

STRUCTURE AND ENVIRONMENT

ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING, ENVIRONMENTAL ENGINEERING AND ENERGY

No. 2/2016 vol. 8 PL ISSN 2081-1500 www.sae.tu.kielce.pl KIELCE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Contents

structure

MONIKA STĘPIEŃ

- ANALYSIS OF THE RESULTS OF SHORT-TERM TRAFFIC NOISE MEASUREMENTS
ON THE EXAMPLE OF SANDOMIERSKA STREET IN KIELCE** 81

ANNA KOTWA, EDYTA SPYCHAŁ

- INFLUENCE OF MINERAL ADDITIVES PROPERTIES OF CONCRETE** 91

SYLWIA WDOWIK

- THE USE OF THE FOAM INDEX METHOD IN CEMENT GROUTS FOR TESTING THE COMPATIBILITY
OF CEMENT – SUPERPLASTICIZER – AERATING ADMIXTURE SYSTEM** 97

LECH RUDZIŃSKI, AGNIESZKA WDOWIAK

- STRENGTH AND STRUCTURAL PROPERTIES OF STRUCTURAL TIMBER** 103

environment

EDYTA NARTOWSKA, TOMASZ KOZŁOWSKI, MARTA KOLANKOWSKA

- THE EFFECT OF THE SOIL GRANULOMETRIC COMPOSITION ON THE FID (FREE INDUCTION DECAY)
SIGNAL INTENSITY IN NMR TESTS** 111

MAGDALENA WOJNOWSKA-HECIAK, ANNA JANUS

- LANDSCAPE SOLUTIONS FOR SMALL RETENTION** 116

EWA ZENDER-ŚWIERCZ

- CALCULATIONS OF INDIVIDUAL AIR SUPPLY SYSTEMS** 125

PRZEMYSŁAW KLIMCZYK, KAROL KRAWCZYK, JUSTYNA PTAK, KAROLINA SAWADRO,
ALEKSANDRA SIAREK, ALEKSANDRA STĘPIEŃ, JACEK SZEWczyk, KATARZYNA WALKIEWICZ

- DETERMINING THE SHAPE AND VOLUME OF THE POST-MINING BASIN IN KADZIELNIA AREA, KIELCE** 131

- HOW TO PREPARE THE MANUSCRIPT** 141

- THE REVIEW PROCESS** 142

EDITORIAL BOARD

Main Editor Jerzy Z. Piotrowski

Editor Radosław Zaborek

Secretary of the Editorial Board Łukasz J. Orman

Sectional Editor STRUCTURE Marek Iwański

Sectional Editor ENVIRONMENT Lidia Dąbek

SCIENTIFIC BOARD

STRUCTURE

Chairmanship Jerzy Wawrzeńczyk

Tomasz Arciszewski (USA), Lesław Brunarski, Go Iwahana (Japan), Zbigniew Kowal, Jozef Melcer (Slovakia), Michał V. Nemchinov (Russia),
Zdzisława Owsiaik, Victor Proskuriakow, Zbigniew Rusin, Waclaw Seruga, Małgorzata Wilczkiewicz (USA),

ENVIRONMENT

Chairmanship Tomasz Kozłowski

Satoshi Akagawa (Japan), Elżbieta Bezak-Mazur, Mark Bomberg (Canada), Dorota Chwieduk, Graham Herbertson (Scotland),
Andrej Kapior (Slovakia), Andrzej Kapłon, Andrzej Kuliczkowski, Janusz Łomotowski, Paweł Purgał, Leszek Radziszewski,
Jacek Szewczyk, Maria Żygała,

Photos on the cover Arches National Park, Utah, USA — author Jerzy Z. Piotrowski

www.sae.tu.kielce.pl

sae@tu.kielce.pl

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

The Journal published by the Kielce University of Technology

PL ISSN 2081-1500

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2016

25-314 Kielce, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7

tel. 41 34 24 581

www.wydawnictwo.tu.kielce.pl



Kielce University of Technology

2016



structure
structure

MONIKA STĘPIEŃ
Kielce University of Technology
e-mail: monikas@tu.kielce.pl

ANALYSIS OF THE RESULTS OF SHORT-TERM TRAFFIC NOISE MEASUREMENTS ON THE EXAMPLE OF SANDOMIERSKA STREET IN KIELCE

Abstract

Acoustic climate in the vicinity of transportation routes is mainly affected by traffic noise. Traffic volume is decisive as regards noise emissions. Other contributing factors include road geometry and motion conditions, namely vehicle speed and the share of heavy vehicles. Every part of the road in the city has unique characteristics with respect to motion character, the route surroundings, and also every-day noise creating the so-called acoustic background. The paper presents the analysis of the results of traffic noise surveys on the example of a part of Sandomierska Street w Kielce. On a weekday, two one-hour surveys were performed, intended to measure traffic volume and to record sound levels. In the surveys, meteorological conditions were taken into account. On the basis of the data collected, the relations between the number of vehicles in motion, type of vehicles, travel direction and the noise recorded in the road were established.

Keywords: traffic noise, traffic noise measurement

1. Introduction

Noise, which is a common phenomenon, accompanies practically all aspects of human activities. A high level of noise pollution impairs the quality of life, and it makes working, studying and resting harder. Noise pollution produces many negative health effects [1]. It is also one of the major sources of the natural environment degradation. Unfavourable acoustic climate is most commonly found in cities, where the majority of the population live and work. It is estimated that approx. 54% of the residents of Poland's major agglomerations complain about the outside noise, mostly generated by transportation [2]. As many as 23% of trunk roads carrying mainly freight traffic, which is particularly harmful, run through built-up areas [3].

Each part of the road shows a specific and unique acoustic climate, which varies depending on many factors related to vehicular traffic, the road itself and its surroundings, and also to atmospheric conditions [4-7].

When the city's acoustic climate is analysed, the most interesting thing is the cumulative effect produced by multiple noise sources, namely vehicles in motion. At a certain level of traffic congestion, noises generated by individual vehicles superpose.

Therefore, a road can be treated as a conventional, surface noise source [6]. The noise level recorded at a transportation route constantly varies in time. It is not possible to properly assess this level when the values that occur at only certain moments are known.

To determine the values of noise that characterise arbitrary reference times assumed by the researcher, equivalent levels were introduced. The equivalent sound level A is a noise measure using the A-weighting setting, the level of the acoustic pressure of the continuous steady sound, which in the specified time interval T has the same root mean square of the acoustic pressure, as the analysed sound, the level of which varies in time [8]. Equivalent sound level A-weighted for the time interval T is also called average sound level with the averaging time denoted with an indicator, e.g. La1h, which indicates one-hour average sound level. The equivalent sound level is a basic indicator in the numerical description of the acoustic climate [9].

Converting the values of noise levels, usually recorded every second, to the equivalent sound level is possible due to computations performed in accordance with formula (1).

$$L_{A\text{eq}} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \times \sum_{i=1}^N t_i \times 10^{0.1 \times L_{Ai}(t)} \right) [\text{dB}] \quad (1)$$

where: N – the number of acoustic situations for the time interval T, L_{Ai} – the sound level at the time t_i , T – equivalent sound level determined time.

Equivalent sound levels largely depend on vehicle motion structure. The noisiest vehicles are those categorised as heavy, and also motorcycles. The sound level generated by those ranges from 79 to 98 dB. Passenger cars are slightly less noisy, as when they are in motion, noise level from 70 to 84 dB is recorded [10]. Because of an enormous traffic volume and a high share of heavy vehicles, in large cities, measurements of noise level are taken on regular basis [11]. The measurement results are continuously monitored, and when admissible values given in [12] are exceeded, penalties are imposed on road operators [13]. Various noise reduction strategies, relying on different methods and means, have been continually devised [14].

One of the projects undertaken recently by the local authorities in Kielce, aimed at improving the acoustic climate, has been the construction of the new section of the road S74. Prior to providing an alternative route, freight traffic travelling from east to west was directed along Sandomierska Street in Kielce, then having the status of the trunk road.

The aim of the survey presented in the study was to analyse and evaluate the acoustic climate produced by vehicular motion, currently found in the vicinity of the selected part of Sandomierska Street. Special attention was paid to heavy traffic volume, and also vehicle type and travel direction structure.

2. Survey methods

2.1. General information

Measurements were taken in the Sandomierska Street, which currently has a status of a major road, in Kielce. Measurements were conducted in the road section between the junctions with Daleka and Śląska Streets. In the part of concern, the roadway grade is 2% towards the city centre. Sandomierska Street has two roadways, each carrying three traffic lanes. Between the roadways, 2.5 m wide central reserve is located. The road part is flanked, both on the left and the right sides, by low buildings offering different services, institutional buildings and a permanent residence, special education care centre. Buildings are located a few meters from the roadway edge. The Sandomierska Street section, near which the measurements were taken, is shown in Figure 1.



Fig. 1. View of the Sandomierska Street section
[fot. M. Stępień]

The date of the survey was selected to be a weekday, Wednesday, 5 February 2014. While obtaining acoustic and motion data, meteorological conditions, including air temperature, relative humidity, atmospheric pressure and wind velocity were also specified. The monitoring of traffic noise was accompanied by gathering data on traffic volume, vehicle structure and travel direction. The data were collected for two hours. Representative hourly time intervals were determined on the basis of traffic volume distribution, which was thoroughly studied by taking initial measurements. On the day preceding the final data acquisition, information on motion in the part of concern was collected. The results of the analysis of the traffic volume data were used to schedule the timing of measurements. The first time interval selected for the survey was the morning rush hour, namely 10:00AM-11:00AM. The other time interval, with the heaviest traffic load, was in the afternoon between 03:00PM and 04:00PM.

The measurements were taken in accordance with the regulation of the minister of the Natural Environment [15]. As required, meteorological conditions were specified. The survey day was sunny, without precipitation, or snow lying on the roadway surface. The air temperature was 1°C, the air relative humidity 43%, atmospheric pressure 980 hPa, and the wind velocity did not exceed 5 m/s.

Noise measurements were taken using the Extech SDL600 Sound Level Meter. The device allows precise measurements, has Class 2 level of tolerance and is compliant with EN 61672-1. The method of direct measurements by sampling was used. The following device settings were selected: A-weighting curve, FAST response time and 1s datalogger sampling time. The measurements were taken at the height of 1.5 m, at a distance of 1.5 m from the roadway edge. Because it was difficult to record noise level and motion data

at the same time, to obtain traffic volume data, traffic was filmed with a video camera. After filming the traffic, the data on traffic volume were processed and presented as the Microsoft Excel spreadsheet.

Due to the structure of vehicle types and the travel direction, vehicles were categorised into four groups:

- a) L1 – light vehicles moving along the closer roadway, from the city center,
- b) L2 – light vehicles moving along the further roadway, towards the city center,
- c) C1 – heavy vehicles moving along the closer roadway, from the city center,
- d) C2 – heavy vehicles moving along the further roadway, towards the city center.

Light vehicles included passenger cars and commercial vehicles, whereas heavy vehicles comprised trucks, buses, tractors and motorcycles. The two-wheeled were categorised as heavy vehicles because of the high level of noise they generate [15]. It was assumed that the vehicles drive through the road part at the maximum speed permitted in a built-up area, i.e. 50 km/h.

3. The results of investigations

3.1. Traffic volume

The observations concerning traffic volume in the part of Sandomierska Street in the morning and afternoon surveys indicate that light vehicles were the main users, whereas heavy traffic was low, and involved mainly city buses and delivery vehicles. The traffic flow was uninterrupted.

The distribution of motion data and the character of vehicular traffic in Sandomierska street were illustrated using a bar chart which showed the traffic volume in the following hours: 10:00AM-11:00AM and 3:00PM-4:00PM. The number of vehicles driving through the road, together with the data on vehicle types and travel direction, are shown in Figure 2.

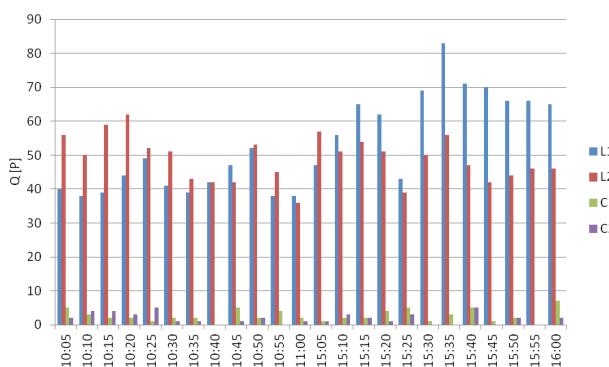


Fig. 2. Vehicular motion volume in the 5-minute interval recorded in the morning and afternoon rush hours on 5 Feb. 2014 in Sandomierska Street in Kielce

The data presented in Figure 2 indicate that traffic load was much higher in the afternoon. As regards light vehicle motion, travel direction differences are clearly observed for the selected time intervals. From 10:00AM to 11:00AM, 537 cars drove from the city centre outwards, whereas 615 vehicles travelled to the city centre. In the afternoon rush hour, 794 vehicles drove from the city centre outwards and 602 moved towards the city centre. The traffic direction structure 47/53 in the morning and 57/43 in the afternoon indicates that the character of traffic in Sandomierska Street is strongly related to working hours. In city streets, a larger traffic volume is usually noted for the motion towards the city centre in the morning, which is obviously linked to work start time and the time of opening of public institutions. In the afternoon, a higher number of vehicles travelling out of the city centre is related to people's returning to their homes. As regards heavy traffic, a similar number of vehicles was observed for both the morning and afternoon intervals, with a slightly higher number of vehicles travelling out of the city.

3.2. Noise

In the measurements, the sound level meter sampling time was 1 s. When no vehicles travelled, the meter display showed the values of over fifty decibels. Those results can be considered the acoustic background noise level. When in motion, light vehicles most frequently produced the sound level from 71 to 80 dB. Heavy vehicles usually generated sounds ranging from 78 to 103 dB. It was also recorded that older vehicles, or those in poor condition emitted more noise. Then, the sound level observed was often comparable with that produced by some of heavy vehicles.

The pattern of changes in the sound level in the morning and afternoon rush hours, together with hourly equivalent levels, Laeq 1 h, is presented in Figure 3.

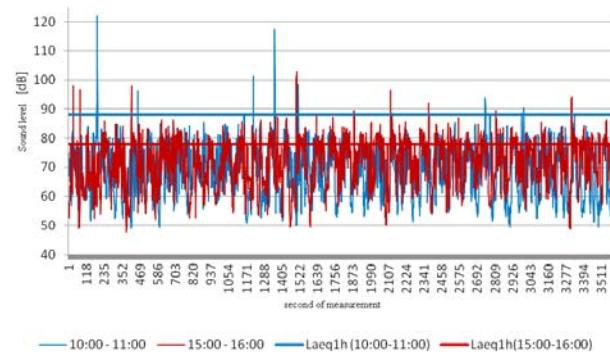


Fig. 3. The pattern of sound level changes in the morning and afternoon rush hours with hourly equivalent levels

The equivalent sound level was determined for one hour of the morning measurement, Laeq 1 h was 88.2 dB, and for the afternoon it was 78.1 dB. The data presented in Figure 3 clearly shows long leaps in noise records caused by vehicles moving in groups. For both travel directions, the impact of the signal controlled junctions, located at a distance, is clearly observable. Vehicles waiting to continue travel queued before the stop line at the junctions, and at the moment green signal turned on, they started at the same time arriving as a platoon of cars at the acquisition site.

In the fourth and the twenty-third minute of the morning survey, two emergency vehicles drove along with their sirens on. The passage of those vehicles produced high noise records, which maximally amounted to as much as 122 and 117 dB, respectively. Such momentary values of sound level, corresponding to an anomalous event, result in an error in the analysis of the effect of vehicular motion on traffic noise. Two graphs were plotted to illustrate the effect of singular, much higher than the average, results of noise measurement on the aggregated values described with equivalent sound levels, and computed for respective 1-, 5-, 15- and 60-minute intervals. The computed values of the indicator Laeq (1, 5, 15, 60 min) for the first measurement hour, from 10:00AM to 11:00AM, are presented in Figure 4. The values of the indicator Laeq (1, 5, 15, 40 min) for the other measurement hour, namely from 3:00PM to 4:00PM, are presented in Figure 5.



Fig. 4. Equivalent sound levels for 1, 5, 15 and 60 minutes, determined on the basis of the data collected between 10:00AM and 11:00AM in the part of Sandomierska Street in Kielce, on 5 Feb. 2014

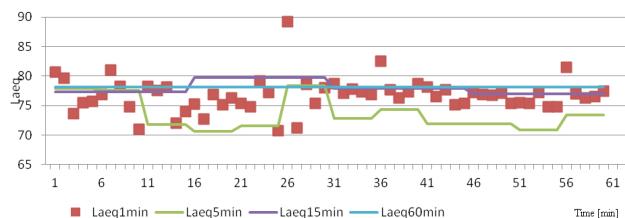


Fig. 5. Equivalent sound levels for 1, 5, 15 and 60 minutes, determined on the basis of the data collected between 3:00PM and 4:00PM in the part of Sandomierska Street in Kielce, on 5 Feb. 2014

The comparison of the data shown in Figs. 4 and 5 confirms a major impact of the passage of siren-on emergency vehicles on noise indicator. Ambulance sirens produced abnormal results for the first measurement hour. Equivalent sound level Laeq 1 min, determined for a minute during which the first ambulance drove by, reached the value of 104.4 dB. The same index computed for the twenty third minute was as high as 99.7 dB. The other results of Laeq 1 min took on the values of up to 85 dB, both for the morning and afternoon measurement hour. The impact of loud emergency vehicle sirens is also visible in the values taken on by indicator Laeq 5 min, Laeq 15 min and Laeq 1 h, computed on the basis of the data collected from 10:00AM to 11:00AM. Therefore, it is pointless to carry out traffic noise analysis based on measurements collected in the first two quarters of the morning survey. The values recorded within that interval were excluded from the dataset.

To find relations between noise described by means of equivalent sound level, Laeq, on one side, and traffic volume (Q), vehicle type structure (L, C) and travel direction structure (1, 2), on the other, Pearson linear correlation coefficient was calculated for appropriate pairs of variables. The analysis was performed on the basis of 5400 noise results corresponding to the acoustic conditions in the second half of the morning hour and the entire afternoon hour. The way of matching variables in pairs and the results of the analysis of correlations for 1-, 5- and 15-minute intervals are presented in Table 1.

Table 1. Values of Pearson linear correlation coefficients determined on the basis of Laeq 1 min, Laeq 5 min and Laeq 15 min and corresponding motion conditions for the selected time intervals

Pearson linear correlation coefficients	Time interval		
	1 min	5 min	15 min
Qi i Laeq	0.25	0.51	0.67
Q1 i Laeq	0.45	0.35	0.62
Q2 i Laeq	-0.17	0.65	0.50
QL i Laeq	0.25	0.49	0.65
QC i Laeq	0.19	0.10	0.88
QL1 i Laeq	0.46	0.36	0.60
QL2 i Laeq	-0.19	0.61	0.49
QC1 i Laeq	0.15	-0.03	0.49
QC2 i Laeq	0.13	0.24	0.62
%Ci Laeq	0.11	0.00	0.53
%C1 i Laeq	0.00	-0.14	-0.16
%C2 i Laeq	0.20	0.18	0.70

The analysis of Pearson linear correlation coefficients presented in Table 1 shows that values indicating the occurrence of relation between pairs of variables is observed only for 5- and 15- min intervals. The correlation coefficient above 0.5 is regarded as the one that describes a strong relation between variables. The strongest relation was found to hold between the equivalent sound level Laeq 15 min, and the traffic volume of heavy vehicles. The correlation coefficient for that pair of variables was 0.88. The coefficient takes on a positive value, which means, the more heavy vehicles drove along the road part of concern, the higher noise was recorded. Another strong correlation is found for the index Laeq 15 min and a majority of motion characteristics quoted before. The lack of significant relations for 5- minute intervals can be explained by the fact that the noise index Laeq 5 min is too sensitive when sudden leaps in the sound level caused by more noisy vehicles occur.

To illustrate the effect of the traffic volume of heavy vehicles on the level of recorded noise for 15-min time intervals, a graph was plotted for that pair of variables which showed the highest correlation coefficient. The graph is presented in Figure 6.

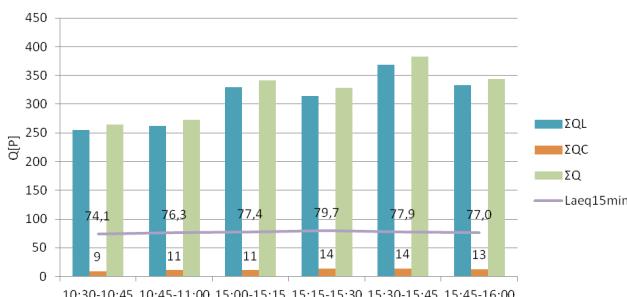


Fig. 6. Vehicular traffic volume taking in to account vehicle type, and equivalent sound levels Laeq 15 min, corresponding to road and acoustic conditions in the morning and afternoon rush hours on 5 Feb. 2014 in the part of Sandomierska Street in Kielce

The data presented in Figure 6 indicates that in a majority of cases, the greater number of heavy vehicles drove along the part of the road, the higher was the value of the corresponding equivalent sound level, Laeq 15 min. The lowest index was found for that quarter of measurements when the number of heavy vehicles was 9, which constituted a share of 3.4%. The highest index Laeq 15 min corresponded to the passage of the fourth type of vehicles, whose share was 4.3%.

4. Conclusions and summary

The analysis of the data obtained from the measurements of sound level and the volume of

vehicular motion performed during rush hours on 5 Feb. 2014 in Sandomierska Street in Kielce, shows the acoustic climate near the route is unfavourable. Equivalent sound levels, Laeq 1h are quite high and those exceed the limits permitted for a given time of the day [12]. The results obtained for morning and afternoon rush hours, however, are much higher when compared with the value of 16-hour index Laeq D stated in the standard, which resulted from the assumption made for the study, i.e. the selection of the period of time with a very heavy load of vehicular traffic. The volume of traffic in off-peak periods was much lower. Equivalent sound level calculated on the basis of noise measurement results and traffic volume data recorded for the full 16-hour period specified in the standard would be also much lower.

Based on the computed values of the Pearson linear correlation coefficient, it can be concluded that a strong relation holds between recorded noise and the number of vehicles driving through a given road. The highest positive value of the coefficient was obtained for the following variables: Laeq 15 min and the number of heavy vehicles. The more heavy vehicles travelled, the higher noise emissions were recorded. An increase in the number of passenger cars affected the recorded sound levels to a lesser extent. No significant relation was found between the travel direction structure and noise production. During the measurements, researchers observed that vehicles driving along the roadway located closer (direction to the city centre) gave more annoyance than traffic travelling along the other roadway in the opposite direction. The results of analyses, however, do not confirm a relation of that kind.

The comparison of the results of measurements of traffic volume with those carried out in 2009 [16], when freight traffic moved in Sandomierska Street, shows a clear decrease in both the total number of vehicles, and also that of heavy vehicles. In 2009, 150 heavy vehicles per hour travelled along the road part of concern. In the latest measurements, only over 50 such vehicles were recorded. On the basis of the short-term measurements conducted for the study, it can be concluded that a reduction in the number of heavy vehicles contributed to the improvement of the acoustic climate of the surroundings. The new section of the express way S74 took the freight traffic and reduced the number of vehicles in Sandomierska Street, thus partly relieving the local residents of noise annoyance and negative effects produced by it.

References

- [1] Kotus J.: *Ocena wpływu zagrożeń hałasowych naczęstość występowania chorób słuchu z zastosowaniem środków teleinformatycznych.* PhD. disseratation under the guidance of prof. dr. eng. Bozena Kostek, Gdańsk University of Technology, Gdańsk 2007.
- [2] Engel Z.: *Człowiek a hałas. Doktor Honoris Causa Politechniki Świętokrzyskiej.* Publisher Kielce University of Technology, Kielce 2012.
- [3] Gardziejczyk W., Gerasimiu P., Motylewicz M.: *Klimat akustyczny w otoczeniu ulic prowadzących ruch tranzytowy pojazdów ciężarowych – chapter in the monography: Metody ochrony środowiska przed hałasem – teoria i praktyka,* Zakopane 2013, p. 69-86.
- [4] Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem.* Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [5] Gardziejczyk W.: *Wpływ technologii wykonania i tekstuury nawierzchni drogowych na hałas pojazdów samochodowych.* Rozprawy naukowe nr 121, Białystok University of Technology, Białystok 2005.
- [6] Kucharski R.J.: *Hałas drogowy.* WKiŁ, Warszawa 1979.
- [7] Lebiedowska B.: *Hałas wokół autostrad. Metody prognozowania.* Monograph Lódz University of Technology, Lódź 1998.
- [8] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 lipca 2004 w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku,* (Dz.U. Nr 178, poz. 1841)
- [9] Muthi autored paper: *Ocena jakości środowiska w województwie śląskim w zakresie hałasu, na podstawie badań monitoringowych i inspekcyjnych WIOŚ w Katowicach oraz zarządców dróg i lotnisk, w latach 2000-2009.* Written under the direction of A. Wrześniak, J. Kopyczok, edited by R. Danecki, A. Pillich-Konieczny, A. Szczygieł. Library of Environmental Monitoring, Katowice 2010.
- [10] Website: www.techbud.com.pl
- [11] Sadowski J.: *Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie,* Arkady, Warszawa 1971.
- [12] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku,* (Dz.U. z 8 października 2012, poz. 1109).
- [13] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 września 2001 r. w sprawie wysokości jednostkowych stawek kar za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu,* (Dz.U. Nr 120, poz. 1285).
- [14] Iwański M., Stępień M.: *Wpływ rozwijanych komunikacyjnych na powstawanie hałasu drogowego i kształtowanie środowiska,* IV Training Conference, "The problem of noise in the city. Acoustic climate in urban spaces", Publisher Abrrys Sp. z.o.o, Kielce 2011.
- [15] *Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem* (Dz. U. Nr 192 z dnia 2 października 2007 r., poz. 1392).
- [16] Borkowski B., Głocki K.: *Opracowanie wyników ciągłego monitoringu ul. Ogrodowa, ul. Sandomierska, ul. Warszawska,* AGH Kraków, September 2010.

Monika Stępień

Analiza wyników krótkoterminowych pomiarów hałasu drogowego na przykładzie przekroju ulicy Sandomierskiej w Kielcach

1. Wprowadzenie

Hałas jest zjawiskiem powszechnym, towarzyszy praktycznie każdej działalności człowieka. Jego wysoki poziom obniża jakość życia, utrudnia pracę, naukę oraz wypoczynek. Zanieczyszczenie hałasem jest przyczyną wielu negatywnych następstw zdrowotnych [1]. Jest również jedną z głównych przyczyn degradacji środowiska naturalnego. Niezadowalający klimat akustyczny zauważa się w szczególności

w miastach, gdzie przebywa i pracuje większa część społeczeństwa. Szacuje się, że około 54% mieszkańców większych polskich aglomeracji skarży się na hałas pochodzenia zewnętrznego, głównie komunikacyjnego [2]. Przez obszary zabudowane przebiega aż 23% dróg krajowych, na których realizowany jest głównie ruch tranzytowy, szczególnie uciążliwy [3]. Każdy przekrój drogowy charakteryzuje się specyficznym, niepowtarzalnym klimatem akustycznym,

zmiennym w zależności od wielu czynników związanych z ruchem pojazdów, z drogą i jej otoczeniem, a także z warunkami atmosferycznymi [4-7].

Podczas rozpoznawania klimatu akustycznego w mieście najbardziej interesujące jest łączne oddziaływanie wielu źródeł hałasu – pojazdów biorących udział w ruchu. Przy w miarę gęstym ruchu poziomy hałasu od pojedynczych przejazdów nakładają się na siebie. Ulicę można więc traktować jako umowne, powierzchniowe źródło dźwięku [6]. Obserwowany przy arterii komunikacyjnej poziom hałasu nieustannie zmienia się w czasie. Jego odpowiednia ocena nie jest możliwa przy znajomości jedynie wartości występujących w pewnych momentach.

Do określania wartości hałasów charakteryzujących dowolne, przyjęte przez badacza czasy odniesienia, wprowadzono poziomy równoważne. Równoważny poziom dźwięku A to, skorygowany według krzywej korekcyjnej A, poziom ciśnienia akustycznego ciągłego ustalonego dźwięku, który w określonym przedziale czasu T ma taki sam średni kwadrat ciśnienia akustycznego, jak analizowany dźwięk o poziomie zmiennym w czasie [8]. Równoważny poziom dźwięku A dla przedziału czasu T jest także zwany średnim poziomem dźwięku z czasem uśredniania zaznaczonym za pomocą indeksu, np. La1h, co oznacza jednogodzinny średni poziom dźwięku. Poziom równoważny jest podstawowym wskaźnikiem liczbowego opisu klimatu akustycznego [9].

Poziomy równoważne dźwięków w dużej mierze zależą od struktury rodzinowej ruchu. Do najbardziej hałaśliwych pojazdów należą te z grupy ciężkich oraz motocykle. Generowany przez nie poziom dźwięku waha się od 79 dB do 98 dB. Samochody osobowe są mniej uciążliwe. Podczas ich przejazdów rejestruje się poziomy hałasu od 70 dB do 84 dB [10]. Z uwagi na ogromne obciążenie ruchem oraz duży udział pojazdów ciężkich, w dużych miastach systematycznie są prowadzone pomiary poziomu hałasu [11]. Ich wyniki są regularnie kontrolowane, a wszelkie przekroczenia wartości dopuszczalnych, podanych w [12], skutkują obciążeniami finansowymi nałożonymi na zarządców dróg [13]. Nieustannie podejmowane są próby ograniczenia poziomu hałasu poprzez stosowanie różnych metod i środków [14].

Jednym z niedawnych działań kieleckich władz, zmierzającym w kierunku poprawy klimatu akustycznego, była budowa nowego odcinka drogowego S74. Przed wprowadzeniem połączenia alternatywnego ruch tranzytowy zmierzający ze wschodu na zachód kierowany był przez ulicę Sandomierską w Kielcach, pełniącą wówczas funkcję drogi krajowej.

Celem badań przedstawionych w opracowaniu jest analiza i ocena aktualnie występującego klimatu akustycznego w okolicy wybranego przekroju ulicy Sandomierskiej,kształtanego przez ruch drogowy. Szczególną uwagę zwrócono na natężenie ruchu ciężkiego, strukturę rodzinową oraz kierunkową.

2. Metodyka wykonanych badań

Pomiary zrealizowano przy ulicy Sandomierskiej w Kielcach, która obecnie pełni funkcję drogi głównej. Wykonano je w przekroju pomiędzy skrzyżowaniami z ulicami: Daleką i Śląską. Na wytypowanym odcinku pochylenie podłużne wynosi 2% w kierunku centrum miasta. Ulica Sandomierska posiada dwie jezdnie, na każdej po trzy pasy ruchu. Między nimi jest pas dzielący o szerokości 2,5 m. Zarówno po lewej, jak i po prawej stronie badanego przekroju znajdują się niskie budynki usługowe, użyteczności publicznej oraz placówka wychowawcza stałego zamieszkania. Zabudowa zlokalizowana jest w odległości kilkunastu metrów od krawędzi jezdni.

Przekrój poprzeczny ulicy Sandomierskiej, w pobliżu którego wykonano pomiary, przedstawiono na rysunku 1.

Do badań wytypowano dzień roboczy, środę 5 lutego 2014 roku. Podczas rejestracji wielkości akustycznych i ruchowych określono warunki meteorologiczne, takie jak: temperatura powietrza, wilgotność względna, ciśnienie atmosferyczne oraz prędkość wiatru. Równocześnie z monitoringiem hałasu komunikacyjnego notowano natężenie, strukturę rodzinową i kierunkową ruchu. Dane zgromadzono dla dwóch godzin. Reprezentatywne godzinowe przedziały czasowe określono na podstawie rozkładu natężenia ruchu, który dokładnie rozpoznano, wykonując pomiary wstępne. W dzień poprzedzający docelową rejestrację danych zebrano informacje ruchowe w wybranym przekroju ulicznym. Na podstawie analizy wyników natężenia ruchu zdecydowano o docelowym czasie pomiarów. Pierwszy wybrany okres to poranny szczyt komunikacyjny, przypadający na godzinę od 10.00 do 11.00. Drugi to najbardziej obciążona ruchem pojazdów popołudniowa godzina, pomiędzy 15.00 a 16.00.

Prace pomiarowe wykonano zgodnie z rozporządzeniem ministra środowiska [15]. Według wymagań określono warunki meteorologiczne. W dzień badań była słoneczna pogoda, bez opadów oraz zalegającego śniegu na powierzchni jezdni. Temperatura powietrza wynosiła 1°C, wilgotność względna powietrza – 43%, ciśnienie atmosferyczne – 980 hPa, a wiatr nie przekraczał 5 m/s.

Do pomiarów hałasu wykorzystano decybelomierz Extech SDL600, który umożliwia precyzyjny pomiar poziomu dźwięku i odpowiada normie EN 61672-1, klasa dokładności 2. Wykorzystano metodę bezpośrednich pomiarów za pomocą próbkowania. W urządzeniu ustawiono charakterystykę korekcyjną A, stałą czasową FAST oraz częstotliwość próbkowania 1 s. Pomiary wykonano na wysokości 1,5 m, w odległości 1,5 m od krawędzi jezdni. Z uwagi na trudność jednoczesnego notowania poziomu hałasu oraz danych ruchowych natężenie ruchu rejestrowano za pomocą techniki wideofilmowania. Po zebraniu materiału badawczego informacje charakteryzujące ruch, odtworzono i zestawiono w formie tabelarycznej w arkuszu kalkulacyjnym programu Microsoft Excel.

Ze względu na strukturę rodzajową ruchu oraz kierunek jazdy, pojazdy podzielono na cztery grupy:

- a) L1 – pojazdy lekkie poruszające się po bliższej jezdni, od centrum miasta,
- b) L2 – pojazdy lekkie poruszające się po dalszej jezdni, do centrum miasta,
- c) C1 – pojazdy ciężkie poruszające się po bliższej jezdni, od centrum miasta,
- d) C2 – pojazdy ciężkie poruszające się po dalszej jezdni, do centrum miasta.

Do pojazdów lekkich zaliczono samochody osobowe i dostawcze, a do ciężkich samochody ciężarowe, autobusy, ciągniki oraz motocykle. Jednoślady zostały przyporządkowane do kategorii pojazdów ciężkich z uwagi na ich wysoką hałaśliwość [15]. Przyjęto, że pojazdy przekraczają badany przekrój drogi z prędkością dopuszczalną na terenie zabudowanym 50 km/h.

3. Wyniki wykonanych badań

3.1. Natężenie ruchu

Z obserwacji natężenia ruchu w przekroju ulicy Sandomierskiej podczas wykonywania porannych i popołudniowych pomiarów wynika, że badany przekrój przekraczały głównie pojazdy lekkie. Ruch ciężki był niewielki, przeważnie przejeżdżały autobusy miejskie oraz pojazdy zaopatrzenia. Ruch był płynny.

W celu zobrazowania rozkładu danych ruchowych i charakteru ruchu kołowego na ulicy Sandomierskiej sporządzono wykres słupkowy przedstawiający natężenie pojazdów w godzinach od 10.00 do 11.00 oraz od 15.00 do 16.00. Liczbę pojazdów przekraczających przekrój drogowy z uwzględnieniem struktury rodzajowej oraz kierunkowej przedstawiono na rysunku 2.

Z analizy danych zamieszczonych na rysunku 2 można wnioskować, że znacznie większa liczba pojazdów przekroczyła przekrój uliczny podczas popo-

ludniowych notowań. Wyraźnie widoczna jest zmiana struktury kierunkowej pojazdów lekkich dla dwóch godzin pomiarowych. Od 10.00 do 11.00 w kierunku od centrum miasta przejechało 537, a w kierunku do centrum 615 pojazdów. Podczas szczytu popołudniowego w kierunku od centrum przekrój ulicy Sandomierskiej przekroczyło 794 pojazdów, a w kierunku do centrum 602. Struktura rodzinowa 47/53 rano i 57/43 po południu wskazuje, że charakter ruchu na ulicy Sandomierskiej jest podyktowany rytmem pracy. Na drogach miejskich zwykle obserwuje się większe natężenie pojazdów jadących w stronę centrum miasta w godzinach porannych, co prawdopodobnie jest związane z godzinami rozpoczęcia pracy i otwarcia instytucji. Po południu większe natężenie ruchu pojazdów jadących w stronę wylotu z miasta jest związane z powrotami do domów. Z uwagi na ruch ciężki zarówno podczas pomiaru porannego, jak i popołudniowego zanotowano podobną liczbę pojazdów. Przeważały jednak te zmierzające w stronę wylotu z miasta.

3.2. Hałas

W czasie wykonywania pomiarów obserwowano sekundowe wskazania miernika dźwięku. W przypadku gdy po ulicy nie poruszały się żadne pojazdy na wyświetlaczu urządzenia ukazywały się wielkości rzędu pięćdziesięciu kilku decybeli. Te wyniki można uznać za poziom tła akustycznego otoczenia. Podczas przejazdów pojazdów typu lekkiego poziom dźwięku wynosił najczęściej od 71 dB do 80 dB. Pojazdy ciężkie generowały zwykle dźwięk od 78 dB do 103 dB. Zauważono również dużo większy hałas w czasie przejazdu pojazdów starszych lub/i w złym stanie technicznym. Często obserwowany wtedy poziom dźwięku był porównywalny z tym generowanym przez niektóre pojazdy ciężkie.

Przebieg zmian poziomu dźwięku w porannej i popołudniowej godzinie szczytu komunikacyjnego wraz ze wskazaniem godzinnych poziomów równoważnych, Laeq 1 h przedstawiono na rysunku 3.

Równoważny poziom dźwięku wyznaczony dla okresu jednej godziny pomiaru porannego, Laeq 1 h wynosił 88,2 dB, a dla popołudniowego 78,1 dB. Na podstawie danych zaprezentowanych na rysunku 3 można zaobserwować wyraźne dłuższe skoki notowań hałasu spowodowane przejazdami pojazdów w grupach. Zarówno w jednym, jak i w drugim kierunku od wytypowanego przekroju drogi uwidocznili się wpływ odległych skrzyżowań sterowanych sygnalizacją świetlną. Pojazdy oczekujące na możliwość konty-

nuowania podróży gromadziły się przed linią warunkowego zatrzymania na skrzyżowaniach, a w momencie wyświetlenia sygnału zielonego jednocześnie ruszały, docierając w kolumnie do punktu notowań.

W czwartej oraz w dwudziestej trzeciej minucie porannego pomiaru przekrój ulicy przekroczyły dwa pojazdy uprzewilejowane, jadące z włączonym sygnałem dźwiękowym. Ich przejazd spowodował wysokie notowania hałasu, wynoszące maksymalnie odpowiednio 122 dB oraz 117 dB. Takie wyniki chwilowego poziomu dźwięku obarczają błędem analizy wpływu ruchu pojazdów na hałas pochodzenia drogowego. Dla zobrazowania wpływu pojedynczych, odstających wyników pomiarów hałasu na jego zagregowane wartości opisane za pomocą równoważnych poziomów dźwięków, obliczone odpowiednio dla interwałów 1-, 5-, 15- i 60-minutowych, wykonano dwa wykresy. Obliczone wartości wskaźników Laeq (1, 5, 15, 60 min) dla pierwszej godziny pomiaru, od 10.00 do 11.00, przedstawiono na rysunku 4. Wartości wskaźników Laeq (1, 5, 15, 60 min) dla drugiej godziny pomiaru, od 15.00 do 16.00, przedstawiono na rysunku 5.

Porównanie rozkładu danych zamieszczonych na rysunkach 4 i 5 potwierdza istotny wpływ przejazdu pojazdów uprzewilejowanych z aktywnym sygnałem dźwiękowym na wskaźniki hałasowe. Syreny karetek spowodowały obserwację odstających wyników w pierwszej godzinie pomiaru. Równoważny poziom dźwięku Laeq 1 min, wyznaczony dla minuty, podczas której przejechała pierwsza z nich, osiągnął wartość 104,4 dB. Ten sam wskaźnik obliczony dla dwudziestej trzeciej minuty wynosił aż 99,7 dB. Pozostałe wyniki dotyczące Laeq 1 min przyjmowały wartości do 85 dB zarówno w pierwszej, jak i drugiej godzinie pomiaru. Wpływ głośnych sygnałów ostrzegawczych pojazdów ujawnia się również w wartościach, jakie przyjmują wskaźniki Laeq 5 min, Laeq 15 min oraz Laeq 1 h obliczone na podstawie danych zgromadzonych od 10.00 do 11.00. Bezcelowe jest więc wykonywanie analiz uwzględniających hałas i ruch drogowy na podstawie pomiarów zgromadzonych w pierwszych dwóch kwadransach godziny dziesiątej. Wielkości zanotowane w tym czasie wykluczono ze zbioru danych.

W celu zbadania zależności występujących między hałasem opisanym obliczonymi wartościami równoważnego poziomu dźwięku Laeq a natężeniem (Q), strukturą rodząną (L, C) oraz kierunkową ruchu (1, 2), obliczono współczynnik korelacji liniowej według Pearsona dla odpowiednich par zmiennych. Analizę wykonano w oparciu o 5400 wyników ha-

łasowych odpowiadających warunkom akustycznym w drugiej połowie godziny 10.00 oraz o godzinie 15.00. Sposób zestawiania wartości zmiennych w pary i wartości wynikowe analizy korelacji dla interwałów 1-, 5- oraz 15-minutowych zestawiono w tabeli 1.

Na podstawie analizy współczynników korelacji liniowej według Pearsona, zestawionych w tabeli 1, można stwierdzić, że wartości wskazujące na istnienie zależności między badanymi parami zmiennych obserwuje się tylko dla interwałów 5- i 15-minutowych. Poziom opisujący silną zależność między zmiennymi określono dla współczynnika korelacji powyżej 0,5. Największa siła związku ujawniła się pomiędzy równoważnym poziomem dźwięku Laeq 15 min a natężeniem pojazdów ciężkich, współczynnik korelacji wynosi dla tej pary zmiennych 0,88. Przyjmuje on dodatnią wartość, co oznacza, że im więcej pojazdów tego typu przekroczyło badany przekrój drogi, tym większy zarejestrowano hałas. Silną korelację obserwuje się również dla zestawienia wskaźnika Laeq 15 min z większością przedstawionych charakterystyk ruchowych. Brak istotnych zależności w przypadku analiz w interwałach pięciominutowych można tłumaczyć tym, że wskaźnik hałasowy Laeq 5 min jest zbyt podatny na nagłe skoki poziomu dźwięku powodowane pojedynczymi przejazdami pojazdów bardziej hałaśliwych.

W celu zobrazowania wpływu natężenia ruchu pojazdów ciężkich na poziom zarejestrowanego hałasu, w przeliczeniu na 15-minutowe odstępy czasu, dla tej pary zmiennych, która charakteryzowała się największą wartością współczynnika korelacji, wykonano wykres przedstawiony na rysunku 6.

Z danych zamieszczonych na rysunku 6 wynika, że w większości przypadków im większa liczba pojazdów ciężkich przekroczyła badany przekrój drogi, tym większa odpowiada mu wartość równoważnego poziomu dźwięku, Laeq 15 min. Najmniejszą wartość wskaźnika obliczono dla tych piętnastu minut pomiaru, gdzie natężenie pojazdów ciężkich wynosiło 9, a ich udział to 3,4%. Największy wskaźnik Laeq 15 min odpowiadał przejazdowi czwartego rodzaju pojazdów, przy ich udziale 4,3%.

4. Wnioski i podsumowanie

Po wykonaniu analizy danych uzyskanych z pomiarów poziomu hałasu i natężenia ruchu kołowego wykonanych w czasie trwania godzin szczytu komunikacyjnego, w dniu 5 lutego 2014 roku, na ulicy Sandomierskiej w Kielcach, można stwierdzić, że klimat akustyczny w otoczeniu tej trasy jest nieko-

rzystny. Równoważne poziomy dźwięków, Laeq 1 h są dość wysokie i znacznie przekraczają wartości dopuszczalne określone dla pory dnia [12]. Jednak uzyskane wyniki wskaźników obliczonych dla godziny porannego oraz popołudniowego szczytu komunikacyjnego, w odniesieniu do normowej wartości szesnastogodzinnego wskaźnika Laeq D, są dużo wyższe z uwagi na celowy dobór najbardziej obciążonych ruchem pojazdów okresów. Natężenie ruchu kołowego poza wybranymi godzinami porannego i popołudniowego szczytu komunikacyjnego było dużo niższe. Równoważny poziom dźwięku obliczony na podstawie wyników hałasowych oraz natężeniowych, zarejestrowanych dla pełnego, normowo określonego przedziału czasu, byłby również dużo niższy.

Na podstawie obliczonych wartości współczynnika korelacji liniowej według Pearsona można wnioskować, że istnieje silna zależność pomiędzy zarejestrowanym hałasem a liczbą pojazdów przekraczających badany przekrój ulicy. Największą dodatnią wartość współczynnika uzyskano dla zmiennych takich jak Laeq 15 min oraz liczba pojazdów ciężkich. Im więcej takich pojazdów przekroczyło przekrój ulicy Sandomierskiej, tym większe zarejestrowano natężenie hałasu. Wzrost liczby samochodów osobowych w mniejszym stopniu decydował o wyższych noto-

waniach poziomów dźwięku. Nie zaobserwowano istotnego związku między strukturą kierunkową ruchu a hałasem. Z własnych obserwacji prowadzonych podczas pomiaru wynika, że przejazdy pojazdów, niezależnie od ich rodzaju, po bliższej jezdni (w kierunku 1, od centrum miasta) powodowały odczucia większego dyskomfortu niż ruch odbywający się po drugiej jezdni. Wyniki wykonanych analiz nie potwierdzają jednak podobnych zależności.

Porównując przedstawione wyniki pomiarów natężenia ruchu pojazdów z tymi z 2009 roku [16], kiedy ruch tranzytowy odbywał się po ulicy Sandomierskiej, wyraźnie widać spadek całkowitej liczby pojazdów, jak i zmniejszenie ruchu ciężkiego. W 2009 roku przekrój uliczny przekraczało do 150 pojazdów ciężkich na godzinę. Obecnie zanotowano tylko ponad 50 takich pojazdów. Bazując na otrzymanych wynikach krótkoterminowych pomiarów, można stwierdzić, że ograniczenie liczby pojazdów ciężkich spowodowało polepszenie się klimatu akustycznego otoczenia. Nowy odcinek drogi ekspresowej S74 przejął ruch tranzytowy i odciążył ulicę Sandomierską od dużej ilości pojazdów, a jej mieszkańców i użytkowników ochronił przed ujemnymi skutkami oddziaływania większego niż obecnie hałasu.

ANNA KOTWA¹

EDYTA SPYCHAŁ²

Kielce University of Technology

¹e-mail: a.ceglarska@tu.kielce.pl,

²e-mail: espychal@tu.kielce.pl

INFLUENCE OF MINERAL ADDITIVES PROPERTIES OF CONCRETE

Abstract

The article discusses the results of laboratory tests on the impact of dolomite mineral dust on the rheological properties of the concrete mix. The addition of mineral dust rise to an overall improvement in the studied parameters (absorption, capillary), by sealing the grout. The impact of their actions on the rheological properties depend largely on the grain composition and the degree of grinding. Rheological properties of concrete mixtures of flours stone depends on the amount and geometrical properties of these additives. The use of additives enforces the need for their treatment by the process of drying, screening and segregation. The effect of the presence of meal stone to change the rheological properties of fresh concrete (density, consistency) and hardened concrete parameters (compressive strength, water absorption, capillary action).

Keywords: compressive strength, water absorption, capillary action, dolomite mineral

1. Introduction

Properties of concrete, such as resistance to compression, absorbability or resistance to freezing depend on many factors. No doubt the most important ones are basic components of concrete mixture, that is cement, aggregate, water. Not only the quantity of those components within the mix matters, but also their quality and properties. These day, along the basic elements of the concrete mix, also present are chemical mixtures and mineral additives, which have beneficial influence on the properties of the mix and the hardened concrete [1-3].

The subject of the study is concrete with addition of dolomite mineral dust quantity 8% and 12% volume of aggregate in the concrete mix. Mineral dust is a by-product resultant from the technological process of production of crushed-stone aggregates. Such powders are not considered dangerous waste, however they are very burdensome to the environment. They are not subject to any significant physical, chemical or biological transformations. The above qualities make them a possible addition to concrete. Currently mineral dust is treated as waste and is not used for production of concretes, especially construction concretes [4]. Concretes with addition of mineral dust may be a valuable alternative for traditional concretes [5].

The goal of the performed laboratory tests was to determine the influence of the mineral additive on the properties of the concrete mix and the hardened concrete. In particular, the density, consistence, pliability and ability to densify of the mix were tested, and also resistance to compression, absorbability and capillary action. Positive test results will allow for usage of mineral dusts for production of concrete with better parameters, which in consequence will allow for better management of this burdensome waste material.

2. Materials and methods

Own research was conducted in two stages.

In stage I laboratory tests were run for concretes made from cement CEM I 42.5R without addition of dust (marked SW), with addition of mineral dusts in quantity of 8% (marked 8%) and 12% (marked 12%) of aggregate quantity in the concrete mix maturing in two habitats:

- in water in temperature of +18°C for a period of 28 days,
- in an air-dry habitat in temperature of +18°C for a period of 28 days.

In stage II the obtained results were compiled and analyzed.

The research concerned class C45/55 concrete with W/C = 0.54 proportion, the contents of which are listed in Table 1.

Table 1. Contents of concrete mixes [kg/m³]

Mix type:	SW	8%	12%
Cement	334	334	334
Water	181	181	181
Sand	625	575	550
Aggregate 4/8	581	534.52	511.28
Aggregate 8/16	581	534.52	511.28
Plasticizer	6.89	6.89	6.89
Mineral dust	-	131.52	188.71

The program of the laboratory tests encompassed production of three series of concretes with 21 samples each, cube-shaped, with 10 cm side.

After preparation of all ingredients for the concrete mix, they were dosed in the following order:

- coarse aggregate 8/16, fine aggregate 4/8, according to PN-EN 12620:2013,
- sand fraction 0÷4 mm,
- mineral dust,
- CEM I 42.5R cement,
- water,
- superplasticizer Stachement 2750.

All ingredients were weighed up to 0.01 g. The superplasticizer was added to moist concrete mix. The mineral dust used is a waste material from Józefka aggregate mine in Górnio.

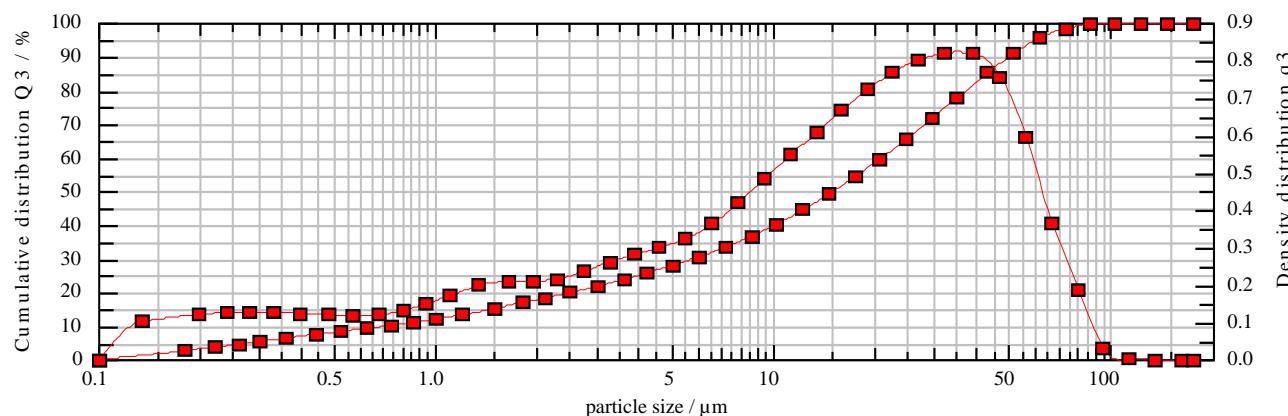


Fig. 1. Mineral dust graining curve

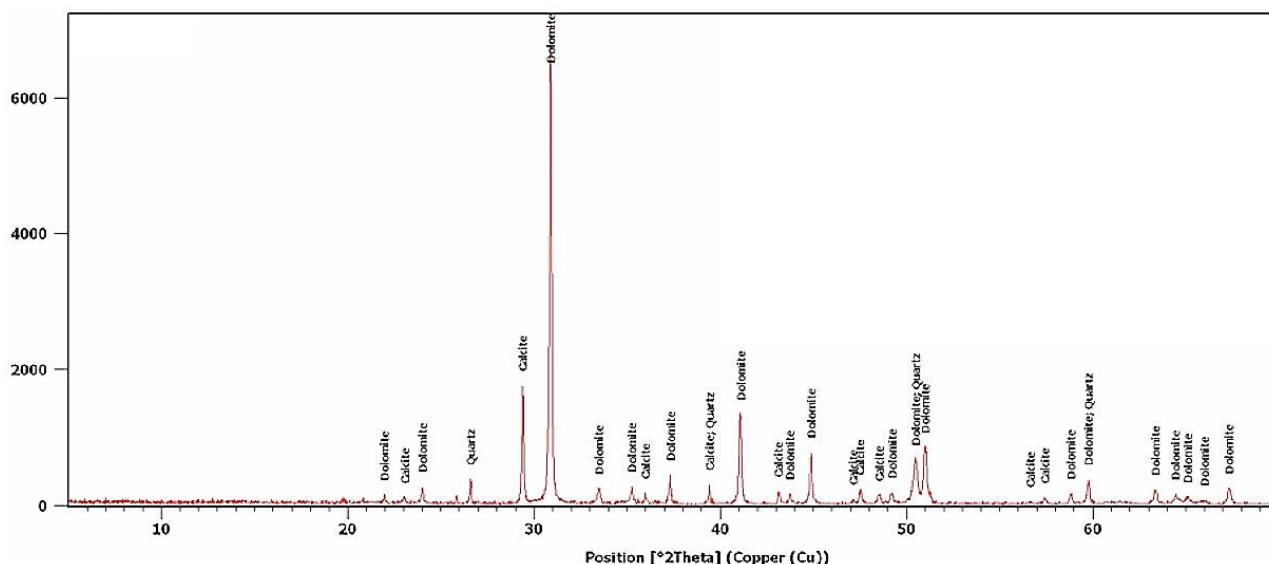


Fig. 2. Mineral dust phase composition

The share of grains with size up to 2 μm is 17.5%. 22.5% is within the range from 2 to 10 μm . The grains within the range from 10 to 40 μm have the biggest share with 42%, and 99% of grains are no bigger than 72 μm .

The phase composition of the tested dust has been determined based on roentgen phase analysis. It has been determined that this dust is composed of dolomite with admixture of calcite and quartz. The qualitative analysis has allowed for determination of approximate shares of individual phases in the mineral dust. Dolomite has the dominant share, with 80%, 16% calcite and 4% quartz.

Table 2. Information on basic properties of the cement

No.	Cement type	Chemical composition [%]					Blaine	Resistance [MPa]
		SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3		
1	CEM I 42.5R	19.84	63.2	2.08	2.72	4.65	4086	32.0 53.0

Table 3. Density and consistence of concrete mixes

Cement type	Density D [kg/m^3]	Slump [cm]	Consistence of concrete mix.
SW	2424	8	Semi-liquid
8%	1962	10	
12%	1774	11	

According to PN-EN 12350-2 norm, the consistence of concrete mixes is determined as semi-liquid. From the tests performed, it appears that the addition of the mineral dust has no significant influence on the change in mix consistence.

3. Results analysis

Laboratory tests were performed on normal concretes and concretes with addition of mineral dust, in accordance with PN-EN 206:2014 [6].

The resistance tests were performed on cube-shaped samples with 10 cm sides. The samples, after molding, were matured in water (I batch) and in an air-dry habitat devoid of water (II batch) in stable temperature of +18°C for a period of 28 days. The resistance to compression was tested after 7, 14, 28 days from molding. The test result is an average from three samples.

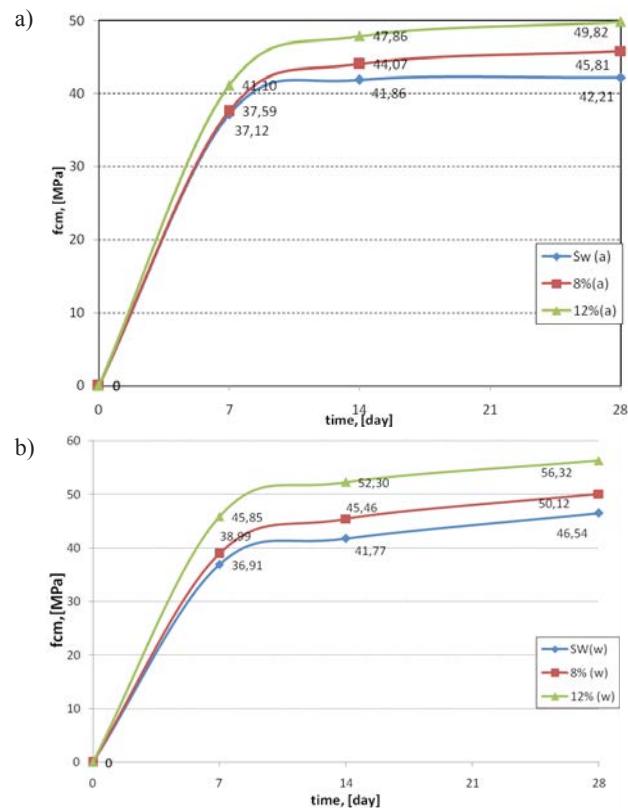


Fig. 3. Increase in resistance to compression for concrete samples maturing in stable temperature of +18°C for a period of 28 days: a) in an air-dry habitat, b) in water



Fig. 4. Percentage increase fcm for concrete samples maturing in water habitat in relation to samples maturing in air-dry habitat for a period of 28 days

The largest increase of resistance to compression was noted for concrete with addition of mineral dust in quantity 12%, which in day 28 stands at 56.32 MPa in water and 49.82 MPa in air-dry habitat. Percentage increase of resistance to compression for concrete samples maturing in water habitat in relation to samples maturing in air-dry habitat stands at 13% at day 28.

The capillary action tests were performed on samples, that matured after molding. I batch, for the whole period of 28 days, in air-dry habitat in temperature of +18°C.

II batch, for a period of 7 days in water in temperature of +18°C, and then for 21 days matured in air in temperature of +18°C. After this time the samples were placed in an air conditioning chamber, to be dried into dry mass. The temperature in the chamber was gradually increased, up until +105°C. To prevent penetration of humidity from outside, and also vaporization of the water pulled up by capillary action, the sides of the samples were isolated. Many researchers point out the relation between the means of isolation of samples, and the intensity of the process of capillary water transportation, that's why all samples were uniformly secured with polyethylene foil. Next, the samples were placed in a tub container. Synthetic props were placed on the bottom of the container. The samples were immersed in water to the height of 1 ± 3 mm. The water was gradually replenished. The test consisted of measuring the changes in the samples' mass up to 0.01 g. The measurements were made after 12 min, 30 min, 4 h, 24 h, etc., since the moment of immersion in water, until uniform results were obtained.

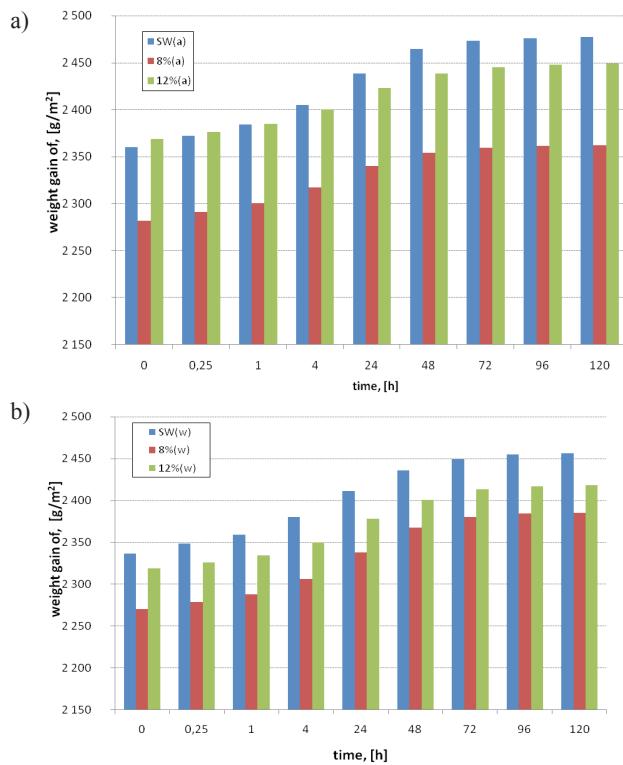


Fig. 5. Increase in mass in tests of capillary action for concrete samples maturing in stable temperature of +18°C for a period of 28 days: a) in an air-dry habitat, b) in water

The diagram analysis shows that the increase in mass of the concrete samples with addition of mineral dust during capillary action is 7% lower in comparison to concrete without the admixture. The

samples made of admixture-less concrete absorb much bigger amounts of water. When comparing the habitats, the samples which matured in air-dry habitat showed slightly bigger increases in mass than the samples which matured in water.

Another test performed was determination of absorbability. The tests were performed on samples, that matured after molding:

I batch, for the whole period of 28 days, in air-dry habitat in temperature of +18°C.

II batch, for a period of 7 days in water in temperature of +18°C, and then for 21 days matured in air in temperature of +18°C. After this time the samples were placed in an air conditioning chamber, to be dried into dry mass in temperature of 105°C. After cooling the samples, they were weighed and placed in a tub container with synthetic props placed on the bottom of the container. For the first 24 hours the water level was up to the middle of the samples, then the samples were immersed to +1 cm over the top surface of the samples. The water was gradually replenished. The test of absorbability consisted of measuring the changes in samples' mass up to 0.01 g. The measurement of changes in mass was performed until two uniform results were obtained. The samples were weighed every 24 h. Each batch consisted of three samples [7].

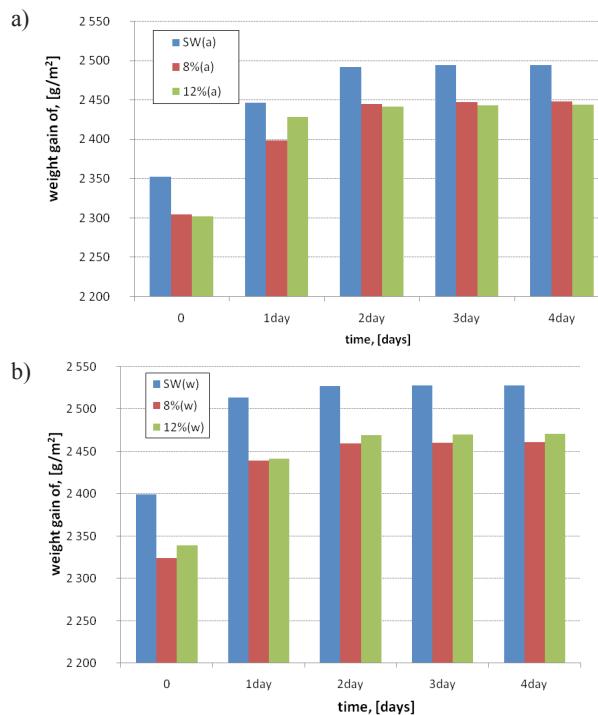


Fig. 6. Increase in mass in tests of absorbability for concrete samples maturing in stable temperature of +18°C for a period of 28 days: a) in an air-dry habitat, b) in water

In case of tests of absorbability, concretes with admixture are characterized by lower water absorption. This is due to hermetization of the cement paste. The decrease in mass growth of the samples with addition of mineral dust maturing in water is 4% in relation to concrete maturing in air-dry environment.

4. Conclusion

The subject of laboratory tests was concrete with admixture of mineral dusts, which is a waste material resultant from production of aggregates. The final goal of the tests was to determine the influence of the mineral admixture on concrete properties. The waste-material mineral dust is characterized by very fine graining with fineness similar to cement, which due to its qualities positively influences the properties of concrete mix and concrete.

The most significant were the tests of hardened concrete, which allowed for objective analysis of validity of addition of waste-material mineral dusts. Those tests pertained especially to determination of the influence of dusts admixture on concrete resistance to compression, absorbability and capillary action. Based on the laboratory tests performed, it was determined that the admixture of mineral dust in quantity 12% of aggregate mass increased the gain in resistance by 18% in relation to admixture-free concrete. Another benefit is the decrease of concrete mass gains for the samples with mineral admixture in the absorbability and capillary action tests in relation to admixture-free concrete. Concretes maturing without proper care are characterized by

decrease in physio-mechanical parameters: decrease $f_{cm} = 11.65\%$, increase in sample mass in tests of absorbability and capillary action by 10%.

The laboratory tests performed, concerning possibilities of use of mineral dusts for production of concrete, show positive perspectives. Due to the laboratory tests performed it was determined that mineral dusts may serve as admixture to concrete. However, further determination of usability for concrete technology demands individual approach, additionally including the aspect of recurrence of qualities of mineral dusts.

References

- [1] Jamrozy Z., *Concrete and its technologies*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- [2] Neville A.M., *Properties of concrete*, Polish Cement, Kraków 2012.
- [3] Śliwiński J., *Ordinary concrete – Design and basic properties*, Polish Cement, Kraków 1999.
- [4] Dobiszewska M., *The properties of concrete with the addition of mineral dust waste*, Concrete Days Conference, Tradition and Modernity, 13-15 October 2014, pp. 519-528.
- [5] Urban M., *Rheological bases for obtaining high-resistance, self-compacting concretes*, Cement, Lime, Concrete, 5, pp. 241-253.
- [6] PN-EN 206:2014 Concrete – Specification, performance, production and conformity.
- [7] Ponikiewski T., *Molding the workability of self-compacting fiber-concrete*, XIII Scientific-technological Symposium, Rheology in concrete Technology, Górażdże, Gliwice 2011, pp. 129-138.

Anna Kotwa
Edyta Spychał

WPŁYW DODATKÓW MINERALNYCH NA WŁAŚCIWOŚCI BETONU

1. Wprowadzenie

Właściwości betonu, takie jak: wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość czy mrozoodporność zależą od wielu czynników. Dziś obok podstawowych składników mieszanek betonowej obecne są również dodatki mineralne i domieszki chemiczne, które wpływają korzystnie na właściwości mieszanek betonowej i stwardniałego betonu [1-3].

2. Materiały i metody

Badania własne wykonano w dwóch etapach.

W etapie I przeprowadzono badania laboratoryjne betonów wykonanych z cementu CEM I 42,5R bez dodatku pyłu, z dodatkiem pyłów mineralnych w ilości 8% i 12% objętości kruszywa w mieszance betonowej dojrzewających w dwóch środowiskach:

- w wodzie w temperaturze +18°C przez okres 28 dni,
- w środowisku powietrzno-suchym w temperaturze +18°C przez okres 28 dni.

W etapie II opracowano oraz przeanalizowano otrzymane wyniki badań.

Badania dotyczyły betonu klasy C45/55 o stosunku W/C = 0,54.

3. Analiza wyników

Największy przyrost wytrzymałości na ściskanie odnotowano dla betonu z dodatkiem pyłu mineralnego w ilości 12%, który wynosi w 28 dniu w wodzie 56,32 MPa oraz w środowisku powietrzno-suchym 49,82 MPa. Procentowy przyrost wytrzymałości na ściskanie betonu dojrzewającego w wodzie w stosunku do betonu dojrzewającego w środowisku powietrzno-suchym w 28 dniu wynosi 13%. Z analizy wyników odczytano, że przyrost masy próbek betonowych z dodatkami pyłu podczas badania podciągania kapilarnego jest o 7% mniejszy w porównaniu do betonu bez dodatku. Próbki wykonane z betonu bez dodatku pyłu absorbują znacznie większą ilość wody.

Porównując środowiska dojrzewania, to próbki, które dojrzewały w środowisku powietrzno-suchym wykazały nieznacznie większy przyrost masy niż próbki, które dojrzewały w wodzie. W przypadku badania nasiąkliwości betony wykonane z dodatkami charakteryzują się mniejszą absorpcją wody. Związane jest to z uszczelnieniem zaczynu cementowego. Spadek przyrostu masy próbek z dodatkiem pyłu dojrzewających w wodzie wynosi 4% w stosunku do betonu dojrzewającego w środowisku powietrzno-suchym.

4. Podsumowanie

Ostatecznym celem badań było ustalenie wpływu dodatku mineralnego na właściwości betonu. Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych ustalono, że dodatek pyłu mineralnego w ilości 12% masy kruszywa zwiększył przyrost wytrzymałości o 18% w stosunku do betonu bez dodatku pyłu. Kolejną zaletą jest zmniejszenie przyrostu masy betonu dla próbek z dodatkiem pyłu mineralnego w badaniu nasiąkliwości i podciągania kapilarnego w stosunku do betonu bez dodatków.

SYLWIA WDOWIK
Kielce University of Technology
e-mail: swdowik@tu.kielce.pl

THE USE OF THE FOAM INDEX METHOD IN CEMENT GROUTS FOR TESTING THE COMPATIBILITY OF CEMENT – SUPERPLASTICIZER – AERATING ADMIXTURE SYSTEM

Abstract

The elaboration presents a method of testing the foam index and the associated research problems. Current issues concerning the impact selection of materials on the obtained results were broached. Tests of the foam index conducted in-house were described and results were analyzed. An assessment was made on the basis of the results and the usefulness of the method in terms of testing the compatibility of cement – superplasticizer – aerating admixture system was determined.

Keywords: foam index, admixtures for concrete, aeration, batched water

1. Introduction

A commonly used method of protection of concrete against frost is its proper aeration. Still, it is a problematic issue due to the fact that it is a complicated process, influenced by many factors. Moreover, intensive development of construction chemistry can be observed. It is a strongly positive phenomenon but another problem results from it: compatibility of the cement – superplasticizer – aeration admixture system. To check the correlation between these materials, it is best to use a quick, simple testing method requiring minimum financing. Testing of the foam index is undoubtedly such a method.

2. Testing of foam index – course of the test

This test is not normalized. Therefore, various testing procedures are presented in literature [1-3].

In accordance with the description contained in [1], the test should be performed on a small sample of grout; one should use 10 g of cement and 25 ml of distilled water. These two ingredients should be mixed – by shaking the buret for 60 s. The next step is adding 2 drops of 10% aerating admixture water solution. While dosing the admixture, one should shake the container for 15 s each time. Observation of the obtained foam is conducted. The test ends when the obtained foam is stable and it floats on the surface

of the sample for a min. of 45 s. A summary volume of the 10% aerating admixture water solution added during the test should be assumed as the result.

3. Description of the in-house tests

For the in-house tests, three types of cements meeting the requirements according to the standard [4] were applied: CEM I 42.5 R cement from two different cement factories: (A and B mark) and CEM III/A 42.5 (sample mark C). Water meeting the requirements contained in the standard [5] but with various hardness presented in French degrees [$^{\circ}$ fH] was used; soft - 6 $^{\circ}$ fH, medium-hard – 17 $^{\circ}$ fH, hard 29 $^{\circ}$ fH. The samples were marked with water hardness symbol in French degrees, respectively - 6, 17 and 29. The admixtures with various chemical bases, meeting the requirements contained in the standard [6] were used: two superplasticizers (with a various level of dosing presented in table 1) – lignosulfonate base – L mark and acrylate base – label A. An aerating admixture with a natural base was used as an aerating agent.

The combinations and samples markings created in this way are presented in Table 1. The tests were conducted in stable temperature conditions, maintaining the same procedures during the dosing of ingredients and mixing.

Table 1. Material combinations and sample markings

Water (hardness in French degrees [°FH])		6	17	29	
Superplasticizer	None	A-6-B	A-17-B	A-29-B	A
		B-6-B	B-17-B	B-29-B	B
		C-6-B	C-17-B	C-29-B	C
	lignosulfonate base L	A-6-L1	A-17-L1	A-29-L1	A
		B-6-L1	B-17-L1	B-29-L1	B
		C-6-L1	C-17-L1	C-29-L1	C
		A-6-L2	A-17-L2	A-29-L2	A
		B-6-L2	B-17-L2	B-29-L2	B
		C-6-L2	C-17-L2	C-29-L2	C
	acrylate base A	A-6-A1	A-17-A1	A-29-A1	A
		B-6-A1	B-17-A1	B-29-A1	B
		C-6-A1	C-17-A1	C-29-A1	C
		A-6-A2	A-17-A2	A-29-A2	A
		B-6-A2	B-17-A2	B-29-A2	B
		C-6-A2	C-17-A2	C-29-A2	C

The test method presented in [1] was adopted for the tests. After mixing the cement in the amount of 10 g with water in the amount of 25 g, the sample was shaken for 60 s. To some samples, a plasticizer in the amount of 1 or 2 drops was added, and then it was shaken for 30 s. As the last ingredient, to each sample, the 10% aerating admixture solution was dosed. After each 2 drops of the aerating admixture, the container with the sample was closed and it was shaken for 15 s. This step had been repeated until the stable foam was produced. According to the literature, a stable foam is a foam which maintains for 45 s [1-3]. Due to the fact that the “stable foam” significantly varied from each other in macroscopic assessment in individual samples (Fig. 1), in addition, as a final result it was assumed that the produced foam should cover the entire surface of the container.



Fig. 1. Stable foam on the surface of cement grout samples, with various superplasticizers

To eliminate the impact of human factor on the structure of the obtained foam, for the purpose of tests using the foam index method, a special device for mechanical shaking of the samples was prepared (Fig. 2).



Fig. 2. Device for mechanical mixing of samples during testing of grouts using the foam index method

4. Study result

According to the literature [1-3], the test of foam index is used for determination of the effectiveness of aerating admixtures with various material systems. The test result is the summary volume of the 10% aerating admixture water solution added during the test. The amounts of aerating admixture in [%] in relation to the cement weight necessary for producing a stable foam are presented in Figure 3. The smallest demand for aerating admixture was shown by samples without the addition of superplasticizer.

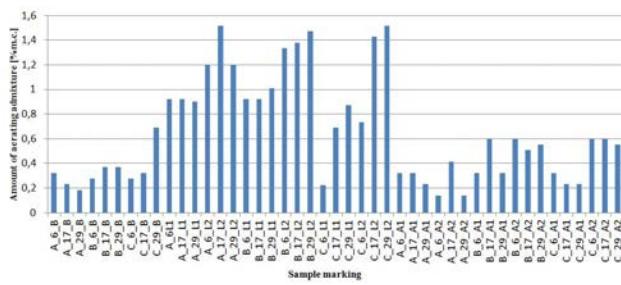


Fig. 3. The amount of aerating admixture, necessary for producing a stable foam

The impact of the presence of superplasticizers on the amount of aerating admixture that has to be added to produce a stable foam on the surface of the container with the sample is presented in Figures 4 and 5. Samples with addition of superplasticizer where lignosulfonate forms the base clearly demonstrate that with the increase of the amount of superplasticizer the difficulties with obtaining the aeration arise [7, 8] (Fig. 4). Samples with addition of superplasticizer, in which acrylates are a base, showed significantly smaller demand for the amount of the aerating admixture (Fig. 5).

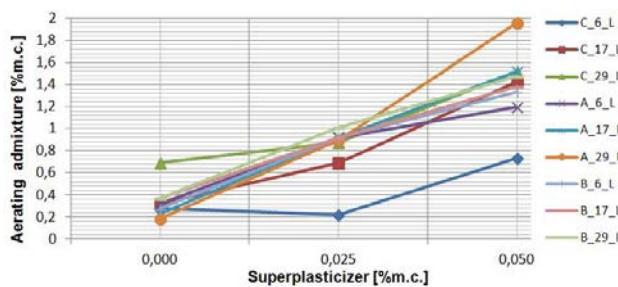


Fig. 4. The impact of the superplasticizer (lignosulfonate base) on the amount of aerating admixture necessary for producing a stable foam

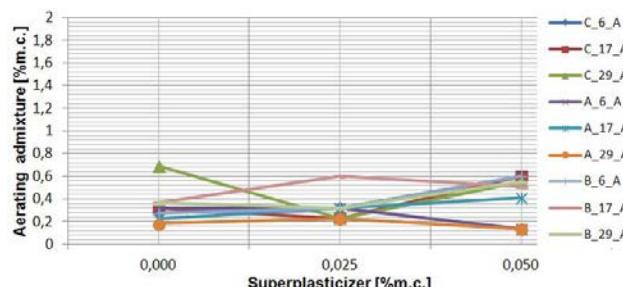


Fig. 5. The impact of the superplasticizer (acrylate base) on the amount of aerating admixture necessary for producing a stable foam

Due to the clear differences in macroscopic assessment of the obtained samples, apart from the presented test result, additional, more accurate analyses were conducted. A clear diversity of the height of the obtained foam is worth noting, as well as the occurring sedimentation of ingredients. When this process was ceasing (after 30 minutes from mixing of the sample), a reading of the grout – water – foam height was made with a specially prepared scale (Fig. 6 and 8).

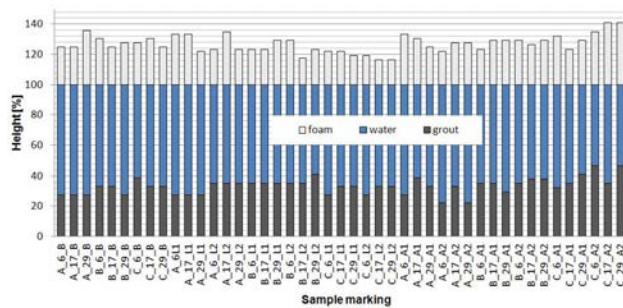


Fig. 6. The height of the grout – water – foam, after 30 minutes from the last mixing of the sample

It is worth noting that the water used had an impact on test results, in varying degrees, depending on the type of cement, addition of superplasticizer, type of superplasticizer. A dependence between the amount of aerating admixture, which had to be added to the

sample to obtain a stable foam, and water hardness for all three cements is presented in Figure 7.

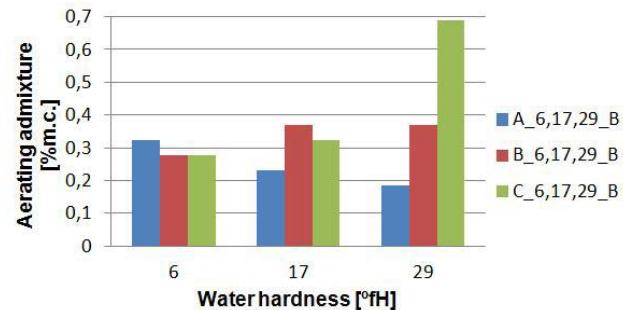


Fig. 7. Impact of water hardness on the amount of aerating admixture

Apart from the impact of water on the amount of aerating admixture, another important aspect is causing a differentiation in the structure of the produced foam (Fig. 8). Clear differences in the size and structure of bubbles can be seen. In some samples the bubbles were fine with a similar size, in others, bubbles from very fine to very large can be found.

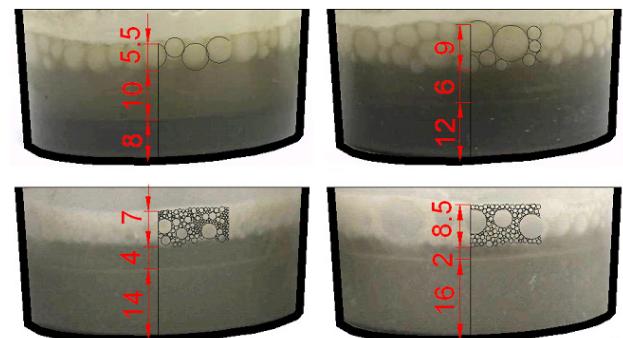


Fig. 8. Examples of samples varied in terms of water source: containers on the left side – sample with water with a hardness of 6°fH, on the right – sample with the same combination of type of cement, superplasticizer and aerating admixture but with water with a hardness of 29°fH

5. Conclusions

The conducted tests have shown that each admixture added even in the small amount may have a significant impact on the results.

To check the compatibility of the cement – aerating admixture, or cement – aerating admixture – superplasticizer system, it is worth to use the foam index method at the initial stage. The conducted tests confirmed the usefulness of this method, they allowed to obtain a knowledge on which materials should be mixed together and which combinations are not recommended. The test of foam index takes a very short time and samples are small, therefore one can

quickly conduct the repetitions of a given ingredients combination.

A beneficial solution is to mechanize mixing samples so as to reduce the number of mistakes and increase the repeatability of test results.

It should not be forgotten that this is a qualitative test [1] therefore, in the end it should be supplemented by more accurate methods. Testing concrete mixtures with an Air Cavity Analyser (AVA) is the recommended method here.

References

- [1] Glinicki M.A.: *Trwałość betonu w nawierzchniach drogowych*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2011.
- [2] Stencel J.M., Song H., Cangialosi F.: *Automated foam index test: Quantifying air entraining agent addition and interactions with fly ash–cement admixtures*. Cement and Concrete Research, 39, 2009.
- [3] Gołaszewski J., Drewniok M.: *Wpływ popiołu lotnego wapiennego na efekty działania domieszek napowietrzających*, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2, 2011.
- [4] PN-EN 197-1:2011 Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczących cementów powszechnego użytku.
- [5] PN-EN 1008:2004 Woda zarobowa do betonu – Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarbowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu.
- [6] PN-EN 934-2:2002 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie, etykietowanie.
- [7] Nowak-Michta A.: *Influence of superplasticizer on porosity structures in hardened concretes*. Procedia Engineering, 108, 2015.
- [8] Łażniewska-Piekarczyk B.: *Wpływ samozagęszczalności mieszanki betonowej na efekty jej napowietrzenia*. Sympozjum Naukowo-Techniczne Reologia w Technologii Betonu, Gliwice 2006.

Sylwia Wdowik

Wykorzystanie metody wskaźnika piany w zaczynach cementowych do badania kompatybilności układu cement – superplastyfikator – domieszka napowietrzająca

1. Wprowadzenie

Powszechnie stosowaną ochroną betonu przed działaniem mrozu jest jego odpowiednie napowietrzenie. Ponieważ jest to skomplikowany proces, na który wpływa wiele czynników, wciąż jest to zagadnienie problematyczne. Dodatkowo zaobserwować można intensywny rozwój chemii budowlanej. Jest to zjawisko zdecydowanie pozytywne, lecz wynika z niego kolejny problem: kompatybilność układu cement – superplastyfikator – domieszka napowietrzającej. Aby sprawdzić korelacje między tymi materiałami najlepiej jest zastosować metodę badań szybką, prostą, wymagającą minimalnych nakładów finansowych. Niewątpliwie jest nią badanie wskaźnika piany.

2. Badanie wskaźnika piany – przebieg badania

Badanie to nie jest znormalizowane. Dlatego w literaturze przedstawione są różne procedury badawcze [1-3].

Zgodnie z opisem zawartym w [1] badanie przeprowadza się na małej próbce zaczynu: 10 g cementu i 25 ml wody destylowanej. Te dwa składniki łączy się, wstrząsając menzurkę przez 60 s. Kolejną czynnością jest dławianie po 2 krople 10% wodnego roztworu domieszki napowietrzającej. Podczas dozowania domieszki, jemnik należy za każdym razem wstrząsać przez 15 s. Prowadzi się obserwację uzyskanej piany. Badanie kończy się, gdy uzyskana piany jest stabilna i utrzymuje się na powierzchni próbki przez minimum 45 s. Za wynik przyjmuje się sumaryczną objętość 10% roztworu domieszki napowietrzającej dodanej podczas próby.

3. Opis badań własnych

W badaniach własnych zastosowano trzy rodzaje cementów spełniających wymagania zgodne z normą [4]: cement CEM I 42,5 R z dwóch różnych cementowni (oznaczenie A i B) oraz CEM III/A 42,5 (oznaczenie próbki C). Zastosowano wodę spełniającą wymogi zawarte w normie [5], ale o zróżnicowanej twardości przedstawionej w stopniach francuskich [$^{\circ}$ fH]: miękka – 6° fH, średniofwarda – 17° fH, twarda 29° fH. Próbki oznaczono symbolem twardości wody w stopniach francuskich odpowiednio – 6, 17 oraz 29. Zastosowano domieszki o różnych bazach chemicznych, spełniające wymogi zawarte w normie [6]; dwa superplastyfikatory (o różnym poziomie dozowania przedstawionym w tabeli 1) – baza lignosulfonian – oznaczenie L oraz baza akrylan – oznaczenie A. Jako środek napowietrzający zastosowano domieszkę napowietrzającą o bazie naturalnej.

Powstałe w ten sposób kombinacje oraz oznaczenia próbek przedstawiono w tabeli 1. Badania prowadzono w stałych warunkach temperaturowych, z zachowaniem tych samych procedur podczas dozowania składników oraz mieszania.

Do badań zaadaptowano metodę badawczą przedstawioną w [1]. Po zmieszaniu cementu w ilości 10 g oraz wody w ilości 25 g próbce wstrząsano przez 60 s. Do części próbek dodano plastyfikator w ilości 1 lub 2 kropli, po czym wstrząsano przez 30 s. Jako ostatni składnik do wszystkich próbek dozowano dziesięcioprocentowy roztwór domieszki napowietrzającej. Po każdych 2 kroplach domieszki napowietrzającej pojemnik z próbką zamkano i wstrząsano nim przez 15 s. Czynność tę powtarzano do momentu wytworzenia stabilnej piany. Według literatury stabilna piana to taka, która utrzymuje się przez 45 s [1-3]. W związku z tym, że „stabilna piana” bardzo wyraźnie różniła się między sobą w ocenie makroskopowej w poszczególnych próbkach (rys. 1), dodatkowo za wynik końcowy przyjęto, że powstała piana ma zajmować całą powierzchnię pojemnika.

Aby wyeliminować wpływ czynnika ludzkiego na strukturę uzyskanej piany, na potrzeby badań metodą wskaźnika piany, zostało przygotowane specjalne urządzenie do mechanicznego wstrząsania próbek (rys. 2).

4. Wyniki badań

Zgodnie z literaturą [1-3], badanie wskaźnika piany wykorzystuje się do określania efektywności działania domieszek napowietrzających, przy zróżnicowanych układach materiałowych. Wynik badania stano-

wi sumaryczną objętość 10% roztworu domieszki napowietrzającej dodanej podczas próby. Na rysunku 3 przedstawiono ilość domieszki napowietrzającej w procentach w stosunku do masy cementu, niezbędnej do wytworzenia stabilnej piany. Najmniejsze zapotrzebowanie na domieszkę napowietrzającą wykazały próbki bez dodatku superplastyfikatora.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wpływ obecności superplastyfikatorów na ilość domieszki napowietrzającej, jaką trzeba dodać, aby na powierzchni pojemnika z próbką wytworzyć stabilną pianę. Dla próbek z dodatkiem superplastyfikatora, gdzie bazą jest lignosulfonian, wyraźnie widać, że wraz ze wzrostem ilości superplastyfikatora pojawiają się trudności z uzyskaniem napowietrzenia [7, 8] (rys. 4). Znacznie mniejsze zapotrzebowanie na ilość domieszki napowietrzającej wykazały próbki z dodatkiem superplastyfikatora, którego bazą są akrylany (rys. 5).

W związku z wyraźnymi różnicami w ocenie makroskopowej uzyskanych próbek, oprócz przedstawionego wyniku badania, przeprowadzono dodatkowe, dokładniejsze analizy. Na uwagę zasługuje wyraźne zróżnicowanie wysokości uzyskanej piany, a także występująca sedimentacja składników. Gdy proces ten ustawał (po 30 minutach od wymieszania próbki), specjalnie przygotowaną podziałką dokonywano odczytu wysokości zaczynu – wody – piany (rys. 6 i 8).

Na uwagę zasługuje fakt, że również użyta woda miała wpływ na wyniki badań, w różnym stopniu, w zależności od rodzaju cementu, dodatku superplastyfikatora, rodzaju superplastyfikatora. Na rysunku 7 przedstawiono zależność ilości domieszki napowietrzającej, jaką należało dodać do próbki, aby uzyskać stabilną pianę, od twardości wody, dla wszystkich trzech cementów.

Oprócz wpływu wody na ilość domieszki napowietrzającej innym istotnym aspektem jest spowodowanie zróżnicowania w strukturze wytworzonej piany (rys. 8). Widać wyraźne różnice w wielkości i budowie pęcherzyków. Dla części próbek pęcherzyki były drobne i o zbliżonej wielkości, w innych można spotkać od bardzo drobnych po bardzo duże pęcherzyki.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że każda domieszka, dodana nawet w niewielkiej ilości, może istotnie wpływać na wyniki.

Aby sprawdzić kompatybilność układu cement – domieszka napowietrzająca lub cement – domieszka napowietrzająca – superplastyfikator warto westęp-

nym etapie wykorzystać metodę wskaźnika piany. Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność tej metody, pozwoliły na uzyskanie wiedzy, które materiały należy ze sobą łączyć, a które kombinacje są niezalecane. Samo badanie wskaźnika piany trwa bardzo krótko, a próbki są niewielkie, w związku z tym można szybko przeprowadzić powtórzenia danej kombinacji składników.

Korzystnym rozwiązaniem jest zmechanizowanie mieszania próbek, tak aby zmniejszyć ilość błędów i zwiększyć powtarzalność wyników badań.

Nie należy zapominać, że jest to badanie jakościowe [1], w związku z tym ostatecznie powinno być uzupełnione o metody dokładniejsze. Tu zalecaną metodą jest badanie mieszanek betonowych analizatorem pustek powietrznych AVA.

LECH RUDZIŃSKI¹
AGNIESZKA WDOWIAK²
Kielce University of Technology
¹e-mail: lech@tu.kielce.pl
²e-mail: awdowiak@tu.kielce.pl

STRENGTH AND STRUCTURAL PROPERTIES OF STRUCTURAL TIMBER

Abstract

Taking into account the growing significance of structural timber in the building industry, the paper aims at defining the selected mechanical and physical properties of the Polish pine structural sawn timber from four nature and forest lands: Land A – Mazovian-Podlasian Nature and Forest Land (Forest District Garwolin), Land B – Little Poland Nature and Forest Land (Forest District Przedbórz), Land C – Silesian Nature and Forest Land (Forest District Kędzierzyn Koźle), Land D – Carpathian Nature and Forest Land (Forest District Piwniczna)[4]. The paper presents the definition of timber, its macroscopic and microscopic structure as well as factors affecting the mechanical properties of timber such as moisture or structural defects. The conducted tests involved sorting sawn timber in terms of strength using visual method according to the PN-D-94021 standard as well as characterizing the average moisture of the fresh and artificially dried sortment [6-8].

Keywords: timber, macroscopic and microscopic structure, physical and mechanical properties, moisture, Poland's nature and forest lands, fresh and dried sawn timber, artificial drying, sorting in terms of strength

1. Introduction

Timber is an organic material whose properties depend on wood species and, thus, are immensely varied. Timber is anisotropic (it has different qualities in different directions) and non-uniform (it has defects). Macroscopic features include elements larger than 0.1 mm such as annual growth rings, latewood and early wood zones, heartwood, wide medullary rays, large vessels, resin leaks and knots. On the basis of macroscopic features, it is possible to distinguish the type of structure, identify the specific wood species, and determine its properties. These features are most commonly observed on three basic wood sections: tangential, radial and transverse. Timber microscopic structure includes such structural details that can be studied by examining the material under an optical microscope. Most of the cells are parallel to the longitudinal axis of the trunk, and some have a shape of well-elongated spindles [1]. The factors that most significantly affect timber mechanical properties include the following: wood anatomical direction, moisture content, the distribution of structural defects (knots, twisted fibres, cracks, resin pockets, bark

pockets and rind galls, insect galleries) [2]. Timber moisture is the most significant parameter of this material. Moisture content affects timber's weight, dimensions, volume, strength, resistance to fungi and insects. As a hygroscopic material, wood is capable of exchanging water vapour with the surrounding air. Surface sorption mechanism is dominant in the process. Wood moisture content changes until the pressure of the water vapour inside the material and that of the water vapour in the surrounding air reach equilibrium. Changes in the moisture content within the hygroscopic range are accompanied by the changes in the dimensions and volume of the timber. That is a two-way process resulting in timber shrinking or swelling. Timber shrinkage involves the reduction in size and volume due to the water vapour release. Swelling increases wood linear dimensions and volume as a result of water (vapour) absorption, which leads to a higher moisture content. Changes in timber dimensions, together with the material anisotropy and non-uniformity produce a number of adverse effects, including shape deformation of wooden elements (warping) and disruption of the material structure (cracking) [3].

2. Strength and structural properties of structural sawn timber

2.1. Origin of research material

The paper aims at defining the chosen mechanical and physical properties of the Polish pine structural sawn timber from four selected nature and forest lands, characterized in Table 1.

Table 1. Origin of research material

Code	Habitat
Land A	Mazovian-Podlasian Nature and Forest Land Forest District Garwolin
Land B	Little Poland Nature and Forest Land Forest District Przedbórz
Land C	Silesian Nature and Forest Land Forest District Kędzierzyn Koźle
Land D	Carpathian Nature and Forest Land Forest District Piwniczna

Five batches of sawn timber with differently sized cross-sections and with 40 pieces each were selected from each land, with the exception of the cross section of 40 x 82 mm. The length of the sawn timber was app. 4.0 m [4]. 240 pieces of the sawn timber were examined in total [5]. The dimensions of the sawn timber from different lands are presented in Table 2.

Table 2. Dimensions of the cross sections of the sawn timber from different Poland's nature and forest lands

Dimension [mm]	Nature and forest land				In total
	A	B	C	D	
Number of pieces					
37 x 48 x 4050	10	10	10	10	40
40 x 82 x 3650	20	25	25	10	80
50 x 100 x 4000	10	10	10	10	40
50 x 125 x 4000	10	10	10	10	40
50 x 200 x 4000	10	10	10	10	40
Total	60	65	65	50	240

2.2. Measuring the moisture content of the fresh and artificially dried sawn timber

The examinations were conducted in industrial conditions in the Tartak OLCZYK company in Świdno. Prior to the examinations, the sawn timber was marked, measured and stacked in packets with regard to the dimension and the origin. The moisture was measured using a moisture meter regularly checked and calibrated in accordance with the manufacturer's (the GANN company) instructions (Fig. 1).



Fig. 1. Measuring the moisture content of the fresh sortment using the HT 65 GANN moisture meter [6-7]

Table 3. Moisture content in the fresh sawn timber from different Poland's nature and forest lands

Land code	Dimensions [mm]	Number of samples n [pcs]	Average moisture content before drying m_{av1} [%]	Standard deviation s [%]	Mean error s_r [%]	The coefficient of variation v [%]	Accuracy rate (for $1-\alpha = 0.95$) p [%]
A	37 × 48 × 4050	10	33.66%	1.48%	0.47%	4.40%	0.92%
B	37 × 48 × 4050	10	34.10%	2.21%	0.70%	6.48%	1.37%
C	37 × 48 × 4050	10	34.69%	1.23%	0.39%	3.54%	0.76%
D	37 × 48 × 4050	10	35.40%	1.94%	0.61%	5.48%	1.20%
A	40 × 82 × 3650	20	35.90%	1.20%	0.27%	3.34%	0.53%
B	40 × 82 × 3650	25	39.79%	1.88%	0.38%	4.71%	0.74%
C	40 × 82 × 3650	25	36.60%	1.74%	0.35%	4.76%	0.68%
D	40 × 82 × 3650	10	40.94%	2.19%	0.69%	5.34%	1.36%
A	50 × 100 × 4000	10	34.00%	2.19%	0.69%	6.44%	1.35%
B	50 × 100 × 4000	10	38.30%	1.32%	0.42%	3.45%	0.82%
C	50 × 100 × 4000	10	39.40%	1.98%	0.63%	5.01%	1.23%
D	50 × 100 × 4000	10	38.40%	1.99%	0.63%	5.18%	1.23%
A	50 × 125 × 4000	10	39.20%	1.44%	0.46%	3.68%	0.89%
B	50 × 125 × 4000	10	41.30%	1.96%	0.62%	4.74%	1.21%
C	50 × 125 × 4000	10	39.20%	1.37%	0.43%	3.50%	0.85%
D	50 × 125 × 4000	10	42.50%	1.71%	0.54%	4.03%	1.06%
A	50 × 200 × 4000	10	40.40%	1.46%	0.46%	3.60%	0.90%
B	50 × 200 × 4000	10	42.20%	1.86%	0.59%	4.41%	1.15%
C	50 × 200 × 4000	10	40.20%	1.28%	0.40%	3.18%	0.79%
D	50 × 200 × 4000	10	43.60%	1.34%	0.43%	3.09%	0.83%

During the sawn timber moisture content measurements the following recommendations were observed. The moisture content was measured in the middle of the plank width, no farther than 0.5 m from the head, with the spots of measurement being selected at random provided they were not soiled or defective. There were three measuring spots on each side of the sawn timber, in each spot the moisture was measured at least three times. The distance between the measuring spots was 10-15 mm.

The arithmetic mean of three measurements with most similar values was adopted as the measurement result [6].

Small differences of results were caused by the fact that all the sawn timber assortments were prepared for the examination at the same time (Table 3). The analysis shows that the sawn timber from the Mountain Pine Belt has the maximum average moisture content, the exception being the sawn timber planks measuring 50 x 100 x 4000 mm from Land C – forest district Kędzierzyn Koźle, with the maximum average moisture content of 39.4%. The sawn timber from Land A – Mazovian Podlasian Nature and Forest Land had the lowest recorded value (Fig. 2).

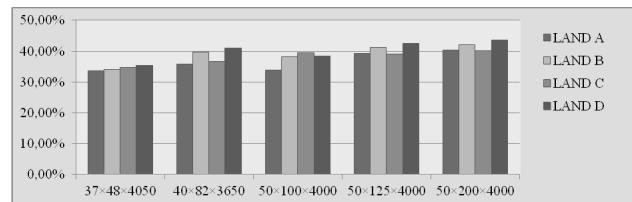


Fig. 2. Moisture content of the fresh sortment from different nature and forest lands

Then the timber was arranged into packets with regard to cross sections and transported by forklift truck to 5 drying chambers. There were different initial and final temperatures determined for each sortment. The target moisture content of 10% was adopted. When the adopted parameters were achieved, the moisture content in each piece of the sawn timber was analyzed again (Fig. 3).

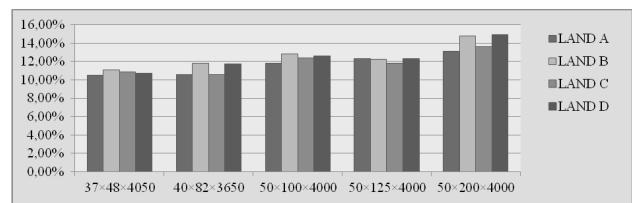


Fig. 3. Moisture of the dried sortment from particular Poland's nature and forest lands

Table 4. Artificial drying of sawn timber from different Poland's nature and forest lands

Land code	Dimensions [mm]	Number of samples n [pcs]	T _s [°C]	T _f [°C]	t [h]	Average moisture after drying m _{av2} [%]	Standard deviation s [%]	Mean error s _r [%]	The coefficient of variation v [%]	Accuracy rate (for 1-a = 0.95) p [%]
A	37 × 48 × 4050	10	60	65	192.5	10.51%	0.46%	0.14%	4.36%	0.28%
B	37 × 48 × 4050	10	60	65	192.5	11.1%	0.82%	0.26%	7.38%	0.51%
C	37 × 48 × 4050	10	60	65	192.5	10.85%	0.61%	0.19%	5.59%	0.38%
D	37 × 48 × 4050	10	60	65	192.5	10.7%	0.45%	0.14%	4.19%	0.28%
A	40 × 82 × 3650	20	55	60	220.08	10.6%	0.54%	0.12%	5.12%	0.24%
B	40 × 82 × 3650	25	55	60	220.08	11.78%	0.78%	0.16%	6.62%	0.31%
C	40 × 82 × 3650	25	55	60	220.08	10.6%	1.13%	0.23%	10.65%	0.44%
D	40 × 82 × 3650	10	55	60	220.08	11.77%	0.67%	0.21%	5.69%	0.42%
A	50 × 100 × 4000	10	55	65	278.08	11.8%	0.27%	0.08%	2.26%	0.17%
B	50 × 100 × 4000	10	55	65	278.08	12.8%	0.42%	0.13%	3.26%	0.26%
C	50 × 100 × 4000	10	55	65	278.08	12.4%	0.32%	0.10%	2.59%	0.20%
D	50 × 100 × 4000	10	55	65	278.08	12.6%	0.60%	0.19%	4.74%	0.37%
A	50 × 125 × 4000	10	55	65	298.25	12.4%	0.58%	0.18%	4.71%	0.36%
B	50 × 125 × 4000	10	55	65	298.25	12.2%	0.80%	0.25%	6.53%	0.50%
C	50 × 125 × 4000	10	55	65	298.25	11.8%	0.88%	0.28%	7.43%	0.54%
D	50 × 125 × 4000	10	55	65	298.25	12.3%	1.09%	0.34%	8.85%	0.68%
A	50 × 200 × 4000	10	55	65	316.75	13.2%	0.48%	0.15%	3.64%	0.30%
B	50 × 200 × 4000	10	55	65	316.75	14.8%	0.53%	0.17%	3.58%	0.33%
C	50 × 200 × 4000	10	55	65	316.75	13.6%	0.60%	0.19%	4.38%	0.37%
D	50 × 200 × 4000	10	55	65	316.75	15.0%	0.51%	0.16%	3.41%	0.32%

Artificial drying allows the dry timber to be obtained in a short time and eliminates infecting the timber with fungi, growing easily in the humidity of 22-24%. However, artificial drying requires costly specialist equipment and is more expensive than natural drying. A very important rule should be observed, the rule says that in the initial period of drying the air in the dryer is not very hot and it has a high humidity content, then – as the timber dries – the air temperature can be raised and humidity can be decreased.

The first period of drying is characterized by high desorption stress in timber. If, during this period, the timber drying process is too rapid (drying is too fast), a sudden increase in stress occurs in the timber structure and the timber breaking point is exceeded. It causes the appearance of the surface and head cracks in the pieces of the sawn timber. In the further stage of the rapid timber drying inner cracks are formed. They are seemingly imperceptible. The moisture content analysis of the dried sawn timber shows that as far as small cross sections are concerned, the sawn

timber from Land B – Little Poland Nature and Forest Land has the maximum average moisture content, whereas Land A has the lowest one. The exception is the cross section measuring 50 x 125 x 4000 mm, in the case of which Land A sawn timber has the maximum moisture content, and Land C sawn timber – the minimum one. The sawn timber with the cross section of 50 x 200 x 4000 mm has the maximum moisture content in the samples from Land D and the minimum one in the specimens from Land A (Fig. 3). The coefficient of variation is significant, since the analyzed sortment was not divided into sapwood and heartwood (Table 4).

2.3. Methodology of sorting of the sawn timber in terms of strength using the visual method in accordance with the PN-D-94021 standard [8]

After the moisture content examination the visual sorting took place [9]. Each piece was thoroughly analyzed. All the features were measured, including knottiness, twisted fibres, surface and head cracks, lengthwise curvature of sides and planes, crosswise curvature, warpedness, wanes, bark pockets, fibre

waviness. Most attention was paid to knots, which usually determined the quality grade of the sawn timber. Along the length of each piece of the sawn timber the knots therein were projected on the auxiliary checked paper sheets with the dimensions of the cross section of the sorted sawn timber. The obtained drawings provided the base for determining the knottiness coefficient. In determining the knottiness coefficients the attention was paid to the location of knots in all the cross section and in the marginal zones [4].

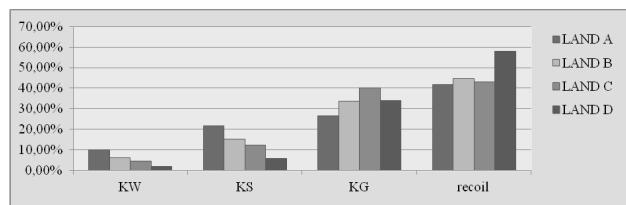


Fig. 4. Percentages of the sorting classes obtained as a result of the visual sorting of the sawn timber from particular Poland's nature and forest lands

The strength-related sorting revealed that Mazovian-Podlasian Nature and Forest Land yielded the highest number of pieces in the KW (high quality) class (six pieces) and in the KS (medium quality) class (13 pieces) in comparison with other lands. The sawn timber from Carpathian Nature and Forest Land was distinctly the worst of all the analyzed batches. Only one piece was classified as being the KW class and only three pieces as the KS class. This batch of the sawn timber yielded the largest number of rejects – as many as 29 pieces, which amounts to 58% of the whole sawn timber from this land (Fig. 4).

3. Conclusions

1. In general, the sawn timber from Carpathian Nature and Forest Land revealed the highest value of average moisture content. The sawn timber batch measuring $50 \times 100 \times 4000$ mm from Silesian Nature and Forest Land is an exception here.
2. When subjected to artificial drying, the sortment with smaller cross sections from Little Poland Nature and Forest Land revealed the highest average moisture content.

3. Sorting the sawn timber from Mazovian-Podlasian Nature and Forest Land yielded the highest number of pieces of the KW class (six pieces) and of the KS class (13 pieces) in comparison with the results of sorting the sawn timber from other lands.
4. The sawn timber from Carpathian Nature and Forest Land was distinctly the worst of all the analyzed batches. Only one piece was classified as being the KW class and only three pieces as the KS class [4].
5. The obtained results permit the conclusion that the introduction of Polish classes: KW, KS and KG (lower quality) into the PN-EN 1912 standard should be connected with the introduction of the division into the sawn timber from Northern Poland and from Southern Poland [4, 10].

References

- [1] Kozakiewicz P.: *Physics of timber in theory and problem. Selected issues* [in Polish]. Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2003.
- [2] Rudziński L.: *Repairs and strengthening of timber structures* [in Polish]. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2000.
- [3] Wdowiak A.: *Assessment of technical condition of wooden structures*, Proceedings of TRANSCOM 2015, pp. 326.
- [4] Krzosek S.: *Strength-related sorting of Polish pine structural sawn timber* [in Polish], Rozprawy Naukowe i Monografie, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2009.
- [5] PN-EN 336:2013-12 Structural timber. Dimensions, permitted deviations [in English].
- [6] PN-EN 13183-2:2004 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 2: Estimation by electrical resistance method [in Polish].
- [7] PN-EN 13183-3:2007 Moisture content of a piece of sawn timber – Part 3: Estimation by capacitance method [in Polish].
- [8] PN-D-94021:2013-10 – Softwood structural sawn timber sorted using strength methods [in Polish].
- [9] PN-EN 14081-1:2016-03 Timber structures – Strength-sorted structural timber with a rectangular cross section – Part 1: General Requirements [in English].
- [10] PN-EN 1912:2012 Structural timber – Strength classes – Visual division into classes and sorts [in English].

Lech Rudziński
Agnieszka Wdowiak

Właściwości strukturalno-wytrzymałościowe drewna konstrukcyjnego

1. Wprowadzenie

Drewno to materiał pochodzenia organicznego, wykazujący w zależności od gatunku ogromną zmienność swoich właściwości. Jest anizotropowy (różne właściwości w różnych kierunkach) i niejednorodny (posiada wady). Do cech makroskopowych zalicza się wielkości ponad 0,1 mm, takie jak przyrosty roczne, strefy drewna późnego i wczesnego, twardziel, szerokie promienie rdzeniowe, duże naczynia, wycieki żywiczne, sęki. Do budowy mikroskopowej zaliczane są szczegóły jego struktury, które można zobaczyć przy użyciu mikroskopu optycznego [1, 3].

2. Właściwości strukturalno-wytrzymałościowe tarcicy konstrukcyjnej

2.1. Pochodzenie materiału badawczego

Za cel pracy przyjęto określenie wybranych właściwości mechanicznych i fizycznych polskiej sosnowej tarcicy konstrukcyjnej, pochodzącej z czterech wybranych krain przyrodniczo-leśnych Polski, scharakteryzowanej w tabeli 1. Z każdej krainy wybrano po pięć partii tarcicy o różnych wymiarach przekroju poprzecznego i liczebności 40 sztuk każda, z wyjątkiem przekroju poprzecznego 40 x 82. Długość tarcicy wynosiła około 4,0 m [4]. Ogółem badaniom poddano 240 sztuk tarcicy [5]. Charakterystykę wymiarową tarcicy pochodzącej z poszczególnych krain przedstawiono w tabeli 2.

2.2. Pomiar wilgotności tarcicy świeżej i wysuszonej sztucznie

Badanie zostało przeprowadzone w warunkach przemysłowych, w firmie Tartak OLCZYK w Świdnie. Przed rozpoczęciem badań tarcica została oznakowana, zmierzona oraz poukładana w pakiety, ze względu na wymiar i pochodzenie. Przeprowadzono

pomiar wilgotności, posługując się wilgotnościomierzem regularnie sprawdzanym i kalibrowanym, zgodnie z instrukcją producenta przyrządu [6]. Następnie ponownie poukładano przekrojami tarcicę w pakiety i za pomocą wózka widłowego, przetransportowano ją do pięciu komór suszarnianych. Dla każdego sortymantu ustalono różną temperaturę początkową i końcową. Za punkt docelowy przyjęto uzyskanie wilgotności 10%.

2.3. Metodyka wytrzymałościowego sortowania tarcicy metodą wizualną zgodnie z PN-D-94021 [8]

Po przeprowadzonej analizie wilgotności przystąpiono do sortowania wizualnego [9]. Każdą sztukę dokładnie obejrzano. Dokonywano pomiaru wszystkich występujących w niej cech, jak: sękatość, skręt włókien, pęknienia na płaszczyźnie i pęknienia czołowe, krzywizny podłużne boków, krzywizny podłużne płaszczyzn, krzywizny poprzeczne, wiązrowatość, oblipy, zakorki, pęcherze żywiczne, falistość włókien [4].

3. Wnioski

Tarcica świeża, pochodząca z Karpackiej Krainy Przyrodniczo-Leśnej, odznaczała się najwyższą wilgotnością średnią. Wyjątkiem jest partia tarcicy o wymiarach 50 x 100 x 4000, ze Śląskiej Krainy Przyrodniczo-Leśnej. W wyniku suszenia sztucznego najwyższa średnia wilgotność, charakteryzowała sortymant o mniejszych przekrojach poprzecznych, pochodzący z Małopolskiej Krainy Przyrodniczo-Leśnej. W wyniku sortowania tarcicy z Mazowiecko-Podlaskiej Krainy Przyrodniczo-Leśnej, uzyskano największą liczbę sztuk w klasie KW (6 sztuk) i w klasie KS (13 sztuk), w porównaniu z wynikami sortowania tarcicy pochodzącej z pozostałych krain.



environment
environment

EDYTA NARTOWSKA¹
TOMASZ KOZŁOWSKI²
MARTA KOLANKOWSKA³
Kielce University of Technology
¹email: enartowska@tu.kielce.pl
²email: tomkoz@tu.kielce.pl
³email: markola19@wp.pl

THE EFFECT OF THE SOIL GRANULOMETRIC COMPOSITION ON THE FID (FREE INDUCTION DECAY) SIGNAL INTENSITY IN NMR TESTS

Abstract

The influence of the soil granulation, grain diameter and the soil type on the FID signal intensity is presented. The FID signal intensity is used to determine the water content in soil sample by the use of the NMR spectrometry. Eighty five samples taken from four different soils (3 sand, 1 sandy silt) were tested. The samples were characterized by different masses and water contents. The results of the FID signal intensity were compared to the mass of water in soils calculated by empirical formula obtained for clay soils and the mass of water obtained by the oven-drying method. The empirical formula using FID Signal Intensity can be used to calculate the mass of water in every soil regardless of its type. The type of soil, grain diameter and granulation do not appear to influence the FID Signal Intensity value. The factors that influence the FID Signal Intensity are the mass of water in soil, the water content in case of poorly sorted soils and the mass of soil sample in well sorted soils. The statistical analysis were conducted using Statistica 9.1 software.

Keywords: non cohesive soil, well and poorly sorted soil, granulometric composition, NMR methods, FID Signal ooling

1. Introduction

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectrometry method is widely used for both scientific research and in industry [1, 2]. The method is still rarely used in soil science, mainly because of the concerns that soils could be too heterogeneous material for NMR spectrometry tests. According to reference data [3-5], a lot of different factors could have an influence on the signal intensity, which is the direct result of FID (free induction decay) tests. Therefore, interpretation and analysis of the result should be done very carefully. Despite this, NMR method has numerous advantages, such as the short time of the test running and the possibility of using one sample in several test [5, 6] (NMR tests are non-destructive), and therefore, the authors of this paper attempted to evaluate the influence of the granulation, grain diameter and the soil type on the FID signal intensity. In other words, an experiment was designed to indicate whether some portion of

water gives the same signal intensity in different soils, or maybe some factors disturb the signal, causing its' enhancement (or undervaluation). Disturbed signal can cause the incorrect determination of water content in soil sample by the use of NMR method.

2. Experiment and Materials

For this study, four natural soils were used. The soils were obtained from Świętokrzyskie region in Poland. According to PN-EN ISO 14688-1:2006 there were three sands (Sa) and one sandy silt (saSi). A total of 85 samples were tested. 42 specimen were well sorted soils ($Cu < 6$) which separated from the sand (Sa) by the sieving analysis. There were: gravel (Gr) $d = 2.5$ mm, coarse sand (CSa) $d = 1$ mm and $d = 2$ mm, medium sand (MSa) $d = 0.5$ mm and $d = 0.25$ mm, fine sand (FSa) $d = 0.1$ mm, silt (Si) $d \leq 0.063$ mm. 43 specimen were poorly sorted soils: medium sand (MSa), fine sand (FSa) and sandy silt (saSi) (Table 1).

Table 1. Granulometric parameters of poorly sorted soils

Parameters	Medium sand	Fine sand	Sandy silt
Gravel fraction [%]	7	4	0
Sand fraction [%]	88	88	35
Silt fraction [%]	5	8	65
d_{50} [mm]	0.3	0.2	0.03
Cu (uniformity coefficient)	10	6.4	6.7

Bruker Minispec mq20 spectrometer was used in the experiments. The research was conducted with normal field of 0.47 Tesla corresponding to frequency of 20 MHz. NMR method is based on the excitation of nuclear spins in an external magnetic field through a quick change of magnetic field, and the registration of the electromagnetic radiation arising due to the relaxation phenomenon (the nuclear spins return to the equilibrium thermodynamic) [7]. Researchers [3, 6, 8, 9] suggested that the technique can be adapted for use in soil investigations. The soil specimens have a mass between 0.04 and 2.75 g and water content between 0 and 64.7% (Table 2).

Table 2. Mass and water content in experimental soils

Parameters		Well sorted soils	Poorly sorted soils
mass(m) [g]	Average	0.31	0.66
	Minimum	0.1	0.04
	Maximum	0.54	2.75
water content(w) [%]	Average	17.36	11.62
	Minimum	6.09	0
	Maximum	64.7	23.95

According to apparatus specification, samples of 9 x 10 mm max. size were placed in glass NMR tubes. Next, *Free Induction Decay (FID)* were registered at room temperature for each soil sample. After the experiment, the samples were dried at 105°C for 24 hours in purpose to determine the mass of water in soil (m_w , T) and the water content (w, T).

Many studies [3-5] indicate that the soil properties influence the FID signal intensity. To test this hypothesis, the parameters were used directly related to the intensity of the FID signal. For each soil the mass of water (m_w , formula) (1) and the water content (w, formula) (2) were calculated as follows (1), (2) [10]:

$$m_w = \frac{\text{FID}-0.8607}{0.4051} \quad (1)$$

$$w = \frac{\text{FID}-0.8607}{0.4051 \times m - \text{FID} + 0.8607} \times 100\% \quad (2)$$

where:

m_w – mass of water [mg],

w – water content [%],

FID – intensity of Free Induction Decay signal [%],

m – mass of soil sample [mg].

There were experimental formulas obtained by the present authors on the basis of clay soils tested [10]. Obtaining similar values calculated by formulas (1), (2) and traditional oven-drying method for the tested soils well and poorly sorted could indicate that the type of soil has no influence on the FID Signal Intensity. The type of soil is in a direct relationship with its granulometric composition. The paper presents the influence of the granulometric composition of soil on the FID Signal Intensity. On the basis of obtained results, the statistic analysis has been carried out in the Statistica 9.1 software.

3. Results and Analysis

The potential predictors for FID Signal Intensity were calculated with using the correlation matrix tool. There were considered correlations between FID Signal Intensity and the mass of water and the water content calculated from the traditional oven-drying method (m_w , T), (w, T) and according to formula (1), (2) (m_w , formula) as well as grain diameter (d) in the case of well sorted soil and the type of soil in the case of poorly sorted soil. The results are summarized in Table 3.

Table 3. The correlation coefficient for FID Signal Intensity with the mass of water, the water content, the mass of soil sample, grain diameter and the type of soil for well and poorly sorted soils(effects p < 0.05 marked)

	The correlation coefficient for FID with						
	m_w [T]	m_w [formula]	w [T]	w [formula]	m	d*	type**
Well sorted soil	0.98	1.00	0.32	0.37	0.72	-0.26	-
Poorly sorted soil	0.84	1.00	0.79	0.52	0.50	-	0.17

*grain diameter d = 2.5; 2; 1; 0.5; 0.25; 0.1; ≤ 0.063 [mm]

** medium sand (MSa), fine sand (FSa), sandy silt (Sasi)

The best correlation with FID was obtained for the mass of water calculated according to the formula (1) derived for clay soils, which may indicate that the type of soil has no influence on the FID Signal Intensity. In

addition, the high correlations with the water content calculated by formula (2) for clay soils in the tested non-cohesive soils with water content determined by the oven-drying method $r = 0.98$ for the weak sorted soils and 0.91 for poorly sorted soils were obtained.

This may indicate that the formula (2) is valid regardless of the type of soil. In the case of well sorted soils, the results indicate a statistically significant influence of the mass of soil specimen (0.72) ($p = 0.00$) (Fig. 1) on the FID Signal Intensity. An influence of the water content (0.79) ($p = 0.04$) is observed and in the case of poorly sorted soil.

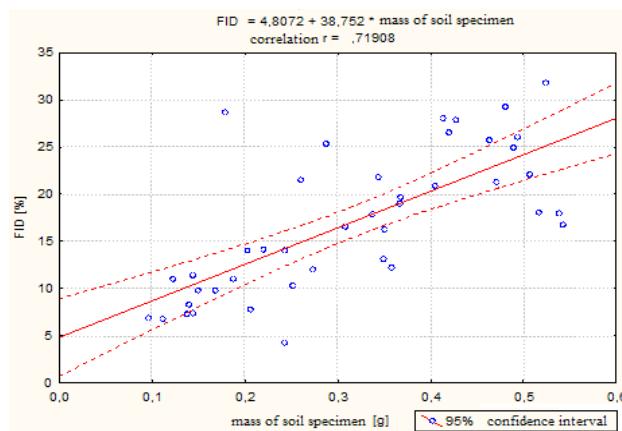


Fig. 1. The relationship between mass of soil specimen and FID Signal Intensity

The correlation coefficients of the grain diameter and the type of poorly sorted soils with FID Signal Intensity were not statistically significant. Multiple Regression Analysis for estimating the relationships among variables was conducted. Results indicated a not statistically significant influence of the grain diameter (d) on the mass of water in soil (m_w , T) ($p = 0.14$) and FID Signal Intensity ($p = 0.09$) (Fig. 2).

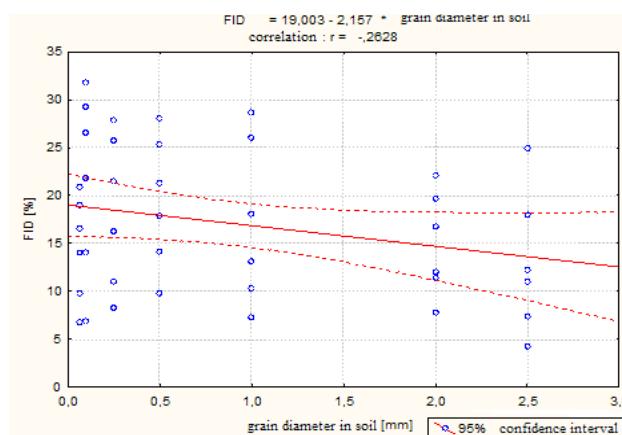


Fig. 2. The relationship between grain diameter of soil and FID Signal Intensity

The Analysis of Variance (ANOVA) for estimating influence of the type of soil on the FID Signal Intensity were conducted. Results indicated that we couldn't reject the null hypothesis (Table 4).

Table 4. The Analysis of Variance ANOVA for the type of soil and FID Signal Intensity

	SS	df	MS	F	p
Intercept	24093.95	1	24093.95	162.9892	0.000000
Type of soil	202.49	2	101.25	0.6849	0.509949
Error	5913.02	40	147.83		

Linear Regression Analysis showed no linear relationship ($p = 0.25$) between the type of soil and FID Signal Intensity (Fig. 3).

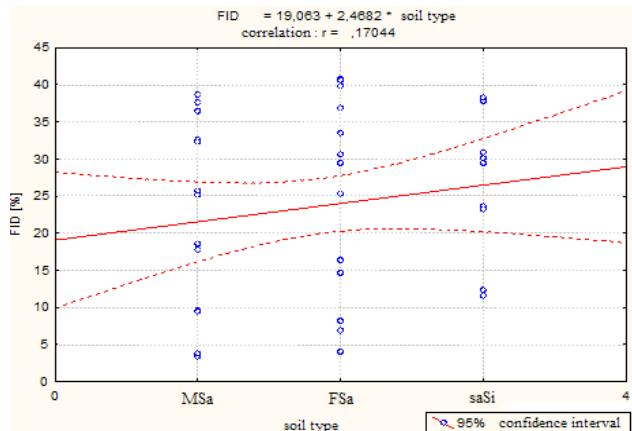


Fig. 3. The relationship between the type of soil and FID Signal Intensity

4. Conclusions

1. The empirical formulas (1) using FID Signal Intensity can be used to calculate the mass of water in every soil regardless of its type.
2. The use of FID application in NMR research to determination of the amount of water in soil seems to be a proper tool in soil investigations in spite of the heterogeneous soil structure.
3. The type of soil, grain diameter and granulation do not appear to influence the FID Signal Intensity value.
4. The mass of water in soil, the water content in case poorly sorted soils and the mass of soil sample in well sorted soils may be the factors influencing the FID Signal Intensity.

References

- [1] Kleinberg RL.: *Nuclear magnetic resonance* [in:] *Methods in the physics of porous media*, ed. by Wong P-Z, New York: Academic Press 1999, pp. 337-385.

- [2] Dunn K-J., Bergman D.J., Latorraca G.A.: *Handbook of geographic exploration: nuclear magnetic resonance – petrophysical and logging applications.* Elsevier Science, Oxford 2002.
- [3] Bayer J.V., Jaeger F., Schaumann G.E.: *Proton Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Relaxometry in Soil Science Applications,* The Open Magnetic Resonance Journal, 3 (2010), pp. 15-26.
- [4] Tice A.R., Oliphant J.L., Nanano Y., Jenkins T.F.: *Relationship between the ice and unfrozen water phases in frozen soil as determined by pulsed nuclear magnetic resonance and physical desorption data,* Journal of Glaciology and Geocryology, Vol. 5, Issue (2) (1983), pp. 37-46.
- [5] Jaeger F., Shchegolikhina A., van As H., Schaumann, G.: *Proton NMR relaxometry as a useful tool to evaluate swelling processes in peat soils,* The Open Magnetic Resonance Journal, 3 (2010), pp. 27-45.
- [6] Jaeger F., Bowe S., Van As H., Seggaumann G.E.: *Evaluation of ¹H NMR relaxometry for the assessment of pore-size distribution in soil samples,* European Journal of Soil Science, 60 (12.2009), pp. 1052-1064.
- [7] The minispec User's Manual, Version 2.2 Revision 0, July 2003.
- [8] Sucre O., Casanova F., Pohlmeier A., Bluemich B.: *Low Field NMR of Water In Model Soils.* The Open Magnetic Resonance Journal, 3 (2010), pp. 63-68.
- [9] Tian H., Wei C., Wei H., Yan R., Chen P.: *An NMR-Based Analysis of soil-Water Characteristics.* Applied Magnetic Resonance, 45 (2014), pp. 49-61.
- [10] Nartowska E., Kozłowski T., Kolankowska M.: *Application of ¹H-NMR Relaxometry to the determination of the water content In Clay soils,* Structure and Environment, 4 (2015), pp. 189-193.

Edyta Nartowska
Tomasz Kozłowski
Marta Kolankowska

Wpływ składu granulometrycznego gruntów na intensywność sygnału FID (Free Induction Decay) w badaniach NMR

1. Wprowadzenie

Metoda spektrometrii magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) jest wszechstronnym narzędziem, szeroko wykorzystywany zarówno do badań czysto naukowych, jak i w przemyśle [1, 2]. Metoda ta jest jednak nadal rzadko używana do badań gruntów, głównie z powodu obaw, iż grunty są zbyt heterogenicznym i niejednorodnym materiałem, aby badać je przy użyciu spektrometrii NMR. Według źródeł [3-5] na intensywność sygnału, będącego bezpośrednim wynikiem pomiaru przy użyciu aplikacji FID (Free Induction Decay) może mieć wpływ wiele czynników, przez co interpretacja wyników i ich analiza powinna być przeprowadzana bardzo ostrożnie. Ze względu na liczne zalety metody NMR, m.in. szybkość wykonywania pomiaru oraz możliwość wykorzystania jednej próbki do wielu testów [5, 6] (badania przy użyciu spektrometru są nieniszczące, dlatego też

można wielokrotnie wykonywać testy przy użyciu różnych dostępnych aplikacji na tej samej próbce), autorzy podjęli próbę oceny wpływu uziarnienia, średnicy ziaren i rodzaju gruntu na intensywność sygnału FID, co, innymi słowy, ma za zadanie sprawdzić, czy ta sama ilość wody w różnych gruntach będzie dawała taki sam sygnał, czy też może sygnał ten w niektórych przypadkach będzie zawyżony (lub zniżony), co może spowodować błędne określenie ilości wody w próbce gruntu przy użyciu metody NMR.

2. Materiał i metody badawcze

Materiał badawczy stanowiły grunty pochodzące z terenu województwa świętokrzyskiego, które zgodnie z PN-EN ISO 14688-1:2006 zakwalifikowano jako piaski (Sa) i pył piaszczysty (saSi).

W sumie przebadano 85 próbek gruntów. 42 próbki stanowiły grunty równoziarniste ($Cu < 6$), które wydzielono z piasku (Sa) poprzez analizę sitową. Były to: żwir (Gr) o $d = 2,5$ mm, piasek gruby (CSa)

$o d = 1 \text{ mm}$ i $d = 2 \text{ mm}$, piasek średni (MSa) $o d = 0,5 \text{ mm}$ i $d = 0,25 \text{ mm}$, piasek drobny (FSa) $o d = 0,1 \text{ mm}$ oraz pył (Si) od $\leq 0,063 \text{ mm}$. 43 próbki to grunty różnoziarniste: piasek średni (MSa), piasek drobny (FSa) i pył piaszczysty (Sasi) (tabela 1).

Badania przeprowadzono w spektrometrze NMR minispec q20 firmy Bruker w temperaturze 20°C przy- stosowanym do pracy w normalnym polu natężenia ($0,47 \text{ Tesli}$), co odpowiada częstotliwości Larmora 20 MHz . Zasada działania NMR polega na wzbudzaniu spinów jądrowych znajdujących się w zewnętrznym polu magnetycznym poprzez szybkie zmiany pola magnetycznego, a następnie rejestrację promieniowania elektromagnetycznego powstającego na skutek zjawisk relaksacji (powrót układu spinów jądrowych do stanu równowagi termodynamicznej) [7]. Źródła literaturowe [3, 6, 8, 9] wskazują, że metoda ta może być zaadaptowana do badań gruntów. Eksperymenty przeprowadzono na próbkach o zróżnicowanych masach ($0,04 - 2,75 \text{ g}$) i wilgotnościach ($0 - 64,7\%$) (tabela 2.).

Grunt umieszczało w szklanej tubie, formując próbki o wymiarach $9 \times 10 \text{ mm}$, co było wymogiem aparaturowym wynikającym z zastosowanej aplikacji. Następnie, po zważeniu umieszczało je w komorze NMR-a i rejestrowano intensywność sygnału FID (*Free Induction Decay*). Po badaniu próbki suszono do stałej masy w $T = 110^\circ\text{C}$. Na podstawie masy próbki w tubie przed i po suszeniu i masy tuby wyznaczano masę wody zawartej w gruncie (m_w, T) oraz wilgotność (w, T). W wielu publikacjach wskazuje się, że intensywność sygnału FID może zależeć od właściwości gruntu [3-5]. W celu sprawdzenia tej hipotezy posłużono się parametrami bezpośrednio związanymi z intensywnością sygnału FID. Dla badanych gruntów wyznaczono masę wody ($m_w, \text{ wzór (1)}$) i wilgotność ($w, \text{ wzór (2)}$) przy udziale wzorów [10]. Są to zależności otrzymane eksperymentalnie przez autorów na podstawie badań gruntów spoistych [10]. Otrzymanie zbliżonych wartości parametrów wyliczonych wg wzorów (1), (2) i metodą suszarkową dla badanych gruntów równo- i różnoziarnistych mogłyby wskazywać na brak wpływu rodzaju gruntu na intensywność sygnału FID. Rodzaj gruntu ma bezpośredni związek z jego składem granulometrycznym, którego analiza stanowi temat pracy. Dane opracowywano przy udziale oprogramowania Statistica 9.1.

3. Analiza wyników badań

W celu określenia potencjalnych predyktorów sygnału FID posłużono się narzędziem macierzy kore-

lacji dla określonych parametrów. Pod uwagę brano współzależności FID z masą wody i wilgotnością wyznaczoną metodą suszarkową (m_w, T) (w, T) i wg wzorów (1), (2) ($m_w, \text{ wzór}$), ($w, \text{ wzór}$), masą próbki (m) oraz w przypadku gruntów równoziarnistych – średnicą ziaren (d), różnoziarnistych – rodzajem gruntu. Wyniki zebrane w tabeli 3. Najlepsze korelacje z FID uzyskano dla masy wody wyliczonej według wzoru wprowadzonego dla gruntów spoistych (1), co może świadczyć o braku wpływu rodzaju gruntu na wartość sygnału FID. Dodatkowo uzyskano wysokie korelacje wilgotności obliczonej wg wzoru (2) dla gruntów bardzo spoistych w badanych gruntach sypkich i mało spoistych z wilgotnością wyznaczoną metodą suszarkowo-wagową, uzyskując odpowiednio $r = 0,98$ dla gruntów równoziarnistych i $0,91$ dla różnoziarnistych. Co może świadczyć, iż wzór (2) ma znaczenie niezależnie od rodzaju gruntu. W przypadku gruntów równoziarnistych istotne znaczenie na wartość sygnału FID może mieć masa próbki ($0,72$) ($p = 0,00$) (rys. 1), zaś w gruntach różnoziarnistych wilgotność ($0,79$) ($p = 0,04$). Uziarnienie, średnica ziaren i rodzaj gruntu różnoziarnistego nie koreluje się istotnie z FID. W celu oceny współzależności czynników posłużono się analizą regresji wielorakiej, która wykazała brak istotności wpływu średnicy ziaren (d) na masę wody w gruncie (m_w, T) ($p = 0,14$) i sygnał FID ($p = 0,09$) (rys. 2). W celu oceny wpływu rodzaju gruntu na wartość sygnału FID posłużono się analizą wariancji ANOVA, wykazując, iż jest zbyt mało podstawa, aby sądzić, iż rodzaj gruntu nie ma wpływu na sygnał FID (tabela 4). Analiza regresji liniowej wykazała brak związku liniowego ($p = 0,25$) pomiędzy rodzajem gruntu a sygnałem FID (rys. 3.).

4. Wnioski

- Przy udziale jednego wzoru empirycznego wykorzystującego intensywności sygnału FID jest możliwe z dużym prawdopodobieństwem określenie masy wody zawartej w gruncie niezależnie od jego rodzaju.
- Zastosowanie aplikacji FID w badaniach NMR do określenia zawartości wody w gruncie okazuje się być idealnym narzędziem do badań gruntów mimo ich heterogenicznej struktury.
- Rodzaj gruntu, średnica ziaren i uziarnienie nie wydają się mieć wpływu na wartość sygnału FID.
- O intensywności sygnału FID może decydować masa wody zawartej w gruncie, wilgotność w przypadku gruntów różnoziarnistych i masa próbki w gruntach równoziarnistych.

MAGDALENA WOJNOWSKA-HECIAK¹

Kielce University of Technology

ANNA JANUS²

Warsaw University of Life Sciences

¹ e-mail: mwojnowska@gmail.com

² e-mail: annam.janus@gmail.com

LANDSCAPE SOLUTIONS FOR SMALL RETENTION

Abstract

The article presents landscape solutions for natural water retention named in Poland 'small water retention'. The paper covers examples of neighbourhood scale interventions, which use natural environmental factors to optimize the stormwater storage capacity. They fit into the mainstream of natural ecosystem and landscape-oriented ways that influence and change microclimate of a particular area.

Keywords: small retention, natural water retention measures, neighborhood

1. Introduction

Poland, sometimes called "Egypt of Europe", fully deserves this title, as the characteristics of an average annual rainfall puts it on a par with the driest regions of Europe. Almost 20% of Polish territory has a yearly rainfall less than 500 mm and average precipitation 600 mm. For comparison average precipitation in Germany is 700 mm, in Austria 1110 mm, in Sweden 624 mm [1, 2]. In addition, the phenomenon of water deficit in Poland has increased as a result of inadequate water management in rural areas¹ and liquidation of midfield reservoirs and woodlots. The use of small water retention solutions should be the concern of the authorities and individuals as the possibilities of implementation vary in their scale [3]. However, Polish policy in water management seems to be at very beginning of its development, whereas western and northern European countries successfully implement eco-friendly landscape solutions for small retention more and more often.

2. Definitions

Small retention program in Poland was initiated in 1995 and ultimately intended for implementation by 2015. In Poland, at least since the 60s of the last century the expression "small retention" has been

used. However, it is not known in other countries. The activities under the slogan "increasing natural retention" completely fall within the definition of small retention [4]. On the basis of the Agreement of December 21, 1995 by and between the Minister of Agriculture and Food Economy and the Ministry of Environmental Protection, Natural Resources and Forestry on cooperation in the field of small retention assumed that small retention covers the size limit of small water reservoirs equal to 5 million m³. Above this value, there is "large retention" [5].

Mioduszewski defined landscape water retention (in habitat), mainly as a system and a method of water retention in rural areas, shaping the appropriate structure of land use by: 1) arable fields, pastures, forests, ecological, ponds arrangement 2) Afforestation, creating protective belts of trees, shrubs, creating furrows and terraces, 3) Increasing the area of wetlands, peat bogs, swamps [6]. British literature broadly defines concept of Natural Water Retention Measures (NWRM) as means aimed at protecting the natural water retention capacity by restoring characteristics of natural wetlands, rivers, floodplains and improving soil retention capabilities and supplying groundwater resources [7]. The European Commission and Vaughn describes [8] NWTM as intervention techniques related to aquatic ecosystems, recreating the nature adaptability. The

¹ By creating large monoculture farms type PGR (state collective farm).

main task in the context of water management is the control of water runoff so that the hydrological extreme events such as floods, droughts, desertification are minimized by increasing retention capabilities of the areas. There are two groups of measures: 1) the restoration/reconstruction of the ecosystem (eg. rivers, wetlands) and 2) solutions based on the change of land use/land management (for agriculture, forestry).

In the urban scale NWRM are realized in the form of Continuous Cover Forestry (CCF) – 3 national networks in the north and west Cumbria (county in England); riparian forests – The Caledonian Forest in Scotland, afforestation of hilly and mountainous areas with catchment tanks in the Mediterranean regions – Sierra Espuna and experimental restoration of the forest "El Picacho" in Murcia, Spain, buffer belts – the Venetian lagoon and riparian belt in Italy, traditions of planting particular plants – the use of plants with deep root system, crop rotation, strip-growing, intercropping, early sowing meadows – meadows in Durham, Weald meadows project, traditional terracing – in a dry Mediterranean climate, traditional agricultural landscape – Catalonia, the town of Cadaques – vineyards, plantations of olive trees, cork oak, green waterways (Grassed Water Ways GWWs) – an experimental farm located 40 kilometers north of Munich, limited cultivation/pre plowing – several northern regions of China, hedges and beetle banks (approx. 2 meter wide strip planted with grass or perennials that cuts large fields), Sustainable drainage system SUDS – a number of examples from the database susDrain, wetlands – Neusiedl in Austria, Norfolk and Suffolk Broads, UK, floodplains – the Val de Charente in south-west France, bogs – Humberhead Peatlands in England, swimming pools and lakes in the catchment at the confluence of the rivers – Kaiserstuhl, re-meandering, restore movement and temporary tributaries of the rivers and riverbeds, rivers' renaturization, reconnecting rivers – re-meandering stream Merdereau Sorigny, France, Bear Brook and River Cole in England, polders – Traeth Mawr and Sunk Islands in the UK, the natural stabilization of the edges – the river Ebro – Spain, the Danube in Austria, the river Piavre in Italy [7].

Water circulation in the environment takes place to a large extent by natural retention and absorbent reservoirs. They are not only large bodies of water, but also the vast expanses of forests and wetlands. Plants slow down and limit the runoff, absorbing moisture from the soil, making it easier to infiltrate and supply

groundwater reservoirs or evaporating water back into the atmosphere. Water balance therefore depends to a large extent on the land cover. Forests play an important role in the retention process, particularly their water absorptiveness is appreciated after many centuries of urbanization and deforestation and drying areas for agricultural purposes. Rain water that fell on the forest land is retained until maximum possible soil absorption, and only after it infiltrates into deeper levels. The outflow of the subsurface is therefore slowed down, which stabilizes the water level in the river catchment [9]. Another important feature that forest have, is soil-protecting property in the context of the protection against water erosion.

3. Purpose

The issue of environmental friendly rainwater management, especially landscape projects is still not fully explored. The work aims to present the original, tailored for each location landscape solutions that can serve as inspiration for further research.

4. Tools

There are certain tools that play a crucial role in eco-water management. Plants with a deep root system have the ability to store water and survive periods of drought and supply water to plants that grow around them. As a good example may serve *Ensete ventricosum* (Ethiopian banana) – Energy plant with a fibrous structure. The plant stores CO₂ as well. Studies have shown that the root system is capable of storing five times more CO₂ than previously believed [10].

A special group of plants supporting the circulation of water in nature are marsh plants, which can transpire on average three times more water than it could be evaporated from the gravel surface. Wetland plant communities, contributing to the natural reservoirs affect hydrological conditions of the development and the climate of a given area. They have a beneficial effect on the quality of water: its treatment and purification [11].

Vegetation improves water circulation depending on the particular plants' absorptive properties, mainly hydrophytes and macrophytes, adapted to living in aquatic environments. It is also important to mention that transpiration depends on the size of and the age of plants, and thus its construction. Plants with narrow, thin leaves have a relative reduced transpiration contrary to the broad-leaved. The rate of water transpiration is also conditioned by the color of the plant – leaves with silvery raid reflect the sun's rays, which greatly reduces the evaporation

process. Plants heavily transpiring fully utilize the excess of the rainwater, thus contributing to increasing atmospheric humidity. It is estimated that approx. 10% atmospheric moisture comes from the transpiration process, which confirms the significant participation in the hydrological cycle [12].

Also relevant are plants with phytoremediating² properties. Rainwater from roofs and pavements and squares, which do not require treatment using technical equipment, carries a load of pollutants, coming largely from the air. Natural filter for them can be soil, however with support for the purification process performed by the vegetation. It is desirable as it enhances the quality of the water before it is introduced to further circulation or re-use by man.

Biological treatment is a specific property of wetland ecosystems which through physical, chemical and biological decomposition of the polluting substances into simple, easily assimilated by plants compounds (approx. 10-15%). Another aspect of the decomposition process are micro-organisms (responsible for the cleaning process). Some species have the ability to download a heavy metal from the substrate and incorporate them into plant fabric. Biological treatment can be implemented using Common reed (*Phragmites communis*). Reed areas act as the sewage receiver and rainwater storage reservoirs.

Another element that could play a crucial role in shaping water conditions is a stone/gravel arrangement on the surface. An internationally renowned expert in Austrian agriculture Sepp Holzer [13] uses the stones to stop the water in the soil and create a positive microclimate for the fruit trees. He states that the use of stones can help plants survive in not indigenous for them environment. He arranges large stones around the trees so that they capture heat and give them back later to the plants. Arranging stones in such a way brings a cooling effect, retains moisture and causes water condensation, which acts as a natural drip irrigation system. The soil under stones stays moist and is inhabited by many species of insects and worms. The rocks located next to the plant help the plants to adjust the changing temperature [10].

² Phytoremediation describes the treatment of environmental problems (bioremediation) through the use of plants that mitigate the environmental problem without the need to excavate the contaminant material and dispose of it elsewhere. Phytoremediation is a cost-effective plant-based approach to remediation that takes advantage of the ability of plants to concentrate elements and compounds from the environment and to metabolize various molecules in their tissues. Toxic heavy metals and organic pollutants are the major targets for phytoremediation.

Hugelkultur in German, literally understood as a mound culture could serve as well as an eco-friendly way to keep soil moist. It is being constructed with leaking mounds made of the logs or other wood residues and backfilled with soil and after that planted. As the wood placed underground decomposes and valuable nutrients appear in the soil. The decomposing wood acts like a sponge, absorbing quickly rainwater, and then slowly conveying the water into the soil. Plants grown in this way do not require additional watering [10]. Particularly good crops gives the cultivation of cucumbers and squash on a slightly raised flowerbeds made in accordance with this technique [14].

Techniques for increasing the water retention capacity of rural areas characterized by a low level of intervention like woodlots – trees and shrubs located mid-field play a number of important functions, among others, windbreaks and water retention, which results in increased crops. It is estimated that the presence of trees in the rural areas increase cereal crops an average of 5-20%, sugar beet by 5-10% and potatoes by up to 20% [14]. Hedges in the UK often planted along the borders of the plot reduce the outflow of water [9] and beetle banks – grassy belts field, usually built in September, are particularly vulnerable to spills of pesticides, are home to many insects, birds (lark bunting) and small mammals in rural areas [16], minimize water runoff, soil erosion, reduce pollution and increase the biodiversity of the landscape [10].

5. Case study

Chosen case studies should serve as an illustration of the process of rainfall harvesting in the neighborhood. Each example, although comes from different country, proves a serious attitude of the investor to the water management problem.

5.1. Housing Arkadien Winnenden in Stuttgart - Germany

Housing Arkadien Winnenden located on the outskirts Stuttgart is an example of the brownfield revitalization in accordance with the principles of sustainable development and combating climate change. Atelier Dreiseitl, in collaboration with a group of architects have designed an eco-friendly living space for relaxation and recreation. It is a residential neighborhood that has allocated large amounts of public space, while at the same time granting each lot with its own amount of private space. Housing is characterized by dense buildings and an extensive water system. The buildings are energy efficient and made of eco-friendly materials. Some

of the building are covered by the green roofs, others have solar panels. Vehicular traffic has been reduced to a minimum, and standard parking spaces are covered with grass. Comparatively narrow streets support an integrated circulation system. Cars, pedestrians, and cyclists all share equal access to the spaces of passage and movement, though to protect pedestrians the spaces have made to feel easier to traverse on foot and appear as a pedestrian space. Most of the pavement for the pedestrian made with permeable materials while minimizing runoff. It is mainly 3 story buildings situated closely together to maintain a density that adds vibrancy and life to the young community. In the centre of the area there is a water reservoir. Recreation facilities are located on the outskirts of the stream. There have been used few solutions of the rainwater management like: green roofs, ponds, absorbing bumps, filtration basins. In the case of high water the green part of the area is used for retention. Rainwater is stored in pools created in the meadow reservoirs, and from there flows into the restored streams. In dry times, these areas are used as recreation areas and playgrounds for children. Applied water management solutions, as well as permeable surfaces significantly minimize the runoff and the risk of local flooding. They reduce the amount of water discharged to the sewer system as well as a significantly improve quality of discharged water. The lake in the center of Arkadien Winnenden serves as rainwater detention basin, capturing and filtering rain water in a stepped system, before overflowing to a flood meadow and slow releasing to the adjacent ecologically restored stream. The use of permeable pavers and "structural bearing soil substrate for garden-like parking spaces" reduced impermeable surfaces in the development from 95 percent to 30 percent of its overall area, further reducing flood risk, a major problem in the Stuttgart area.

Rainwater is kept on the surface where it can be seen, and easily maintained. All streetscapes and park spaces are multifunctional and integrated. Park areas are designed to receive water with all its dynamics and variability, such as ephemeral ponds, swales with soft, swung contours that are play areas when dry and flood retention areas during heavy downpours. The park area next to the river has been defined as a new maximum 1000 year flood zone; a dry stone wall defines the change in levels which keeps the housing and residents safe. It was important to the designers that the neighborhood fit as seamlessly as possible into the existing ecosystem. This was partially

manifested in the use of local and naturally occurring vegetation being exclusively used. An emphasis was put on vegetation supporting bee and bird populations, attempting to actually improve conditions for these species in Winnenden [17].



Fig. 1. Arkadien neighborhood plan [18]

5.2. Housing Bo01, Malmö – Sweden

It was designed by a team of architects and developers under the guidance of the City of Malmö (approx. 80 large and small companies). It covers area: 25 ha (160 ha on the West Coast) and was realized through the period of 2001-2006. Basic assumptions of this a new investment cover sustainable buildings, functioning on the basis of ecological materials and technologies, recycling of recycled materials and renewable energy sources. One of the principles of environmentally conscious strategies is water management. Annual rainfall occurring in this part of Sweden reaches the 700-800 mm.

The concept of water management is based primarily on reducing storm water surface runoff and thereby relieving sewage treatment plants. The rainwater is absorbed by the numerous existing "green roofs,

which also forms recreational space for residents. Common critical issues such as channel flooding and downstream erosion are not relevant to Bo01 because it sits on the edge of the Oresund Strait. However, drainage of water away from the buildings and the quality of water entering the Strait were implemented in such a way to make the gravity flow system possible, the area between the Strait and the saltwater canal was raised. This was possible since the land and interior water bodies are artificial remnants of the industrial operations and could be configured by the redevelopment project without much environmental detriment. Green roofs, water detention in courtyard ponds, and infiltration through gravel and other pervious paving initiates the stormwater system [19].

Around the neighborhood there are numerous small and larger retention areas in the form of land or water tanks, filled aquatic vegetation. This is of great importance for improving the climate settlements, and the impact on the water resources of the area. The typical gravel infiltration bed and that the street side of the runnel is lower than the building side. The grating and bridging provides access, safety, and extra detail. The black corrugated paving is a texture cue for the visually impaired. The multiple adjacent paving and drainage materials are similar to patterns in Japanese Zen gardens, such as Ryoanji. The western half includes the broad Dania Park and ample infiltration areas. The granite blocks serve as visual markers to improve safety near the runnels. Stormwater is directed to small, vegetated basins for infiltration and water quality improvement before discharge. Some of these basins are within the interior courtyards while others receive water at the edge of the saltwater. The materials and detailing make features of the stormwater system components whose function is evident even in the dry season. Although all of the stormwater runoff is managed by the surface facilities, the percentage that receives treatment in the vegetated areas and the amount that overflows into the receiving waters during storms without treatment is unknown.

The landscape effect is build by the main reservoir that lies outside compact buildings, although extends along the entire foundation, parallel to the quay on the other side settlements. It was planted with aquatic plants, with interesting outdoor features in the form of bridges, platforms, benches and sculptures - which emphasize the aesthetic nature of the landscape. Channels, leading rainwater into the pond, have a decorative character [12]. One would expect 5-7% of the project area to be dedicated to stormwater

treatment landscapes in order to achieve significant water quality improvement. However, Bo01 has a much higher percentage of green space. The stormwater is conveyed by the open drainage system to vaults along the saltwater canal where much of the water quality treatment occurs. The stormwater is pumped from the vaults to one of several treatment basins and water features within the courtyards. Therefore, the stormwater receives continuous treatment and serves as an ever-present aesthetic and environmental feature of the development features, as is the open drainage network. In fact, the surveys demonstrate a willingness to pay more for an open system than a closed one. It should be noted that Bo01 dedicates very little space to parking (0.7 spaces per unit) and roads, which are a primary source of highly contaminated stormwater runoff requiring extensive water quality treatment. Therefore, the runoff from this pedestrian centric district is less highly contaminated than one would expect from mixed-use districts in the United States with extensive parking and vehicular streets [19].



Fig. 2. Housing Bo01 plan [20]

6. Discussion and conclusions

The examples show a tendency to return to nature to increase the possibility of water retention and restore natural ecosystems. Landscape techniques are often realized together with: hydrological, social and economic problems within the site. Often they require cooperation between the residents and local authorities, and fund raising for investments. The designer is therefore the coordinator over the whole process from design to implementation.

Environmental management practices for natural rainwater harvesting more and more influence the city landscape. Landscape sensitive solutions in addition to their decorative function at the same time serve as devices to distribute, collect or infiltrate rainwater. They enrich the landscape of contemporary neighborhoods and contribute indirectly to improving diversity of vegetation. Sustainable drainage systems can be used in areas both representative and intimate. Presented examples of a comprehensive solutions, cover the entire city and the smaller, integrated landscape units.

References

- [1] Kowalewski Z.: *Realizacja programów rozwoju małej retencji w Polsce w latach 1997-2003*, Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu. Inżynieria Środowiska, 13, 502 (2004), pp. 195-210.
- [2] The World Bank website providing current data in different economic and geographical issues <http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.PRCP.MM> accessed 10/03/2016.
- [3] Mrozik K., Przybyła C.: *Mała retencja w planowaniu przestrzennym*, Prodruk, Poznań 2013, <<http://www1.up.poznan.pl/imksig/wp-content/uploads/2014/06/Mrozik.pdf>> [dostęp 14/01/2016].
- [4] Mioduszewski W.: *Small (natural) water retention in rural areas*, Journal of Water and Land Development, 20 (2014), pp. 19–29.
- [5] Bielakowska W.: *Retencjonowanie wód – mała retencja wodna*, <http://archiwum.ekoportal.gov.pl/prawo_dokumenty_strategiczne/ochrona_srodowiska_w_polsce_zagadnienia/Woda/retencja_wodna.html#_Retencja23> [accessed 14/01/2016].
- [6] Mioduszewski W.: *Kształtowanie i wykorzystanie zasobów wodnych w krajobrazie rolniczym*, Woda Środowisko Obszary Wiejskie, 18 Woda w krajobrazie rolniczym, Mioduszewski W. (red). IMUZ. Falenty, 2006, s. 11-28.
- [7] Koseoglu N., Moran D.: *Review of Current Knowledge. Demystifying Natural Water Retention Measures (NWRM)*, Foundation of Water Research, Marlow, Bucks, UK 2014, p. 3.
- [8] Vaughn K.J., Porensky L.M., Wilkerson M.L., Balachowski J., Peffer E., Riginos C. and Young T. P.: *Restoration Ecology, Nature Education Knowledge* 3 (10), 2010.
- [9] Chełmicki W.: *Woda. Zasoby, degradacja, ochrona*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [10] Meier N.: *Water retention landscape techniques for farm and garden*, 2013, permaculturenews.org accessed 14/01/2016.
- [11] Kornaś J., Medwecka-Kornaś A.: *Geografia roślin*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.
- [12] Kozłowska E.: *Proekologiczne gospodarowanie wodą opadową w aspekcie architektury krajobrazu*, Współczesne problemy architektury krajobrazu, Wrocław 2008.
- [13] Film presenting Sepp Holzer's farm <<https://www.youtube.com/watch?v=Bw7mQZHffFVE>> [accessed 14/01/2016].
- [14] Soleil S.: *A recipe for a Hugelkultur raised bed*, 2012, <permaculturenews.org> [accessed 14/01/2016].
- [15] Grzyś E.: *Mała retencja na obszarach wiejskich*, Fundacja Ekologiczna „Zielona Akcja” w Legnicy, 2015, <http://www.dodr.pl/III/4/1/3/7/rola_zadrzewien.pdf> [accessed 14/01/2016].
- [16] Beetle banks, rspb, <https://www.rspb.org.uk/Images/Beetle%20banks_tcm9-133200.pdf> [accessed 14/01/2016].
- [17] Neighborhood's description on the e-publishing concerning innovative realizations <<http://www.e-architect.co.uk/stuttgart/arkadien-winnenden>> [accessed 20/02/2016].
- [18] Arkadien neighborhood's description, <<http://inhabitat.com/arkadien-winnenden-is-a-family-earth-friendly-eco-village-near-stuttgart-germany>> [accessed 4/04/2016].
- [19] Austin G. *Case study and sustainability assessment of Bo01, Malmö, Sweden*, <http://www.collegepublishing.us/jgb/samples/JGB_V8N3_a02_Austin.pdf> [accessed 14/01/2016].
- [20] Housing Bo01 description, <<http://www.architravel.com/architravel/news/use-of-sud-elements-at-western-harbour-in-malmo-sweden>> [accessed 4/04/2016].

Rozwiązania krajobrazowe w małej retencji

1. Wprowadzenie

Polska jest często „Egiptem Europy” i w pełni zasługuje na ten tytuł. Biorąc pod uwagę średni roczny opad, klasyfikuje się jako jeden z najbardziej suchych regionów Europy. Prawie 20% terytorium Polski charakteryzuje się mniejszym średnim opadem rocznym niż 500 mm. Dla porównania średni opad w Niemczech wynosi 700 mm, w Austrii 1110 mm, w Szwecji 624 mm [1, 2].

Zagadnienie przyjaznych środowisku metod gospodarowania wodą opadową, szczególnie tych eksperymentalnych rozwiązań, nadal nie jest zbadane. Praca ma na celu przedstawienie oryginalnych, szytych na miarę dla każdej lokalizacji rozwiązań, które posłużyć mogą jako inspiracje w dalszych badaniach [3].

2. Definicje

Mała retencja w Polsce została zainicjowana w 1995 roku. Od lat 60. termin ten jest używany wyłącznie w Polsce i pozostaje nieznany w innych krajach. Za granicą stosowane jest hasło „zwiększenia naturalnej retencji” [4]. Mała retencja odnosi się do pojemności równej 5 mln m³, powyżej tej wartości używany jest termin „dużej retencji” [5].

Środki naturalnej retencji wody³ (ang. Natural Water Retention Measures – NWRM) można zdefiniować jako środki, których celem jest ochrona naturalnych możliwości retencyjnych przez odtwarzanie naturalnych cech terenów podmokłych, rzek, terenów zalewowych i zwiększenie możliwości retencyjnych gleby oraz uzupełnianie zasobów wód podziemnych [7]. Komisja Europejska [2012] oraz Vaughn [8] NWMT określają mianem technik interwencyjnych związanych z ekosystemami wodnymi, mających odstworzyć naturalne zdolności adaptacyjne przyrody. Głównym zadaniem w ramach gospodarowania wodą jest taka regulacja odpływu wody, by ekstremalne zjawiska hydrologiczne, takie jak powodzie, susze, pustynnie były minimalizowane przez zwiększenie zdolności retencyjnych obszarów. Można wyróżnić dwie grupy takich środków: 1) środki polegające na przywracaniu/odbudowie (np. rzeki, bagna) oraz 2)

zmiana gospodarowania w użytkowaniu ziemią (dotyczy rolnictwa, leśnictwa) [8].

W skali urbanistycznej wymienić można przykłady NWRM, takie jak: Continuous Cover Forestry (CCF) – 3 krajowe sieci w północnej i zachodniej Kumbrii (hrabstwo w Anglii); lasy łągowe – The Caledonian Forest w Szkocji; zalesianie terenów pagórkowatych i górzystych przy zlewniach zbiorników w regionach śródziemnomorskich – Sierra Espuna oraz eksperymentalne odtworzenie lasu ”El Picacho” w Murcji, (Hiszpania); pasy buforowe – wenecka laguna i łągowy pas we Włoszech; zwyczaje uprawy roślin – stosowanie roślin o głębokim systemie korzeniowym, płodozmian, uprawa wstępowa, uprawa współzędna, wczesny wysiew, łąki – łąki w Durham, Weald meadows project, tradycyjnie tarasowanie – w suchym klimacie śródziemnomorskim tradycyjny krajobraz rolny – Katalonia, miasteczko Cadaques – winnice, plantacje drzew oliwnych, dębu korkowego, zielone cieki wodne (Grassed Water Ways GWWs) – eksperymentalne gospodarstwo zlokalizowane 40 km na północ od Monachium, uprawa ograniczona/orka wstępna – kilka północnych regionów Chin, żywopłoty i beetle banks (ok. dwumetrowej szerokości pas obsiany trawą lub bylinami, który przecina duże pola uprawne), SUDS – zrównoważony system drenażu – szereg przykładów z bazy danych susDrain, obszary bagienne – Neusiedlersee w Austrii, Norfolk i Suffolk Broads, UK, tereny zalewowe – the Val de Charente w pld-zach. Francji, torfowiska – Humber-head Peatlands w Anglii, baseny i jeziora w zlewniach u zbiegu rzek – Kaiserstuhl, remeandrowanie, przywracanie płynu i czasowych dopływów rzek oraz koryt rzek, rewitalizacja wód płynących, ponowne łączenie cieków – remeandrowanie strumienia Merdereau w Sorigny, Francja, Bear Brook i River Cole w Anglii, poldery – Traeth Mawr i Sunk Islands w UK, naturalna stabilizacja brzegów – rzeka Ebro w Hiszpanii, Dunaj w Austrii, rzeka Piavre we Włoszech [7].

3. Narzędzia

Rośliny o palowym systemie korzeniowym posiadają zdolność gromadzenia wody i przetrwania okresów

³ tłumaczenie własne

suszy, a także dostarczają wodę roślinom, które rosną wokół nich, przykładem może być *Ensete ventricosum* (etiopski bananowiec) – energetyczna roślina o włóknistej budowie. Roślina magazynuje CO₂. Badania pokazały, że system korzeniowy potrafi magazynować pięć razy więcej CO₂ niż dotychczas sądzono [10, 11].

Sepp Holzer [13] używa kamieni, by zatrzymać wodę i stworzyć mikroklimat. Stosowanie kamieni pozwala przetrwać w danym stanowisku roślinom, które nie występują w środowisku naturalnym. Układa on duże kamienie, wokół drzew, by przechwytywały ciepło, a następnie oddawały roślinie. Odpowiednio rozkładając kamienie, potrafi wytworzyć efekt chłodzenia, by zatrzymać wilgoć i spowodować kondensację wody, by działało to jako naturalny system nawodnienia kropelkowego. Gleba pod kamieniami pozostaje wilgotna i zamieszkuję ją wiele gatunków owadów. Skały położone obok roślin pozwalają regulować temperaturę wokół. Wyjaśnia on, że tylko kiedy gleba jest chłodsiejsza, a roślinność daje cień, pojawia się woda [10].

Hugelkultur w języku niemieckim to rozumiana dosłownie kultura kopców. Polega na kopaniu głębokich dołów, wykładaniu ich kłodami lub innymi drewnianymi pozostałościami i zasypywaniu glebą, a następnie sadzeniu na tym innych roślin, w tym drzew. W miarę gdy drewno pod ziemią się rozkłada, w glebie pojawiają się cenne składniki pokarmowe, działa to również jako gąbka, wchłaniająca szybko wodę opadową, a następnie w okresach suchych powoli oddająca tę wodę do gleby. Rośliny hodowane w ten sposób nie wymagają dodatkowego nawodnienia [10]. Szczególnie dobrze na podniesionych lekko rabatach wykonanych zgodnie z tą techniką rosną ogórki i kabaczki [14].

Zadrzewienia śródpolne pełnią szereg istotnych funkcji m.in. wiatrochronnych i retencyjnych, które przekładają się na zwiększenie plonów. Ocenia się, że obecność zadrzewień zwiększa plony zbóż średnio 5-20%, buraków cukrowych o 5-10%, a ziemniaków nawet o 20% [15]. Żywopłoty w Wielkiej Brytanii sadzone często wzdłuż granic działki również zmniejszają odpływ wody [10]. Beetle banks, czyli nieuprawiane pasy pola są domem dla wielu owadów, ptaków (skowronek, potrzeszcz) i małych ssaków na terenach wiejskich [16], a dodatkowo minimalizują odpływ wody, erozję gleby, redukując zanieczyszczenie i zwiększają bioróżnorodność krajobrazu [10].

4. Studium przypadków

4.1. Osiedle Arkadien Winnenden w Stuttgartie – Niemcy

Osiedle Arkadien Winnenden położone na obrzeżach Stuttgartu to przykład doskonałej rewitalizacji

terenu poprzemysłowego w myśl zasad zrównoważonego rozwoju i przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Niemiecka pracownia Atelier Dreiseitl, przy współpracy z grupą architektów, zaprojektowała ekologiczną, przyjazną mieszkańcom przestrzeń do życia, wypoczynku i rekreacji.

Osiedle cechuje zagęszczona zabudowa oraz rozbudowany system wodny. Budynki na terenie osiedla są energooszczędne i wykonane z ekologicznych materiałów. Część zabudowy pokrywa system zielonych dachów, na innych wykorzystywane są zaś panele słoneczne. Ruch kołowy został ograniczony do minimum, a standardowe miejsca postojowe pokryto nawierzchnią trawiastą. Większość nawierzchni pieszych wykonano natomiast z materiałów przepuszczalnych, minimalizując spływ powierzchniowy.

Centrum osiedla stanowią tereny zieleni ze zbiornikiem wodnym. Odtworzono również znajdujący się na obrzeżach potok. Na terenie osiedla zastosowano szereg rozwiązań gospodarowania wodą opadową: zielone dachy, stawy, muldy chłonne, zagłębiania terenu. W przypadku wysokich stanów wody opadowej część terenu osiedla wykorzystuje się jako teren retencyjny. Woda deszczowa gromadzona jest w stworzonych na łące nieckach retencyjnych, a stamtąd spływa do odbudowanego koryta potoku. W porach suchych tereny te wykorzystywane są jako miejsca rekreacyjne i place zabaw dla dzieci.

Zastosowane rozwiązania na terenie osiedla z zakresu gospodarowania wodą, jak również przepuszczalne nawierzchnie znacząco zminimalizowały spływ powierzchniowy oraz ryzyko lokalnych podtopień. Zmniejszono ilość wody odprowadzanej do systemu kanalizacji jak również znacząco poprawiono jakość odprowadzanej wody [17].

4.2. Housing Bo01, Malmö – Szwecja

Osiedle zajmuje obszar 25 ha i zostało zrealizowane w latach 2001-2006. Podstawowe założenia obejmują zrównoważone budownictwo, wykorzystanie materiałów z recyklingu, recyklingu materiałów wtórnych oraz zastosowanie odnawialnych źródeł energii dla funkcjonowania jednostki. Jednym z ważniejszych elementów jest również system zarządzania wodą opadową. Roczny średni opad w tej części Szwecji wynosi 700-800 mm.

Koncepcja zarządzania wodą opadową opiera się na ograniczeniu spływu powierzchniowego i odciążeniu systemu kanalizacji. Woda jest pochłaniana przez liczne powierzchnie zielonych dachów, które jednocześnie służą jako przestrzeń rekreacyjna. Dre-

naż wody z budynków opiera się na spływie grawitacyjnym. W tym celu odpowiednio uformowano topografię terenu. Dodatkowo zaprojektowano liczne stawy i rowy filtracyjne oraz zastosowano nawierzchnie wodoprzepuszczalne na terenie osiedla [19].

Istotną rolę odgrywa główny zbiornik, który niejako znajduje się poza terenem zabudowanym. Został on obsadzony roślinnością wodną, wyposażony w równego typu elementy małej architektury, w tym mostki, platformy, siedziska i rzeźby, których celem jest podkreślenie walorów estetycznych krajobrazu naturalnego. Kanały, którymi prowadzona jest woda do zbiornika, również mają charakter dekoracyjny [12].

Osiedle Bo01 ma znacznie wyższy wskaźnik terenów zieleni, niż można by przypuszczać. Woda odprowadzana kanałami na powierzchni prowadzi do systemu oczyszczającego. Z oczyszczalni ta sama woda jest prowadzona do systemu nawadniania ogródków. W związku z tym podlega ona nieustannemu procesowi uzdatniania i służy jako widoczny element estetyczny i przyrodniczy na terenie osiedla. Należy zaznaczyć, że w Bo01 przewidziano niski wskaźnik powierzchni parkingów (0,7 miejsc na mieszkanie) i ulic, które są głównym źródłem zanieczyszczeń wody i wymagają skomplikowanych procesów jej

uzdatniania. Woda spływająca z chodników jest znacznie bardziej czysta niż ta z ciągów przeznaczonych pod komunikację samochodową [19].

5. Dyskusja i wnioski

Opisane przykłady ilustrują tendencje powrotu do rozwiązań krajobrazowych w retencjonowaniu wody opadowej oraz przywracanie w tym celu naturalnych ekosystemów wodnych. Rozwiązania krajobrazowe stosowane są często jako element szerszej strategii uwzględniającej zagadnienia hydrologiczne, społeczne i ekonomiczne. Wymagają też współpracy pomiędzy mieszkańcami danego osiedla a administracją miasta. Projektant często pełni rolę koordynatora całego procesu, począwszy od projektu do realizacji.

Stosowanie metod przyjaznych środowisku coraz częściej pojawia się w krajobrazie miasta. Poza funkcją estetyczną, pełnią one role urządzeń, które rozdysponowują, gromadzą i infiltrują wodę opadową, wzbogacając krajobraz zakładanych współcześnie osiedli i zwiększając bioróżnorodność gatunkową. Zaprezentowane w artykule rozwiązania mogą być stosowane zarówno w skali miasta, jak i tylko jego fragmentu.

EWA ZENDER-ŚWIERCZ
Kielce University of Technology
e-mail: ezender@tu.kielce.pl

CALCULATIONS OF INDIVIDUAL AIR SUPPLY SYSTEMS

Abstract

The article presents a method for calculating the amount of air flowing in and flowing out of the building. It included two variants: the first – the air inflow by infiltration and by the individual duct of the supply system by gravity; the second – the air inflow by infiltration and by the individual duct of the supply system in a mechanical way. The methodology takes into account the pressure produced by the wind, the pressure in the duct and the pressure produced by the fan. The developed method was validated by comparing it with the results of measurements carried out. It has been shown high conformity of calculations and experimental analysis

Keywords: ventilation, amount of inflow and outflow air, calculation

1. Introduction

Residential buildings in the majority are equipped with a system of natural ventilation, which is the result of the gravity and the wind pressure. Proper operation of the system is guaranteed by the supply of air through leaks windows and doors and the building partitions. The air thus supplied to the building is removed by natural ventilation ducts. Wind may, however, reverse the direction of the air flow, resulting in an air inflow through one or more ducts.

In order to determine amount of air in the room, it is necessary to know the internal and external pressure at any point of holes.

The article presents a method for calculating the amount of air in the building with individual air-supply system, where the air supply gates were located at a lower height than the exhaust. The systems of Equations were devised. It includes two variants: the individual supply air duct with gravity flow, the second option with a mechanical flow. The methodology takes into account the pressure generated by the wind, the pressure in the gravity ventilation duct and the pressure generated by the fan (Option 2).

2. The layout of pressure in the building

The layout of pressure in a building depends on the wind pressure and pressure in the duct, the area of the inflow and outflow gates, its location, and

a flow pressure loss. The literature show the calculation methods [1], but it does not take into account the location of the openings at different heights and the effects of the fan on the internal pressure and layout of pressure at different levels. The authors [2-4] presented the layout of pressure on the outside wall, but in this case the inflow and outflow of air is also on one level.

In the real buildings, windows and doors are at different levels than outflow gate. In addition, if the building is equipped with the individual system of air intake, the inflow air gates can also be arranged at different heights. All this results in a change in layout of pressure in the building.

The equations found in the literature take into account the gravitational pressure and wind pressure [5-6], however, does not take into account the flow of air through the air supply duct. Other authors [7, 8] taken into account the supply gravitational air duct, however, the methodology did not take into consideration the impact of the wind.

3. The elaborating a methodology of calculating the amount of air flow

3.1. Calculation algorithm

The basis of this method is to calculate the pressure values at different levels, the inner and outer sides of the building envelope. Figure 1 presents the calculation algorithm of the elaborated methodology.

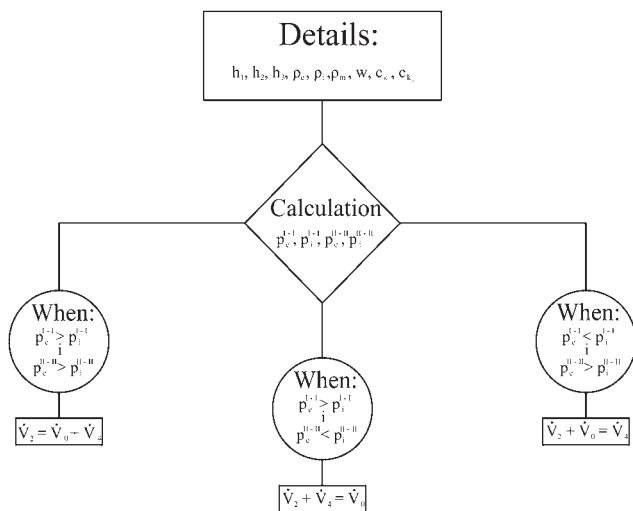


Fig. 1. Block diagram of the method of calculation

3.2. Calculation – variant 1

Option 1 – the inflow of air by leaks in the windows and by individual supply ducts with gravity pressure (Fig. 2).

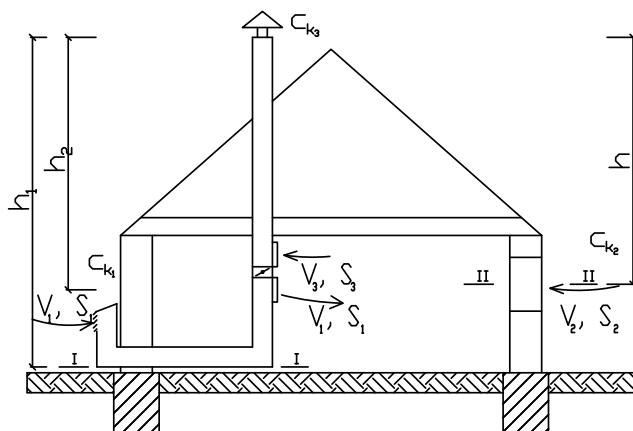


Fig. 2. Schematic of inflow and outflow air from the building, where air exchange is carried out in a natural way (gravitational pressure and wind pressure) using a leak in the window carpentry and the supply duct of individual system of air intake

The calculation of the pressure at level I-I (air supply duct):

$$p_e^{I-I} = h_1 \cdot \rho_e \cdot g + c_{k_1} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e [Pa] \quad (1)$$

$$p_i^{I-I} = (h_1 - h_2) \cdot \rho_m \cdot g + h_2 \cdot g \cdot \rho_i + c_{k_3} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e [Pa] \quad (2)$$

where: p – pressure [Pa], ρ – air density [kg/m^3], c_k – conversion coefficient [-], g – acceleration of gravity [m/s^2], h – height [m], w – velocity [m/s].

The calculation of the pressure at level II-II (leaks in the window):

$$p_e^{II-II} = h \cdot \rho_e \cdot g + c_{k_2} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e [Pa] \quad (3)$$

$$p_i^{II-II} = h \cdot \rho_i \cdot g + c_{k_3} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e [Pa] \quad (4)$$

Equations (1)-(4) allow you to determine the pressure difference at every levels:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta p^{I-I} = h_1 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_m) + h_2 \cdot g \cdot (\rho_m - \rho_i) + \\ \quad + (c_{k_1} - c_{k_2}) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e [Pa] \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta p^{II-II} = h \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) + \\ \quad + (c_{k_2} - c_{k_3}) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e [Pa] \end{array} \right. \quad (6)$$

where: Δp – differential pressure on both sides of the building component [Pa].

With using the hydraulic characteristic of the ducts and leakages of windows the pressure difference on each level can be expressed by system of the equations:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta p^{I-I} = s_1 \cdot V_1 + s_3 \cdot \left(\dot{V}_1 + \dot{V}_2 \right)^2 [Pa] \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta p^{II-II} = \Delta p_{window} + s_3 \cdot \left(\dot{V}_1 + \dot{V}_2 \right)^2 [Pa] \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} V_2 = k \cdot L \cdot \Delta p_{window}^{n/2} \left[\frac{m^3}{s} \right] \end{array} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{V}_3 = \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \left[\frac{m^3}{s} \right] \end{array} \right. \quad (10)$$

where: k – the leakage coefficient of windows [$m^3/mhPa^n$], L – length [m], s – the hydraulic characteristic [$Pa/(m^3/s)^2$], V – amount of air [m^3/s], n – exponent characteristic for the building component to calculate the airflow arriving because of wind [-].

After substituting Equation (9) into Equation (8) and aligning the Equations (5) and (7) as well as (6) and (8), the system of Equations was formed:

$$\left. \begin{aligned} & h_1 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_m) + h_2 \cdot g \cdot (\rho_m - \rho_i) + \\ & + (c_{k_1} - c_{k_2}) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e = s_1 \cdot V_1 + s_3 \cdot \left(\frac{V_1 + V_2}{V_1 + V_2} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} & h \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) + (c_{k_2} - c_{k_3}) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e = \\ & = \frac{\frac{1}{n}}{(k \cdot L)^n} + s_3 \cdot \left(\frac{V_1 + V_2}{V_1 + V_2} \right)^2 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\dot{V}_1 + \dot{V}_2 = \dot{V}_3 \quad (13)$$

After solving the system of Equations we get the flow of air supply and air exhaust from the building.

3.3. Calculation – variant 2

Option 1 – the inflow of air by leaks in the windows and by individual supply ducts with fun (Fig. 3).

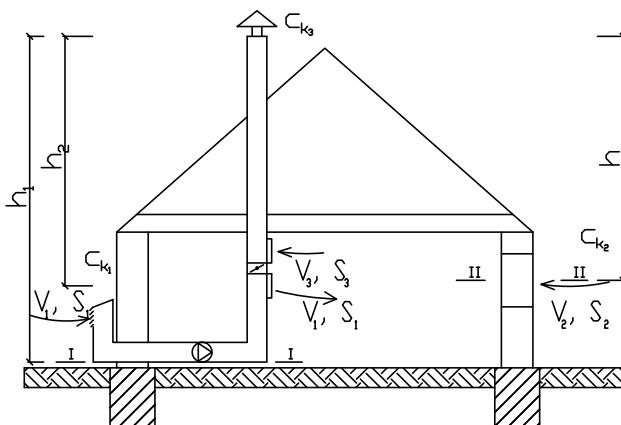


Fig. 3. Schematic of inflow and outflow air from the building, where air exchange is carried out in a natural (gravitational pressure and wind pressure) using a leak in the window carpentry and mechanical way using the supply duct of individual system of air intake equipped with the fan

The calculation of the pressure at level I-I (air supply duct):

$$p_e^{I-I} = h_1 \cdot \rho_e \cdot g + c_{k_1} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e [Pa] \quad (14)$$

$$\left. \begin{aligned} p_i^{I-I} = & (h_1 - h_2) \cdot \rho_m \cdot g + h_2 \cdot g \cdot \rho_i + \\ & + c_{k_3} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e + p_{vent} [Pa] \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

The calculation of the pressure at level II-II (leaks in the window):

$$p_e^{II-II} = h_3 \cdot \rho_e \cdot g + c_{k_1} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e [Pa] \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} p_i^{II-II} = & h_3 \cdot \rho_i \cdot g + \\ & + c_{k_3} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e + p_{vent} [Pa] \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Equations (14)-(17) allow you to determine the pressure difference at every levels:

$$\left. \begin{aligned} \Delta p^{I-I} = & h_1 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_m) - h_2 \cdot g \cdot (\rho_i - \rho_m) + \\ & + (c_{k_1} - c_{k_3}) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e - p_{vent} [Pa] \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta p^{II-II} = & h_3 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) + \\ & + (c_{k_1} - c_{k_3}) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e - p_{vent} [Pa] \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

With using the hydraulic characteristic of the ducts and leakages of windows the pressure difference on each level can be expressed by system of the equations:

$$\left. \begin{aligned} \Delta p^{I-I} = & s_1 \cdot \dot{V}_1 + s_3 \cdot \left(\frac{\dot{V}_1 + \dot{V}_2}{\dot{V}_1 + \dot{V}_2} \right)^2 [Pa] \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta p^{II-II} = & \Delta p_{window} + s_3 \cdot \left(\frac{\dot{V}_1 + \dot{V}_2}{\dot{V}_1 + \dot{V}_2} \right)^2 [Pa] \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{V} = & k \cdot L \cdot \Delta p_{window}^n \left[\frac{m^3}{s} \right] \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{V}_3 = & \dot{V}_1 + \dot{V}_2 \left[\frac{m^3}{s} \right] \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

After substituting Equation (22) into Equation (21) and aligning the Equations (18) and (20) as well as (19) and (21), the system of Equations was formed:

$$h_1 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_m) - h_2 \cdot g \cdot (\rho_i - \rho_m) + \\ + (c_{k_1} - c_{k_3}) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e - p_{vent} = \quad (24)$$

$$= s_1 \cdot V_1 + s_3 \cdot \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2$$

$$h_3 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) + (c_{k_1} - c_{k_3}) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_e - p_{vent} = \quad (25)$$

$$= \frac{\frac{1}{V_2^n}}{(k \cdot L)^n} + s_3 \cdot \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2$$

$$V_1 + V_2 = V_3 \quad (26)$$

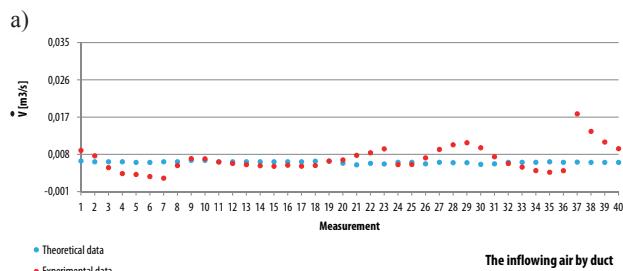
After solving the system of equations we get the flow of air supply and air exhaust from the building.

Application of the proposed calculation method in the case of a larger number of window and door openings and elements of intake and exhaust is possible, by increasing the number of equations in the system. Then you can calculate all the streams of air flowing in and flowing out.

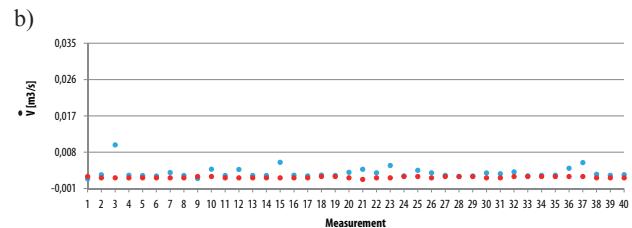
The elaborated calculation method does not take into account the vertical temperature gradient in the room and the cooling of air flowing in the duct gravity.

3.4. Verification of the proposed method of calculation

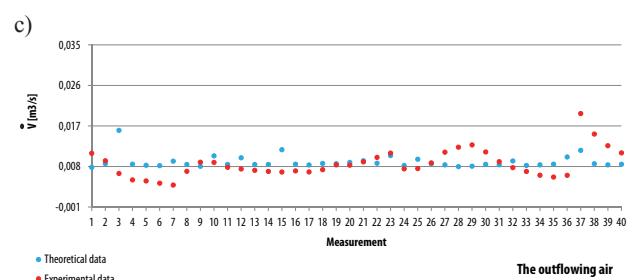
In order to verify the proposed method the calculations and measurements were performed in an existing building equipped with the air supply duct conducted by the underground garage. The inflow grate was located in the hall, the outflow grate was in the bathroom. In view of the installed hood in the kitchen the gravity duct in this permisses was excluded from the calculation and measurement. The results of the comparison the measured values during experimental studies with the calculated values were presented in the diagrams (Figs. 4, 5).



The inflowing air by duct

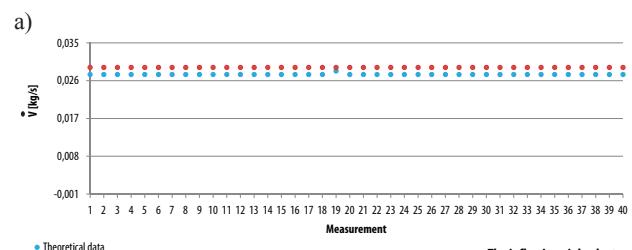


The inflowing air by leaks

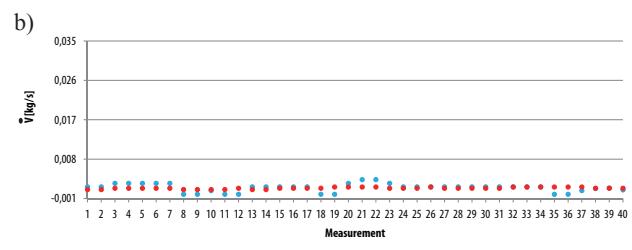


The outflowing air

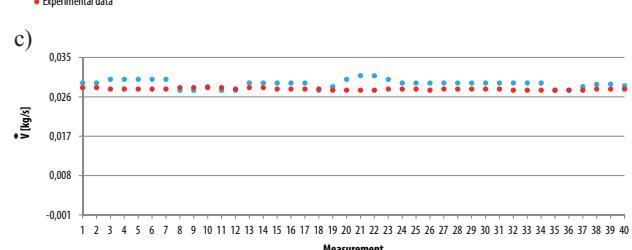
Fig. 4. Comparison of the results of theoretical calculations with experimental data. Natural ventilation. Figure: a) the inflowing air by duct; b) the inflowing air by leaks in windows; c) the outflowing air



The inflowing air by duct



The inflowing air by leaks



The outflowing air

Fig. 5. Comparison of the results of theoretical calculations with experimental data. The duct of individual system of air intake with fan. Figure: a) the inflowing air by duct; b) the inflowing air by leaks in windows; c) the outflowing air

4. Conclusions

The calculation results show high concordance with measurements. For the results the error was calculated and it does not exceed 2%. This proves that the proposed method of calculation is reliable. This means that the proposed methodology can be used both in buildings designed and existing (to assess the correct operation of the ventilation system and to develop proposals to improve the functioning of the system).

References

- [1] Батурин В.В.: *Отопление, вентиляция и газоснабжение. Часть II. Вентиляция*, Госстройиздат, Москва 1959.
- [2] Edwards R.: *Handbook of Domestic Ventilation*. Elsevier Butterworth – Heinemann. Oxford 2005.
- [3] Recknagel H., Sprenger E., Schramek E., Hönnemann W.: *Poradnik ogrzewnictwa i klimatyzacji*, Omni Scala, Wrocław 2008.
- [4] Wasilewski Z.: *Instalacje wentylacyjne i klimatyzacyjne*, WSiP, Warszawa 1992.
- [5] Nielsen T.R., Drivsholm C.: *Energy efficient demand controlled ventilation in single family houses*, Energy and Buildings 42/2010, pp. 1995-998.
- [6] Stroj A.F., Piotrowski J.Z., Zender-Świercz E.: *Розрахунок повітровобміну в приміщенні при одночасній дії гравітаційного тиску, тиску вітру та вентилятора*. Коммунальное хозяйство городов. Научно – технический сборник, ХНАГХ.– К.: Техника, 103/2012, pp. 118-124.
- [7] Karava P., Stathopoulos T., Athienitis A.K.: *Wind-induced natural ventilation analysis*. Solar Energy 81/2007, pp. 20-30.
- [8] Stroj A.F., Piotrowski J.Z.: *Основы расчетов управления тепловым и воздушным режимом помещений*, Издательство ПолтНТУ, Полтава 2008.

Acknowledgements

The research was co-funded by European Regional Development Fund under the Innovative Economy Operational Programme. Project title: „Innovative measures and effective methods to improve the safety and durability of buildings and transport infrastructure in the sustainable development strategy” (POIG.01.01.02-10-106/09-00).

Ewa Zender-Świercz

Obliczenia indywidualnych systemów nawiewnych

1. Wstęp

Budynki mieszkalne w większości wyposażone są w system wentylacji naturalnej, która jest wynikiem działania siły grawitacji oraz siły naporu wiatru. Prawidłowe działania takiego systemu gwarantuje dopływ powietrza przez nieszczelności stolarki okiennej i drzwiowej oraz obudowy budynku. Powietrze w ten sposób doprowadzone do budynku usuwane jest przez kanały wentylacji grawitacyjnej. Wiatr może jednak odwrócić kierunek przepływu powietrza, co skutkuje napływem powietrza poprzez jeden lub kilka kanałów.

W celu określenia ilości przepływającego powietrza w pomieszczeniu niezbędna jest znajomość wartości ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego w każdym punkcie otworów.

W artykule przedstawiono metodę obliczenia ilości powietrza, opracowano układy równań, w których uwzględniono dwa warianty: powietrze doprowadza-

ne kanałem indywidualnego systemu nawiewnego w sposób grawitacyjny, wariant drugi w sposób mechaniczny. Metodologia uwzględnia ciśnienie wytworzone przez wiatr, ciśnienie w kanale grawitacyjnym oraz ciśnienie wytworzone przez wentylator (wariant 2).

2. Rozkład ciśnienia w budynku

Rozkład ciśnienia w budynku zależy od ciśnienia wiatru i ciśnienia w kanale, od powierzchni otworów nawiewnych i wywiewnych, ich lokalizacji, a także strat ciśnienia przy przepływie. W literaturze można znaleźć metodologię obliczeń [1], jednak nie uwzględniono w niej lokalizacji otworów na różnych wysokościach, a także wpływu pracy wentylatora na ciśnienie wewnętrzne i jego rozkład na różnych poziomach. Autorzy [2-4] przedstawili rozkład ciśnienia na ścianie zewnętrznej, jednak w tym przypadku również uwzględniono napływ i wypływ powietrza na jednym poziomie.

W rzeczywistych budynkach otwory okienne i drzwiowe znajdują się na innych poziomach niż kratki wywiewne. Ponadto jeżeli w budynku zastosuje się system indywidualnego doprowadzenia powietrza kratki nawiewne również mogą być usytuowane na odmiennej wysokości. Wszystko to skutkuje zmianą rozkładu ciśnienia w obiekcie.

Znalezione w literaturze układy równań uwzględniają ciśnienie grawitacyjne i ciśnienie wiatru [5, 6] jednak nie uwzględniają strumienia powietrza doprowadzanego poprzez kanał nawiewny. Inni autorzy [7, 8] uwzględnili nawiew powietrza specjalnym kanałem grawitacyjnym, jednak do metodologii nie włączyli wpływu wiatru.

3. Opracowanie metodologii obliczenia ilości przepływającego powietrza

3.1. Obliczenia – warianty 1 i 2

W artykule przedstawiono metodę obliczenia ilości powietrza w budynku z indywidualnym systemem nawiewnym, gdzie kratki doprowadzające powietrze zlokalizowane były na niższej wysokości niż wywiewne.

Podstawę opracowanej metody stanowi obliczenie wartości ciśnienia na różnych poziomach, po wewnętrznej i zewnętrznej stronie obudowy budynku.

Wprowadzonymi do obliczeń danymi są wysokości, na których zlokalizowane są elementy nawiewne, wywiewne oraz stolarka okienna i drzwiowa, a także gęstość strumieni powietrza i współczynniki konwersji.

Proponowana metoda obliczeń obejmuje dwa warianty:

- w pierwszym napływ powietrza realizowany jest przez nieszczelności w stolarce okiennej oraz kanał indywidualnego systemu nawiewnego w sposób grawitacyjny. Obliczenia rozpoczynają się od określenia wartości ciśnienia po wewnętrznej i zewnętrznej stronie obudowy budynku, na różnych poziomach (otwory nawiewne, wywiewne, nieszczelności). W kolejnym kroku należy wyznaczyć różnice ciśnienia na poszczególnych poziomach. Wykorzystując charakterystykę hydrauliczną kanałów wentylacyjnych oraz nieszczelności stolarki okiennej i przyrównując równania, uzyskuje się układ równań, którego rozwiązaniem są wartości strumieni powietrza napływającego i wypływającego z budynku;
- w drugim napływ powietrza realizowany jest przez nieszczelności w stolarce okiennej oraz kanał indywidualnego systemu nawiewnego w sposób mechaniczny. Obliczenia rozpoczynają się

od określenia wartości ciśnienia po wewnętrznej i zewnętrznej stronie obudowy budynku, na różnych poziomach (otwory nawiewne, wywiewne, nieszczelności). W tym wariantie obliczeń należy pamiętać o uwzględnieniu (przy wyznaczaniu wartości ciśnienia na poziomie kanału nawiewnego) ciśnienia wytwarzanego przez wentylator. W kolejnym kroku należy wyznaczyć różnice ciśnienia na poszczególnych poziomach. Wykorzystując charakterystykę hydrauliczną kanałów wentylacyjnych oraz nieszczelności stolarki okiennej i przyrównując równania, uzyskuje się układ równań, którego rozwiązaniem są wartości strumieni powietrza napływającego i wypływającego z budynku.

Zastosowanie proponowanej metody w przypadku większej liczby otworów okiennych i drzwiowych oraz elementów nawiewnych i wywiewnych jest możliwe poprzez zwiększenie liczby równań w układzie. Możliwe będzie wówczas obliczenie wszystkich strumieni powietrza dopływającego i odpływającego.

Opracowana metoda nie uwzględnia pionowego gradientu temperatury w pomieszczeniu oraz chłodzenia powietrza przy przepływie w kanale grawitacyjnym.

3.2. Weryfikacja proponowanej metody obliczeń

Celem weryfikacji proponowanej metody wykonano obliczenia i pomiary w budynku istniejącym wyposażonym w kanał nawiewny doprowadzający powietrze z poziomu garażu podziemnego. Klatka nawiewna zlokalizowana była w pomieszczeniu przedpokoju, wywiewna w łazience. Z uwagi na zamontowany w kuchni okap wykluczono z obliczeń i pomiarów kanał wentylacyjny zlokalizowany w tym pomieszczeniu.

4. Podsumowanie

Wyniki obliczeń wykazują dużą zgodność z pomiarami. Dla otrzymanych wyników obliczono błąd, który nie przekraczał 2%. Dowodzi to, iż zaproponowana metoda obliczeń jest wiarygodna. Oznacza to również, iż proponowana metoda może być stosowana zarówno w obiektach projektowanych, jak i istniejących w celu oceny poprawności działania systemu wentylacji oraz opracowania propozycji poprawy funkcjonowania instalacji.

PRZEMYSŁAW KLIMCZYK
przevek1023@o2.pl

KAROL KRAWCZYK
krawczyk_karol@op.pl

JUSTYNA PTAK
jptak92@gmail.com

KAROLINA SAWADRO
karolinatasawadro@wp.pl
Kielce University of Technology

ALEKSANDRA SIAREK
ola_2604@o2.pl

ALEKSANDRA STĘPIEŃ
aleksandra_s1992@o.pl

JACEK SZEWCZYK
jszewczy@gmail.com

KATARZYNA WALKIEWICZ
katarzyna.walkiewicz92@gmail.com
Kielce University of Technology

DETERMINING THE SHAPE AND VOLUME OF THE POST-MINING BASIN IN KADZIELNIA AREA, KIELCE

Abstract

Long-term exploitation of limestone in Kadzielnia in the centre of Kielce created the post-mining basin of considerable size. For some time it was filled with water, forming the lake Szmaragdowe (Emerald Lake), which dried out 30 years ago. Because of the restoration projects of the lake it became necessary to determine its volume; the data on the size of the basin have not so far been presented in publications. This volume was determined using modern measurement technologies: in the part filled with water – bathymetric measurement, in the dry part – scanning tacheometry. As a result of measurements and calculations, volumes of the part filled with water ($23.000\ m^3$) and of the dry part ($277.000\ m^3$) were determined. The spatial model of the basin and topographic maps were also created

Keywords: determining volume with geodesic methods, bathymetry, scanning tacheometry

1. Introduction

Located within the administrative boundaries of Kielce, the Kadzielnia inanimate nature reserve is a remnant of the period of about 200 years of mining activity. Since the 1770's limestone had been mined here; the excavation ended in 1962. As a result of intensive excavation of the hill, only its eastern slope survived, the remnants of the south-western slope with the adjacent waste damp (now called Wzgórze Harcerskie, Scouts Hill) and Skałka Geologów (Geologists Rock), separated by a deep excavation.

As a result of mining and extraction of limestone in the eighteenth century, in the northern part deep excavations were created, which were flooded in their lowest levels with groundwater. They formed the lake Szmaragdowe (Emerald Lake), whose name comes from its unique colour. In the 1980s, due to the lowering of groundwater level, most of the lake dried out, and its current depth does not exceed 4 m. For some time the projects for restoration of its original form have been developed, consisting in filling the

basin with water. In order to determine the feasibility of this project, determining the volume of the basin is necessary. Official scientific publications lack the data defining this parameter, which is of relevance for this project. Therefore, the study had an innovative character.

Measurements of the shape and volume of the basin presented in the article were made within the statutory research, the activities of Geomatica Student Academic Circle and engineering theses defended in 2015 at the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering [1-3], in parallel with other measurements for the inventory of Kadzielnia area [4, 5]. Due to the fact that the basin consists of the part filled with water and of the dry part (not filled with water) and the ensuing need to use different observation methods the way of measuring the volume of those two parts was different. Bathymetric method was used for measuring the part filled with water; whereas tacheometry method was applied in relation to the part without water (using scanning

tacheometry), combined with RTK GPS satellite technology to determine the coordinates of geodetic control points.

2. Bathymetric measurement of the part filled with water

In order to determine the shape and volume of the part filled with water (remains of the Emerald Lake) bathymetric method, based on the use of echo sounder, was applied.

Echo sounder is a device designed to measure the level of liquids in open or closed reservoirs. During the measurement, the echo sounder has no direct contact with the measured medium. Measurement of the level using this echo sounder is done by measuring the time between emitting a pulse and receiving an echo. This time is converted by the electronics of the echo sounder into the output signal. Due to their short length, the waves can be focused and shaped into beams [6, 7].

The basic element of the echo sounder is an indicator which indicates the measured depth. It consists of a transmitter and a receiver. Transmitting channel consists of a pulse generator and a sound transmitter and receiving channel consists of a receiving transducer and an amplifier of received pulses.

A pulse from the indicator is sent to the transmitter, where the time of output signal is indicated, marked in Figure 1 as t_w . The pulse is converted into ultrasonic energy which, in the form of acoustic signal, is radiated towards the bottom. When a pulse meets the surface, part of the energy reflects from the bottom and returns as an echo to the receiver submerged in water, which converts it back to an electrical pulse. After being amplified in the indicator, the pulse is transferred to the logger, where it acts as a marker of return time – t_p – of the acoustic signal, which is registered. The device records the time between sending and receiving a pulse, proportional to the measured distance.

R - registration unit
 G - generator
 W - amplifier
 N - transmitter/processor
 O - receiver/processor
 k - submersion of the system
 b - distance N-O

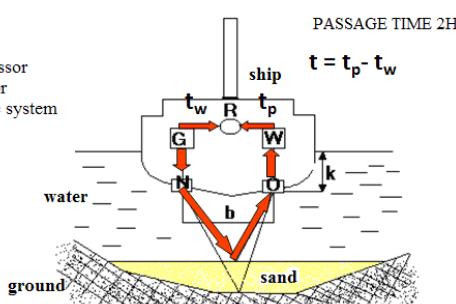


Fig. 1. Principle of operation of an echo sounder [2]

A modern echo sounder (Fig. 2), which uses very little power, was used for the measurement. It consists of: one or two transducers, a GPT (General Purpose Transceiver), as well as a standard laptop. The frequency of the transducers ranges from 38 to 710 kHz [8]. It is possible to use double transducers for parallel operation of two frequencies. GPT unit includes electronic systems of a transmitter and a receiver which are formatted for single or dual channel operation. The initial capacity of each of them is 300 W. Each sound is measured and then displayed. In order to demonstrate the echograms, a laptop is used, which connects to the GPT using a twisted pair. This enables a long distance between them, up to 100 m [9]. The echo sounder is equipped with a GPS satellite receiver.



Fig. 2. Echo sounder (source: [8])

The measurement using the echo sounder was supplemented with conventional surveying observations of all measured points, signalled simultaneously by a rod with a mirror signal (Fig. 3). Due to the intense vegetation in the lake, measurements made with an acoustic echo sounder were not entirely reliable; therefore calculations and analyses took into account results of measurements with a rod. In total, 147 probing points were designated, including 86 points with an acoustic echo sounder.



Fig. 3. Bathymetric measurement of the lake

The results of the measurement show that the maximum depth of the lake is 3.2 m. In the greater part of the lake this depth varies in the range of approx. 1.5 m to 2.5 m.

3. Tacheometric measurement of the part not filled with water

The basin, created as a result of mining activity, has a highly diversified shape. To implement this project, it was necessary to supplement the existing permanent geodetic control network (established earlier with reference to the state system) with additional posts (Fig. 4). As a result, control point was made up of 8 points, set up on the top and on the bottom of the basin, whose coordinates were determined by the GPS RTK method and by combined indentation.

All pickets in the part not filled with water were measured with tacheometric method. Tacheometry was used because of the terrain shape – GNSS measurement was impossible (no satellite signal due to the extensive cover of the area). The measurement was conducted with mirror and mirrorless methods, which was caused by the fact that not all places were available for measurement. Location of points was determined with the polar method, and height – based on trigonometric levelling.

Measurements were performed with the use of an electronic total station TOPCON QS1A, operating in automatic and manual reflectorless mode. Using the appliance was possible thanks to the purchase within the project "Retrofitting laboratories assisting the teaching process in the course of study at Environmental Engineering and Geodesy and Cartography Faculties

at Kielce University of Technology", the project co-financed by the European Union under the European Regional Development Fund Operational Programme Świętokrzyskie Voivodship for the years 2007-2013.

Tacheometry included measurement of all specific details of the basin terrain, that is all creases, concavities and convexities of land or sudden lowering of the ridges. Efforts were also made to consider the existing diversification of the ridge the basin shoreline during measurement. Pickets were evenly distributed throughout the area, averagely at a distance of 10.00 meters. In the areas where the terrain was more diversified, they were concentrated in order to accurately reproduce the shape of the measured area.



Fig. 4. Location of control points (map according to [10])

Red colour – existing control point, blue colour – set control point

Overall, in the part not filled with water, 414 points were designated, distributed evenly throughout the excavation area. A list of land survey and height coordinates was created with WinKalk. Arrangement of pickets is shown in Figure 5.

In order to check the accuracy of total station measurements and to determine their accuracy, two points from each station were selected and measured also from the adjacent station. They pointed at a stuck measuring shield, a pole with a mirror or in a specific characteristic place.



Fig. 5. Sketch of arrangement of the pickets and the control points [1]

4. Determining the volume of the basin

The main principle in calculating the volume of the basin in the Kadzielnia Reserve was presenting it in the form of an irregular block, and then dividing it into elementary geometric solids. This activity is carried out in order to achieve high accuracy of determining the volume.

The volume of irregular solids can be calculated using engineering software, such as WinKalk, Surfer, C-Geo and AutoCAD. In this study Surfer and C-Geo were used. Each of these programs calculates the volume with a different method, which involves different ways of carrying out calculations (based on the grid of squares and triangles). The results were presented in the form of spatial models of the basin, a model of a depression based on interpolation of contour lines and a map showing the shape of the bottom of the lake using an isoline (Fig. 6-9). Obtained values are reliable and they can serve as a basis for further implementing activities.

Calculation of the volume of the basin was done separately for the whole basin and for parts filled with water and not filled with water.

Obtained results of the volume of the part filled with water [1-3]:

- C-GEO – 23.006.71 m³,
- Surfer – 22.569.58 m³,
- Difference in volume – 437.13 m³,
- Percentage difference – 1.94%.

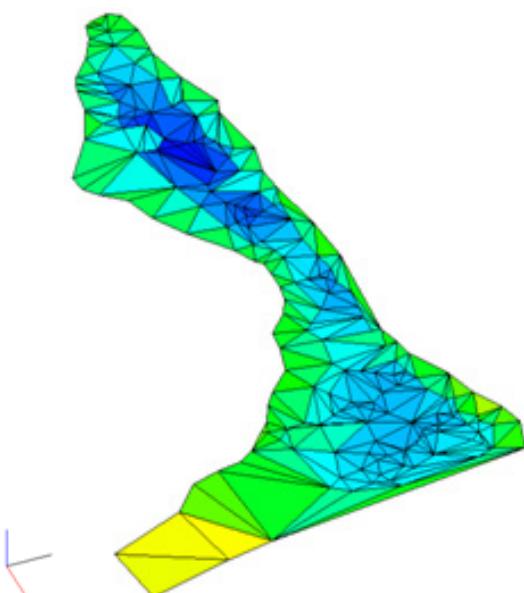


Fig. 6. Model of the part filled with water [1, 2]

The volume of the part not filled with water [1-3]:

- C-GEO – 286.059.40 m³,
- Surfer – 276.861.36 m³,
- Difference in volume – 9.198.04 m³,
- Percentage difference – 3.32%.

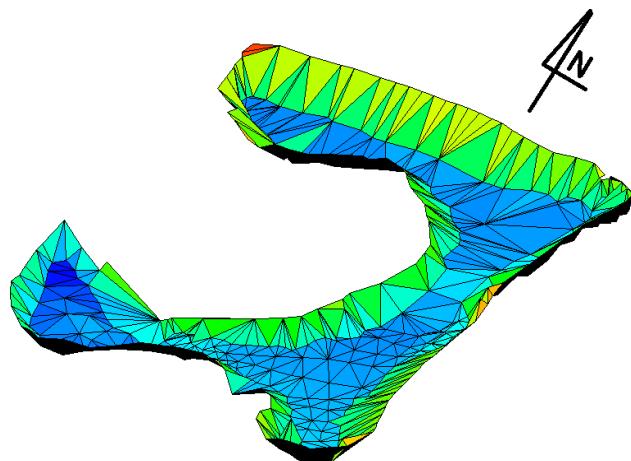


Fig. 7. Model of the part not filled with water [1, 2]

Total volume of the basin [1-3]:

- C-GEO – 309 066.11 m³,
- Surfer – 299 430.94 m³,
- Difference in volume – 9 635.17 m³,
- Percentage difference – 3.22%.

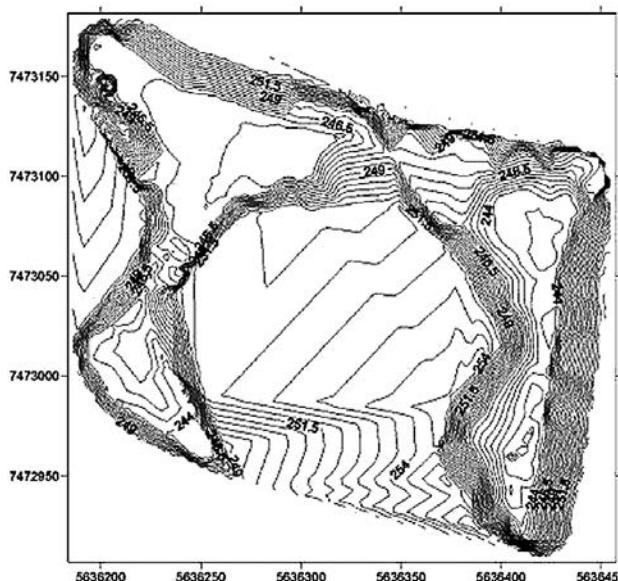


Fig. 8. Model of the basin based on the interpolation of contour lines made in Surfer [2]

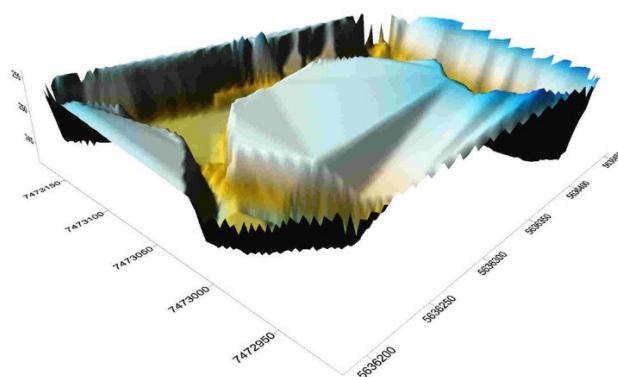


Fig. 9. Spatial model of the basin made in Surfer [2]

Error of measuring the volume was determined based on errors in the position of pickets (calculated from the differences of coordinates of control points) and formulas used by Surfer and C-Geo. The mean error of determining the volume of the part filled with water was (rounded) $\pm 400 \text{ m}^3$, and for the part not filled with water $\pm 2000 \text{ m}^3$. Total error of determining the entire volume of the basin is approximately $\pm 2040 \text{ m}^3$.

It should be noted that the above error is only internal, within the limits determined by the measured pickets. This does not include a far greater error of defining the boundaries of the basin, incorporating an error resulting from subjective interpretation of the area. This error can be estimated as at least $10,000 \text{ m}^3$; which corresponds to approximately the difference obtained in the calculation of the volume of the basin by means of two programs

(Surfer and C-GEO). This difference is caused by a difference in algorithms used for calculation and, above all, the way of modelling the area.

5. Conclusions

Calculation of the volume of the basin related to its part which was filled with water and to the part which was not filled with water. To determine the volume, bathymetric measurement was used for the part filled with water, supplemented by the appointment of probing sites using tacheometry and tacheometric measurement of the part not filled with water, completed by observations in the GNSS satellite technology.

1. Due to the large accumulation of slime/silt, as well as underwater vegetation, rush and reed, bathymetric measurement method with an echo sounder proved to be ineffective. The basis for further works were the results of the tacheometric observations of probing sites.
2. Determination of the volume of the basin was based on the measured coordinates of 561 pickets, including 147 probing sites in the part filled with water. Error of determining the coordinates of the pickets was assessed based on the differences between the coordinates of the control points, whose position was determined independently from two different positions. The mean square errors were respectively: along the x and y axes: $m_x = 0.023 \text{ m}$, $m_y = 0.026 \text{ m}$; the mean error of position $m_p = 0.030 \text{ m}$; the mean error of measuring height $m_h = 0.022 \text{ m}$; the mean error of the spatial position $m_{prz} = 0.037 \text{ m}$.
3. The measurement results of both parts of the basin were developed in two programs: Surfer and C-GEO. The volume of the part filled with water (rounded) is 23.000 m^3 . The maximum depth of the lake reaches 3.2 m and it is located in its southern part. The volume of the part not filled with water is (rounded) 277.000 m^3 . The results of calculations using two programs differ by about 3.3%; it is the result of different calculation algorithms and methodological assumptions when calculating the volume. The total volume of the basin can be estimated at about 300.000 m^3 .
4. Based on the values of the mean errors of determining the coordinates of the points, error of determining the volume of the basin was initially estimated, which is: for the part filled with water $m_v = \pm 400 \text{ m}^3$, for the part not filled with water $m_v = 2.000 \text{ m}^3$. These errors do not include inaccuracies resulting from the subjective determination of the part of the basin not filled with water.

5. The final results of the study are: calculated volume, designated errors, calculated coordinates, spatial models of the basin, model of a depression based on the interpolation of contour lines and an indicative map, showing isobathic lines of the relief of the bottom of the lake.

References

- [1] Klimczyk P., Ptak J.: *Określenie objętości częściowo zawodnionej niecki na terenie Kadzielnia wraz z pomiarem batymetrycznym*, Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [2] Sawadro K., Stępień A.: *Pomiar kształtu i objętości niecki na terenie Kadzielnia z wykorzystaniem metod geodezyjnych i batymetrycznych*, Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [3] Siarek A., Walkiewicz K.: *Wykonanie pomiaru objętości niecki na terenie Kadzielnia z zastosowaniem metod geodezyjnych i batymetrycznych*, Engineer's thesis (under supervision of J. Szewczyk), Kielce University of Technology, Kielce 2015.
- [4] Duma P. et al.: *Study of the condition of the selected landslides in the area of Kadzielnia*, Structure and Environment, Kielce University of Technology (in print).
- [5] Kowalczyk L. et al.: *Study of the condition of the selected underground caves in Kadzielnia area*, Kielce, Structure and Environment, Kielce University of Technology, 1 (2016), pp. 64-73.
- [6] Szewczyk J.: *Sondy ultradźwiękowe w geodezji*, not published, no released year.
- [7] Pielok J.: *Geodezja górnicza*, AGH, Kraków 2011.
- [8] <www.ris-project.info/pl/show/content/id/72>
- [9] <www.gospodarkamorska.pl/artykuly/przeglad-metod-pomiarow-batymetrycznych-na-plytkich-wodach.html>
- [10] <www.geoportal.gov.pl>

Acknowledgements

Research for the article was funded by statutory research of the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering of Kielce University of Technology, No. 05.0.09.00/2.01.01.01.0022 MNSP.IKGO.15.006

Przemysław Klimczyk
Karol Krawczyk
Justyna Ptak
Karolina Sawadro
Aleksandra Siarek
Aleksandra Stępień
Jacek Szewczyk
Katarzyna Walkiewicz

Wyznaczenie kształtu i objętości niecki poeksploatacyjnej na terenie Kadzielnii w Kielcach

1. Wstęp

Znajdujący się w granicach administracyjnych Kielc rezerwat przyrody nieożywionej Kadzielnia jest pozostałością po trwającej około 200 lat działalności górniczej. Od lat 70. XVIII wieku wydobywano tu wapienie; eksploatację zakończono w 1962 r. W wyniku intensywnego wydobycia ze wzgórza pozostało tylko jego wschodnie zbocze, resztki zbocza południowo-zachodniego z przylegającą halłą (zwaną obecnie Wzgórzem Harcerskim) oraz oddzielona głębokim wyrobiskiem Skalka Geologów.

Wskutek eksploatacji górniczej i wydobywania skał wapiennych w jej północnej części powstały głębokie wyrobiska, które zalewane były w najniższym ich poziomie wodami podziemnymi. Utworzyły one Jezioro Szmaragdowe, którego nazwa pochodzi od jego niepowtarzalnej barwy. W latach 80. w wyniku obniżenia się poziomu wód gruntowych jezioro w znacznej części wyschło, a obecnie jego głębokość nie przekracza 4 m. Od pewnego czasu powstają projekty odtworzenia jego pierwotnej formy, polegające na wypełnieniu niecki wodą. Dla określenia realno-

ści tego przedsięwzięcia niezbędne jest wyznaczenie objętości niecki. Brak jest bowiem w oficjalnych naukowych opracowaniach danych, określających ten najistotniejszy z punktu widzenia wspomnianych projektów parametr. Przeprowadzone badania miały zatem charakter innowacyjny.

Pomiary kształtu i objętości niecki, przedstawione w artykule, wykonane zostały w ramach badań statutowych działalności Studenckiego Koła Naukowego Geomatica oraz prac dyplomowych inżynierskich, obronionych w 2015 r. na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki [1-3], w powiązaniu z innymi pracami prowadzonymi w celu inwentaryzacji obszaru Kadzielniai [4, 5]. Ze względu na istnienie w niecce części zawodnionej oraz suchej (niezawodnionej) i związaną z tym konieczność stosowania odmiennych metod obserwacji wyodrębniono wyznaczenie objętości dla obu wymienionych części. Do pomiaru części zawodnionej wykorzystano metodę batymetryczną; w stosunku do części niezawodnionej zastosowano metodę tachimetryczną (za pomocą tachimetru skanującego), łącząc ją z technologią satelitarną RTK GPS dla wyznaczenia współrzędnych punktów osnowy geodezyjnej.

2. Pomiar batymetryczny części zawodnionej

W celu wyznaczenia kształtu i objętości części zawodnionej (pozostałości Jeziora Szmaragdowego) użyto metody batymetrycznej, opartej na zastosowaniu echosondy.

Sonda akustyczna to urządzenie przeznaczone do pomiaru poziomu cieczy w zbiornikach otwartych bądź zamkniętych. Podczas pomiaru sonda nie ma bezpośredniego kontaktu z mierzonym medium. Pomiar poziomu za pomocą tej sondy odbywa się na zasadzie pomiaru czasu pomiędzy wysłaniem impulsu pomiarowego a odebraniem echa. Czas ten jest przetwarzany przez elektronikę sondy na sygnał wyjściowy. W związku z małą długością fal można je ogniskować i kształtować w wiązki [6, 7].

Podstawowym elementem sondy jest indyktor, który wskazuje mierzoną głębokość. Składa się na niego system nadawczy i odbiorczy. Kanał nadawczy składa się z impulsatora i przetwornika nadawczego dźwięków, zaś kanał odbiorczy składa się z przetwornika odbiorczego oraz wzmacniacza impulsów odbieranych.

Impuls z indyktora zostaje wysłany do nadajnika, gdzie zaznaczony jest czas wyjścia sygnału oznaczony na rysunku 1 jako t_w . Impuls zostaje zamieniony na energię ultradźwiękową, która w postaci sygnału akustycz-

nego zostaje wypromieniowana w stronę dna. Napotkanie przez impuls powierzchni powoduje, że część energii odbija się od dna i powraca jako echo do zanurzonego w wodzie odbiornika, w którym zostaje z powrotem zamieniony na impuls elektryczny. Po wzmacnieniu w indyktorze impuls zostaje przekazany do rejestratora, gdzie spełnia rolę znacznika czasu t_p – powrotu sygnału akustycznego, który zostaje zarejestrowany. Aparatura notuje czas między wysłaniem a przyjęciem impulsu, proporcjonalny do mierzonej odległości.

Do pomiaru wykorzystano nowoczesną echosondę akustyczną (rys. 2), pobierającą bardzo mało mocy. W jej skład wchodzą: jeden lub dwa przetworniki, zespół nadawczo-odbiorczy GPT (General Purpose Transceiver), a także standardowy komputer przenośny. Częstotliwość dla przetworników sięga przedziału 38-710 kHz [6]. Istnieje możliwość wykorzystania podwójnych przetworników w celu równoległego działania na dwóch częstotliwościach. Zespół GPT obejmuje układy elektroniki nadajnika i odbiornika, które są formatowane do pracy jedno- lub dwukanałowej. Początkowa moc każdego z nich wynosi 300 W. Każdy odgłos jest zmierzony, a następnie wyświetlony. W celu przedstawienia echogramów korzysta się z przenośnego komputera, który łączy się z GPT za pomocą skrętek. Pozwala to na dużą odległość pomiędzy nimi, nawet do 100 m [8]. Sonda jest wyposażona w odbiornik satelitarny GPS.

Pomiar za pomocą sondy uzupełniano klasycznymi obserwacjami tachimetrycznymi wszystkich mierzonych punktów, sygnalizowanych równocześnie za pomocą tyczki z sygナル lustrowym (rys. 3). Ze względu na intensywną roślinność w jeziorze pomiary wykonywane sondą akustyczną nie były całkowicie wiarygodne; w obliczeniach i analizach uwzględniono zatem wyniki pomiarów za pomocą tyczki. Ogółem wyznaczono położenie 147 miejsc sondowania, w tym 86 punktów za pomocą sondy akustycznej.

Z rezultatów pomiaru wynika, że maksymalna głębokość jeziora osiąga 3,2 m. Na większej części jeziora głębokość ta waha się w granicach od ok. 1,5 m do 2,5 m.

3. Pomiar tachimetryczny części niezawodnionej

Powstała w wyniku działalności górniczej niecka ma bardzo zróżnicowany kształt. Do realizacji tego przedsięwzięcia konieczne było uzupełnienie istniejącej trwałej osnowy geodezyjnej (założonej wcześniej z nawiązaniem do układu państwowego) o dodatkowe stanowiska (rys. 4). W rezultacie osnowę stanowiło 8 punktów, założonych na górze oraz na

dole niecki, których współrzędne wyznaczono metodą RTK GPS oraz metodą wcięcia kombinowanego.

Wszystkie pikiety w części niezawodnionej pomierzono metodą tachimetryczną. Tachimetrią posłużono się ze względu na ukształtowanie terenu – niemożliwy był pomiar GNSS (brak sygnału satelitarnego spowodowany dużymi przesłonięciami terenu). Pomiar odbywał się metodą lustrową i bezlustrową, na co wpływ miał fakt, że nie wszystkie miejsca były dostępne do pomiaru. Położenie sytuacyjne punktów wyznaczono metodą biegunkową, a wysokości – w oparciu o niwelację trygonometryczną.

Tachimetr użyty do pomiaru został zakupiony w ramach projektu „Doposażenie laboratoriów wspomagających proces dydaktyczny kierunku inżynierii środowiska oraz geodezji i kartografii w Politechnice Świętokrzyskiej”, współfinansowanego przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Świętokrzyskiego na lata 2007-2013.

Tachimetria obejmowała pomiar wszystkich charakterystycznych szczegółów terenowych niecki, jakimi były wszelkie załamania, wklęsłości oraz wypukłości terenu lub nagłe obniżenia krawędzi. Starano się również uwzględnić przy pomiarze występujące zróżnicowanie krawędzi linii brzegowej zbiornika wodnego. Pikiety na całym obszarze były rozmiieszczane równomiernie, w odległości wynoszącej średnio 10,00 m. W miejscowościach, gdzie rzeźba terenu była bardziej zróżnicowana, zagęszczano je, aby wiernie odwzorować kształt mierzonego obszaru.

Ogółem w części niezawodnionej wyznaczono położenie 414 punktów, rozmieszczonego regularnie na terenie całego wyrobiska. Wykaz współrzędnych sytuacyjno-wysokościowych otrzymano, korzystając z programu WinKalk. Rozmieszczenie pikiet pokazano na rysunku 5.

W celu skontrolowania prawidłowości pomiarów tachimetrycznych oraz wyznaczenia ich dokładności wybrano po dwa punkty z każdego stanowiska i pomierzono je również z sąsiedniego stanowiska. Celowano w przyklejoną tarczę dalmierzową, tyczkę z lustrem lub konkretne charakterystyczne miejsce.

4. Wyznaczenie objętości niecki

Główną zasadą przy obliczaniu objętości niecki na terenie rezerwatu Kadzielnia było przedstawienie jej w postaci bryły nieregularnej, a następnie podzielenie na elementarne bryły geometryczne. Wykonanie takiej czynności dokonuje się w celu osiągnięcia wysokiej dokładności wyznaczenia objętości.

Obliczenie objętości bryły nieregularnej można wykonać za pomocą programów inżynierskich, takich jak WinKalk, Surfer, C-Geo i AutoCAD. W opracowaniu wykorzystano ostatecznie Surfer i C-Geo. Każdy z nich pozwala na obliczenie objętości inną metodą, co wiąże się z różnym przeprowadzeniem obliczeń (na podstawie siatki kwadratów i trójkątów). Uzyskane wyniki przedstawiono w formie modeli przestrzennych niecki, modelu zagłębiania opartego o interpolacje warstwic oraz mapy przedstawiającej ukształtowanie dna jeziora za pomocą izolinii (rys. 6-9). Otrzymane wartości są wiarygodne i mogą stanowić podstawę do dalszych działań realizacyjnych.

Obliczenie objętości niecki zostało wykonane dla całości niecki oraz oddzielnie dla części zawodnionej i niezawodnionej.

Uzyskane wyniki objętości części zawodnionej [1-3]:

- program C-GEO – 23 006,71 m³,
- program Surfer – 22 569,58 m³,
- różnica objętości – 437,13 m³,
- różnica procentowa – 1,94%.

Objętość części niezawodnionej [1-3]:

- program C-GEO – 286 059,40 m³,
- program Surfer – 276 861,36 m³,
- różnica objętości – 9 198,04 m³,
- różnica procentowa – 3,32%.

Całkowita objętość niecki [1-3]:

- program C-GEO – 309 066,11 m³,
- program Surfer – 299 430,94 m³,
- różnica objętości – 9 635,17 m³,
- różnica procentowa – 3,22%.

Błąd wyznaczenia objętości określono na podstawie błędów położenia pikiet (obliczonych z różnic współrzędnych dla punktów kontrolnych) oraz wzorów, którymi posługują się zastosowane programy Surfer i C-Geo. Otrzymano średni błąd wyznaczenia objętości części zawodnionej (w zaokrągleniu) ± 400 m³, dla części niezawodnionej ± 2000 m³. Sumaryczny błąd wyznaczenia objętości całej niecki wynosi około ± 2040 m³.

Należy zauważyć, że powyższy błąd jest jedynie błędem wewnętrznym, w granicach określonych pomierzonymi pikietami. Nie jest tu uwzględniony daleko większy błąd wyznaczenia granic niecki, zacierający w sobie błąd wynikający z subiektywnej interpretacji terenu. Błąd ten można oszacować na co najmniej 10 000 m³; odpowiada to w przybliżeniu różnicę otrzymanej podczas obliczenia objętości niecki za pomocą dwóch programów (Surfer i C-GEO). Różnicę tę spowodowała odmienność

algorytmów zastosowanych do obliczeń, a przede wszystkim sposób modelowania obszaru.

5. Wnioski

1. Obliczenie objętości niecki dotyczyło jej zawodnionej oraz niezawodnionej części. Dla wyznaczenia objętości zastosowano pomiar batymetryczny części zawodnionej, wraz z wyznaczeniem miejsc sondowania za pomocą tachimetrii, oraz pomiar tachimetryczny części niezawodnionej, uzupełniony obserwacjami w technologii satelitarnej GNSS.
2. Ze względu na duże nagromadzenie mułu, a także podwodnej roślinności, sitowia i szuwar metoda pomiaru batymetrycznego sondą akustyczną okazała się mało skuteczna. Podstawę do dalszych prac stanowiły rezultaty tachimetrycznej obserwacji miejsc sondowania.
3. Wyznaczenie objętości niecki oparto na pomierzonych współrzędnych 561 pikiet, w tym 147 miejsc sondowania części zawodnionej. Błąd wyznaczenia współrzędnych pikiet oceniono na podstawie różnic między współrzędnymi punktów kontrolnych, których położenie wyznaczano niezależnie z dwóch różnych stanowisk. Odpowiednie wielkości błędów średnich wynosiły: wzduż osi x i y: $m_x = 0,023 \text{ m}$, $m_y = 0,026 \text{ m}$; średni błąd położenia sytuacyjnego $m_p = 0,030 \text{ m}$; średni błąd wyznaczenia wysokości $m_h = 0,022 \text{ m}$; średni błąd położenia przestrzennego $m_{prz} = 0,037 \text{ m}$.
4. Wyniki pomiarów obu części niecki opracowano w dwóch programach: Surfer oraz C-GEO. Objętość części zawodnionej wynosi (w zaokrągleniu) $23\,000 \text{ m}^3$. Największa głębokość jeziora dochodzi do 3,2 m i znajduje się w jego południowej części. Wielkość objętości części niezawodnionej wynosi (w zaokrągleniu) $277\,000 \text{ m}^3$. Wyniki obliczeń za pomocą dwóch programów różnią się o około 3,3%; jest to skutek odmiennych algorytmów obliczeniowych i założeń metodycznych przy obliczaniu objętości. Sumaryczną objętość niecki można ocenić na około $300\,000 \text{ m}^3$.
5. Na podstawie wartości błędów średnich wyznaczenia współrzędnych punktów oszacowano wstępnie błąd określenia objętości niecki, wynoszący: dla części zawodnionej $m_v = \pm 400 \text{ m}^3$, dla części niezawodnionej $m_v = 2000 \text{ m}^3$. Błędy te nie uwzględniają niedokładności, wynikających z subiektywnego wyznaczenia granic niecki w części niezawodnionej.
6. Wynikiem ostatecznym pracy są: obliczona objętość, wyznaczone błędy, wyliczone współrzędne, modele przestrzenne niecki, model zagłębiania oparty o interpolacje warstwic oraz mapa poglądowa, przedstawiająca izobaty rzeźby dna jeziora.

MARIA NOWAK (Font size 10 pt Times New Roman)
Kielce University of Technology
e-mail: mmmm@tu.kielce.pl

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

Abstract

*The abstract should not exceed 10 lines. It should provide information about the objectives of the work, methods used and test results obtained in the course of the experiments/analyses.
(Font size 10 pt Times New Roman Italic)*

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

1. Introduction

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

2. Main text

2.1. General information

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

2.2. Figures

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

2.3. Tables

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

Table 1. Title of the table.

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

2.4. Equations

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

3. Conclusions

References (*arranged in the citing order*):

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

(Font size 10 pt Times New Roman)

Maria Nowak

Tytuł w języku polskim

1. Wprowadzenie

2. Tekst artykułu

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

3. Wnioski

THE REVIEW PROCESS

The following requirements need to be met by the paper:

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

