

Dawid SZPAK , Barbara TCHÓRZEWSKA – CIEŚLAK

ZAKŁAD ZAOPATRZENIA W WODĘ I ODPROWADZANIA ŚCIEKÓW
POLITECHNIKA RZESZOWSKA

METODA ANALIZY I OCENY BEZPIECZEŃSTWA UJĘĆ WÓD POWIERZCHNIOWYCH

METHOD FOR SURFACE WATER INTAKES SAFETY ANALYSIS AND ASSESSMENT

The paper describes the surface water intakes safety problems in the context of their proper functioning. Characteristics of undesirable events, including those related to climate change, was presented. It was assumed that risk is a safety measure. Risk is understood as a function of probability of adverse events, possible losses and vulnerability of threats. It proposed a method of safety analysis and assessment based on cause and effect analysis of undesirable events and the expected value. The developed method is presented an application example.

1. Wprowadzenie

Według Światowej Organizacji Zdrowia (ang. *World Health Organization* – WHO) około 663 miliony ludzi nie ma dostępu do wody zdatnej do spożycia, z czego większość to mieszkańcy Afryki oraz Azji [14]. Około 30 000 ludzi tygodniowo umiera z powodu spożycia zanieczyszczonej wody. Problemy z wodą przeznaczoną do spożycia dotyczą jednak nie tylko ubogich państw trzeciego świata, ale również Europy, w tym Polski. Zasoby wodne w Polsce kształtują się na poziomie około 1600 m³/M·rok (w okresach suszy wskaźnik ten może spaść nawet do 1000 m³/ M·rok), co na tle krajów europejskich jest bardzo małą wartością i może być powodem zaburzeń w gospodarowaniu zasobami wodnymi [33]. Poważne zagrożenie dla ciągłości dostawy wody do konsumentów stanowiła susza, która dotknęła Europę oraz Polskę w 2015 roku. Stan wody w niektórych rzekach, m. in. w Wiśle, osiągnął najniższy poziom od ponad 100 lat. Sytuacja wymusiła na części małych przedsiębiorstw wodociągowych wprowadzenie okresowych przerw w dostawie wody. Ze względu na niski poziom wód podziemnych, niedobory wody dotknęły także mieszkańców korzystających z indywidualnych ujęć wody.

Zgodnie z wymaganiami Ramowej Dyrektywy Wodnej [6] oraz przepisami wewnętrznymi poszczególnych państw członkowskich UE [21, 27] przedsiębiorstwa wodociągowo – kanalizacyjne mają obowiązek zapewnić zdolność posiadanych urządzeń do realizacji dostaw wody w sposób ciągły i niezawodny, a także zapewnić wymaganą jakość dostarczanej wody, przy czym ze względu na bezpieczeństwo konsumentów wody priorytetem jest zawsze jej jakość [4]. Przedsiębiorstwo wodociągowo – kanalizacyjne odpowiadając za jakość wody, którą pijemy każdego dnia, w sposób bezpośredni wpływa na stan naszego zdrowia.

Ujęcia wody stanowią podstawowy element systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW), a odpowiednia jakość i ilość ujmowanej wody stanowią priorytet dla pierwszego etapu produkcji wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Jednym z głównych zadań przedsiębiorstwa wodociągowo – kanalizacyjnego jest zapewnienie niezawodnej pracy SZZW, w tym ujęcia wody [23]. Bardzo ważnym zagadnieniem jest wybór typu ujęcia, jego lokalizacja, odpowiednie zaprojektowanie, a w dalszym okresie także jego eksploatacja. W tym względzie należy kierować się zasadą zrównoważonego rozwoju. Zaspokojenie potrzeb konsumentów powinno uwzględniać ograniczenia mające na celu ochronę zasobów wodnych dla przyszłych pokoleń. Nie sposób pominąć również zagadnień związanych z zapewnieniem akceptowanego poziomu bezpieczeństwa ujęć wody, uwzględniających potencjalne zagrożenia, systemy zabezpieczeń oraz system monitoringu. System zbiorowego zaopatrzenia w wodę charakteryzuje się dużą podatnością na działanie zdarzeń niepożądanych, które mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia konsumentów, jak również powodować znaczne straty materialne [9].

Niezawodność (ang. *dependability*) jest rozumiana jako zdolność systemu, podsystemu, urządzenia czy pojedynczego elementu do realizowania przynależnych funkcji, zgodnie z wymaganiami pod względem funkcjonowania [10, 35]. Obejmuje ona dwa pojęcia: gotowość oraz bezpieczeństwo. Przez gotowość (ang. *availability*) rozumie się zdolność systemu do przebywania w stanie umożliwiającym wypełnianie nałożonych na niego zadań w dowolnym czasie, przy założeniu, że dostarczone będą wymagane środki zewnętrzne, lub jako dostępność w dowolnej chwili do świadczenia wymaganej usługi (funkcji). Bezpieczeństwo (ang. *safety*) natomiast jest cechą systemu opisującą jego przysposobienie do unikania zagrożeń i narażeń. W tym sensie bezpieczeństwo określone jest przez [25]:

- nieszkodliwość (ang. *harmlessness*) – rozumianą jako eliminacja uszkodzeń krytycznych (działania aktywne) i ewentualne zabezpieczanie przed ich negatywnymi skutkami (działania pasywne),
- niezagrożalność (ang. *hazardousness*) – polegającą na przysposobieniu systemu do ograniczenia szkodliwego oddziaływania na otoczenie,
- ochraniałość (ang. *security*) – będącą przeciwdziałaniem oddziaływaniom nieprzyjaznego otoczenia.

Niezawodność ujęcia wody definiuje się więc jako zdolność do ujmowania wymaganej ilości wody, o określonej jakości, w dowolnej chwili czasu, zgodnie z wymaganiami pod względem funkcjonowania i bezpieczeństwa. Przez bezpieczeństwo ujęcia wody rozumie się natomiast właściwość charakteryzującą jego odporność na powstanie sytuacji niebezpiecznych (zagrożeń) lub zdolność do ochrony jego nadrzędnych właściwości funkcjonalnych przed wewnętrznymi i zewnętrznymi zagrożeniami. Kluczowym dla zapewnienia ciągłości funkcjonowania ujęcia wody, a tym samym SZZW, jest wytypowanie oraz analiza wszystkich zdarzeń niepożądanych jakie mogą powodować utratę bezpieczeństwa [34]. W aspekcie niezawodności ujęć wody powierzchniowej, należy szczególną uwagę zwrócić na prace ośrodka krakowskiego, autorstwa A. Wiczystego, J. Bajera, B. Budziło, R. Iwanek oraz T. Lubowieckiej. Kompleksową analizę niezawodności systemu uzdatniania wód powierzchniowych w swojej monografii habilitacyjnej przedstawił J. Rak [16].

Głównym celem pracy jest przedstawienie zagadnienia bezpieczeństwa ujęć wód powierzchniowych. W pracy scharakteryzowano zagrożenia dla prawidłowego funkcjonowania ujęć wód powierzchniowych, podano metody ochrony przed zdarzeniami niepożądanymi oraz zaproponowano metodę analizy i oceny ryzyka jako miary bezpieczeństwa ujęć wody powierzchniowej.

2. Zagrożenia dla ujęć wód powierzchniowych

2.1 Incydenalne zanieczyszczenie źródeł wody

Przez zanieczyszczenie wody rozumie się niekorzystne zmiany właściwości fizycznych, chemicznych oraz bakteriologicznych, które utrudniają lub uniemożliwiają jej wykorzystanie do spożycia przez ludzi. Zanieczyszczenie wody w podsystemie dystrybucji może zostać spowodowane przez zanieczyszczenie źródła wody, nieefektywny proces uzdatniania lub przez wtórne zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej [1, 25]. W niniejszej pracy przeanalizowano zdarzenia związane z zanieczyszczeniem wody powierzchniowej, zagrażające bezpieczeństwu konsumentów wody. Zagrożenie dla konsumentów stanowią zanieczyszczenia, których usunięcie wymaga korekt w konwencjonalnym procesie uzdatniania wody, zanieczyszczenia które mogą być usunięte po uruchomieniu alternatywnej technologii uzdatniania oraz zanieczyszczenia, których proces uzdatniania nie jest w stanie usunąć [17]. Szczególnie niebezpieczeństwo niesie za sobą wystąpienie zanieczyszczenia bakteriologicznego.

Do głównych przyczyn zanieczyszczenia źródeł wody powierzchniowej zalicza się [7, 17, 24]:

- zdarzenia o znamionach poważnej awarii oraz poważne awarie, których rejestr prowadzi Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, np. zanieczyszczenie rzeki substancjami ropopochodnymi spowodowane katastrofą w ruchu lądowym,
- niekontrolowany wyciek nieoczyszczonych ścieków sanitarnych z oczyszczalni ścieków,
- celowe działanie osób trzecich: działania wojenne, atak terrorystyczny lub cyberterrorystyczny, atak psychopaty lub akt wandalizmu,
- pogodowe zjawiska ekstremalne – susze oraz powodzie.

Wg Ustawy [28], poważna awaria jest to zdarzenie, powstałe w trakcie procesu przemysłowego, magazynowania lub transportu, w którym występuje jedna lub więcej niebezpiecznych substancji, prowadzące do natychmiastowego powstania zagrożenia życia lub zdrowia ludzi lub środowiska lub powstania takiego zagrożenia z opóźnieniem. W tabeli 1 przedstawiono liczbę zdarzeń o znamionach poważnej awarii oraz poważnych awarii w 2013 roku wraz z miejscem ich wystąpienia na podstawie danych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska [19]. W analizowanym okresie wystąpiło 84 zdarzenia, w tym 12 poważnych awarii spełniających kryteria Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 30 grudnia 2002 roku [20]. Stwierdzono, że najczęściej zdarzeń o znamionach poważnej awarii oraz poważnych awarii było związanych z funkcjonowaniem zakładów przemysłowych oraz transportem. Około 17 % zdarzeń dotyczyło zanieczyszczenia wód powierzchniowych i mogło stanowić zagrożenie dla ujęć wody powierzchniowej.

Tabela. 1. Liczba zdarzeń o znamionach poważnej awarii oraz poważnych awarii w 2013 roku [19]
Table. 1. The number of events that have the characteristics of major accident and major accidents in 2013 [19]

Miejsce powstania zdarzenia	Liczba zdarzeń
zakłady o dużym ryzyku (ZDR)	30
zakłady o zwiększonym ryzyku (ZZR)	3
zakłady nienależące do w/w grup	22
transport	21
inne (m.in. zanieczyszczenie cieków wodnych substancjami niebezpiecznymi, porzucenie pojemników i beczek z substancjami niebezpiecznymi)	8
łącznie	84

W obliczu rosnącego napięcia na arenie międzynarodowej, w szczególności kryzysu migracyjnego w Europie spowodowanego masowym napływem imigrantów z Afryki oraz Azji, jak również stale podsycanego konfliktu na Ukrainie, koniecznością wydaje się posiadanie sprawnego systemu wykrywania zagrożeń oraz reagowania kryzysowego w przypadku wystąpienia incydentalnego zdarzenia niepożądanego. Ujęcie wody powierzchniowej wydaje się być potencjalnym celem ataku terrorystycznego ze względu na bardzo duży zasięg oddziaływania SZZW oraz bezpośredni wpływ dostarczonej wody na zdrowie konsumentów [36]. Świadczyć o tym mogą liczne groźby tzw. Państwa Islamskiego, m.in. „Nawet trucizna jest dostępna, dlatego zatruwajcie wodę i pożywienie choć jednego z wrogów Allaha” [11]. Słowa te mimo, iż nie zostały skierowane bezpośrednio do Polski, z pewnością powinny stanowić sygnał ostrzegawczy dla jednostek administracji państwowej oraz bodziec dla rozbudowy systemu zabezpieczenia konsumentów przed spożyciem zanieczyszczonej wody. Należy jednak pamiętać, że wprowadzenie substancji trującej do wody uzdatnionej znajdującej się w podsystemie dystrybucji wody jest zdecydowanie groźniejsze dla konsumentów niż zatrucie wody rzecznej ze względu na fakt, iż w wodzie powierzchniowej substancja trująca ulegnie znacznemu rozcieńczeniu.

Atak na SZZW nie musi zostać jednak przeprowadzony w sposób fizyczny. Coraz większe zagrożenie we współczesnym świecie stanowią cyberprzestępstwa oraz cyberterrorizm, czyli rodzaj terroryzmu wykorzystujący zdobycze technologii informacyjnej. Obecnie coraz więcej dużych SZZW wykorzystuje nowoczesne oprogramowanie typu SCADA czy GIS, często procesy uzdatniania wody są w pełni zautomatyzowane. Komunikacja pomiędzy poszczególnymi podsystemami wchodzącymi w skład SZZW odbywa się zwykle z wykorzystaniem transmisji danych GPRS. W związku z tym, zakłócenie pracy elementów zdalnego sterowania przez osoby trzecie może doprowadzić do zakłóceń w funkcjonowaniu SZZW, a w rezultacie konieczności wstrzymania dostaw wody do miasta.

2.2 Pogodowe zjawiska ekstremalne – susze i powódzie

Susza może być powodem poważnych problemów w gospodarowaniu zasobami wodnymi na dotkniętym przez nią obszarze. Stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa ujęć wody powierzchniowych ze względu na obniżenie poziomu wód powierzchniowych oraz wzrost stężenia zanieczyszczeń, na co wiele przedsiębiorstw wodociągowo – kanalizacyjnych nie jest przygotowanych. Susza powoduje także obniżenie zwierciadła wód podziemnych co stanowi zagrożenie dla ciągłości dostawy wody.

Szczególnie narażeni na ograniczenia w dostawie wody są mieszkańcy małych miejscowości, korzystający z indywidualnych studni przydomowych lub małych zbiorowych SZZW posiadających tylko jedno źródło zasilania. W przypadku wystąpienia ograniczeń wydajności jedyne źródło wody, przedsiębiorstwa wodociągowo – kanalizacyjne zarządzające małymi SZZW, nie mają technicznych możliwości dostawy wody do konsumentów. Jedynym rozwiązaniem w takim przypadku, jest dostawa wody beczkowozami rozmieszczonymi w głównych punktach miejscowości lub dostawa wody butelkowanej. Długotrwała susza, która dotknęła nasz kraj w 2015 roku doprowadziła do powstania sytuacji kryzysowej związanej z brakiem dostawy wody w wielu gminach, m. in. gminie Błazowa (woj. podkarpackie), gminie Mieroszów (woj. dolnośląskie) oraz gminie Staszowice (woj. dolnośląskie). Z najtrudniejszą sytuacją borykają się mieszkańcy gminy Koniecpol, położonej w województwie śląskim. Od ponad pół roku około 1,5 tysiąca mieszkańców nie ma dostępu do wody, ze względu na wyschnięcie studni indywidualnych, które zaopatrywały mieszkańców. W czasie trwania sytuacji kryzysowej woda jest dostarczana do konsumentów przez Straż Pożarną, co generuje znaczne koszty. Jednym rozwiązaniem w tej sytuacji jest budowa zbiorowego wodociągu.

Bardzo duże zagrożenie dla bezpieczeństwa ujęć wody powierzchniowych stanowią powódzie, które w naszej szerokości geograficznej występują przede wszystkim w okresach wiosennym i letnim. Do skutków powodzi należy obniżenie jakości wody, głównie wzrost mętności oraz zanieczyszczenia biologicznego wody. Jeżeli proces uzdatniania wody nie jest w stanie sobie poradzić ze wzrostem zanieczyszczenia wody surowej operator powinien podjąć decyzję o zamknięciu SUW. Ponadto w przypadku zalania obiektów SUW-u, istnieje konieczność ewakuacji pracowników przedsiębiorstwa wodociągowo – kanalizacyjnego oraz natychmiastowe zamknięcia ujęcia.

Przyczyną ograniczenia lub wstrzymania dostaw wody do miasta mogą być także awarie techniczne elementów ujęcia lub awarie elementów pompowni I-go stopnia. Zagrożenie stanowi nie tylko uszkodzenie pomp, przewodów oraz armatury, ale także uszkodzenie elementów konstrukcyjnych budowli.

2.3 Pogodowe zjawiska ekstremalne – susze i powódzie

Media stosunkowo często podają informację o wystąpieniu zanieczyszczenia wód stanowiących źródło dla miasta czy też długotrwałych sytuacjach kryzysowych spowodowanych przez suszę. Do najbardziej spektakularnych sytuacji kryzysowych do jakich doszło w ostatnich kilkudziesięciu latach na świecie należą [13]:

- zanieczyszczenie wody w mieście Flint w stanie Michigan (Stany Zjednoczone) w okresie od kwietnia 2014 roku do stycznia 2016 roku. Kryzys populacyjny oraz niewłaściwa strategia zarządzania miastem doprowadziły do rezygnacji z dotychczasowego źródła wody, jeziora Huron, oraz rozpoczęcia poboru wody z rzeki Flint. Woda ta korodowała stare rury sieci wodociągowej powodując uwalnianie ołowiu. Odnotowano liczne skargi konsumentów wody na smak, wygląd oraz zapach wody. Dochodziło do fałszerstw wyników badań jakości wody. W rezultacie odnotowano zwiększony poziom ołowiu we krwi około 9 tysięcy dzieci spożywających zanieczyszczoną wodę. Do skutków działania ołowiu na organizm ludzki należą: zaburzenia neurologiczne, obniżona inteligencja, utrata wzroku, słuchu, zębów oraz obniżona odporność.
- zanieczyszczenie wody w mieście Charleston w stanie Wirginia Zachodnia (Stany Zjednoczone) w styczniu 2014 roku. Nastąpił wyciek z magazynu firmy Freedom Industries zlokalizowanego około 1,6 km w górę od ujęcia wody, służącego do przechowywania chemikaliów wykorzystywanych w przemyśle górniczym, do rzeki Elk stanowiącej źródło wody dla miasta. W wyniku zdarzenia rzeka została zanieczyszczona ok. 20 tysiącami litrów 4-metylocykloheksylometanolu (MCHM). Skutkiem był brak dostawy wody do około 300 tysięcy mieszkańców miasta Charleston. Setki osób z objawami zatrucia po spożyciu zanieczyszczonej wody wodociągowej trafiło do szpitala.
- długotrwała susza oraz w rezultacie całkowite wyschnięcie zbiornika Batllava stanowiącego rezerwuuar wody dla miast Pristina oraz Podujevo (Kosowo) na przełomie 2013 oraz 2014 roku. Drastyczne ograniczenie dostaw wody dla 400 000 mieszkańców tych miast. Czas trwania sytuacji kryzysowej: około 3 miesiące.
- zanieczyszczenie wody w mieście Kingston, w stanie Tennessee (Stany Zjednoczone) w grudniu 2008 roku. Pęknięcie tamy zbiornika na terenie elektrowni węglowej doprowadziło do uwolnienia około 4,16 mln m³ lotnego pyłu węglowego. Wyciekły szlam (mieszanina popiołu lotnego i wody) zajął obszar około 120 ha doprowadzając do degradacji środowiska naturalnego oraz zanieczyszczenia rzek: Emory, Clinch oraz Tennessee.
- zanieczyszczenie wody w mieście Jilin (Chiny) w listopadzie 2005 roku. Seria wybuchów w zakładzie petrochemicznym, w wyniku których 6 osób zginęło a 70 zostało rannych, spowodowała wyciek około 100 ton benzenu i nitrobenzenu do rzeki Songhua, dopływu rzeki Amur, tworząc osiemdziesięciokilometrową toksyczną plamę zanieczyszczeń. W wyniku wycieku około 4 mln mieszkańców jednego z największych miast w Chinach, miasta Harbin, zostało pozbawionych wody zdatnej do spożycia przez okres 5 dni. W odpowiedzi na kryzys do miasta Harbin dostarczano tysiące metrów sześciennych wody oraz tysiące ton węgla aktywnego z całego kraju. Częściowo zawieszono także zaopatrzenie w wodę kilku innych miast prowincji Jilin, w tym miasta Songyuan.

- zanieczyszczenie wody w Bazylei (Szwajcaria) w listopadzie 1986 roku. W wyniku pożaru zakładów chemicznych do Renu dostało się około 30 ton rtęci oraz innych substancji chemicznych. Zanieczyszczenie dotknęło znacznej długości rzeki, która przybrała bordowy kolor. Doszło do masowego śnięcia ryb. Ze względu na sprawną reakcję służb nie doszło do przedostania się zanieczyszczonej wody do systemów wodociągowych, co niewątpliwie uchroniło wielu mieszkańców przed utratą zdrowia i życia.

Powyższe przykłady jednoznacznie wskazują, że incydentalne zdarzenia niepożądane dotyczące ujęć wody stanowią poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa konsumentów wody. Nie ma zdarzeń niemożliwych i lekceważenie potencjalnie nierealnych zagrożeń może doprowadzić do powstania sytuacji kryzysowej. Obowiązuje zasada, że zdarzenia najmniej prawdopodobne mogą mieć katastrofalne skutki. Z tego względu, SZZW powinien być wyposażony w szczelny system wykrywania zagrożeń oraz powinien posiadać plany reagowania kryzysowego obejmujące [18]:

- charakterystykę potencjalnych zagrożeń, analizę i ocenę ryzyka ich wystąpienia,
- analizę rozwoju scenariuszy zdarzeń niepożądanych,
- monitoring potencjalnych zagrożeń, system alarmowania o zagrożeniach,
- utrzymywanie sił i środków zdolnych do usuwania skutków zdarzeń niepożądanych,
- organizację pomocy medycznej na wypadek wystąpienia sytuacji kryzysowej.

3. Ochrona ujęć wód powierzchniowych przed incydentalnymi zdarzeniami niepożądanymi

3.1 Przegląd aktualnego stanu wiedzy

W literaturze można odnaleźć szereg rozwiązań dotyczących sposobu zabezpieczenia ujęć wody przed incydentalnym zanieczyszczeniem. Zagadnienie to było analizowane w Polsce już w latach 90 XX wieku. W 1990 roku M. Błażejewski oraz A. Dąbrowska rozważali ryzyko incydentalnych zanieczyszczeń miejskich ujęć wody w Polsce [3]. W 1995 r. A. Wieczysty oraz J. Rak przeanalizowali możliwe scenariusze rozwoju sytuacji kryzysowej w przypadku incydentalnego zanieczyszczenia źródła wody [30]. Wskazano na konieczność współpracy zbiornika wody surowej ze stacją osłonowo – ostrzegawczą. Ten sam zespół autorski w 1996 r. przedstawił możliwe sposoby zabezpieczenia mieszkańców przed incydentalnymi zanieczyszczeniami oraz wykazał znaczący wpływ zapasu wody zgromadzonej w zbiornikach na podniesienie niezawodności i bezpieczeństwa SZZW [31]. A. Wieczysty, J. Rak oraz T. Lubowiecka na konferencji w Poznaniu w 1996 r. [32] podali teoretyczne podstawy projektowania stacji osłonowo – ostrzegawczych. Podczas tej samej konferencji J. Pawełek wygłosił wykład na temat zabezpieczenia ujęć wody przed nadmierną mętnością z wykorzystaniem magazynowania wody [12]. Problematykę niezawodności ujęć wody powierzchniowej ze szczególnym uwzględnieniem stacji osłonowo – ostrzegawczych podejmował także Stanisław A. Rybicki m. in. w [22]. W 2001 r. wprowadził on pojęcie systemu multibariera, przez co rozumie się system zabezpieczenia mieszkańców przed spożyciem zanieczyszczonej wody składający się z kilku barier ochronnych.

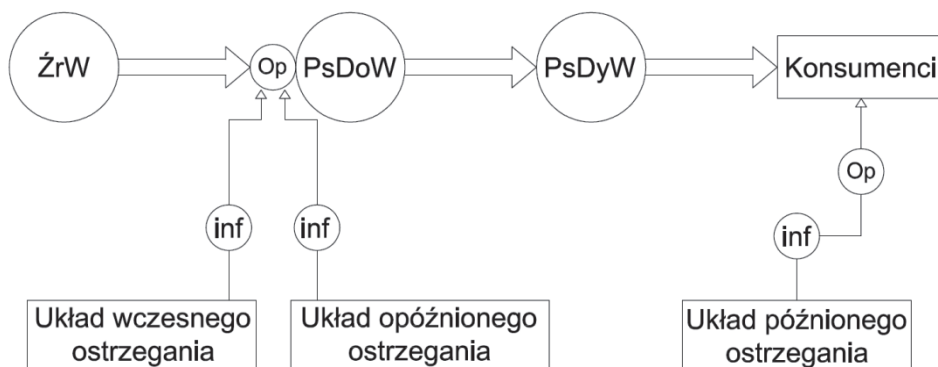
W monografii podsumowującej dorobek krakowskiej szkoły niezawodności wydanej w 2001 r., tematyka niezawodności ujęć wody była poruszana przez B. Budziło i A. Wieczystego [5] oraz przez J. Bajera i A. Wieczystego [2], którzy przedstawili metodę oceny niezawodności ujęcia wody wyposażonego w stację osłonowo – ostrzegawczą oraz zbiornik wody surowej, opartą na pojęciu wartości oczekiwanej niedoboru wody. Wstępną analizę ryzyka związanego z funkcjonowaniem niewielkich ujęć wody powierzchniowej przeprowadziła R. Iwanjko [8]. Tematyka bezpieczeństwa SZZW, w tym ujęć wód powierzchniowych, w późniejszych latach była rozwijana przez J. Raka w licznych monografiach, m. in. [17, 18].

3.2 Monitoring jakości wody

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury stwierdzono, że potencjalne zanieczyszczenie wody w SZZW może zostać ujawnione przez [2, 17]:

- układ wczesnego ostrzegania – informacja o jakości wody dostarczana jest z wyprzedzeniem na podstawie automatycznej i ciągłej analizy jakości wody wykonywanej przez stację osłonowo – ostrzegawczą zlokalizowaną w górze rzeki,
- układ opóźnionego ostrzegania – analiza jakości wody wykonywana na ujęciu lub na stacji uzdatniania wody (SUW), coraz powszechniej do oceny jakości wody pod kątem ogólnego zanieczyszczenia wykorzystuje się także biomonitoring,
- układ późnego ostrzegania – analiza jakości wody pobranej w podsystemie dystrybucji wody realizowana przez przedsiębiorstwo wodociągowe oraz odpowiedni oddział sanepidu.

Podjęcie właściwej decyzji przez operatora SUW, wymaga pewnego wyprzedzenia czasowego. Im wcześniej operator otrzyma informację o wystąpieniu zanieczyszczenia, tym większa jest szansa, że podejmie właściwe działania minimalizujące skutki zanieczyszczenia. Schemat ideowy funkcjonowania układu ostrzegania przed zanieczyszczeniem przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat funkcjonowania układu wczesnego, opóźnionego oraz późnego ostrzegania [2]

Fig. 1. Scheme of the early, delayed and late warning system functioning [2]

Oznaczenia wykorzystane na rysunku 1:

ŹrW – źródło wody,

PsDoW – podsystem dostawy wody,

PsDyW – podsystem dystrybucji wody,

Op – operator,

inf – przekazywana informacja.

Proces wczesnego ostrzegania jest realizowany w stacjach osłonowo - ostrzegawczych, których zadaniem jest ciągle wykonywanie analiz określonych wskaźników jakości wody oraz automatyczne przekazywanie wyników do SUW. Pozwala to operatorom SUW na intensyfikację procesu uzdatniania wody, uruchomienie alternatywnych procesów uzdatniania lub w przypadku gdy proces uzdatniania nie jest w stanie usunąć zanieczyszczenia na zamknięcie ujęcia. Rozwiązanie to w znaczący sposób zwiększa bezpieczeństwo konsumentów wody zabezpieczając ich przed spożyciem wody o nieodpowiedniej jakości. Obecnie stacje osłonowo – ostrzegawcze funkcjonują w większości polskich miast wojewódzkich, natomiast w mniejszych SZZW rozwiązanie to nie jest powszechnie stosowane.

Stacja osłonowo – ostrzegawcza powinna być wyposażona w aparaturę umożliwiającą przeprowadzanie analiz jakości wody w sposób ciągły i niezawodny. Do najczęściej oznaczanych wskaźników jakości wody należą: mętność, pH, tlen rozpuszczony, węgiel organiczny, azot amonowy oraz węglowodory. Wybór mierzonych wskaźników należy dobrać indywidualnie dla potrzeb danego przedsiębiorstwa wodociągowo - kanalizacyjnego.

3.3 Sanitarna ochrona zlewni

W celu ochrony zasobów ujęcia wód powierzchniowych oraz zabezpieczenia ujęcia przed incydentalnym zanieczyszczeniem istnieje możliwość wprowadzenia stref ochrony bezpośredniej oraz pośredniej zgodnie z ustawą [29]. Zgodnie z art. 53 ustawy:

„Art. 53. 1. Na terenie ochrony bezpośredniej ujęć wód podziemnych oraz powierzchniowych zabronione jest użytkowanie gruntów do celów niezwiązanych z eksploatacją ujęcia wody.

2. Na terenie ochrony bezpośredniej ujęć wód należy:

- 1) odprowadzać wody opadowe w sposób uniemożliwiający przedostawanie się ich do urządzeń służących do poboru wody;*
- 2) zagospodarować teren zielenią;*
- 3) odprowadzać poza granicę terenu ochrony bezpośredniej ścieki z urządzeń sanitarnych, przeznaczonych do użytku osób zatrudnionych przy obsłudze urządzeń służących do poboru wody;*
- 4) ograniczyć do niezbędnych potrzeb przebywanie osób niezatrudnionych przy obsłudze urządzeń służących do poboru wody. (...)*”

3.4 Alternatywne technologie uzdatniania wody

Zwiększenie bezpieczeństwa ujęć wody powierzchniowej można uzyskać również poprzez wykorzystanie alternatywnych technologii uzdatniania wody. Stosowane są one wtedy, gdy konwencjonalny proces uzdatniania nie jest w stanie usunąć zanieczyszczenia. Do najczęściej wykorzystywanych procesów zalicza się [17]:

- zmianę rodzaju bądź dawki koagulanta lub flokulanta,
- zastosowanie granulowanego lub pylistego węgla aktywnego,
- zwiększenie dawki dezynfekantu w celu wyeliminowania zanieczyszczeń biologicznych.

3.5 Alternatywne źródła wody

3.5.1 Wykorzystanie zapasu wody zgromadzonego w zbiornikach wodociągowych

W przypadku wykrycia zanieczyszczenia wody w źródle stanowiącego zagrożenie dla zdrowia konsumentów wody, którego konwencjonalny proces uzdatniania nie jest w stanie usunąć oraz nie ma możliwości wykorzystania alternatywnej technologii uzdatniania, należy podjąć decyzję o zamknięciu ujęcia do czasu usunięcia zanieczyszczenia. Z tego względu, bardzo istotne znaczenie ma dywersyfikacja dostaw wody, aby w przypadku wyłączenia z eksploatacji jednego ujęcia utrata wydajności całego SZZW była jak najmniejsza [15]. Duże, miejskie SZZW mają w większości kilka ujęć wody.

Źródło wody w czasie trwania sytuacji kryzysowej mogą stanowić zbiorniki wodociągowe. W zależności od umiejscowienia zbiornika w ciągu technologicznym SUW zbiorniki wodociągowe dzieli się na:

- zbiorniki zapasowe wody surowej,
- zbiorniki zapasowe wody czystej.

3.5.2 Zbiorniki wody surowej

Głównym problemem występującym podczas ujmowania i uzdatniania wód powierzchniowych, a w szczególności wód ujmowanych z rzek, jest możliwość incydentalnego zanieczyszczenia oraz znaczna zmienność stanów wód.

W przypadku wystąpienia zanieczyszczenia, zbiorniki zapasowe wody surowej umożliwiają wyłączenie z eksploatacji ujęcia wody, co zabezpiecza przed poborem ze źródła wody o nieodpowiedniej jakości. Woda zgromadzona w zbiorniku wody surowej może być wykorzystywana w celu zaopatrzenia ludności w wodę w czasie incydentalnego zanieczyszczenia źródła wody. Głównym celem projektowania zbiorników wody surowej jest więc ochrona konsumentów przed negatywnymi skutkami incydentalnego zanieczyszczenia źródła wody.

W warunkach normalnej eksploatacji zbiornik wody surowej jest zasilany z natężeniem przepływu q_r . Po opróżnieniu, zbiornik jest napełniany z natężeniem przepływu q_d , przy czym $q_d > q_r$. Zbiorniki wody surowej wykonuje się jako:

- przepływowe, z przepływem rurociągami grawitacyjnymi lub przewodami rozpoczynającymi się małymi ujęciami wody,
- przepływowe, z doprowadzeniem wody z pompowni zlokalizowanej przy małym ujęciu,
- z dopływem wody podziemnej.

Warunkiem prawidłowej pracy zbiornika wody surowej jest jego współpraca ze stacją osłonowo – ostrzegawczą, wyposażoną w automatyczny analizator jakości wody oraz system automatycznego i ciągłego przekazywania wyników analiz do dyspozytorni SUW. Takie rozwiązanie pozwala operatorom na podjęcie odpowiednich decyzji we wczesnym stadium rozwoju sytuacji kryzysowej.

Magazynowanie wody w zbiorniku wody surowej może w istotny sposób wpływać na jej cechy fizyczne, chemiczne oraz mikrobiologiczne. Do czynników, które w największym stopniu wpływają na zmianę jakości wody zalicza się [12]:

- czas przetrzymania wody w zbiorniku,
- częstość i zakres zmian zwierciadła wody,
- pora roku i stan pogody,
- rodzaj i stan powierzchni wewnętrznej zbiornika,
- sposób eksploatacji zbiornika,
- sposób przepływu wody w zbiorniku (mieszanie i wymiana wody, brak martwych stref)

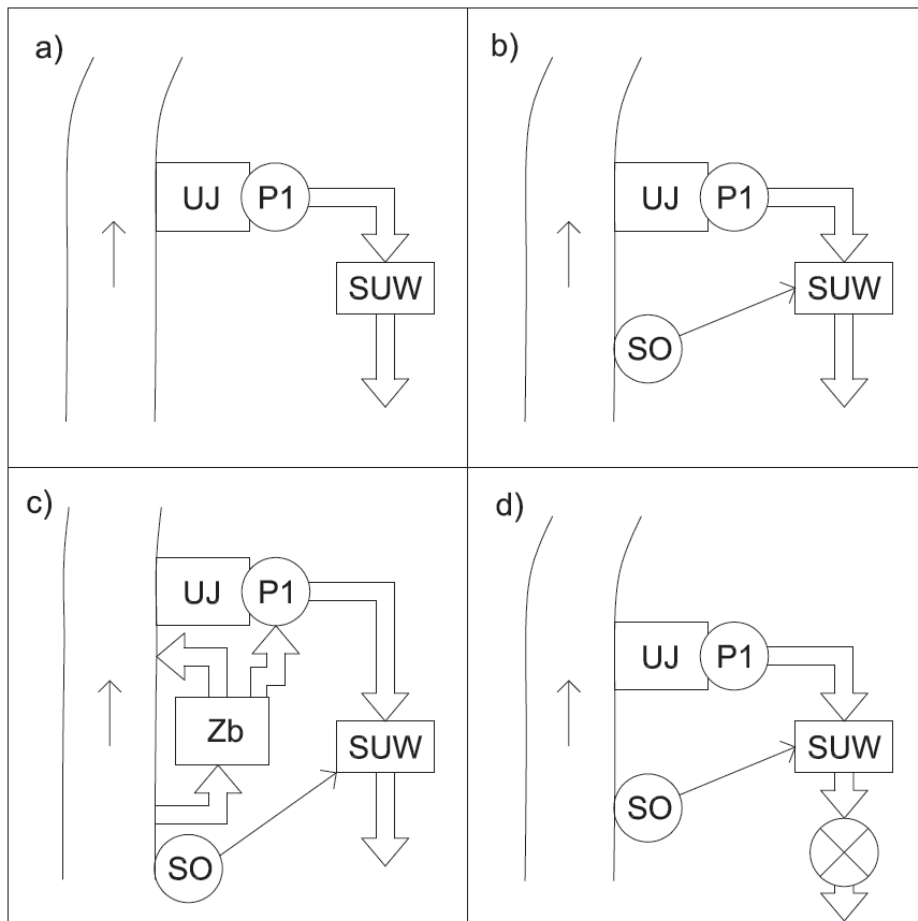
W technologii uzdatniania zbiorniki wody surowej spełniają rolę osadników wstępnych. Ich zastosowanie pozwala na zmniejszenie zakresu wahań wskaźników jakości wody dostarczanej do SUW, w stosunku do wahań jakości wody pobranej z rzeki. Wadą magazynowania wody surowej jest możliwość rozmnażania i rozwoju glonów w tych zbiornikach.

3.5.3 Zbiorniki wody czystej oraz zbiorniki sieciowe

Zbiorniki wody czystej, gromadzące wodę uzdatnioną, zlokalizowane są najczęściej na terenie SUW. Zbiorniki sieciowe mogą być wykonane jako początkowe, centralne lub końcowe. W większości pełnią one rolę zbiorników zapasowo – wyrównawczych. Zapas wody czystej jest wykorzystywany w czasie największych rozbiorów, natomiast w czasie małych rozbiorów zbiornik się napełnia. Wykorzystanie zbiorników wody czystej oraz zbiorników sieciowych pozwala na równomierną pracę pomp i urządzeń do uzdatniania wody. Właściwe usytuowanie wysokościowe zbiorników pozwala na ustabilizowanie ciśnienia w sieci wodociągowej. Zbiorniki wodociągowe gromadzą także wodę dla celów przeciwpożarowych oraz awaryjnych. Woda zgromadzona w zbiornikach wodociągowych może zostać wykorzystana w czasie wyłączenia ujęcia z eksploatacji lub awarii sieci wodociągowej, zwiększając tym samym poziom bezpieczeństwa konsumentów wody.

3.6 Przegląd możliwych sposobów zabezpieczenia przed spożyciem zanieczyszczonej wody

Na rysunku 1 przedstawione zostały typowe sposoby zabezpieczenia ujęć wody przed incydenalnym zanieczyszczeniem opracowane na podstawie [2, 30]. Inne potencjalne sposoby zabezpieczeń w szerszym zakresie zostały omówione w pracy [2].



Rys. 2. Sposoby zabezpieczenia ujęć wody przed incydenalnym zanieczyszczeniem
 Fig. 2. Surface water intakes protect methods against incidental contamination

Rozwiązania przedstawione na rysunku 1:

- pobór prób wody na ujęciu lub na SUW kilkakrotnie w ciągu doby,
- stacja osłonowo – ostrzegawcza zlokalizowana w górze rzeki,
- stacja osłonowo – ostrzegawcza współpracująca z przepływowym zbiornikiem wody surowej,
- stacja osłonowo – ostrzegawcza współpracująca ze zbiornikiem wody czystej.

W sytuacji przedstawionej na schemacie a) ze względu na cykliczny pobór próbek istnieje prawdopodobieństwo przedostania się pewnej objętości zanieczyszczonej wody do SZZW. Rozwiązanie takie jest powszechne w wielu, szczególnie małych SZZW. Zastosowanie stacji osłonowo – ostrzegawczej daje operatorowi możliwość uzyskania informacji na temat zanieczyszczenia we wczesnym etapie rozwoju sytuacji kryzysowej. Odpowiednio wczesne wykrycie zanieczyszczenia umożliwia podjęcie racjonalnych działań i ochronę konsumentów przed spożyciem zanieczyszczonej wody (schemat b). Rozwiązanie przedstawione na schemacie c) oraz d) zabezpiecza także przed powstawaniem niedoborów wody. Zbiorniki wody surowej lub zbiorniki sieciowe w przypadku wystąpienia zanieczyszczenia wody w rzece mogą stanowić okresowo źródło wody dla miasta. Obecnie taki sposób zabezpieczenia konsumentów przed potencjalnym zanieczyszczeniem źródła wody uważa się za optymalny.

4. Analiza i ocena bezpieczeństwa ujęć wód powierzchniowych

Miarą bezpieczeństwa systemów technicznych jest ryzyko związane z możliwością wystąpienia zdarzeń niepożądanych. Wg podstawowej definicji ryzyko jest wartością oczekiwaną strat związanych z wystąpieniem zdarzenia niepożądanego. Niejednokrotnie, tak zdefiniowane ryzyko zapisuje się w sposób uproszczony wg wzoru [17, 26]:

$$r = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i \quad (1)$$

gdzie:

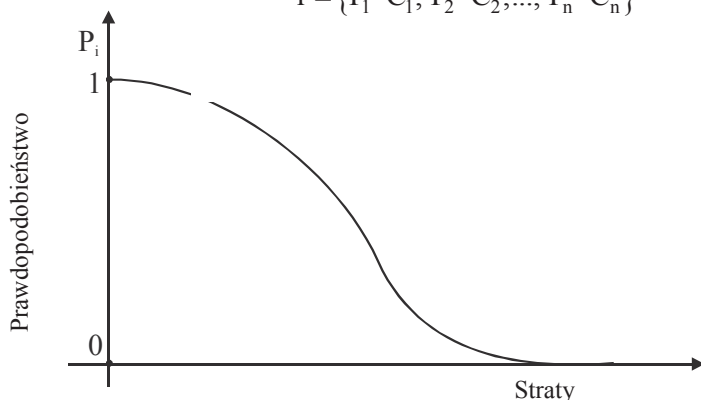
P_i – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia i -tego rodzaju ($i = 1, 2, \dots, n$),

C_i – skutki zdarzenia i -tego rodzaju,

n – liczba zdarzeń niepożądanych.

Grupując je rosnąco pod względem prawdopodobieństwa, można określić wektor ryzyka w postaci równania, które obrazuje się tzw. krzywą ryzyka (rys. 3) [18, 25]:

$$r = \{P_1 \cdot C_1, P_2 \cdot C_2, \dots, P_n \cdot C_n\} \quad (2)$$



Rys. 3. Krzywa ryzyka

Fig. 3. Graph of risk

Proces oceny bezpieczeństwa ujęć wody powierzchniowej na podstawie analizy ryzyka (ang. *risk assessment*) to procedura polegająca na [25]:

- identyfikacji zagrożeń (ang. *hazard identification*),
- oszacowaniu prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niepożądanych (ang. *probability assessment*),
- oszacowaniu podatności na zdarzenia niepożądane,
- wyznaczeniu reprezentatywnych zdarzeń niepożądanych i określenie dla nich scenariuszy rozwoju w celu oszacowania strat,
- przeprowadzeniu analizy systemu zabezpieczeń ujęcia wody, w tym systemu monitoringu,
- oszacowaniu możliwych strat, w tym prawdopodobieństwa przekroczenia określonej wartości strat granicznych $P(C > C_{gr})$,
- wyznaczeniu poziomów ryzyka wg przyjętej skali,
- porównaniu otrzymanych wartości ryzyka z wartościami kryterialnymi,
- ocenie bezpieczeństwa ujęcia wody powierzchniowej.

Prawdopodobieństwo całkowite niezdatności ujęcia wody $P(Z)$ wyraża się wzorem [26]:

$$P(Z) = \sum_{i=1}^n P(Z | X_n) \cdot P(X_n) \quad (3)$$

gdzie:

$P(Z)$ – prawdopodobieństwo, że ujęcie wody znajduje się w stanie niezdatności,

$P(Z|X_n)$ – prawdopodobieństwo warunkowe zajścia zdarzenia Z pod warunkiem zajścia zdarzenia niepożądanego X_n ,

$P(X_n)$ – prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia niepożądanego X_n .

Ryzyko będące miarą utraty bezpieczeństwa ujęć wody powierzchniowej związane jest z wystąpieniem strat większych od przyjętych granicznych w wyniku zajścia zdarzenia niepożądanego i wynosi:

$$r = \sum_{i=1}^n (P(Z | X_n) \cdot P(X_n)) \cdot P(C \geq C_{gr}) \quad (4)$$

gdzie:

r – ryzyko związane z funkcjonowaniem ujęć wody powierzchniowej,

$P(C \geq C_{gr})$ – prawdopodobieństwo wystąpienia strat większych od przyjętych strat granicznych.

Za straty graniczne przyjmuje się straty powodujące:

- liczne zatrucia w wyniku spożycia wody o nieodpowiedniej jakości,
- konieczność hospitalizacji poszkodowanych osób,
- konieczność zaangażowania profesjonalnych służb ratowniczych,
- konieczność zamknięcia ujęcia wody,
- straty finansowe powyżej 100 000 zł.

Ocenę ryzyka przeprowadza się wg poniższego schematu:

- jeżeli $P(Z) \approx 0$ system jest w stanie zdadności, ryzyko związane z funkcjonowaniem ujęcia wody powierzchniowej jest na poziomie zanedbywalnym (RZ),
- jeżeli $0 \ll P(Z) < 1$ i $P(C \geq C_{gr}) \approx 0$ system jest w stanie częściowej niezdatności, nie powoduje znaczących strat, ryzyko związane z funkcjonowaniem ujęcia wody powierzchniowej jest na poziomie tolerowanym (RT),
- jeżeli $0 \ll P(Z) < 1$ i $0 \ll P(C \geq C_{gr}) < 1$ system jest w stanie częściowej niezdatności, ryzyko związane z funkcjonowaniem ujęcia wody powierzchniowej jest na poziomie kontrolowanym (RK),
- jeżeli $P(Z) \approx 1$ i $0 \ll P(C \geq C_{gr}) < 1$ system jest w stanie niezdatności, ryzyko związane z funkcjonowaniem ujęcia wody powierzchniowej jest na poziomie nietolerowanym (RNT),
- jeżeli $P(Z) \approx 1$ i $P(C \geq C_{gr}) \approx 1$ system jest w stanie niezdatności, ryzyko związane z funkcjonowaniem ujęcia wody powierzchniowej jest na poziomie nieakceptowanym (RNA).

W tabeli 2 przedstawiono propozycję skali dla oceny poziomu bezpieczeństwa ujęć wody powierzchniowej.

Tabela. 2. Przyjęta skala bezpieczeństwa ujęć wody powierzchniowej
 Table. 2. The proposed scale of surface water intakes safety

Wartość ryzyka	Poziom bezpieczeństwa
RZ	Akceptowany poziom bezpieczeństwa (funkcjonowanie systemu nie stanowi zagrożenia dla zdrowia konsumentów wody, system nie wymaga poprawy)
RT	
RK	Kontrolowany poziom bezpieczeństwa (funkcjonowanie systemu stanowi zagrożenie dla zdrowia konsumentów wody ale istnieją wystarczające bariery zabezpieczające, dopuszcza się eksploatację ujęcia wody pod warunkiem podjęcia działań redukujących ryzyko)
RNT	
RNA	Nieakceptowany poziom bezpieczeństwa (funkcjonowanie systemu stanowi zagrożenie dla zdrowia i życia konsumentów wody, ujęcie wody nie może być eksploatowane dopóki ryzyko nie zostanie zredukowane)

5. Przykład aplikacyjny

Opracowana metodyka została przedstawiona na przykładzie aplikacyjnym. Przeanalizowano zdarzenia niepożądane związane z obniżeniem jakości wody ujmowanej, stanowiące zagrożenie dla procesu uzdatniania wody.

Przedsiębiorstwo wodociągowo – kanalizacyjne korzysta z trzech ujęć wody powierzchniowej, których procentowe udziały produkcyjne w całkowitej wyznaczonej w oparciu o dobowe zdolności produkcyjne wynoszą kolejno: $P(X_1) = 0,30$, $P(X_2) = 0,60$, $P(X_3) = 0,10$. Prawdopodobieństwo wystąpienia incydentalnych zdarzeń niepożądanych wynosi odpowiednio: $P(Z/X_1) = 0,02$, $P(Z/X_2) = 0,03$, $P(Z/X_3) = 0,01$. Korzystając z zależności (3) wyznaczono prawdopodobieństwo niezdatności ujęcia wody powierzchniowej:

$$P(Z) = 0,30 \cdot 0,02 + 0,60 \cdot 0,03 + 0,10 \cdot 0,01 = 0,025$$

Odnotowane zdarzenia niepożądane w większości nie stanowiły zagrożenia dla zdrowia konsumentów wody. Odnotowano tylko jedno zdarzenie, trwające około cztery doby, podczas którego ze względu na obecność bakterii coli w wodzie, mogła ona stanowić zagrożenie dla zdrowia konsumentów. Wyznaczono prawdopodobieństwo $P(C \geq C_{gr}) = 0,01$. W oparciu o wzór (4) wyznaczono ryzyko związane z wystąpieniem strat większych od przyjętych granicznych w wyniku zajścia zdarzenia niepożądanego:

$$r = 0,025 \cdot 0,01 = 0,0025$$

W oparciu o przyjęty algorytm, ponieważ $P(Z) \approx 0$, to system jest w stanie zdatności. Ryzyko związane z funkcjonowaniem ujęcia wody powierzchniowej jest na poziomie zanedbywalnym (RZ). Zgodnie z tabelą 1 bezpieczeństwo analizowanego ujęcia wody jest na poziomie akceptowanym. Funkcjonowanie analizowanego ujęcia wody powierzchniowej nie stanowi zagrożenia dla zdrowia konsumentów wody.

6. Podsumowanie

- Do prawidłowego rozwoju współczesnych społeczeństw niezbędny jest dostęp do bezpiecznej wody wodociągowej. Przez bezpieczeństwo ujęć wody powierzchniowej rozumie się zdolność do ujmowania wymaganej ilości wody, o określonej jakości, w dowolnej chwili czasu, zgodnie z wymaganiami pod względem funkcjonowania i bezpieczeństwa.
- Zmiany klimatyczne powodują intensyfikację pogodowych zjawisk ekstremalnych takich jak susze czy powodzie, które stanowią zagrożenie dla jakości oraz ilości pobieranej wody.
- Spożycie zanieczyszczonej wody może być przyczyną wielu dolegliwości dla konsumentów, począwszy od niegroźnych zatruc pokarmowych, przez zapalenie opon mózgowych, w skrajnych przypadkach śmierć. Szczególnie niebezpieczne dla bezpieczeństwa konsumentów wody są zanieczyszczenia bakteriologiczne.

- Zanieczyszczenie wody może zostać wykryte przez system wczesnego, opóźnionego lub późnego ostrzegania. System zbiorowego zaopatrzenia w wodę można zabezpieczyć przed zanieczyszczeniem pochodzącym ze źródła wody poprzez sanitarną ochronę zlewni, intensyfikację konwencjonalnego procesu uzdatniania wody, zastosowanie alternatywnej technologii uzdatniania, wykorzystanie wody zgromadzonej w zbiorniku wody surowej, zbiorniku wody czystej lub zbiornikach sieciowych, uruchomienie alternatywnych źródeł wody, dostawę wody butelkowanej lub z beczkowozów.
- Zastosowanie stacji osłonowo – ostrzegawczej współpracującej ze zbiornikiem wody surowej, zbiornikiem wody czystej lub zbiornikami sieciowymi zabezpiecza konsumentów zarówno przed spożyciem wody o nieodpowiedniej jakości jak i przed niedoborami wody.
- Przedsiębiorstwa wodociągowe powinny podejmować działania mające na celu zapewnienie akceptowanego poziomu bezpieczeństwa SZZW, opracowywanie planów reagowania kryzysowego oraz ograniczanie negatywnych skutków ewentualnych sytuacji kryzysowych.
- Opracowana metodyka umożliwia analizę i ocenę bezpieczeństwa ujęć wody powierzchniowej, z uwzględnieniem wszystkich zdarzeń niepożądanych stanowiących zagrożenie dla ujęć wody.

Bibliografia

- 1) Bajer J.: Zagrożenia dla ilości i jakości wody dostarczanej odbiorcom. *Wodociągi–Kanalizacja*. Wydawn. Komunalne, 6(52), 2008, 40 – 43.
- 2) Bajer J., Wieczysty A.: Analiza wpływu zbiorników wody surowej na niezawodność układów zasilania w wodę, *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*, Kraków 2001, 83 – 140.
- 3) Błażejowski M., Dąbrowska A.: Analiza ryzyka incydentalnych zanieczyszczeń miejskich ujęć wody w Polsce. *Człowiek i Środowisko*, 14(1), 1990, 117 – 127.
- 4) Boryczko K., Piegdoń I., Eid M.: Collective water supply systems risk analysis model by means of RENO software. *Safety, Reliability and Risk Analysis: Beyond the Horizon – Steenbergen et al. (Eds), Taylor & Francis Group 2014, London, 1987 – 1992.*
- 5) Budziło B. Wieczysty A.: Teoretyczne i eksploatacyjne badania niezawodności ujęć wody powierzchniowej, *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*, Kraków 2001, 45 – 82.
- 6) Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej.
- 7) Haimes Y.Y., Moser D., Stakhin E.: Risk-Based Decisionmaking in Water Resources X. *Journal of Infrastructure Systems, ASCE*, 12, 2006, 401 – 415.
- 8) Iwanejko R.: Preliminary analysis of risks attributed to operation of small surface water intakes. *Mat. konf. „Water Supply and Water Quality”*, Wydawn. PZiTS O/ Wielkopolski, Poznań–Gniezno, I, 2008, 229 – 239.
- 9) Kąpcia J.: Analiza niezawodności systemów zaopatrzenia w wodę przy wykorzystaniu metody drzewa uszkodzeń. *Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk, Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*, Kraków 2001, 417 – 435.
- 10) Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trąbaczkiewicz H.: *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1993.
- 11) Państwo Islamskie grozi Francji kolejnymi zamachami terrorystycznymi, www.tvp.info, dostęp 29.02.2015 r., <<http://www.tvp.info/22635672/panstwo-islamskie-grozi-francji-kolejnymi-zamachami-terrorystycznymi>>.
- 12) Pawełek J.: Zabezpieczenie rzecznych ujęć komunalnych w stanach nadmiernych mętności wody. *Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”*, Poznań 1996, 3 – 20.
- 13) Poważne uwolnienia a szkody w środowisku, pldocz.com, dostęp 12.01.2016 r., <<http://pldocz.com/doc/196801/czy-wiesz%3F-powazne-uwolnienia-a-szkody-srodowisku>>.
- 14) Progress on Sanitation and Drinking Water – 2015 Update and MDG Assessment. UNICEF and World Health Organization 2015.
- 15) Rak J., Boryczko K.: The issue of water resources diversification in water supply systems. *Journal of KONBiN*, 3(35)/ 2015, 157 – 167.
- 16) Rak J.: *Niezawodność systemu uzdatniania wód powierzchniowych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 20, Rzeszów 1993.
- 17) Rak J.: *Podstawy bezpieczeństwa systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Lublin 2005.
- 18) Rak J., Tchórzewska – Cieślak B., Studziński J.: *Bezpieczeństwo systemów zaopatrzenia w wodę*. Instytut Badań Systemowych PAN, Warszawa 2013.

- 19) Raport o występowaniu zdarzeń o znamionach poważnej awarii w 2013 r. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2014.
- 20) Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 30 grudnia 2002 r. w sprawie poważnych awarii objętych obowiązkiem zgłoszenia do Głównego Inspektora Ochrony Środowiska (Dz.U. 2003 nr 5 poz. 58).
- 21) Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2015 poz. 1989).
- 22) Rybicki S. A.: Stacje osłonowe ujęć wody powierzchniowej. Mat. konf. Zaopatrzenie w wodę miast i wsi. PZITS, Poznań 1994, 335 – 345.
- 23) Studziński A., Pietrucha-Urbaniak K.: Preventive maintenance and reliability of water supply system elements. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA, t. XXXII, z. 62 (3/I/15), 2015, 429 – 436.
- 24) Szpak D., Tchórzewska – Cieślak B.: Analiza i ocena zabezpieczenia systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę przed incydentalnym skażeniem. Journal of KONBiN, 2(34)/2015, 49 – 58.
- 25) Tchórzewska – Cieślak B.: Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2011.
- 26) Tchórzewska-Cieślak B.: Method of assessing of risk of failure in water supply system. European safety and reliability conference (ESREL), Risk, reliability and societal safety, Taylor & Francis Group, t. 2, 2007, 1535 – 1539.
- 27) Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz.U. 2001 Nr 72 poz. 747) z późniejszymi zmianami.
- 28) Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001 Nr 62 poz. 627) z późniejszymi zmianami.
- 29) Ustawa z dnia 18 lipca 2001 roku Prawo wodne (Dz.U. 2001 Nr 115 poz. 1229) z późniejszymi zmianami.
- 30) Wieczysty A., Rak J.: Niezawodność systemów zaopatrzenia w wodę w aspekcie wymagań jakościowych. Ochrona środowiska, 1 (56)/1995, 5 – 10.
- 31) Wieczysty A., Rak J.: Sposoby ochrony systemu zaopatrzenia w wodę miasta przed incydentalnymi zanieczyszczeniami, PZiITS, Oddział w Krakowie, VII Ogólnopolskie Seminarium Naukowo – Techniczne Ochrona Jakości i Zasobów Wód „Zasady racjonalnej gospodarki wodą”, Zakopane 1996, 147 – 158.
- 32) Wieczysty A., Rak J., Lubowiecka T.: Teoretyczne podstawy badania i projektowania stacji osłonowych ujęć wód powierzchniowych płynących. Mat. konf. „Zaopatrzenie w wodę miast i wsi”, Tom I, Poznań 1996, 81 – 94.
- 33) Zasoby wodne, hydro.geo.uni.lodz.pl, dostęp 12.01.2016 r. <<http://hydro.geo.uni.lodz.pl/index.php?page=zasoby-wodne>>.
- 34) Zimoch I.: Zastosowanie analizy bezpieczeństwa eksploatacji do kontroli funkcjonowania zakładu oczyszczania wody. Ochrona Środowiska, Vol. 33, Nr 2, 2011, 39 – 44.
- 35) Zimoch I.: Zintegrowana metoda analizy niezawodności funkcjonowania i bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Monografia habilitacyjna, Wydawnictwo Politechnika Śląska, Gliwice 2011.
- 36) Żuber M.: Infrastruktura krytyczna państwa jako obszar potencjalnego oddziaływania terrorystycznego. Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego, Vol. 8, Nr 2, 2014, 178 – 197.

