

Artur Wiczysty, Janusz Rak

Niezawodność systemów zaopatrzenia w wodę w aspekcie wymagań jakościowych

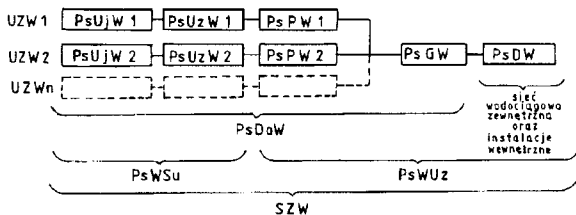
Obecnie w Polsce dyskutowany jest problem nowelizacji rozporządzenia Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej, dotyczącego jakości wody do picia i na potrzeby gospodarcze [12-14]. Przemawia za tym m.in. konieczność dostosowania polskich przepisów sanitarnych do standardów europejskich, a także pewne niedostatki obecnej wersji normatywu oraz celowość wprowadzenia zmian wynikających z najnowszych badań itp. Jakkolwiek nie stoi na przeszkodzie aby uzasadnione zmiany wprowadzić, to jednak problem wydaje się być bardziej złożony. Można więc zadać pytanie, czemu mają służyć zmiany dokonywane w przepisach sanitarnych?

Aby odpowiedzieć na to pytanie trzeba sformułować cel, który należy osiągnąć. Celem tym jest dostarczenie odbiorcom wody o odpowiedniej jakości, smacznej i zdrowej oraz w wystarczającej ilości. Przy tak sformułowanym celu można postawić tezę:

Istniejące podstawy teoretyczne umożliwiają zaprojektowanie takiego systemu technicznego, który pozwoli spełnić założony cel, z dopuszczeniem pewnego ryzyka (gdyż nie istnieją systemy absolutnie niezawodne), pomimo istnienia barier ekonomicznych; ponieważ sama zmiana wymagań jakościowych nie rozwiąże w pełni problemu, więc rozwiązania należy poszukiwać na drodze systemowego potraktowania całego wodociągu; stosowane dotąd rozwiązania techniczne nie pozwalają na spełnienie wcześniej sformułowanego celu, głównie w kwestii jakości wody.

System zaopatrzenia w wodę

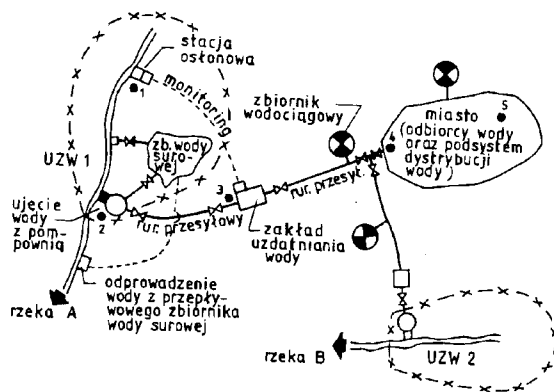
Przykład systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) przedstawia rysunek 1, gdzie: PsUjW – podsystem ujmowania wody, PsUzW – podsystem uzdatniania wody, PsPW – podsystem przesyłania wody, PsGW – podsystem gromadzenia wody, PsDW – podsystem dystrybucji wody, PsDoW – podsystem dostarczania wody, PsWSu – podsystem wody surowej, PsWUz – podsystem wody uzdatnionej, UZW – układ zasilania w wodę.



Rys. 1. Przykład podziału systemu zaopatrzenia w wodę na podsystemy

Pojęcie układu zasilania w wodę wiąże się z istnieniem odrębnych linii technologicznych (UZW1, UZW2, ..., UZWn), z których każda rozpoczyna się własnym ujęciem wody (najczęściej z pompownią niskiego ciśnienia i rurociągiem przesyłowym wody surowej), ma własną stację uzdatniania wody dostosowaną do jakości ujmowanej wody oraz własny rurociąg przesyłowy wody czystszej wraz z pompownią. Systemowe traktowanie problemu zaopatrzenia w wodę ułatwia określenie roli poszczególnych podsystemów, a nawet ich elementów; ułatwia także matematyczne modelowanie całego systemu zaopatrzenia w wodę. Z kolei stosowanie teorii systemów, teorii niezawodności itp. ułatwia optymalizację tego systemu.

Poniżej dokonano analizy zagadnienia jakości wody w podsystemie dystrybucji wody (PsDW), widzianego z pozycji całego systemu zaopatrzenia w wodę (SZW). Na rysunku 2 przedstawiono schemat usytuowania podsystemu uzdatniania wody (PsUzW), dotyczący wód powierzchniowych płynących, które szczególnie narażone są na zanieczyszczenia incydentalne [1]. W podobny sposób należałoby rozpatrywać SZW, którego źródłem są wody podziemne.



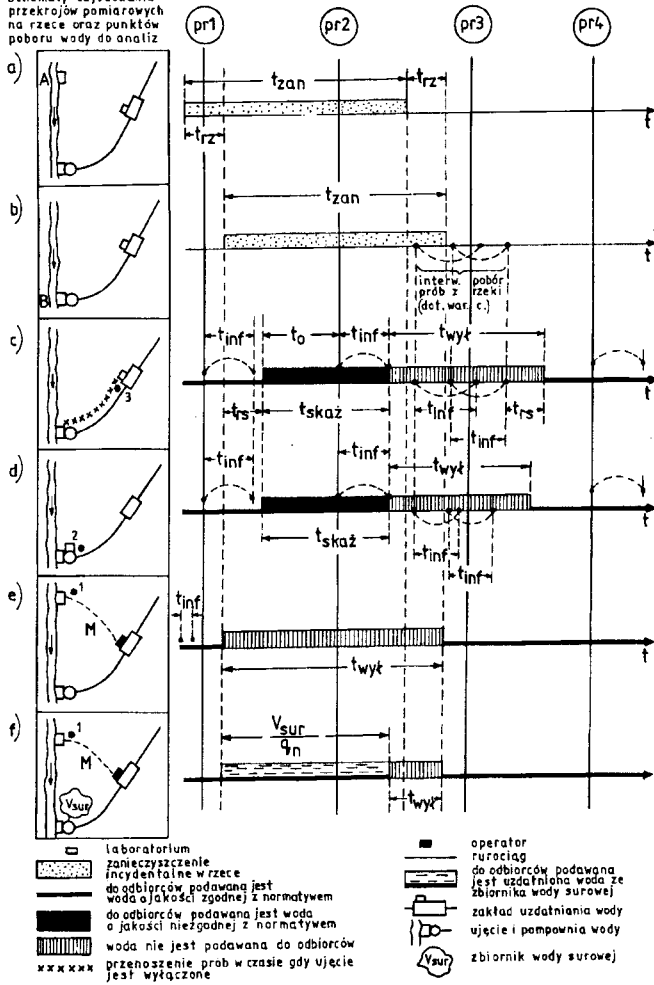
Rys. 2. Schemat zaopatrzenia miasta w wodę z dwoma ujęciami wody z różnych rzek (1-4 – możliwa lokalizacja punktów badania jakości wody, w miejscach pozwalających na zamykanie dopływu wody, 5 – jeden z punktów kontroli jakości wody zlokalizowanych na sieci wodociągowej w miejscach nie pozwalających na efektywną ingerencję odnośnie wstrzymania dostawy do odbiorców wody o nieodpowiedniej jakości)

Zanieczyszczenia incydentalne wody

Rozważono występowanie zanieczyszczeń incydentalnych, czyli takich, na które proces technologiczny oczyszczania wody nie jest przygotowany. Ponieważ zanieczyszczenia incydentalne mogą być szkodliwe, a nawet groźne dla odbiorców wody, dlatego też operator stacji uzdatniania nie powinien takiej wody dopuścić do odbiorców. Schematy przedstawione na rysunku 3 oznaczają następujące możliwe sytuacje:

Prof. zw.dr hab.inż. A.Wiczysty: Politechnika Krakowska, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków
Dr hab.inż. J.Rak, prof.nadzw.: Politechnika Rzeszowska, Zakład Urządzeń Sanitarnych, ul. W.Poła 2, 35-021 Rzeszów

Schematy usytuowania przekrojów pomiarowych na rzece oraz punktów poboru wody do analiz



Rys. 3. Scenariusze przewidywanego rozwoju sytuacji przy pojawieniu się incydentalnych zanieczyszczeń wody w rzece, odpowiednio do lokalizacji punktu poboru wody do analiz oraz ich częstotliwości

a) zanieczyszczenie incydentalne obserwowane w przekroju rzeki zlokalizowanym powyżej ujęcia wody (przekrój A),

b) jw. lecz w przekroju ujęcia wody (przekrój B),

c) przykład rozwoju sytuacji w przypadku, gdy punkt poboru wody do rutynowych analiz oraz laboratorium analityczne zlokalizowane są w PsUzW,

d) jw. lecz punkt poboru wody oraz laboratorium zlokalizowane są w PsUjW i gdy zapewnione jest przekazywanie informacji do PsUzW na drodze telekomunikacyjnej,

e) jw. lecz przy zastosowaniu monitoringu (M) ze stacją osłowną zlokalizowaną na rzece powyżej ujęcia wody w odległości, przy której czas dopływu do ujęcia wynosi t_{rz} ,

f) jw. lecz z zastosowaniem zbiornika wody surowej umożliwiającego zlikwidowanie lub zmniejszenie niedoboru wody będącego skutkiem wyłączenia PsUzW z ruchu.

Poszczególne symbole oznaczają:

t_{zan} – czas trwania zanieczyszczenia incydentalnego wody w rzece,

t_{rz} – czas przepływu wody w rzece od miejsca poboru próby (A) do ujęcia (B),

$t_{skaż}$ – czas dostarczania odbiorcom wody o jakości niezgodnej z wymaganiami,

t_{wyt} – czas, w którym woda nie jest podawana odbiorcom,

t_{inf} – czas od poboru próby do otrzymania przez operatora informacji o jakości wody,

t_0 – czas trwania zanieczyszczenia incydentalnego, który nie jest udokumentowany próbą pomiarową (zmienna losowa),

t_{pr} – odstęp czasu pomiędzy rutynowymi poborami wody do analiz laboratoryjnych.

Na rysunku 3 pokazano możliwe scenariusze działań operatora, odpowiednio do lokalizacji punktów poboru prób wody do analiz. Schematy 3a i 3b pokazują rzeczywisty przebieg pojawiania się zanieczyszczeń incydentalnych w przekroju rzeki powyżej ujęcia (A) oraz w przekroju ujęcia wody (B), natomiast 3c+3f obrazują cztery scenariusze reakcji systemu na informacje dochodzące do operatora systemu, zależnie od tego, gdzie zlokalizowany jest punkt poboru prób wody do analiz. W ten sposób dodatkowo pokazano rolę, jaką może odegrać zbiornik wody surowej. Poniżej omówiono cztery warianty zanieczyszczeń incydentalnych.

Wariant 1 (rys.3c). Woda surowa z ujęcia dopływa do PsUzW1, gdzie cyklicznie pobierane są próby wody do analiz, na podstawie których operator otrzymuje informację o jakości wody surowej i podejmuje stosowne decyzje (kontynuacja procesu, włączenie procesu alternatywnego, zatrzymanie procesu). Założono, że PsUzW jest w stanie zdadności funkcjonalnej.

Stan ten jest często spotykany w praktyce eksploatacyjnej. Zdarza się, że odbiorcy wody z wodociągów komunalnych okresowo otrzymują wodę o nieodpowiedniej jakości (jeśli pojawią się zanieczyszczenia incydentalne), względnie gdy PsUzW jest częściowo uszkodzony lub też gdy operator popełni błąd. W praktyce pewne zmniejszenie niebezpieczeństwa związane jest z tym, że cała objętość zanieczyszczonej wody dopływającej do PsUzW (V_{zan}) zostaje rozcieńczona wodą znajdującą się w rurociągach ($PsPW$ i $PsDW$) i w zbiornikach ($V_{aw}+V_{wyr}$) oraz wodą podawaną z innych ujęć $(Q_n - q_n)(t_0 + t_{inf})$. Użyte tu symbole oznaczają:

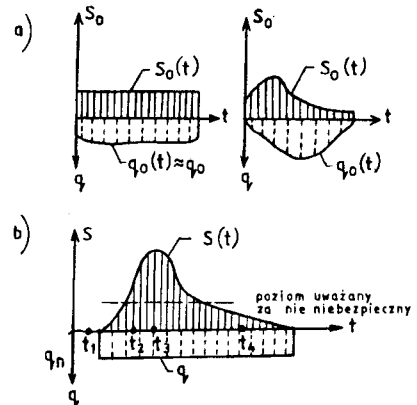
V_{aw} – zapasowa objętość wody w zbiornikach wodociągowych (obliczona wg [2,3]),

V_{wyr} – objętość wody przeznaczona na wyrównanie przepływów (wyznaczona metodami konwencjonalnymi),

Q_n – nominalna wydajność całego SZW,

q_n – nominalna wydajność ujęcia i stacji uzdatniania wody (w których pojawia się incydentalne zanieczyszczenie wody).

W praktyce do oceny wyników analiz prób wody stosuje się uproszczoną charakterystykę, podając np. trzy wartości: minimalną, maksymalną i średnią. Nie ulega wątpliwości, że taki opis nie



Rys. 4. Przykłady zmienności stężenia wskaźnika incydentalnego zanieczyszczenia (a – w miejscu wpływu zanieczyszczenia, b – PsWSU, gdzie natężenie przepływu wynosi q_n)

mówi zbyt wiele o rozkładzie badanej zmiennej losowej (wartości danego wskaźnika). W tym względzie należałoby stosować zasady rachunku statystycznego, podając np. wartość oczekiwaną oraz parametry pozycyjne rozkładu (moda, mediana, odchylenie standardowe itp.). Należy także zwrócić uwagę, że stężenie niepożądanego składnika wody może być zanotowane w momencie, gdy jeszcze nie osiągnęło ono swego apogeum. Jak wiadomo, fala stężenia danego wskaźnika może mieć różne kształty (rys.4). Wynika to m.in. z kształtu fali dopływu zanieczyszczeń do rzeki; zmienne może być natężenie dopływu (q) oraz stężenie wskaźnika (S_0) (rys.4a). Odpowiednio także fala stężenia wskaźnika w miejscu poboru wody (S) może mieć rozmaity kształt (rys.4b). W zależności od chwili poboru próby wody (t_1, t_2, t_3, \dots) otrzymujemy przypadkowe informacje o stężeniach $S(t_1), S(t_2), S(t_3), \dots$ (rys.4b). Zatem odpowiednio:

- pomiar w chwili t_1 wykaże brak zanieczyszczenia incydentalnego,
- pomiar w chwili t_2 wykaże niewielkie zagrożenie,
- pomiar w chwili t_3 wykaże poważne zagrożenie,
- pomiar w chwili t_4 wykaże zajście zanieczyszczenia incydentalnego ale nie wywołującego jeszcze poważniejszych obaw.

Zatem dyskretne informacje o stanie zanieczyszczenia wody mają charakter przypadkowy. Jedynie bardzo częsty pobór prób wody do badań oraz bardzo krótki czas wykonywania analiz i przekazywania wyników może przybliżyć do rzeczywistości obraz zajścia zdarzeń mających charakter losowy. Jak widać z możliwego scenariusza rozwoju sytuacji (rys.3c), znaczna objętość wody nadmiernie zanieczyszczonej dotrze do odbiorców. Należy zauważyć, że rozróżniono tu analizy rutynowe (pobór wody w chwilach odległych od siebie o t_{pr}) oznaczone łukiem (linia przerywana wypukła ku górze) łączącym punkt oznaczający pobór wody z punktem oznaczającym chwilę otrzymania informacji o jakości wody oraz analizy nadzwyczajne, realizowane od chwili pierwszego sygnału o pojawieniu się zanieczyszczenia incydentalnego (oznaczone łukiem wypukłym ku dołowi). W tym drugim przypadku czas od chwili poboru wody do chwili otrzymania wyniku (t_{inf}) jest dłuższy, gdyż próby trzeba dostarczać z rzeki (pobór prób w przekroju B). Zakłada się, że laboratorium zlokalizowane jest w zakładzie uzdatniania wody. Nietrudno zauważyć, że spośród rozważanych tu wariantów, ten okazuje się szczególnie niekorzystny.

Wariant 2 (rys.3d). Ma on miejsce wówczas, gdy pobór prób wody następuje bezpośrednio na ujęciu, gdzie także zlokalizowane jest laboratorium mające bezpośrednie (np. telefoniczne) połączenie z PsUzW. Zanieczyszczona woda z rzeki dociera do PsUzW z pewnym opóźnieniem (w porównaniu do wariantu 1, gdy próbę wody pobiera się bezpośrednio w PsUzW). W rezultacie, jeżeli tylko czas przepływu przez rurociąg przesyłowy wody surowej (t_{rs}) jest wystarczający, można, po otrzymaniu wyników analizy, wstrzymać dopływ wody do PsUzW, co prowadzi do opanowania sytuacji. Ale zazwyczaj część zanieczyszczonej wody, reprezentowana przez prostokąt w kolorze czarnym, dotrze do odbiorców, choć zapewne ulegnie ona w PsWUz pewnemu rozcieńczeniu, zmniejszającemu stężenie niebezpiecznego wskaźnika zanieczyszczenia. Dopiero wydłużenie czasu przepływu, takie że $t_{rs} \geq t_0 + t_{inf}$, umożliwi uniknięcie opisanej powyżej sytuacji.

Warto tu zwrócić uwagę, że realistycznie rzecz biorąc, zwiększenie t_{rs} nie jest możliwe. Pozostaje więc jedynie zmniejszenie t_{inf} , jak wykazuje praktyka, też trudno osiągalne. Ale i tak najczęściej decydujące znaczenie ma wielkość t_0 , bo czas ten jest zdarzeniem losowym, nie podlegającym naszej ingerencji. Mo-

żliwe jest także zmniejszenie t_{pr} . Można więc stwierdzić, że zależnie od tego, na jakie zanieczyszczenia przygotowana jest technologia stosowana w PsUzW, pojawianie się zanieczyszczeń incydentalnych może się okazać mniej szkodliwe dla odbiorców aniżeli opisane w wariancie 1.

Wariant 3 (rys.4e). Polega na zastosowaniu stacji osłonowej (monitoring – M). W tym przypadku występuje sytuacja opisana w pracach [1,10,11]. Uwzględnia się tu następujące czynniki: $t_{dopl} = t_{rz} + t_{rs}$, gdzie t_{dopl} – czas dopływu wody od punktu A do PsUzW oraz t_{rz} – czas przepływu wody w rzece od miejsca, gdzie zlokalizowana jest stacja osłonowa do PsUjW. Odpowiednie usytuowanie stacji osłonowej może zapewnić spełnienie nierówności: $t_{dopl} > t_0 + t_{inf}$ (w najniekorzystniejszym przypadku $t_0 = t_{pr}$), co zabezpiecza przed przedostaniem się do odbiorców wody zawierającej zanieczyszczenia incydentalne. W tym wariancie wielkość t_{pr} ma stosunkowo małą wartość, ponieważ stosuje się automatyczne analizatory jakości wody.

W każdym wariancie pozostaje jeszcze możliwość zamknięcia dopływu zanieczyszczonej wody na końcu PsPW. Jednakże oznacza to konieczność spuszczenia wody z rurociągów i urządzeń do uzdatniania wody, a najczęściej także ich płukanie i dezynfekcję. Stwarza to dodatkowe problemy, szczególnie gdy SZW posiada tylko jeden UZW. Już sam przegląd ważniejszych możliwości wariantów informuje dość wyraźnie, że jedynie monitoring może ten problem rozwiązać w sposób zadowalający. Podniesienie poziomu wymagań jakościowych nie wiele tu zmieni, gdyż do odbiorców nadal będzie się mogła dostać woda niedostatecznie oczyszczona (rys.4). Łatwo też zauważyć, że wariant 3 jest jednakże wyraźnie korzystniejszy od wariantów 1 i 2.

Wariant 4 (rys.3f). Polega on na zastosowaniu rezerwowego zbiornika wody surowej. Ma on jednakże znaczenie jedynie wówczas, gdy zastosowano monitoring (co jest innym wariantem) albo gdy zanieczyszczenia incydentalne trwają długo i uruchomienie tego zbiornika zmniejsza niedobór wody pojawiający się po zamknięciu PsUzW, lecz nie będzie mieć wpływu na przedostanie się części zanieczyszczonej wody do odbiorców (dopływ i odpływ wody ze zbiornika wody surowej powinny być zamknięte dostatecznie wcześniej). Na ogół sytuacja jest tym korzystniejsza im mniejszy jest dopływ wody do zbiornika wody surowej (q_{sur}) oraz im większa jest objętość wody zmagazynowanej w tym zbiorniku (V_{sur}). Zbiornik wody surowej uruchamiany jest dopiero po uzyskaniu informacji o pojawieniu się zanieczyszczeń incydentalnych. Wówczas PsUzW może funkcjonować tak długo, aż wykorzystany zostanie zapas wody zgromadzonej w zbiorniku wody surowej.

Propozycje metodologiczne

Na rozważany tu problem można spojrzeć także w inny sposób. Jest nim poszukiwanie odpowiedzi na pytanie, jaką drogą należy iść, aby spełnić postulaty związane z jakością wody dostarczanej do PsUzW. Są one następujące:

- odejście od deterministycznego podejścia do rozwiązywania zadań związanych z incydentalnymi zanieczyszczeniami wody i przejście na metody probabilistyczne,

- rozważanie całości problematyki ekologicznej ochrony odbiorców wody – zaspokojenie ich potrzeb i ochrony zdrowia na drodze uwzględnienia niezawodności funkcjonowania i niezawodności bezpieczeństwa,

- wprowadzenie do rozważań wątku hydraulicznego, co wymaga przejścia na stosowanie kompleksowych modeli matema-

tycznych całego SZW, w którym uwzględnia się hydrauliczną współpracę wszystkich podsystemów, w tym procesu mieszania się wód pochodzących z różnych ujęć wody i zbiorników wodociągowych, w których jest ona zmagazynowana,

– uzupełnienie dotychczasowych metod projektowania (na $Q_{\max d}$, $Q_{\max h}$, $Q_{\max h}+Q_{\text{poz}}$) przez uwzględnienie losowych przypadków awaryjnych (wyłączenie i-tego PsUzW, i-tego PsUjW, wyłączenie ważnych magistral itp.).

Przejście na probabilistyczne metody projektowania wydaje się być koniecznością. Wszędzie tam, gdzie należy ocenić stopień zagrożenia zdrowia, a nawet życia ludzi, jest to niezbędne. Zagrożenie i związane z nim ryzyko powinny być oceniane na drodze probabilistycznej. Problemy, jakie na tej płaszczyźnie powstają nie są w zasadzie merytoryczne, lecz są raczej natury psychologicznej. Wymagają bowiem przestawienia się na inny sposób myślenia. Pojawianie się zanieczyszczeń incydentalnych, czas ich trwania, stężenie zanieczyszczeń, rozkład przestrzenny i czasowy przepływów wody, tak w rzece jak i w samym SZW, niżówki, awarie urządzeń i obiektów budowlanych, sploty terenowe, zanieczyszczenia obszarowe itp. – to wszystko są zdarzenia losowe. Nie da się ściśle przewidzieć kiedy wystąpią i jakie będzie ich natężenie, choć najczęściej można oszacować jak często się pojawiają zdarzenia o określonym natężeniu. Nie można uniknąć takiego ujęcia problemu, jak również funkcji losowych i probabilistycznej charakterystyki możliwych zdarzeń. W tym kierunku rozwija się współczesna inżynieria środowiska.

W odniesieniu do problematyki uzdatniania wody, w ostatnim okresie pojawiło się szereg prac [7,8,11], w których podjęto próby probabilistycznego podejścia do projektowania PsUzW. Przedstawiono także metody oceny niezawodności funkcjonowania dowolnego bloku urządzeń w PsUzW [15], wychodząc z ogólnej formuły:

$$K_s = \sum_{i \in E1} P_i \quad (1)$$

gdzie:

$$P_i = \prod_{j \in e1_i} K_j \prod_{j \in e0_i} (1-K_j) \quad (2)$$

K_j – wskaźnik gotowości j-tego elementu budującego dany blok (miara niezawodności funkcjonowania),

$e1_i$ (oraz $e0_i$) – zbiory zdalnych (oraz niezdatnych) elementów w i-tym jego stanie niezawodności,

$E1$ – zbiór stanów niezawodnościowych, w których blok jest sprawny,

P_i – prawdopodobieństwo zajścia i-tego stanu bloku urządzeń,

K_s – wskaźnik gotowości systemu (podsystemu).

Za stan niezawodnościowy bloku uważa się jedną z możliwych kombinacji elementów sprawnych i niesprawnych. W ten sposób ustalono ryzyko producenta wody [11]. Wprowadzono także pojęcie przeciążenia hydraulicznego poszczególnych urządzeń PsUzW [8]. Istotny postęp stanowi wprowadzenie do obliczeń pojęcia niezawodności bezpieczeństwa [11]. Doprowadziło to do dużej zmiany jakościowej, uzyskano bowiem możliwość oceny ryzyka ponoszonego przez odbiorców wskutek dostarczenia do PsDW wody o niewłaściwej jakości lub pojawienia się niedoborów wody. Niedobory (N_i), jakie pojawiają się w SZW (szczególnie w PsDW), określone są za pomocą prawdopodobieństwa ich zajścia na skutek rozmaitych awarii lub zamykania dostawy wody z powodu jej złej jakości [8]. Już w roku 1988 postulowano konieczność przejścia na inny sposób oceny zagrożeń [7]. Celowość probabilistycznego podejścia do problemów związanych

z projektowaniem PsUzW zgłaszano już kilkakrotnie. W szczególności podano szereg dróg rozwiązywania niektórych zadań stojących przed PsUzW.

Ocena zawodności zakładu uzdatniania wody

Dla poszczególnych parametrów jakości wody (z grupy organoleptycznych i fizyczno-chemicznych) wprowadzono pojęcie wskaźnika przekroczenia jakości wody do picia i na potrzeby gospodarcze, oznaczonego symbolem W . Stanowi on kryterium zawodności zakładu uzdatniania wody w zakresie jakości wody. Wskaźnik ten, odniesiony do danego parametru jakości wody, zdefiniowany jest następująco:

$$W = (S - S_n) / (S_{\max} - S_n) \quad (3)$$

gdzie:

W – wskaźnik przekroczenia jakości wody,

S – stwierdzone stężenie danego wskaźnika zanieczyszczenia, większe od wartości dopuszczalnej,

S_{\max} – maksymalne dopuszczalne stężenie danego wskaźnika zanieczyszczenia wody, przyjęte np. wg danych PZH (kryteria tolerancji zawartości w wodzie do picia substancji chemicznych i liczby drobnoustrojów wskaźnikowych),

S_n – dopuszczalne stężenie danego wskaźnika zanieczyszczenia wody [12].

Z definicji przyjęto, że dla $S \leq S_n$ $W=0$ oraz dla $S \geq S_{\max}$ $W=1$. Wówczas możliwe są trzy przypadki:

$W=0$ – jakość wody jest zadowalająca, woda ma parametry jakościowo lepsze od wartości dopuszczalnych,

$0 < W < 1$ – jakość wody nie odpowiada wymaganiom, więc ogranicza się liczbę i czasy trwania takich stanów,

$W=1$ – jakość wody jest nie do przyjęcia i zachodzi bezwzględna konieczność wyłączenia ujęcia oraz zakładu uzdatniania wody z eksploatacji.

Prawdopodobieństwo tego, że stężenie zanieczyszczeń przekroczy stężenie dopuszczalne jest różne dla poszczególnych stopni tego przekroczenia. Proponowana metoda umożliwia uwzględnienie różnego stopnia przekroczenia stężeń dopuszczalnych oraz wag, którymi są prawdopodobieństwa zajścia tych przekroczeń. Rozważania przeprowadza się w odniesieniu do jednostki czasu jaką jest rok. Stopień przekroczenia stężenia dopuszczalnego określa wskaźnik W , którego wartości progowe przyjęto arbitralnie ($W_p=0,1; 0,3; 0,5; 0,7$). Prawdopodobieństwo zaistnienia tych stanów można wyznaczyć z zależności:

$$P_i = C_i T_i / 365 \quad (4)$$

gdzie:

i – numer kolejny rozpatrywanego okresu, w którym występują wartości $0 < W_i < 1$; $i = 1; 2; \dots$

T_i – czas trwania i-tego stanu,

C_i – częstość występowania i-tego stanu.

Dla stanów, w których zachodzi warunek $W=0$, tj. dla okresów, w których nie występują przekroczenia danego wskaźnika jakości wody w stosunku do wymagań, zachodzi zgodnie z równaniem (1) następująca relacja:

$$P_0 = 1 - \sum_i P_i \quad (5)$$

gdzie P_0 oznacza prawdopodobieństwo, że $W=0$.

Czynnikiem przedstawiającym zawodność zakładu uzdatniania wody, w odniesieniu do jakości wody dostarczonej do wodociągu komunalnego, jest stężenie danego wskaźnika zanieczyszczenia ponad wartość dopuszczalną, określoną pośrednio przez W . Zawodność uogólnioną (U_u) określa stosunek wartości oczekiwanej przekroczeń wskaźnika W (przypadki, gdy $0 < W < 1$) oznaczonej symbolem $E(W)$, do wartości granicznej tego przekroczenia, tj. dla $W=1$, czyli $U_u=E(W)$, przy czym:

$$E(W) = \frac{\sum_{i=1}^k P_i W_i}{\sum_{i=1}^k P_i} \quad (6)$$

Stąd uogólniony wskaźnik niezawodności wynosi:

$$K_u = 1 - U_u \quad (7)$$

W pracy [3] podano propozycję podziału zakładów uzdatniania wody na kategorie ze względu na niezawodność jakości wody do picia i na potrzeby gospodarcze. Dla każdego zakładu uzdatniania wody należy wyznaczyć wartości wskaźników K_u i P_o oraz sprawdzić, czy spełniona jest nierówność:

$$K \geq K_w \quad (8)$$

gdzie:

K – rozpatrywany wskaźnik K_u lub P_o ,

K_w – wartość dopuszczalna, odpowiednio K_u^{dop} lub P_o^{dop} .

Przedstawiona koncepcja jest propozycją rozwinięcia obowiązujących przepisów prawnych w zakresie jakości wody do picia i na potrzeby gospodarcze. Uwzględnia ona częstość, czas trwania i stopień przekroczenia wartości dopuszczalnych wskaźników jakości wody. Wielkość $E(W)$ stanowi ryzyko, które może być normowane. Odpowiednio można normować czasy trwania stanów, w których dany wskaźnik zanieczyszczenia wody przyjmuje wartości z i -tych przedziałów. W ten sposób można normować zarówno dopuszczalne przekroczenia normatywnych wartości stężeń jak i czasy ich trwania (nieprzekraczające stężenia S_{max}). W tym względzie też należałoby, podobnie jak w proponowanej metodzie ustalenia zalecanej oraz maksymalnej dopuszczalnej wartości wskaźników jakości wody [4,9], wprowadzić ograniczenie czasów trwania stanów ze stężeniami powyżej zalecanych i ewentualnie ograniczyć stopień przekroczenia stężeń zalecanych oraz częstość występowania takich stanów. Wówczas wskaźnik W określany byłby ze wzoru:

$$W = (S - S_{zal}) / (S_{max} - S_{zal}) \quad (9)$$

gdzie:

S_{zal} – wartość zalecana,

S_{max} – wartość dopuszczalna.

Do określenia wartości wskaźnika W bierze się pod uwagę stężenia zawarte w przedziale $S_{zal} \leq S \leq S_{max}$.

Ryzyko może być także określone na innej drodze, tj. poprzez wyznaczenie niezawodności funkcjonowania $PsUzW$ oznaczonej $P(K)$ oraz niezawodności bezpieczeństwa $P(B)$, gdzie K jest funkcją losową oznaczającą sprawność $PsUzW$, natomiast B jest funkcją losową oznaczającą, że $PsUzW$ jest bezpieczny dla użytkowników SZW. Prawdopodobieństwa $P(K)$ oraz $P(B)$ ustala się dla różnych wariantów $PsUzW$, w szczególności posiadających odmienny sposób uzyskiwania informacji o jakości wody surowej

[11]. Najlepsze rezultaty uzyskuje się dla $PsUzW$ z monitoringiem, zaś najgorsze dla przypadku, gdy próby wody pobierane są cyklicznie tuż przed $PsUzW$ i analizowane w laboratorium. Możliwe są też rozwiązania pośrednie (inna lokalizacja punktów poboru wody do analiz).

Zawodność $r(B)=1-P(B)$ można uważać za ryzyko odbiorców wody, zaś zawodność funkcjonowania $r(K)=1-P(K)$ za ryzyko producenta wody. Nie ma przeszkód, aby na drodze studialnej określić dopuszczalne poziomy ryzyka. Pewne informacje dotyczące określania ryzyka można znaleźć w pracy [8]. Opracowano też podstawy teoretyczne określania niezawodności funkcjonowania $PsUzW$ z uwagi na zanieczyszczenia, na które proces uzdatniania jest projektowany. Niektóre propozycje przedstawiono w pracy [8], natomiast pewne ich modyfikacje zawarte są w pracy [5]. Obecnie kontynuowane rozważania teoretyczne wskazują, że dalszy postęp w tym zakresie jest możliwy.

Podsumowanie

Zmiana przepisów dotyczących jakości wody, jakkolwiek uzasadniona, nie rozwiąże jednak problemu zabezpieczenia użytkowników wodociągu. Niezbędne jest uporządkowanie gospodarki wodno-ściekowej zlewni, monitoring jakości wód, a także niezawodność systemów zaopatrzenia w wodę oraz wymagania stawiane wodzie do picia i na potrzeby gospodarcze, które są zagadnieniami komplementarnymi. Przy obecnym sposobie kontroli jakości wody, niezależnie od różnych uregulowań prawnych, nie ma możliwości wystarczającego zabezpieczenia przed dostarczeniem do odbiorców wody o niewłaściwej jakości. Przepisy pozwalają jednakże na identyfikację zanieczyszczeń wody i z tego punktu widzenia są niezbędne. Z tego też powodu powinny być udoskonalane.

Rozpatrywanie problemu uzdatniania wody wymaga systemowego traktowania podsystemu uzdatniania wody, jako ogniwa powiązanego z pozostałymi podsystemami, a nie jak dotąd – jako odrębnego problemu technicznego. Przy okazji rozważań nad problemem uzdatniania wody można zauważyć, że niezbędne jest rozszerzenie narzędzi naukowych, tak przy ustalaniu koncepcji podsystemu uzdatniania wody, jak i jego projektowaniu. W szczególności niezbędne wydaje się ocenianie ryzyka związanego z przedostawaniem się wody zawierającej incydentalne zanieczyszczenia do systemu zaopatrzenia w wodę. To zaś wymaga podejścia probabilistycznego. Należy także w programie badań przedprojektowych uwzględnić różne sytuacje (okresy suszy, zakwity glonów w zbiornikach, deszcze nawalne, zwielokrotnione stężenia zanieczyszczeń). Końcowa ocena jakości wody powinna uwzględniać także i inne sytuacje ekstremalne. Należy podkreślić, że projektowanie całego systemu zaopatrzenia w wodę, ale także podsystemu uzdatniania wody, wymaga stosowania analiz techniczno-ekonomiczno-niezawodnościowych w miejsce dotychczas stosowanych analiz techniczno-ekonomicznych.

LITERATURA

1. M. BŁAŻEJEWSKI, G. MICHALSKA, A. WILCZAK: Niezawodność wody do picia w świetle jakości wód powierzchniowych ujmowanych w Polsce. Mat. IV symp. Racjonalne gospodarowanie wodą w aglomeracjach miejsko-przemysłowych. Wyd. PZITS nr 433, Kraków, ss. 43-50.
2. R. IWANEJKO, T. LUBOWIECKA, A. WIECZYSTY: Jednokryterialna optymalizacja podziału rezerwy w zbiornikach wodociągowych i nadwyżki mocy produkcyjnej przy wykorzystaniu teorii niezawodności.

- Mat. konf. Wydziału Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Krakowskiej, Kraków 1993.
3. R. IWANEJKO, T. LUBOWIECKA, A. WIECZYSTY: Obliczanie objętości wodociągowych zbiorników wasekuracyjnych z uwzględnieniem zróżnicowania czasów odnowy układów zasilania w wodę przy wykorzystaniu teorii niezawodności. Mat. konf. Wydziału Inżynierii Sanitarnej i Wodnej Politechniki Krakowskiej, Kraków 1993.
 4. A.L. KOWAL: Wypowiedź dyskusyjna. GWiTS, 1993, nr 4, s. 77.
 5. T. LUBOWIECKA: Recenzja pracy habilitacyjnej J. Raka. Politechnika Krakowska, Kraków 1994 (praca nie publikowana).
 6. S. MAZIARKA: Woda do picia – wymagania zdrowotne. GWiTS, 1993, nr 4, ss. 89-91.
 7. J. RAK, A. WIECZYSTY: Próba wprowadzenia wskaźników niezawodności dla wody do picia i na potrzeby gospodarcze w aspekcie jej jakości. Mat. konf. Zagadnienia zaopatrzenia w wodę miast i wsi. PZITS, Poznań 1988, tom II, ss. 11-12.
 8. J. RAK: Niezawodność systemu uzdatniania wód powierzchniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 20, Rzeszów 1993.
 9. S.A. RYBICKI: Obowiązujące w Polsce przepisy dotyczące wody do picia – ocena i propozycja doskonalenia. GWiTS, 1993, nr 4, ss. 92-93.
 10. S.A. RYBICKI: Stacje osłonowe ujęć wody powierzchniowej. Mat. konf. Zaopatrzenie w wodę miast i wsi. PZITS, Poznań 1994, ss. 335-345.
 11. A. WIECZYSTY, R. IWANEJKO, T. LUBOWIECKA, J. RAK: Biepieczeństwo podsystemu uzdatniania wody powierzchniowej z monitoringiem jej jakości. Mat. konf. Zaopatrzenie w wodę miast i wsi. PZITS, Poznań 1994, ss. 561-578.
 12. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Opieki Społecznej z 4 maja 1990 r. Dz.U. nr 35.
 13. Jakość wody do picia: nowe wymagania sanitarne a możliwości ich realizacji. Ochrona Środowiska, 1994, nr 1(52), ss. 3-6.
 14. Jakość wody do picia: forum dyskusyjne. Ochrona Środowiska, 1994, nr 3-4(54-55), ss. 3-12.

Reliability of a Water Supply System in Terms of Quality Demand

The reliability problem was considered with respect to the following subsystems of water supply: intake, treatment, transfer, storage and distribution, whereas quality demands were formulated for raw and treated water. Particular consideration was given to the problem of how the occurrence

of incidental pollutants in the intake affected the operation of the treatment system. The advantages of water quality monitoring were discussed. In this context, the designer of the intake-treatment-distribution system should give preference to probabilistic methods.