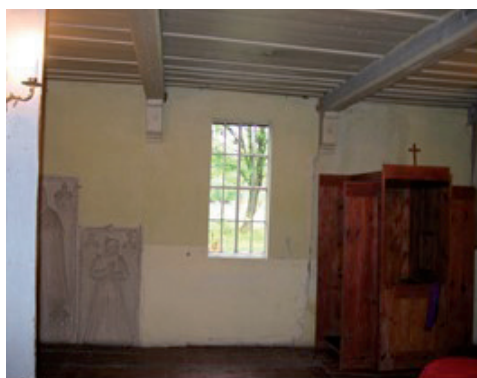


FIGURE 7. Inside part of the north-eastern wall. Vertical cracks of the wall along the posts

window and the post, and two structural diagonal ones on the eastern wall.

Abundant cracks and scratches can be found on the outside of all walls of the church. In addition to this, two brick areas on the north-western side protrude outwards and deviate from the vertical by approximately 10 cm. The entire south-eastern wall is leaning in the direction of the interior of the church. Insulation in the form of a bitumen-based membrane can be found on the northern elevation as well as in the walls of the sacristy. The membrane has flaked away, is cracked and in bad technical condition.

The deflection of the ceiling in the middle of its spread reaches 5 cm under dynamic loading. Due to changes in the geometry of the structure of the gallery, there is loosening in the woodworking joints reaching as much as 3 cm in some places. The structure of the ceiling had undergone rather significant superficial biological pest infestation by the common furniture beetle.

The post situated in the main nave of the inside of the church, between the southern and south-eastern part, is re-connected at a height of 1.65 m from

the level of the floor with the lower part, which had been replaced. The ceiling beams in the middle of their spread have been temporarily supported with wooden shoring posts due to their deflection and displacements.

In the structure of the roof, there are numerous missing areas in the form of cut out elements of the roof framework. Sprockets are partially enforced by boards. Some elements (angle struts, beams, posts) have been replaced by new ones. The entire structure of the roof framework has undergone infestation with wood-boring pests.

In the main nave, the floor finish is of ceramic tiles. Along the north-eastern part of the wall, the floor is deflected parallel to it, at a distance of 80 cm, and sagging near the wall up to a depth of 10 cm; a crack 2 cm in width has emerged. Along the western wall, loosening of the floor tiles is observed.

Numerous cracks of the outside plasters and areas of missing plaster have occurred. Near the ground, the plasters are damp and covered with mosses; under the cornice, water stains are visible. The plasters gave off a hollow sound in many places when being tapped, which signifies their separation from the base. The boards covering the wooden structure are damp.

Analysis of changes in the geometry of the building

Measurements of deviations and displacement of the post structure of the church were carried out. The deviations from the vertical were measured for all corner posts of outside walls to a height

of 5.5 m (to the level of the cornice) as well as inside posts to a level of 3 m from the level of the floor of the main naive (to the level of the gallery beams).

Deviations from the vertical of outside posts at the level of 5.5 m fall within the range of 100–360 mm. The results of measurements of all posts have been shown in Figure 8.

In the case of the inside posts, all deviations from the vertical are directed towards the inside of the building; in the northern part, the deviations are directed to the south, and to the north for posts in the southern part. The greatest values

when it comes to deviations were noted in posts in the south-eastern part of the building, reaching up to 360 mm.

Deviations from the vertical of inside posts are smaller; at the height of 3 m, they fall within the range of 40–130 mm (according to Fig. 8).

In the northern and western part of the church, the posts lean towards the inside walls. In the southern part, leaning is in the direction of the inside of the main naive. The highest values of deviations from the vertical (up to 130 mm) were observed in posts in the southern part of the building.

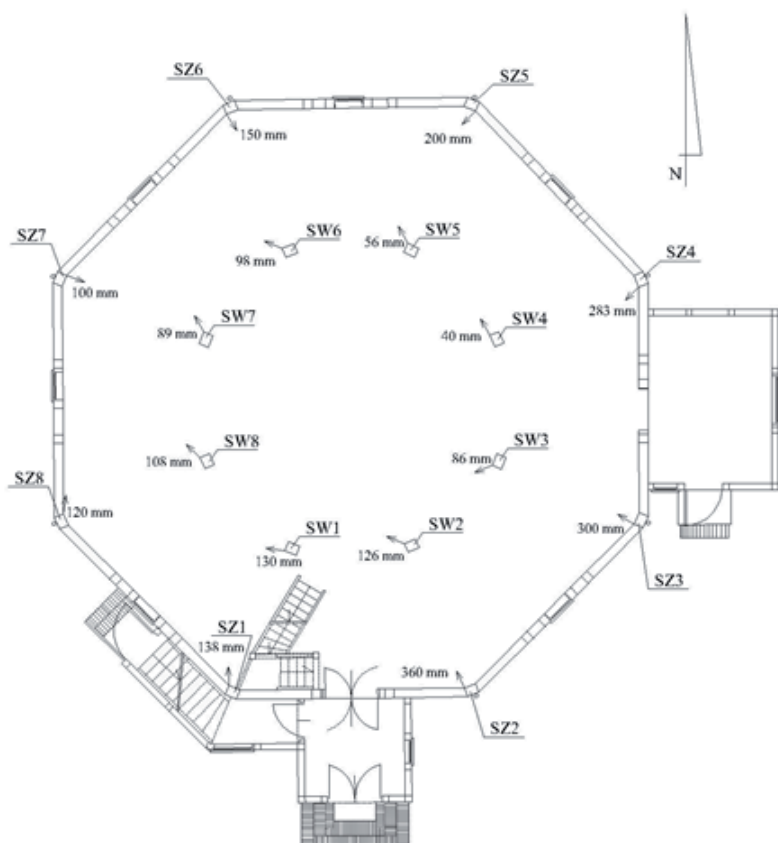


FIGURE 8. Values of deviation from the vertical of inside posts (SW1–SW8) and posts in the outside walls (SZ1–SZ8)

Assessment of the geometry of the building

The results of the carried out measurements indicate significant deviation and displacements of the post and beam structure:

- the posts of the outside walls are leaning in the direction of the inside of the building and partially to the North; the posts of the inside post and beam structure in the main nave are leaning to the North and the West,
- the deviations from the vertical of the outside posts in the south-eastern wall are alarming; the value of 360 mm deviation of SZ2 post measuring 30×30 cm indicates the possibility losing its stability,
- the south-eastern wall is leaning in the direction of the inside of the building to a degree that poses a threat to the stability of the structure,
- the direction of changes to the geometry of the inside posts is caused by the settling of the structure on biologically corroded ground beams on the north-western and northern walls,
- the magnitude of changes in the geometry of the post and beam structure of the church points to the undisputable necessity of carrying out additional bracing, reinforcement and protection of the structure from further deformation.

Summary and discussion

In other studies, the analysis of changes in building geometry (Cruz et al., 2015) was also conducted. Geometric changes are a picture of the consequences

of wrong renovation decisions. Deviations from the vertical and displacement are an indication of the cause of building damage. Building diagnostics carried out correctly consists in determining the extent of damage effects, determining the cause of damage and then proposing a method of repair. For the building in Sękowice an analysis of changes in the building geometry was performed. The direction of movements is an indication of the cause of negative changes in the building.

The table presents the most important wrong renovation decisions in the building in Sękowice and their consequences.

Conclusions

Uneven deformations of structural elements of the church are caused by the natural wear of elements of the building, the detrimental effect of atmospheric, biological and mechanical factors and, above all, negligence when it comes to conservation and removing the resulting damage. The assessment of the technical condition of the historic half-timbered church in Sękowice and conclusions drawn from it are the first stage of works connected with saving this great building. The obtained results set the stage for further action. Subsequent stages, renovation works with the possible application of modern-day technical and technological solutions, will return the building to the community of Sękowice.

References

- Cruz, H., Yeomans, D., Tsakanika, E., Macchioni, N., Jorissen, A., Touza, M., Mannucci, M. & Lourenço, P. (2015). Guidelines for on-site

TABLE. Summary of the most important consequences of erroneous renovation decisions

Type of wrong decision	Consequence	Method of correction
Remove the wooden foundation beams partially and replace them with a brick foundation	Some of the walls settled on the corroded ground beams, and the uneven settling resulted in the distortion of the beam structure. Posts in the outside walls as well as inside posts are leaning in the direction of the interior of the church in varying degrees. Due the missing parts in the brick areas that fill the half-timbered construction, it is necessary to carry out renovation works based on filling in the missing bricks and mortar; the areas of brick between the post and beams diverging from the vertical ought to be re-laid, making partial use of demolition material.	Due to changes in the geometry of the wooden structure, it is necessary to immediately take measures to protect it from further distortions. In the next stage, the structure ought to be straightened, next increasing its rigidity both in the horizontal as well as vertical planes. After repairing and stabilizing the structure, small cracks 4 mm in depth running only through the joints require merely filling with mortar whose structure and physical-chemical properties are close to those of the original, and fragments of the brick walls where cracking and scratches are observed ought to be re-laid with brick.
The use of wood boarding on facades	A significant part of the elements of the wooden structure underwent biological corrosion, due to which it lost its original strength parameters; the original wood-working joints were separated, which led to a loss of rigidity of the structure. The inside perimeter walls form the eastern side settled a few dozen cm vertically as a result of corroded ground beams, which is signified by the drop in the floor of the galleries in the western direction.	The wooden post and beam structure requires renovation based on the partial replacement and filling in of wooden structural elements and impregnation with pesticides and fungicides as well as fire retardants.
When replacing the roof, the drainage of water from the roof was not done properly	All downpipes drain water in the direct proximity of the plinth, which leads to significant dampening of the foundation and plinth as well as washing out of the dust fraction of the granular soil structure in the active zone of the ground.	Missing pieces in the foundations require filling in, loosened masonry elements – relaying, and a damp-proof membrane of the foundation ought to be placed between the plinth and the ground beams, next drying out the foundation and plinth.

- assessment of historic timber structures. *International Journal of Architectural Heritage*, 9(3), 277-289.
- Drozd, W. & Leśniak, A. (2018). Ecological wall systems as an element of sustainable development – cost issues. *Sustainability*, 10, 2234. <https://doi.org/10.3390/su10072234>
- Franke H. (1936). *Ostgermanische Holzbaukultur [East German wooden building culture]*. Breslau: Wilh. Gottl. Korn Verlag.
- Hoła, A. & Sadowski, Ł. (2019). A method of the neural identification of the moisture content in brick walls of historic buildings on the basis of non-destructive tests. *Automation in Construction*, 106, 102850. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102850>
- Hoła, J. & Schabowicz, K. (2010). State-of-the-art non-destructive methods for diagnostic testing of building structures – anticipated development trends. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 10(3), 5-18.

Karta ewidencyjna zabytków architektury i budownictwa kościoła filialnego pw. Św. Rodziny w Sękowicach [Registration card of architecture and building monuments of the filial church of the Holy Family in Sękowice]. Archiwum Wojewódzkiego Urzędu Ochrony Zabytków w Zielonej Górze.

Klein, U. (1985). Dated half-timbered buildings from the 13th century. *Zeitschrift für Archeologie des Mittelalters*, 13, 109-130.

Korentz, J. & Nowogońska, B. (2018). Assessment of the life cycle of masonry walls in residential buildings. *MATEC Web of Conferences*, 174, 01025. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201817401025>

Monczynski, B., Ksit, B. & Szymczak-Graczyk, A. (2019). Assessment of the effectiveness of secondary horizontal insulation against rising damp performed by chemical injection. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471, 52-63.

Nowogońska, B. (2020). A methodology for determining the rehabilitation needs of buildings. *Applied Sciences*, 10(11), 3873. <https://doi.org/10.3390/app10113873>

Radziszewska-Zielina, E. & Śladowski, G. (2017). Proposal of the use of a fuzzy stochastic network for the preliminary evaluation of the feasibility of the process of the adaptation of a historical building to a particular form of use. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245(7), 072029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/7/072029>

Rogala, W. & Anysz, H. (2019). Modelling the set of earthworks machinery with the use of computer simulation. *Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences*, 28(1), 161-168.

Sztubecka, M., Skiba, M., Mrówczyńska, M. & Bazan-Krzywoszańska, A. (2020). An innovative decision support system to improve the energy efficiency of buildings in urban Areas. *Remote Sensing*, 12(2), 259. <https://doi.org/10.3390/rs12020259>

Summary

Consequences of improper renovation decisions in a 17th century half-timbered building. In the case of historic half-timbered buildings, the consequences of erroneous decisions regarding renovation or neglected conservation lead to irreversible damage processes. The effective undertaking of protection activities thus requires carrying out appropriate diagnostic studies. The results of these studies will make it possible to put forth renovation solutions which do not interfere with the historic architectural-structural layout of the building. The article presents the results of the assessment of the technical conditions of a 17th century church in Sękowice, built using traditional frame construction. As a consequence of earlier, inappropriate decisions pertaining to renovation works, a significant portion of the elements of the wooden construction underwent biological corrosion, as a result of which it lost its original mechanical properties. Some of the walls settled on corroded ground beams, with the uneven settling leading to distortions of the entire structure.

Author's address:

Beata Nowogońska
(<https://orcid.org/0000-0001-6343-4840>)
Uniwersytet Zielonogórski
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska
ul. Prof. Z. Szafrana 1, 65-516 Zielona Góra
Poland
e-mail: b.nowogonska@ib.uz.zgora.pl

Informacje dla autorów

Na łamach *Przeglądu Naukowego – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* zamieszczane są **oryginalne prace naukowe w języku polskim lub angielskim, niepublikowane** w innych czasopismach. Prawa autorskie tekstów przyjętych do druku udzielone są Wydawnictwu SGGW, a artykuły są udostępniane na warunkach Open Access na zasadach licencji Creative Commons CC BY-NC (patrz oświadczenie autorów na stronie <http://iks.pn.sggw.pl>).

Wymagania techniczne dotyczące przygotowania prac:

1. Tekst i tabele należy złożyć w formie elektronicznej, w plikach o formacie MS Office, a rysunki – wstawione do tekstu i w oddzielnych plikach graficznych, w programach pracujących w środowisku Windows (Excel, Photoshop itp.) w wersji czarno-białej. Rysunki i zdjęcia w wersji papierowej są drukowane w skali szarości, a na stronie internetowej czasopisma wygenerowane w wersji kolorowej.
2. Objętość artykułu wraz z ilustracjami nie może przekraczać 10 stron formatu A-4, interlinia – 1,5 wiersza, marginesy – 2,5 cm, czcionka TNR 12 pkt., tekst w układzie jednokolumnowym.

Układ pracy (zgodnie z szablonem: http://iks.pn.sggw.pl/do_autorow.html):

1. Imię i nazwisko autora(-ów) – u góry z lewej strony.
2. Pod nazwiskiem – miejsce pracy w polskim i angielskim języku.
3. Tytuł pracy – w polskim i angielskim języku.
4. Słowa kluczowe (*Key words*) – w polskim i angielskim języku.
5. Tekst pracy (w języku polskim lub angielskim) powinien obejmować: **wprowadzenie, materiał i metody, wyniki, podsumowanie i dyskusję, wnioski, literaturę, streszczenie w języku angielskim (Summary), streszczenie w języku polskim, adres autora(-ów).**
6. Tytuły tabel i rysunków, opisy główki pionowej i poziomej tabel oraz wszystkie napisy na ilustracjach muszą być w polskim i angielskim języku w wersji czarno-białej.
7. W tekstach w języku polskim do oznaczania pozycji dziesiętnej liczb należy używać przecinka, a w języku angielskim – kropki.
8. Przy powoływaniu się w artykułach angielskojęzycznych na publikacje w *Przeglądzie Naukowym* autorzy proszeni są o używanie jego angielskiej nazwy.
9. Wykaz piśmiennictwa i powołania należy sporządzić według międzynarodowego formatu APA i zestawiać w porządku alfabetycznym. Bliższe informacje, przykłady formatowania i program do tworzenia opisów bibliograficznych w wymaganym formacie znajdują się na stronie *Przeglądu Naukowego* (http://iks.pn.sggw.pl/do_autorow.html), np.:
Kowalski, J. i Nowak, P. (2009). *Analiza regresji stosowana*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
Kowalski, J., Nowak, P. i Bartnik, Z. (2009). Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK. *Journal of Hydrology*, 252(1-4), 1–24. doi:10.1016/s0022-1694(01)00388-2
Procedura recenzowania. (2014). Pobrano z lokalizacji Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska: <http://iks.pn.sggw.pl/recenzje.html>.
10. Przy pierwszym powoływaniu się w tekście na innych autorów podaje się np.: „zdaniami Kowalskiego (2002)” lub „(Kowalski, 2002)”. Przy większej liczbie autorów „(Kowalski, Malinowski i Witkowski, 2002)”.
11. Streszczenia powinny zawierać ok. 500 znaków.
12. Author's address:
Jan Kowalski
Nazwa miejsca pracy w języku polskim (uczelnia, wydział, katedra)
ulica, kod pocztowy miejscowość, Poland
e-mail
13. Oświadczenie o oryginalności pracy (<http://iks.pn.sggw.pl/oswiadczenie.doc>).