

Metoda wyznaczania wskaźnika oczekiwanej efektywności produkcji wody

Method for determining the expected efficiency of water production

JANUSZ RYSZARD RAK, ALEKSANDRA STEC

DOI 10.36119/15.2024.6.7

Systematyka zagrożeń systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę wymaga wielokierunkowych podziałów. Zagrożenie techniczne jest funkcją rosnącą negatywnego oddziaływania. Bezpieczeństwo techniczne jest funkcją malejącą możliwych szkód. Obie te miary można identyfikować z ryzykiem negatywnego oddziaływania i ryzykiem powstania szkody. W wyniku poczynionych w pracy rozwiązań zaproponowano dwa nowe wskaźniki oceny zagrożeń bezpieczeństwa zbiorowego zaopatrzenia w wodę, są nimi: wskaźnik odporności systemu (Ir) i wskaźnik oczekiwanej efektywności produkcji wody (WOEPW).

W pracy podano przykłady aplikacji metody wyznaczania WOEPW.

Słowa kluczowe: ryzyko, szansa, zaopatrzenie w wodę

The systematics of threats to collective water supply systems requires multidirectional divisions. Technical risk is an increasing function of negative impact. Technical safety is a decreasing function of possible harm. Both of these measures can be identified with the risk of negative impact and the risk of harm. As a result of the solutions introduced in this work, two new indicators for assessing risk to the security of collective water supply were proposed: the system resilience index (Ir) and expected water production efficiency index (EWPEI). The paper gives examples of applications of the method for determining EWPEI.

Keywords: risk, chance, water supply

Wstęp

Funkcjonowanie systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) niesie za sobą ryzyko związane z brakiem dostawy wody oraz złą jej jakością. Krajowe i światowe uregulowania prawne oraz demokratyzacja życia publicznego wymagają dostosowania i rozwijania metod badawczych związanych z bezpieczeństwem działania tego systemu. Dużego znaczenia nabiera zatem odpowiednie sterowanie ryzykiem.

Bezpieczeństwo zalicza się do sfery podstawowych potrzeb człowieka. Poczucie bezpieczeństwa plasuje się bardzo wysoko w hierarchii wartości egzystencjonalnych. Bezpieczeństwo publiczne jest wartością konstytucyjną, dla której ochrony możliwe są ograniczenia praw, swobód i wolności obywateli.

Zagrożenia współcześnie dotyczą nie tylko czynników naturalnych lub zdarzeń o charakterze militarnym, ale także infrastruktury technicznej aglomeracji miejskich. Rozwój infrastruktury komunalnej zapewniającej zbiorową dostawę wody,

energii elektrycznej i ciepła doprowadza do niepożądanego podwyższenia wrażliwości na różnego rodzaju zdarzenia awaryjne i katastroficzne [1, 5].

Podstawowym celem pracy jest charakterystyka metodologii oceny zagrożeń występujących w systemach wodociągowych. Pozwoliło to na wprowadzenie dwóch nowych wskaźników – odporności systemu i jego oczekiwanej efektywności produkcji wody.

Zagrożenia SZZW

W ujęciu kompleksowym rozróżnia się [4]:

- zagrożenia wiodące – wymagają dużej ilości sił i środków reagowania, w tym reagowania kryzysowego,
- zagrożenia towarzyszące – przebiegają równoległe do zdarzeń wiodących, powodują dodatkowe szkody i straty.

W ujęciu przyczynowo skutkowym rozróżnia się:

- zagrożenia pierwotne – te, które bezpośrednio zainicjowały zdarzenia niepożądane,

- zagrożenia wtórne – te, które są skutkiem zdarzeń pierwotnych.

Ze względu na źródło i sposób powstawania wyróżnia się:

- zagrożenia spowodowane przez siły natury,
- zagrożenia związane z działalnością człowieka.

Analizy zagrożeń bezpieczeństwa SZZW wskazują na możliwość ich podziału na zewnętrzne i wewnętrzne [2, 5].

Do zagrożeń zewnętrznych zalicza się:

- brak dywersyfikacji źródeł zasilania [5],
- możliwość zanieczyszczenia zasobów wód [6],
- ograniczenie ilościowe zasobów wód [5],
- możliwość zaistnienia black – outu energetycznego [5],
- podatność na zagrożenia atakami terrorystycznymi,
- niepokoje społeczne, konflikty narodowościowe i wojny międzynarodowe,
- niekompetentne lub spekulacyjne przejęcie własności przedsiębiorstwa wodociągowego.

Do zagrożeń wewnętrznych zalicza się:

- różnice pomiędzy podażą a popytem na wodę [5],
- ograniczone rezerwy wody w sieciowych zbiornikach [5],
- starzenie się infrastruktury wodociągowej [4],
- brak inwestycji, a co za tym idzie niski stopień implementacji nowych technologii i metod monitorowania procesów [2,7],
- niewystraszająca innowacyjność metod zarządzania [3].

Wskaźnik odporności systemu

Systemy techniczne narażone są na dwa podstawowe rodzaje ryzyka: bezpośrednie i pośrednie. Ryzyko bezpośrednie (r_b) związane jest z zagrożeniami generowanymi wewnątrz systemu. Ryzyko pośrednie (r_p) związane jest z zagrożeniami generowanymi w otoczeniu systemu, a mającymi negatywny wpływ na jego funkcjonowanie [5]. Miarą odporności na te dwa rodzaje ryzyka jest wskaźnik odporności systemu (WOS) „I_r” definiowany w następujący sposób:

$$WOS = \frac{r_b}{r_b + r_p} \quad (1)$$

Ryzyko r_b identyfikowane jest z tzw. ryzykiem poznawalnym, a ryzyko r_p z ryzykiem losowym. Interpretacja skrajnych wartości WOS jest następująca:

WOS = 0, to $r_b = 0$, system narażony jest tylko na ryzyko zewnętrzne (pośrednie), które z natury rzeczy jest mało poznawalne i często losowe. System uważa się za nieodporny na zagrożenia. WOS = 1, to $r_p = 0$, system narażony jest tylko na ryzyko wewnętrzne (bezpośrednie), które z natury rzeczy jest poznawalne, i które można zredukować. System uważa się za odporny na zagrożenia.

W konkluzji należy stwierdzić, że im bliżej WOS jest jedności, tym SZZW jest bardziej odporny na zagrożenia. Propozycja standardów w tym zakresie przedstawia się następująco:

- WOS ≤ 0,5 – odporność niska,
- 0,5 < WOS ≤ 0,75 – odporność średnia,
- 0,75 < WOS ≤ 1,0 – odporność zadowalająca.

Metoda wyznaczania wskaźnika oczekiwanej efektywności produkcji wody (WOEPW)

Pojęcie ryzyka związane jest z prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzenia niepożądanego (szkody – straty), nato-

miast z prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzenia pożądanego wiąże się pojęcie szansy [3,5,8].

Przyjęto następujące oznaczenia:

- P_i – prawdopodobieństwo osiągnięcia zamierzonego efektu użytkowego (wykonania zadania) w i-tym wariancie eksploatacji,
- $1 - P_i$ – prawdopodobieństwo nieosiągnięcia zamierzonego efektu użytkowego (niewykonanie zadania) w i-tym wariancie eksploatacji,
- W_i – wartość i-tego efektu użytkowego eksploatacji,
- W_{su} – wartość skutecznego użytkowania w postaci wykonania zadania eksploatacyjnego.

Wartość ryzyka w ujęciu bezwzględnym wynosi:

$$r_b = W_{su} - \sum P_i \cdot W_i \quad (2)$$

Wartość ryzyka w ujęciu względnym wynosi:

$$r_w = \frac{W_{su} - \sum P_i \cdot W_i}{W_{su}} \quad (3)$$

Wskaźnik oczekiwanej efektywności produkcji wyznacza się ze wzoru:

$$WOEPW = \frac{\text{szansa}}{\text{ryzyko}} = \frac{\sum P_i \cdot W_i}{W_{su} - \sum P_i \cdot W_i} = \frac{\sum K_i \cdot Q_i}{Q_{nd} - \sum K_i \cdot Q_i} \quad (4)$$

gdzie:

- Q_i – wydajność i-tego zakładu wodociągowego,
- Q_{nd} – wydajność całego systemu zaopatrzenia w wodę,
- K_i – wskaźnik gotowości i-tego zakładu wodociągowego.

Propozycja standardów w zakresie WOEPW przedstawia się następująco:

- WOEPW ≤ 30 – wartość niska,
- 30 < WOEPW ≤ 100 – wartość średnia,
- 100 < WOEPW – wartość zadowalająca.

Przykład aplikacji metody

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę zaopatruje jeden zakład wodociągowy (=ZW).

Wskaźnik gotowości K = 0,991

Zdolność produkcyjna wynosi $Q_{nd} = 40\,000 \text{ m}^3/\text{d}$

Istnieje jeden efekt użytkowy eksploatacji.

$$WOEPW = \frac{K \cdot Q_{nd}}{Q_{nd} - K \cdot Q_{nd}} = \frac{0,991 \cdot 40000}{40000 - 0,991 \cdot 40000} = \frac{39640}{360} = 110,1$$

Wartość WOEPW zadowalająca. Ryzyko bezwzględne wynosi: $r_b = 40\,000 - 39\,640 = 360 \text{ m}^3/\text{d}$.

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę zaopatruje dwa ZW

Wskaźniki gotowości wynoszą odpowiednio $K_1 = 0,97$, $K_2 = 0,95$.

Wskaźnik gotowości pracy dwóch ZW wynosi $K = K_1 \cdot K_2 = 0,97 \cdot 0,95 = 0,92$.

Zdolności produkcyjne wynoszą $Q_{nd1} = 25\,000 \text{ m}^3/\text{d}$; $Q_{nd2} = 15\,000 \text{ m}^3/\text{d}$.

Istnieją dwa efekty użytkowe eksploatacji pozwalające uzyskać zdolność produkcyjną $Q_{nd} = 40\,000 \text{ m}^3/\text{d}$.

$$WOEPW = \frac{K_1 \cdot Q_{nd1} + K_2 \cdot Q_{nd2}}{Q_{nd} - (K_1 \cdot Q_{nd1} + K_2 \cdot Q_{nd2})} = \frac{38500}{40000 - 38500} = 25,7$$

Wartość WOEPW niska. Ryzyko bezwzględne wynosi: $r_b = 40\,000 - 38\,500 = 1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$.

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę zaopatruje dwa ZW

Wskaźniki gotowości wynoszą odpowiednio $K_1 = 0,98$, $K_2 = 0,96$.

Wskaźnik gotowości pracy dwóch ZW wynosi $K = K_1 \cdot K_2 = 0,98 \cdot 0,96 = 0,94$.

Zdolności produkcyjne wynoszą $Q_{nd1} = 35\,000 \text{ m}^3/\text{d}$; $Q_{nd2} = 20\,000 \text{ m}^3/\text{d}$.

Istnieją dwa efekty użytkowe eksploatacji pozwalające uzyskać zdolność produkcyjną $Q_{nd} = 55\,000 \text{ m}^3/\text{d}$.

$$WOEPW = \frac{K_1 \cdot Q_{nd1} + K_2 \cdot Q_{nd2}}{Q_{nd} - (K_1 \cdot Q_{nd1} + K_2 \cdot Q_{nd2})} = \frac{0,98 \cdot 35000 + 0,96 \cdot 20000}{55000 - (0,98 \cdot 35000 + 0,96 \cdot 20000)} = \frac{34300 + 19200}{55000 - 53500} = \frac{53500}{1500} = 35,7$$

Wartość WOEPW średnia. Ryzyko bezwzględne wynosi: $r_b = 55\,000 - 53\,500 = 1\,500 \text{ m}^3/\text{d}$.

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę zaopatruje dwa ZW

Wskaźniki gotowości wynoszą odpowiednio $K_1 = 0,98$, $K_2 = 0,96$.

Wskaźnik gotowości pracy dwóch ZW wynosi $K = K_1 \cdot K_2 = 0,98 \cdot 0,96 = 0,94$.

Zdolności produkcyjne wynoszą $Q_{nd1} = 8\,750\text{ m}^3/\text{d}$; $Q_{nd2} = 5\,000\text{ m}^3/\text{d}$.

Istnieją dwa efekty użytkowe eksploatacji pozwalające uzyskać zdolność produkcyjną $Q_{nd} = 13\,750\text{ m}^3/\text{d}$.

$$\begin{aligned} \text{WOEPW} &= \\ &= \frac{K_1 \cdot Q_{nd1} + K_2 \cdot Q_{nd2}}{Q_{nd} - (K_1 \cdot Q_{nd1} + K_2 \cdot Q_{nd2})} = \\ &= \frac{0,98 \cdot 8750 + 0,96 \cdot 5000}{13750 - (0,98 \cdot 8750 + 0,96 \cdot 5000)} = \\ &= \frac{8575 + 4800}{13750 - 13375} = \frac{13375}{375} = 35,7 \end{aligned}$$

Wartość WOEPW średnia.

Ryzyko bezwzględne wynosi:

$$r_b = 13\,750 - 13\,375 = 375\text{ m}^3/\text{d}.$$

Podsumowanie

- Wskaźnik oczekiwanej efektywności produkcji wody pokazuje ile razy szansa związana z produkcją wody jest większa od ryzyka jej deficytu. Wskaźnik ten można wykorzystywać do porównywania miejscowości o różnych wielkościach nominalnych produkcji wody.
- Ryzyko bezwzględne pokazuje wartość oczekiwanego deficytu wody. Jest

różne dla różnej wielkości miejscowości.

- Podatność na zagrożenia i ich skutki dla zasobów infrastruktury krytycznej, które czynią je wrażliwymi na zniszczenie, zakłócenie funkcjonowania, zmniejszenie potencjału oraz efektywności działania wymaga zarządzania ryzykiem. Pożądanym kierunkiem działań, szczególnie w sytuacjach kryzysowych, jest podnoszenie odporności elementów infrastruktury krytycznej na zagrożenia. Tematyka ta będzie przedmiotem osobnych rozważań w następnym artykule.
- Autorska metoda wyznaczania wskaźnika oczekiwanej efektywności produkcji wody SZZW pozwala na ich wymierne porównywanie niezależnie od liczby podsystemów dostawy wody i prawdopodobieństw (wskaźników gotowości) pracy. Ryzyko bezwzględne należy identyfikować z wartością oczekiwaną niedoboru wody. Wprowadzenie pojęcia szansy i ryzyka daje możliwości analizy bezpieczeństwa SZZW. Postrzeżenie zagrożeń w wymiarze szansy i ryzyka daje dodatkową możliwość analizy i oceny funkcjonowania SZZW, szczególnie w aspekcie przynależności do infrastruktury krytycznej.

LITERATURA

- [1] Biedugnis S., Smolarkiewicz M.: Bezpieczeństwo i niezawodność funkcjonowania układów wodociągowych. Oficyna Wydawnicza SGSP. Warszawa 2003
- [2] Boryczko K., Tchórzewska-Cieślak B., Rak J.: Problemy wdrażania Planów Bezpieczeństwa Wodnego w małych systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Inżynieria Ekologiczna nr 26. Wydawnictwo Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej. Warszawa 2011, s.83-94
- [3] Downarowicz O.; Wskaźniki niezawodności, ryzyka i oczekiwanej efektywności eksploatacji obiektów technicznych. Zagadnienia Eksploatacji maszyn nr 1/2007. Wydawnictwo PAN, Warszawa 2007, s. 95-106.
- [4] Rak J., Pietrucha K.: Some factors crisis management in water supply system. Environment Protection Engineering t.34, z.2. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2008, s.57-65
- [5] Rak J.; Tchórzewska-Cieślak B.; Studziński A.; Pietrucha-Urbaniak K.; Boryczko K.: Niezawodność i bezpieczeństwo systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2012
- [6] Rak J.R., Żywiec J.: Relacje podatność – odporność w aspekcie bezpieczeństwa systemów wodociągowych. INSTAL, z. 7/8 (408), 2019, s. 59-63
- [7] Rybicki S.A.: System „multibariera”-sposób na zmniejszenie ryzyka dostarczenia wody o niewłaściwej jakości. Ochrona Środowiska vol 82, no 3/2001, s. 7-12
- [8] Tchórzewska-Cieślak B., Rak J., Piegdoń I.: Risk analysis of water supply interruptions in collective water supply systems. Journal of Polish Safety and Reliability Association, Summer Safety and Reliability Seminars no2, vol. 3/2012, s.201-207