

Analiza kryzysowego zaopatrzenia w wodę miasta w województwie podkarpackim

Analysis of the emergency water supply of the city in the Subcarpathian province

DAMIAN GALANT, JANUSZ R. RAK

DOI 10.36119/15.2024.1.7

Analiza kryzysowego zaopatrzenia w wodę dotyczy miasta w województwie podkarpackim. Zaopatrywane jest ono z dwóch ujęć wody powierzchniowej, a na sieci wodociągowej znajduje się 5 zbiorników wodociągowych wody czystej. W pracy dokonano bilansów zapotrzebowania na wodę na cele fizjologiczne człowieka, minimalnej ilości wody, niezbędnej ilości wody oraz wymaganej ilości wody w sytuacji kryzysowej. Dla 7 osiedli miasta obliczono potrzebne liczby butelek $1,5 \text{ dm}^3$, liczbę pojemników 5 dm^3 oraz potrzebną liczbę beczkowozów. Dokonano oceny dywersyfikacji źródeł dostawy wody oraz alokacji wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych z wykorzystaniem wskaźnika Shannona-Weavera. Przedstawione w pracy wyniki stanowią podstawę do wykonania Planów Bezpieczeństwa Wodnego dla tego miasta.

Słowa kluczowe: system wodociągowy, zaopatrzenie kryzysowe, bilanse zaopatrzenia w wodę

The analysis of crisis water supply concerns the city in the Subcarpathian province. It is supplied from two surface water intakes and there are 5 pure water supply reservoirs in the water supply network. The study balances the demand for water for human physiological purposes, the minimum amount of water, the necessary amount of water and the required amount of water in an emergency situation. For 7 settlements of the city, the needed number of 1.5 dm^3 bottles, the number of 5 dm^3 containers and the needed number of barrel trucks were calculated. Diversification of water supply sources and allocation of water in network water supply reservoirs were evaluated using the Shannon-Weaver index. The results presented in the paper form the basis for the implementation of Water Security Plans for the this city.

Keywords: water supply system, emergency supply, water supply balances

Wstęp

System zarządzania kryzysowego jest ważnym elementem reagowania na istniejące zagrożenia w ramach powszechnego systemu bezpieczeństwa. Powinien cechować się elastycznością i możliwością analizowania nowych, nieznanych zagrożeń. Wiąże się z tym potrzeba generowania nowych procedur, których celem jest przeciwdziałanie tego rodzaju zagrożeniom [3].

Zapotrzebowanie na wodę w warunkach sytuacji kryzysowej należy określić dla Systemów Zbiorowego Zaopatrzenia w Wodę (SZZW) miast. Przedsiębiorstwo powinno posiadać opracowany plan zawierający w szczególności [4]:

- bilans zapotrzebowania na wodę w warunkach normalnych i w okresie ograniczonych dostaw,
- zestawienie istotnych urządzeń zaopatrzenia w wodę i ich charakterystykę techniczną,

- zestawienie danych dotyczących wyposażenia w agregaty prądotwórcze,
- charakterystykę urządzeń zaopatrzenia w wodę do pracy w warunkach specjalnych,
- harmonogram dowozu wody w przypadku wystąpienia awarii rurociągu,
- wykaz czynności niezbędnych do wykonania analizy w przypadku wystąpienia skażenia,
- wykaz osób odpowiedzialnych za poszczególne działania.

Zapewnienie w sytuacjach kryzysowych nieprzerwanej dostawy wody dla ludności jest niezwykle ważnym zagadnieniem. Mając na uwadze trójwymiarowy charakter dostaw wody – w aspekcie produktu spożywczego, ochrony przeciwpożarowej i przynależności systemów zaopatrzenia w wodę do infrastruktury komunalnej – jej znaczenie w sytuacjach awaryjnych sytuuje się wysoko w hierarchii bezpieczeństwa życia i zdrowia ludności.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie analizy kryzysowego zaopatrzenia w wodę dla miasta w województwie podkarpackim. W analizie wykorzystano wybrane rodzaje zapotrzebowania na wodę w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej.

Opis obiektu badań

Obiektem badań jest system zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) zlokalizowany w mieście w województwie podkarpackim. Miasto liczy 33132 mieszkańców i zajmuje obszar ok. 39 km^2 . Miasto leży w strefie klimatu górskiego. Najwyższy punkt wznosi się na wysokość 668 m n.p.m. Miasto podzielone jest na 7 osiedli i charakteryzuje się zwartą zabudową mieszkaniową.

Źródłem wody dla mieszkańców jest rzeka. Stopień zwodociągowania obszaru wynosi około 95% [2]. W skład analizowanego SZZW wchodzi dwa ujęcia

mgr inż. Damian Galant, prof. dr hab. inż. Janusz R. Rak ORCID ID:0000-0001-7713-5841; Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków, Politechnika Rzeszowska

Adres do korespondencji/ Corresponding author: rakjan@prz.edu.pl

wody. Pierwsze z nich to ujęcie brzegowo-komorowe zlokalizowane w A o średniej dobowej wydajności wynoszącej 11300 m³/d, zaś drugie znajduje się w miejscowości B. Jest to ujęcie nurtowe o średniej dobowej wydajności 6200 m³/d. Udział ujęcia A w produkowaniu wody wynosi 78%, zaś ujęcia w B – 22% [2].

Sieć wodociągowa wykonana jest w układzie pierścieniowo-promienistym i ma łączną długość ok. 112 km. W mieście zlokalizowane są również zbiorniki wodociągowe o łącznej pojemności 2 950 m³. Należą do nich:

- zbiornik „Park” V – 500 m³,
- zbiorniki „Jerozolima” – 2 · 1000 m³,
- zbiornik zlokalizowany przy hydrofor ni „Okotowiczówka”, V – 300 m³,
- zbiornik zlokalizowany przy hydrofor ni „Słowackiego”, V – 150 m³.

Zaopatrzenie w wodę w sytuacji kryzysowej

Przyjęto następujące jednostkowe za-potrzebowanie na wodę w sytuacji kryzysowej:

- q_w – wymagana ilość wody, przyjęto q_w – 30 dm³/M·d
- q_n – niezbędna ilość wody na okres kilku tygodni, przyjęto q_n – 15 dm³/M·d,
- q_m – minimalna ilość wody na okres kilku dób, przyjęto q_m – 7,5 dm³/M·d,
- q_f – ilość wody na cele fizjologiczne, przyjęto q_f – 2,5 dm³/M·d.

Na podstawie uzyskanych informacji na temat liczby mieszkańców, określono rodzaje zapotrzebowania na wodę w sy-tuacji kryzysowej:

- Q_w – wymagane zapotrzebowanie na wodę [m³/d],
- Q_n – niezbędne zapotrzebowanie na wodę [m³/d],
- Q_m – minimalne zapotrzebowanie na wodę [m³/d],
- Q_f – zapotrzebowanie na cele fizjolo-giczne [m³/d].

Szczegółowe wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Analizując tabelę 1 stwierdzono, iż największą liczbą mieszkańców charakte-ryzuje się osiedle H, zaś najmniejszą osie-dle I. Wartość wymaganego zapotrzebo-wania na wodę dla osiedla H jest najwięk-sza i wynosi 343,9 m³/d, a dla osiedla I jest najmniejsza i wynosi 49,0 m³/d.

W przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej niezbędna jest alternatywna dostawa wody do poszczególnych od-biorców. W pierwszej kolejności woda pobierana jest z pobliskich studni awaryj-

Tabela 1. Zestawienie poszczególnych rodzajów zapotrzebowania na wodę w sytuacji kryzysowej [2]

Table 1. Summary of individual types of demand for water in crisis situation [2]

Osiedle	Liczba mieszkańców	Q _w	Q _n	Q _m	Q _f
		[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]
C	4866	146,0	73,0	36,5	12,2
D	3866	116,0	58,0	29,0	9,7
E	2667	80,0	40,0	20,0	6,7
F	2808	84,2	42,1	21,1	7,0
G	5869	176,1	88,0	44,0	14,7
H	11463	343,9	171,9	86,0	28,7
I	1633	49,0	24,5	12,2	4,1
Suma	33172				

nych oraz głębinowych. Innym wariantem jest dostawa wody w plastikowych butel-kach o pojemności:

- 1,5 dm³ – na jednej palecie znajdują się 84 zgrzewki, w każdej po 6 butelek, łączna liczba butelek wynosi 504 szt., całkowita objętość wody – 756 dm³,
- 5 dm³ – na jednej palecie znajdują się 144 butelki, całkowita objętość wody – 720 dm³.

Przewiduje się również dostawy wody beczkowozami o pojemności jednego 16000 dm³. W tabeli 2 przedstawiono liczbę pojemników o pojemności 1,5 dm³ potrzebną do zaopatrzenia ludności w wodę dla poszczególnych rodzajów zapotrzebowania.

Analizując tabelę 2 stwierdzono, iż osiedlem z największym zapotrzebowa-

niem na wodę jest osiedle H, zaś najmniej-szym osiedle I. Aby zaspokoić potrzeby mieszkańców w przypadku wymaganego zapotrzebowania należy dostarczyć łącz-nie 663 440 butelek o pojemności 1,5 dm³ w ciągu doby na terenie całego miasta.

W tabeli 3 przedstawiono liczbę po-jemników o pojemności 5 dm³ do zaopa-trzenia mieszkańców poszczególnych osiedli.

W przypadku butelek 5-litrowych po-trzeba łącznie 199 032, aby spełnić wy-magane zapotrzebowanie dla wszystkich mieszkańców.

W tabeli 4 zostały przedstawione wy-magane liczby beczkowozów do obsługi osiedli miasta.

W przypadku, gdy beczkowóz posia-da pojemność 8 m³ potrzeba łącznie 41

Tabela 2. Zaopatrzenie mieszkańców w wodę z pojemników o pojemności 1,5 dm³ [2]

Table 2. Residents water supply from containers with a capacity of 1.5 dm³ [2]

Liczba pojemników o pojemności 1,5 dm ³ pokrywająca dobowe zapotrzebowanie na wodę					
Osiedle	Liczba mieszkańców	wymagane	niezbędne	minimalne	na potrzeby fizjologiczne
		[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]
C	4866	97320	48660	24330	8110
D	3866	77320	38660	19330	6443
E	2667	53340	26670	13335	4445
F	2808	56160	28080	14040	4680
G	5869	117380	58690	29345	9782
H	11463	229260	114630	57315	19105
I	1633	32660	16330	8165	2722
Suma	33172	663440	331720	165860	55287

Tabela 3. Zaopatrzenie mieszkańców w wodę z pojemników o pojemności 5 dm³ [2]

Table 3. Residents water supply from containers with a capacity of 5 dm³ [2]

Liczba pojemników o pojemności 5 dm ³ pokrywająca dobowe zapotrzebowanie na wodę					
Osiedle	Liczba mieszkańców	wymagane	niezbędne	minimalne	na potrzeby fizjologiczne
		[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]
C	4866	29196	14598	7299	2433
D	3866	23196	11598	5799	1933
E	2667	16002	8001	4001	1334
F	2808	16848	8424	4212	1404
G	5869	35214	17607	8804	2935
H	11463	68778	34389	17195	5732
I	1633	9798	4899	2450	817
Suma	33172	199032	99516	49758	16586

Tabela 4. Liczba beczkowozów potrzebnych do zaopatrzenia mieszkańców w wodę w sytuacji kryzysowej [2]

Table 4. The number of water-wagons necessary to supply residents with water in a crisis situation [2]

Liczba kursów beczkowozu o pojemności 8000 dm ³ pokrywająca dobowe zapotrzebowanie na wodę					
Osiedle	Liczba mieszkańców	wymagane	niezbędne	minimalne	na potrzeby fizjologiczne
		[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]
C	4866	6	3	2	1
D	3866	5	2	1	1
E	2667	3	2	1	1
F	2808	4	2	1	1
G	5869	7	4	2	1
H	11463	14	7	3	2
I	1633	2	1	1	1
Suma	33172	41	21	11	8

beczkowozów, aby zapewnić mieszkańcom wymagane zapotrzebowanie na wodę. W przypadku zapotrzebowania na potrzeby fizjologiczne w większości osiedli wystarczy jeden beczkowóz dziennie za wyjątkiem osiedla H, gdzie liczba beczkowozów wynosi 2. Przedsiębiorstwa wodociągowe z reguły nie posiadają wyliczonych liczb beczkowozów zaprezentowanych w tabeli 4. W sytuacjach kryzysowych mogą posilkować się beczkowozami z innych przedsiębiorstw np. mleczarnie, firmy przetwórstwa owocowo-warzywnego, a także z prywatnych cystern zaopatrujących mieszkańców w wodę źródłaną.

Ocena dywersyfikacji źródeł dostawy i alokacji wody w sieciowych zbiornikach wodociągowych

Dywersyfikacja według wskaźnika Shannona-Weavera

Wskaźnik dywersyfikacji określa wzór [1]:

$$d_{SW} = - \sum_{i=1}^m (u_i) \cdot (\ln(u_i)) \quad (1)$$

gdzie:

u_i – udział wydajności eksploatacyjnej i-tego PsDoW w całkowitej dostawie wody/udział objętości i-tego

zbiornika w stosunku do całkowitej objętości zbiorników sieciowych,
 m – liczba PsDoW/zbiorników sieciowych.

Na podstawie uzyskanych informacji wartości udziału wydajności eksploatacyjnej dla $m = 2$ wynoszą: $u_1 = 0,65$, $u_2 = 0,35$. Korzystając ze wzoru (1) wyznaczono wskaźnik dywersyfikacji:

$$d_{SW} = - \sum_{i=1}^{m=2} (0,65) \cdot (\ln(0,65)) + (0,35) \cdot (\ln(0,35)) = 0,65$$

Porównując otrzymany wynik do pracy [1] stwierdzono, iż otrzymany wskaźnik należy do kategorii średniej dywersyfikacji.

Alokacja według wskaźnika Shannona-Weavera

Udziały objętości poszczególnych zbiorników w stosunku do całkowitej objętości wszystkich zbiorników sieciowych dla $m = 5$ wynoszą kolejno: $u_1 = 0,17$, $u_2 = 0,34$, $u_3 = 0,34$, $u_4 = 0,1$, $u_5 = 0,05$. Korzystając ze wzoru (1) określono wskaźnik alokacji:

$$d_{SW} = - \sum_{i=1}^{m=5} (0,17) \cdot (\ln(0,17)) + (0,34) \cdot (\ln(0,34)) + (0,34) \cdot (\ln(0,34)) + (0,1) \cdot (\ln(0,1)) + (0,05) \cdot (\ln(0,05)) = 1,41$$

Porównując otrzymany wskaźnik alokacji z pracą [1] stwierdzono, iż należy on do kategorii alokacji zadowalającej.

Podsumowanie

W pracy odniesiono się do problematyki kryzysowego zaopatrzenia w wodę na obszarze miasta w województwie podkarpackim. Przedstawiono alternatywne źródła zaopatrzenia w wodę w sytuacji kryzysowej.

Obliczono liczbę butelek o pojemnościach 1,5 dm³ i 5 dm³ wymaganych, aby zaopatrzyć wszystkich mieszkańców w wodę w ciągu jednej doby, oraz określono liczbę beczkowozów.

Wyznaczono wskaźniki dywersyfikacji źródeł dostawy wody i alokacji wody w zbiornikach wodociągowych.

Wykonane bilanse kryzysowego zapotrzebowania na wodę dla osiedli mieszkaniowych pozwalają na analizy skutków związanych z lokalnymi awariami wodociągowymi.

LITERATURA

- [1] Boryczko K., Rak J., Bezpieczeństwo systemów wodociągowych, dywersyfikacja zasobów wody, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2017
- [2] Galant D.: Analiza kryzysowego zaopatrzenia w wodę miasta X. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Rzeszowska. Promotor prof. dr hab. inż. Janusz R. Rak, Rzeszów 2023
- [3] Rak J., Wybrane zagadnienia niezawodności i bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2008
- [4] Tchórzewska-Cieślak B.: Wieloaspektowa analiza bezpieczeństwa w eksploatacji systemów wodociągowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2018