

# Metoda oceny alokacji objętości wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych na terenie województwa podkarpackiego według wskaźnika Simpsona

A method for assessing the allocation of water volume in the water network tanks in the Podkarpackie Voivodeship using the Simpson index

JANUSZ R. RAK, KRZYSZTOF BORYCZKO, MAGDALENA STRĘK

DOI 10.36119/15.2023.5.3

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę należy do infrastruktury krytycznej funkcjonowania aglomeracji miejskich. W związku z tym wymagane jest zapewnienie bezpieczeństwa dostawy wody do spożycia przez wodociąg publiczny. Podstawowymi elementami w tym zakresie jest dywersyfikacja liczby ujęć wody w podsystemie dostawy oraz alokacja objętości wody związana z daną liczbą zbiorników w systemie dystrybucji.

W sieciowych zbiornikach wodociągowych jest magazynowana woda, gdy jej ilość dostarczana z zakładu uzdatniania wody przez pompownię II stopnia przewyższa zapotrzebowanie na wodę w danej miejscowości, pobierana jest natomiast w czasie występowania większego zapotrzebowania na wodę niż możliwości jej dostawy. W pracy przedstawiono metodę oceny alokacji wody wodociągowej według wskaźnika Edwarda H. Simpsona. Obliczenia zaprezentowano dla wybranych 11 miast w Polsce. Opracowano 5-stopniową kategoryzację i skalę oceny stopnia alokacji objętości wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych. Na tej podstawie dokonano analizy oceny stopnia alokacji objętości wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych w badanych miastach.

*Słowa kluczowe: zaopatrzenie w wodę, zbiorniki wodociągowe, stopień alokacji*

The collective water supply system belongs to the critical infrastructure of the cities functioning. This requires the safety of the water supply for consumption through the public water supply system. The basic elements in this area are the diversification of the number of water intakes in the supply subsystem and the allocation of water volume related to the number of tanks in the distribution system. Water in water supply tanks is stored when its amount supplied from the water treatment plant by the high lift pumping station exceeds the demand for water in a given city during the day, whereas it is taken at times when there is an increased demand for water in relation to the ability to supply it. This paper presents a method to evaluate water allocation in network water tanks according to the Edward H. Simpson index. The calculation of allocation ratios was presented for 11 selected cities in Poland. A five-stage categorization and a scale to assess the degree of water volume allocation in network water supply tanks were developed. On this basis, an assessment of the degree of allocation of water volume in network water supply tanks was made in the examined cities.

*Keywords: water supply, water tanks, degree of allocation*

## Wstęp

Woda jest jednym z najważniejszych zasobów naturalnych, a jej zapewnienie w odpowiedniej jakości i ilości jest kluczowe dla rozwoju społeczno-gospodarczego każdego miasta. Jednym z największych wyzwań, przed jakim stoją współczesne aglomeracje, jest zapewnienie dostawy wody dla stale rosnącej liczby mieszkańców. W przypadku awarii w podsystemie dystrybucji wody, możliwość uzyskania alternatywnych źródeł

wody jest kluczowa w utrzymaniu ciągłości jej dostawy [10,11,12]. W takiej sytuacji alokacja wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych staje się niezbędna w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa oraz niezawodności dostawy wody do odbiorców. Strategia dywersyfikacji zaliczana jest do metod sprzyjających niezawodnemu i bezpiecznemu działaniu systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW). Najbardziej efektywne strategie dywersyfikacji dotyczą liczby ujęć wody, sieciowych zbiorników wodociągowych,

magistral oraz liczby pompowni i przepompowni wodociągowych [1,2,3,7]. Realizacja tego zadania wymaga alokacji (rozmieszczenia, rozłożenia, rozlokowania) rezerwowych objętości wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych. Głównym celem alokacji zasobów wodnych jest zapewnienie dostaw odpowiedniej ilości wody użytkownikom we właściwym czasie oraz maksymalizacja wykorzystania zasobów wodnych [8, 9].

Już kilkaset lat przed naszą erą budowniczy zakładali zasilanie miasta

Prof. dr hab. inż. Janusz R. Rak orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7713-5841>, dr inż. Krzysztof Boryczko orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6690-3577>, mgr inż. Magdalena Stręk – Politechnika Rzeszowska  
Adres do korespondencji/ Corresponding author: [rakjan@prz.edu.pl](mailto:rakjan@prz.edu.pl)

w wodę z kilku źródeł. Miasto Petra posiadało zaawansowany systemy zbiorników i zapór, które pozwalały na magazynowanie i rozprowadzanie wody przez gliniane rury. Znaczny przyrost mieszkańców spowodował konieczność rozbudowy systemu dostawy wody w oparciu o zbiorniki retencyjne, cysterny i doprowadzające do nich kanały. Cysterny to starożytne zbiorniki do gromadzenia i przechowywania wody. Jedną z największych była Cysterna Bazyliki wybudowana w VI wieku za panowania cesarza bizantyjskiego Justynina I, która wciąż znajduje się w podziemiach Stambułu. Jej głównym zadaniem było zapatrywanie w wodę pałacu cesarskiego na wypadek wojny lub zatrucia wody z akweduktów. Zbiornik jest podziemną komnatą o wymiarach w planie 143x65 m i pojemności 84 000 m<sup>3</sup> wody. Sklepienie cysterny jest podparte 336 marmurowymi kolumnami ustawionymi w 12 rzędach po 28 kolumn i wysokimi na 9 m. Woda do cysterny dostarczana była akweduktami Buzdogan i Malovaz z odległego o 19 km źródła. Do współczesnych czasów przetrwała także m.in. Cysterna Teodozjusza II o pojemności 10 000 m<sup>3</sup> i Cysterna Filoksenosa o pojemności 40 000 m<sup>3</sup> [1].

Sieciowe zbiorniki wodociągowe odgrywają istotną rolę w funkcjonowaniu każdego SZZW [5,6]. Ich obecność, pojemność i położenie wpływają na charakter pracy większości obiektów i urządzeń wodociągowych zwiększając niezawodność i bezpieczeństwo SZZW. Zadaniem sieciowych zbiorników wodociągowych jest wyrównanie dostawy wody w cyklu dobowym, stabilizacja ciśnienia w obszarze zasilania oraz gromadzenie przeciwpożarowego i awaryjnego zapasu wody. Pojemność całkowita zbiorników składa się z sumy pojemności wyrównawczej (użytkowej) oraz asekuracyjnej (rezewowej) przeznaczonej na wypadek awarii lub pożaru. Zbiorniki gromadzą wodę w godzinach zmniejszonego zapotrzebowania i oddają do systemu w czasie zwiększonych poborów. W przypadku krytycznych awarii, jeżeli zgromadzone w nich objętości wody są odpowiednio duże można je traktować jako dodatkowe źródło wody. Sytuacje awaryjne, którymi może być np. skażenie wody w źródle, awarie na ujęciach, awarie urządzeń do uzdatniania czy też pompowni mogą być kompensowane przez dostawę wody z sieciowych zbiorników w ograniczonym przedziale czasowym. Zakres tego przedziału jest zależny od ilości rezerwowej objętości wody zgromadzonej w zbiorniku. Całkowita pojemność wody w zbiorniku wg różnych źródeł powinna wynosić

30 – 50% Q<sub>dmax</sub>, przy czym pojemność asekuracyjna 25-33% Q<sub>dmax</sub> [1,5,6].

W celu minimalizacji skutków i zasięgu potencjalnych awarii oprócz zwiększenia objętości rezerwowanej wody w systemie równie ważna jest odpowiednia lokalizacja przestrzenna zbiorników. Dywersyfikacja w odniesieniu do systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę według K. Knapika i R. Płoskonki polega na różnym rozmieszczeniu sieciowych zbiorników wodociągowych z uwzględnieniem obszarowych poborów wody [5]. J. Rak i K. Boryczko podali metody oceny dywersyfikacji w odniesieniu do źródeł poboru wody, przewodów magistralnych i sieciowych zbiorników wodociągowych [1]. Obecnie badania nad metodami alokacji zasobów wodnych stają się przedmiotem zainteresowania coraz większej liczby badaczy na całym świecie [4,13,14]. Alokacja zasobów wody w zbiornikach wodociągowych sprzyja zaopatrzeniu ludności w wodę do spożycia, pomimo braku jej dostawy z ujęć i zakładów uzdatniania wody.

Celem pracy jest przedstawienie metody oceny stopnia alokacji objętości wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych, co ma istotny wpływ na funkcjonowanie całego SZZW, szczególnie w sytuacjach kryzysowych.

## Metodyka badań

Oceny alokacji wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych dokonano

według wskaźnika Edwarda Hugh Simpsona dla 11 miast województwa podkarpackiego.

Edward H. Simpson urodził się w 1922 roku. Był brytyjskim łamaczem szyfrów, statystykiem i urzędnikiem państwowym. Studiował matematykę i statystykę na Uniwersytecie w Belfaście i Cambridge. W latach 1942-1945 pracował jako kryptoanalityk w Bletchley Park – brytyjskiej centrali łamania kodów podczas II wojny światowej. Od 1947 roku pracował w brytyjskim Ministerstwie Edukacji oraz Commonwealth Education Liaison Unit. Opracowany przez niego wzór został zaadaptowany do określania alokacji wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych [1]:

$$d_s = 1 - \sum_{i=1}^m u_i^2 \quad (1)$$

gdzie:

$u_i$  – udział objętości i-tego zbiornika wodociągowego w stosunku do całkowitej objętości zbiorników wodociągowych,

$m$  – liczba zbiorników sieciowych.

Udział i-tego SZbW określony jest wzorem:

$$u_i = \frac{V_i}{V} \quad (2)$$

gdzie:

$V_i$  – objętość wody w i-tym SZbW [m<sup>3</sup>],  
 $V$  – całkowita objętość wody w podsystemie gromadzenia wody (=PsGrW)[m<sup>3</sup>],

Tabela 1. Zestawienie wartości wskaźnika Simpsona dla zbiorników o takich samych objętościach  
 Tab.1. Dataset of Simpson's index values for network tanks of the same volume

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20
$u_i$	1	0,5	0,33	0,25	0,2	0,17	0,14	0,125	0,11	0,1	0,05
$d_s$	0	0,5	0,67	0,75	0,80	0,83	0,86	0,875	0,89	0,90	0,95

Tabela 2. Zestawienie wartości liczbowych wskaźników Simpsona dla dwóch zbiorników sieciowych o różnej objętości  
 Tab.2. Dataset of Simpson's index values for two network tanks of different volumes

m=2	$u_1 = 0,5$ $u_2 = 0,5$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,4$	$u_1 = 0,7$ $u_2 = 0,3$	$u_1 = 0,8$ $u_2 = 0,2$	$u_1 = 0,9$ $u_2 = 0,1$	$u_1 = 0,95$ $u_2 = 0,05$	$u_1 = 0,99$ $u_2 = 0,01$
$d_s$	0,5	0,48	0,42	0,32	0,18	0,095	0,0198

Tabela 3. Zestawienie wartości liczbowych wskaźników Simpsona dla trzech zbiorników sieciowych o różnej objętości  
 Tab.3. Dataset of Simpson's index values for three network tanks of different volumes

m = 3	$u_1 = 0,33$ $u_2 = 0,33$ $u_3 = 0,33$	$u_1 = 0,4$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,3$	$u_1 = 0,5$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,2$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,1$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,2$	$u_1 = 0,7$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,1$	$u_1 = 0,8$ $u_2 = 0,1$ $u_3 = 0,1$
$d_s$	0,667	0,66	0,62	0,54	0,56	0,46	0,34

Tabela 4. Zestawienie wartości liczbowych wskaźników Simpsona dla czterech zbiorników sieciowych o różnej objętości  
 Tab.4. Dataset of Simpson's index values for four network tanks of different volumes

m = 4	$u_1 = 0,25$ $u_2 = 0,25$ $u_3 = 0,25$ $u_4 = 0,25$	$u_1 = 0,3$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,2$ $u_4 = 0,2$	$u_1 = 0,4$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,15$ $u_4 = 0,15$	$u_1 = 0,5$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$	$u_1 = 0,7$ $u_2 = 0,1$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$
$d_s$	0,75	0,74	0,705	0,64	0,58	0,48

przy czym:  $u_i \in (0, 1]$

$$\sum_{i=1}^m u_i = 1 \quad (3)$$

W tabeli 1 zestawiono wartości liczbowe wskaźnika Simpsona dla zbiorników o równych udziałach w dostawie wody i równych udziałach objętości wody.

Tabele 2÷5 przedstawiają wartości wskaźnika Simpsona dla różnej liczby zbiorników i różnych udziałów objętości wody obliczonych zgodnie z równaniem (1).

Analizując tabele 2÷5 zauważono, że rosnąca liczba zbiorników sieciowych nie oznacza, że wskaźnik  $d_s$  też będzie wzrastał. Dowolna kombinacja przejścia z dwóch zbiorników na trzy lub więcej daje zwiększenie stopnia alokacji, w przypadku w miarę zrównoważonych ich

**Tabela 5. Zestawienie wartości liczbowych wskaźników Simpsona dla pięciu zbiorników sieciowych o różnej objętości**  
*Tab.5. Dataset of Simpson's index values for five network tanks of different volumes*

m = 5	$u_1 = 0,2$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,2$ $u_4 = 0,2$ $u_5 = 0,2$	$u_1 = 0,3$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,2$ $u_4 = 0,1$ $u_5 = 0,1$	$u_1 = 0,4$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$ $u_5 = 0,1$	$u_1 = 0,5$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$ $u_5 = 0,1$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,1$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$ $u_5 = 0,1$	$u_1 = 0,8$ $u_2 = 0,05$ $u_3 = 0,05$ $u_4 = 0,05$ $u_5 = 0,05$
$d_s$	0,8	0,76	0,72	0,68	0,60	0,35

udziałów. W przypadkach dużego zróżnicowania udziałów zwiększenie liczby zbiorników nie zawsze wpływa na zwiększenie stopnia alokacji. Poniżej przedstawiono kategoryzację i skalę oceny stopnia alokacji zasobów wody:

Kategoria alokacji	Skala oceny stopnia alokacji
brak alokacji	$d_s = 0$ dla $m = 1$
mąta alokacja	$0 < d_s \leq 0,3$
średnia alokacja	$0,3 < d_s \leq 0,4$
wystarczająca alokacja	$0,4 < d_s \leq 0,6$
zadawalająca alokacja	$d_s \geq 0,6$

### Obliczenia wskaźnika alokacji wg Simpsona dla wybranych SZZW

Obliczenia dla miasta Rzeszowa przeprowadzono dwuwariantowo. Miasto dysponuje 18 sieciowymi zbiornikami wodociągowymi, z czego w eksploatacji znajduje się 14 z nich, a 4 pozostają w rezerwie gorącej (będą obsługiwać Park Naukowy – Technologiczny Rzeszów – Dworzysko).

Wariant I: liczba zbiorników wodociągowych:  $m=18$

$u_1 = 0,056$	$u_7 = 0,056$	$u_{13} = 0,006$
$u_2 = 0,056$	$u_8 = 0,056$	$u_{14} = 0,006$
$u_3 = 0,286$	$u_9 = 0,333$	$u_{15} = 0,014$
$u_4 = 0,011$	$u_{10} = 0,003$	$u_{16} = 0,014$
$u_5 = 0,034$	$u_{11} = 0,003$	$u_{17} = 0,014$
$u_6 = 0,034$	$u_{12} = 0,004$	$u_{18} = 0,014$

$$d_s = 1 - (2 \cdot 0,056^2 + 0,286^2 + 0,11^2 + 2 \cdot 0,034^2 + 2 \cdot 0,056^2 + 0,333^2 + 2 \cdot 0,003^2 + 0,004^2 + 2 \cdot 0,006^2 + 4 \cdot 0,014^2) = 0,791$$

kategoria alokacji wg wskaźnika Simpsona: zadawalająca

Wariant II: liczba zbiorników wodociągowych:  $m=14$

$u_1 = 0,059$	$u_7 = 0,060$	$u_{13} = 0,006$
$u_2 = 0,059$	$u_8 = 0,060$	$u_{14} = 0,006$
$u_3 = 0,302$	$u_9 = 0,352$	
$u_4 = 0,012$	$u_{10} = 0,003$	
$u_5 = 0,036$	$u_{11} = 0,003$	
$u_6 = 0,036$	$u_{12} = 0,004$	

$$d_s = 1 - (2 \cdot 0,059^2 + 0,302^2 + 0,012^2 + 2 \cdot 0,036^2 + 2 \cdot 0,060^2 + 0,352^2 + 2 \cdot 0,003^2 + 0,004^2 + 2 \cdot 0,006^2) = 0,772$$

kategoria alokacji wg wskaźnika Simpsona: zadawalająca.

Obliczenia dla pozostałych analizowanych SZZW przedstawiono w tab. 6 i na rys. 1.

Na podstawie analizy rys. 1 można stwierdzić:

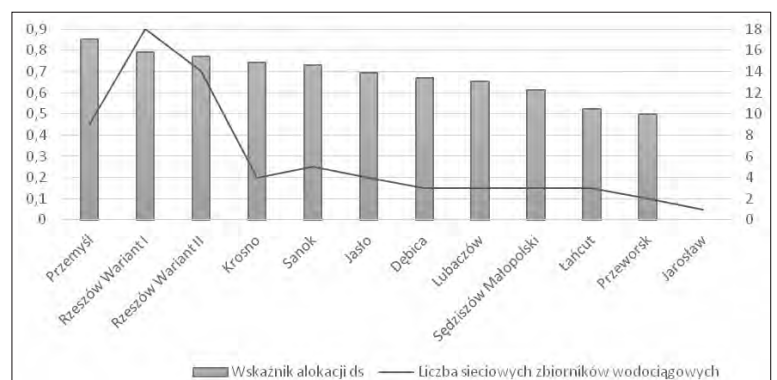
- największą wartość wskaźnika alokacji otrzymano dla miasta Przemysła dysponującego 9 zbiornikami wodociągowymi,
- w przypadku miasta Rzeszowa dwuwariantowa analiza nie wykazała istotnego wpływu na wartość wskaźnika alokacji w sytuacji mniejszej liczby zbiorników wodociągowych (wariant II), w każdym wariantcie uzyskano wystarczający stopień alokacji,
- w ośmiu SZZW (Jasło, Krosno, Dębica, Lubaczów, Przemysł, Sędziszów Młp., Sanok) stwierdzono zadawalający stopień alokacji,

**Tabela 6. Obliczenia wskaźnika alokacji wody wg wskaźnika Simpsona dla wybranych miast**  
*Tab.6. Calculations of the water allocation index according to Simpson's index for selected cities*

Miasto	m, $u_i$	Wskaźnik alokacji $d_s$	Kategoria alokacji
Jasło	$m=4$ $u_1=0,132$ $u_2=0,132$ $u_3=0,368$ $u_4=0,368$	0,695	zadawalająca
Krosno	$m=4$ $u_1=0,292$ $u_2=0,292$ $u_3=0,21$ $u_4=0,21$	0,742	zadawalająca
Dębica	$m=3$ $u_1=0,333$ $u_2=0,333$ $u_3=0,333$	0,667	zadawalająca
Lubaczów	$m=3$ $u_1=0,385$ $u_2=0,385$ $u_3=0,230$	0,652	zadawalająca
Przemysł	$m=9$ $u_1=0,055$ $u_2=0,055$ $u_3=0,093$ $u_4=0,093$ $u_5=0,231$ $u_6=0,231$ $u_7=0,092$ $u_8=0,092$ $u_9=0,055$	0,851	zadawalająca
Sędziszów Małopolski	$m=3$ $u_1=0,143$ $u_2=0,428$ $u_3=0,428$	0,614	zadawalająca
Łańcut	$m=3$ $u_1=0,179$ $u_2=0,179$ $u_3=0,642$	0,524	wystarczająca
Jarosław	$m=1$ $u_1=1$	0	brak
Przeworsk	$m=2$ $u_1=0,5$ $u_2=0,5$	0,5	wystarczająca
Sanok	$m=5$ $u_1=0,170$ $u_2=0,339$ $u_3=0,339$ $u_4=0,051$ $u_5=0,102$	0,729	zadawalająca

- wystarczający stopień alokacji ustalono dla SZZW miasta Przeworsk i Łańcut,
- w SZZW miasta Jarosław stwierdzono brak alokacji wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych.

**Rys. 1**  
**Wartości wskaźnika alokacji wg Simpsona dla wybranych miast**  
**Fig. 1.**  
**Simpson's allocation index values for selected cities**



## Podsumowanie

Alokacja objętości wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych ma szczególne znaczenie w sytuacjach kryzysowych, pozwalając na zapewnienie ciągłości dostaw wody do odbiorców.

Na wartość stopnia alokacji wpływają: liczba zbiorników, udział objętości poszczególnych zbiorników w odniesieniu do całkowitej objętości wody zgromadzonej w sieciowych zbiornikach wodociągowych oraz równomierność rozkładu objętości poszczególnych zbiorników.

Pojedynczy zbiornik (ewentualnie jego brak) oznaczają brak alokacji wody. Każde przejście z jednego na dwa zbiorniki powoduje zwiększenie stopnia alokacji. Dowolna kombinacja przejścia z dwóch na większą liczbę zbiorników przyczynia się do zwiększenia stopnia alokacji pod warunkiem jak najbardziej zrównoważonych objętości poszczególnych zbiorników. W przypadku dużego zróżnicowania udziałów objętości wody, zwiększenie liczby zbiorników wodociągowych nie zawsze prowadzi do zwiększenia stopnia alokacji.

## LITERATURA

- [1] Boryczko K., Rak J.: Bezpieczeństwo Systemów Wodociągowych. Dywersyfikacja zasobów wody. Oficyna Wydawnicza. Rzeszów 2017
- [2] Boryczko K., Rak J.: Method for Assessment of Water Supply Diversification. Resources 2020, 9(7), 87; <https://doi.org/10.3390/resources9070087>
- [3] Boryczko K., Rak J.: Oceny dywersyfikacji zaopatrzenia w wybranych miast w wodę metodą dwuparametryczną z wykorzystaniem wskaźnika Pielou. 2016, INSTAL, z.6, s.60-63
- [4] He H., Yin M., Chen A. i in.: Optimal Allocation of Water Resources from the "Wide-Mild Water Shortage" Perspective. Water 2018, 10(10), 1289; <https://doi.org/10.3390/w10101289>
- [5] Knapik K., Płoskonka R.: Metoda oceny funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę przy uwzględnieniu dywersyfikacji zbiornikowych rezerw wody. Materiały Konferencyjne „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” t.II, Wydawnictwo PZiTS O/Wielkopolski, Poznań-Gniezno, 2008, s. 439-512
- [6] Kulbik M.: Rola i znaczenie zbiornika sieciowego w kształtowaniu hydrauliki i jakości wody w systemie wodociągowym. „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”. Wydawnictwo PZiTS O/Wielkopolski, Poznań 2012 s. 93-106.
- [7] Rak J. R.: Metoda oceny stopnia dywersyfikacji dostawy wody dla wybranych miast w Polsce. Instal z. 5. Wydawnictwo Ośrodka Informacji „Technika Instalacyjna w Budownictwie”. Warszawa, 2014, s. 68-70
- [8] Rak J.: Propozycja oceny dywersyfikacji objętości wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych. Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury z.62(1/2015). Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów, 2015,s.339-349
- [9] Rak J., Boryczko K.: Assessment of water supply diversification using the Pielou index. Environmental Engineering V – Proceedings of the 5th National Congress of Environmental Engineering, pp. 53 – 58, 2017
- [10] Rak J., Boryczko K.: Diversification of water supply. E3S Web of Conferences 59, 00006 (2018) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185900006>
- [11] Rak J., Boryczko K.: Wykorzystanie wskaźnika Pielou do trójparametrycznej oceny dywersyfikacji zaopatrzenia w wodę. 2017, INSTAL, z.7-8/2017, s.67-70
- [12] Rak J.R., Włoch A.: Models of level diversification assessment of water supply subsystem. Underground Infrastructure of Urban Areas 3. pp. 237 – 244, 2014
- [13] Roobahani R., Schreider S., Abbasi B.: Optimal water allocation through a multi-objective compromise between environmental, social, and economic preferences. Environmental Modelling & Software. Vol. 64, pp. 18-30 , 2015
- [14] Wang J., Hou B., Jiang D. i in.: Optimal Allocation of Water Resources Based on Water Supply Security. Water 2016, 8(6), 237; <https://doi.org/10.3390/w8060237> ■