

Janusz Rak, Artur Wieczysty

## Określenie ryzyka oczyszczania wody na przykładzie ZUW Kobiernice–Soła 1

Określenie ryzyka w branży wodociągów i kanalizacji przedstawiono na przykładzie dwóch krajowych publikacji [2,3]. W pracy [2] określono ryzyko w sposób opisowy, jako zdarzenie polegające na pojawieniu się w źródle wody incydentalnych zanieczyszczeń, na usunięcie których proces technologiczny oczyszczania wody nie jest przygotowany. Zanieczyszczenia incydentalne uzdatnianych wód mogą być przyczyną awarii urządzeń wodociągowych, okresowego zamknięcia ujęcia wody lub też – z powodu braku efektywnych metod ich usuwania – wpłyną na pogorszenie jakości wody uzdatnionej.

Ankietyzując 23 stacje uzdatniania wody otrzymano dane o falowych zanieczyszczeniach ujmowanych wód. Najczęstsze przyczyny tego rodzaju zanieczyszczeń to: substancje ropopochodne, ścieki z zakładów syntezy lub przetwórstwa produktów organicznych, wysoka mętność, zakwity planktonu.

Stwierdza się, że system kontroli jakości wody ujmowanej w Polsce nie pozwala na odpowiednio wczesne wykrycie falowego zanieczyszczenia. Rozwiązaniem w tym względzie byłyby automatyczne stacje pomiaru jakości wody (ASPJW). Postuluje się też wariantowo stosować dawkowanie pylistego węgla aktywnego. Autorzy podają procentowy udział objętości wody zagrożonej zanieczyszczeniami falowymi do całkowitej objętości wody uzdatnianej. Ten rodzaj określenia ryzyka ma charakter pogłębionej analizy poznawczej zjawiska fizycznego, jakim jest zanieczyszczenie wody w jej źródle.

W pracy [3] pojawiają się terminy: ryzyko producenta ( $\alpha$ ) i ryzyko konsumenta ( $\beta$ ) w ich naukowej formie, zgodnie z definicjami zawartymi w pracy [1]. Jakkolwiek praca dotyczy pobierania próbek ścieków oczyszczonych, to przez analogię można jej treść transponować na pobór próbek wody oczyszczonej. Wyznaczone krzywe charakterystyki operacyjnej obrazują ryzyka  $\alpha$  i  $\beta$  w zależności od liczby dób w ciągu roku, w których nie są spełnione wymagania co do jakości produktu finalnego. Ten sposób przedstawienia ryzyka jest poprawny, jednak nie wnika w liczbowe określenie przyczyn pojawiania się próbek złej jakości.

### Niezawodnościowy model określenia ryzyka

Założeniem przedstawionego poniżej modelu jest stwierdzenie, że w wyniku trafnego prowadzenia procesu technologicznego

oczyszczania wody każdorazowo istnieje możliwość uzyskania na odpływie z zakładu wodociągowego wody o wymaganej jakości. Rozpatrując niezawodność pracy zakładu należy mieć na uwadze problematykę ilości i jakości wody, związaną z awaryjnością urządzeń oczyszczających. Możemy mieć do czynienia w tym względzie z pełną dostawą wody o wymaganej jakości, obniżeniem ilości produkowanej wody o wymaganej jakości, przerwą w jej podaży, a także ze złą jej jakością.

Analizie niezawodnościowej poddano zakład uzdatniania wody Kobiernice-Soła 1, wchodzący w skład systemu zaopatrzenia w wodę bielsko-bialskiej aglomeracji miejsko-przemysłowej. W pracy [4] na podstawie schematów niezawodnościowych wyznaczono niezawodność pracy tego zakładu. Ocena niezawodności miała charakter jednoparametryczny i dokonana została przy wykorzystaniu wskaźnika gotowości ( $K_g$ ), określającego liczbowo prawdopodobieństwo zastania zakładu w dowolnej chwili w stanie pracy nominalnej. Stosowana w tym zakładzie technologia oczyszczania wody zależy od mętności wody surowej i jest prowadzona następująco:

- przy mętności wody surowej poniżej  $50 \text{ g/m}^3$ : filtracja na filtrach pospiesznych grawitacyjnych i dezynfekcja chlorem (przypadek 1),

- przy mętności wody surowej powyżej  $50 \text{ g/m}^3$ : koagulacja obejmująca proces szybkiego mieszania w komorach labiryntowych, wolnego mieszania w komorach mechanicznych, sedymentacja w osadnikach poziomych, filtracja na filtrach pospiesznych grawitacyjnych, dezynfekcja chlorem (przypadek 2).

Wyznaczenie niezawodności pracy urządzeń technologicznych wykonano dla dwóch przypadków obliczeniowych. Wskaźnik gotowości zakładu uzdatniania wody bez stosowania procesu koagulacji (proces podstawowy), obliczony na podstawie analizy strukturalnej, wynosił  $K_{g1}=0,99828804$ , natomiast wskaźnik gotowości zakładu przy stosowaniu procesu koagulacji (proces wariantowy) wynosił  $K_{g2}=0,9972792$ .

Decyzję o włączeniu do eksploatacji procesu koagulacji podejmuje technolog w porozumieniu z kierownikiem zakładu na podstawie analiz fizyczno-chemicznych wody surowej. Należałoby więc uwzględnić rolę człowieka w aspekcie możliwości popełnienia błędu, którego skutkiem będzie niesprawność procesu oczyszczania (woda oczyszczona nie odpowiada wymaganiom lub też następuje przerwa w pracy zakładu wodociągowego). Prawdopodobieństwa możliwości popełnienia błędu przez człowieka są następujące [5]:

$1 - P(C_1) = 2 \cdot 10^{-4}$  – w odniesieniu do niesprawności podstawowego procesu oczyszczania wody (zawodność prostych operacji myślowych – normalna obsługa),

Dr inż. J. Rak: Politechnika Rzeszowska, Zakład Urządzeń Sanitarnych, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów

Prof. zw.dr hab. inż. A. Wieczysty: Politechnika Krakowska, Katedra Zaopatrzenia w Wodę i Usuwania Ścieków, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków

$1 - P(C_2) = 1 \cdot 10^{-3}$  – niesprawność wariantowego procesu oczyszczania wody (zawodność bardziej złożonych operacji myślowych – rozpoznanie, podjęcie decyzji).

Prawdopodobieństwa te dla branży wodociągowej można było uściślić, np. poprzez poddanie testom specjalistycznym osób odpowiadających za prowadzenie procesów technologicznych oczyszczania wody w zakładach wodociągowych. W celu oceny niezawodności systemu "człowiek-zakład", oznaczonego dalej symbolem C-Z, wykorzystano wzór na prawdopodobieństwo zupełne w postaci [6]:

$$P(B) = P(A_1) \cdot P(B/A_1) + P(A_2) \cdot P(B/A_2) \quad (1)$$

gdzie:

B – zdarzenie, że system C-Z jest sprawny i dostarcza wodę o wymaganej jakości,

P(B) – prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia B,

A<sub>1</sub> – zdarzenie polegające na możliwości oczyszczania wody bez procesu koagulacji (przypadek 1),

P(A<sub>1</sub>) – prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia A<sub>1</sub>,

A<sub>2</sub> – zdarzenie polegające na konieczności oczyszczania wody z wykorzystaniem procesu koagulacji (przypadek 2),

P(A<sub>2</sub>) – prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia A<sub>2</sub>,

P(B/A<sub>1</sub>) – prawdopodobieństwo warunkowe niezawodnej pracy systemu C-Z przy zajściu zdarzenia A<sub>1</sub>, a więc w warunkach, gdy na poprawną pracę systemu ma wpływ praca operatora (C<sub>1</sub>) oraz niezawodność urządzeń (K<sub>g1</sub>),

P(B/A<sub>2</sub>) – jw., lecz przy zajściu zdarzenia A<sub>2</sub> i przy uwzględnieniu operatora (C<sub>2</sub>) oraz urządzeń (K<sub>g2</sub>).

Prawdopodobieństwa P(A<sub>1</sub>) oraz P(A<sub>2</sub>) występowania danych zdarzeń A<sub>1</sub> lub A<sub>2</sub>, tworzących razem kompleks zdarzeń, można określić na drodze statystycznej jako wartości średnie roczne z obserwacji wieloletnich (jako ich częstość). Jeżeli znane są średnie liczby dni, w których zachodzą zdarzenia A<sub>1</sub> oraz A<sub>2</sub>, równo odpowiednio t(A<sub>1</sub>) oraz t(A<sub>2</sub>), to:

$$P(A_1) = t(A_1)/365 \quad (2)$$

$$P(A_2) = t(A_2)/365 \quad (3)$$

przy czym P(A<sub>1</sub>)+P(A<sub>2</sub>)=1,0, o ile rozważany jest cały kompleks warunków.

Dla badanego zakładu uzdatniania wody prawdopodobieństwa P(A<sub>1</sub>) i P(A<sub>2</sub>) występowania danych zdarzeń określono na drodze statystycznej z wielolecia, dla jednostki czasu równej 1 rok. Średnia liczba dób z koniecznością oczyszczania wody bez procesu koagulacji wynosiła t(A<sub>1</sub>)=356 d, natomiast średnia liczba dób z możliwością oczyszczania wody z wykorzystaniem procesu koagulacji wynosiła t(A<sub>2</sub>)=9 d. Dysponując tymi danymi wyznaczono za pomocą równań (2) i (3) następujące wartości prawdopodobieństw:

$$P(A_1) = 356/365 = 0,9753425 \quad (4)$$

$$P(A_2) = 9/365 = 0,0246575 \quad (5)$$

Prawdopodobieństwa warunkowe P(B/A) można wyznaczyć za pomocą wzorów:

$$P(B/A_1) = K_{g1} \cdot P(C_1) \quad (6)$$

$$P(B/A_2) = K_{g2} \cdot P(C_2) \quad (7)$$

gdzie:

P(C<sub>1</sub>) – niezawodność bezpieczeństwa, związana z pracą operatora obsługującego system C-Z w warunkach zajścia zdarzenia A<sub>1</sub>,

P(C<sub>2</sub>) – jw., lecz w warunkach zdarzenia A<sub>2</sub>.

W rozważanym przypadku zakładu uzdatniania wody Kobiernice-Soła 1 prawdopodobieństwa warunkowe wynoszą:

$$P(B/A_1) = 0,99828804 \cdot 0,9998 = 0,9980883$$

$$P(B/A_2) = 0,9972792 \cdot 0,999 = 0,9962819$$

Zatem na podstawie równania (1) prawdopodobieństwo zupełne wynosi ostatecznie:

$$P(B) = 0,9753425 \cdot 0,9980883 + 0,0246575 \cdot 0,9962819 = 0,9980438.$$

## Podsumowanie

Otrzymana wartość prawdopodobieństwa P(B)=0,9980438 odnosi się do zdarzenia B określającego produkcję nominalnej ilości wody o wymaganej jakości i uwzględnia dwuwariantowość procesu oczyszczania oraz rolę człowieka jako operatora, przy założeniu, że w źródle wody nie pojawiają się zanieczyszczenia, na które nie jest przygotowany technologiczny proces oczyszczania wody. Wartość tę można interpretować jako ryzyko konsumenta, natomiast jej dopełnienie do jedności – jako ryzyko producenta.

## LITERATURA

1. M.G.KENDALL, R.B.WILLIAM: Słownik terminów statystycznych. PWE, Warszawa 1975, s. 180.
2. M.BŁAŻEJEWSKI, A.DĄBROWSKA: Analiza ryzyka incydentalnych zanieczyszczeń miejskich ujęć wody w Polsce. Człowiek i Środowisko, nr 14/1, 1990, ss. 117–125.
3. R.BŁAŻEJEWSKI, S. MURATOWA: O sposobach poboru próbek ścieków w badaniach kontrolnych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 5, 1993, ss. 132–133.
4. J. RAK: Niezawodność systemu uzdatniania wód powierzchniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Seria Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 20, 1993.
5. J. JAŻWIŃSKI, J. BORGON: Niezawodność eksploacyjna i bezpieczeństwo lotów. WKiŁ, Warszawa 1989.
6. A. WIECZYSTY, J. RAK, J. BAJER: Określenie niezawodności ujęcia wody przy dużej niestabilności warunków hydrologicznych i sanitarnych. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 4, 1988, ss. 80–83.

## RISK QUALIFICATION FOR A WATER TREATMENT PLANT: A CASE STUDY (KOBIERNICE-SOŁA 1)

The risk (venture) of producer (α) and the risk of consumer (β) have been defined. On the example of the Kobiernice-Soła 1 Water Treatment Plant (WTP) a reliability model providing determination of the risk has been established. The reliability index for the man-WTP system has been determined under conditions of the following complex of events: water treatment with and without coagulation. The author

has evaluated the risk (probability) of the event that defines the production of the nominal water quantity, the quality of which complies with the standard values. The approach includes the contribution of man as the operator of the engineering process termed "water treatment".