



**POLITECHNIKA  
RZESZOWSKA**  
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ  
BUDOWNICTWA,  
INŻYNIERII ŚRODOWISKA  
I ARCHITEKTURY**  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

## **KONWENT KIEROWNIKÓW JEDNOSTEK KOMUNALNYCH WOJ. PODKARPACKIEGO**

### **Metody analizy i oceny ryzyka w funkcjonowaniu systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę**

#### **Plany Bezpieczeństwa Wodnego**



**KATEDRA  
ZAOPATRZENIA W WODĘ  
I ODPROWADZANIA ŚCIEKÓW**  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Wykładowcy:

prof. dr hab. inż. Janusz Rak

dr hab. inż. Barbara Tchórzewska-Cieślak, prof. PRz

dr inż. Krzysztof Boryczko

dr inż. Dawid Szpak

Boguchwała, 28.06.2018 r.

## Spis treści

1. Wprowadzenie .....	4
2. Ryzyko w nowej ustawie Prawo Wodne oraz Rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi .....	15
2.1. Prawo wodne.....	15
2.2. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi .....	16
3. Podstawowa definicja ryzyka .....	18
4. Metody analizy i oceny ryzyka.....	22
4.1. Informacje ogólne .....	22
4.2. Metody matrycowe oceny ryzyka .....	23
4.3. Metody jakościowo-ilościowe analizy i oceny ryzyka wykorzystaniem drzew logicznych....	30
4.3.1. Drzewa niezdatności.....	30
4.3.2. Drzewa zdarzeń .....	34
4.3.3. Metoda hybrydowa z zastosowaniem drzew uszkodzeń i drzew zdarzeń.....	34
4.3.4. Przykład aplikacyjny.....	35
4.4. Metoda oceny zagrożenia ujęć wód podziemnych .....	39
4.4.1. Założenia metody .....	39
4.4.2. Przykładowa ocena zagrożenia wód podziemnych zanieczyszczeniem z powierzchni terenu .....	42
4.4.3. Podsumowanie .....	44
5. Podstawy zarządzania ryzykiem w firmie wodociągowej .....	45
6. Oceny dywersyfikacji dostawy wody.....	50
6.1. Informacje ogólne .....	50
6.2. Wskaźnik Shannon'a-Weaver'a .....	51
6.3. Wskaźnik Pielou.....	55
7. Plany Bezpieczeństwa Wodnego - wytyczne WHO, podstawy metodyczne, przykłady .....	59
7.1. Regulacje prawne, wytyczne i normy odnoszące się do Planów Bezpieczeństwa Wody .....	59
7.2. Zdefiniowanie podmiotów odpowiedzialnych za jakość wody w SZZW .....	61
7.3. Zespół ds. WSP (Moduł 1) .....	62
7.4. Opis systemu zaopatrzenia w wodę (Moduł 2).....	63
7.5. Identyfikacja zagrożeń oraz zdarzeń niebezpiecznych i ocena ryzyka (Moduł 3) .....	65
7.6. Określenie i walidacja środków bezpieczeństwa, ponowna ocena i opracowanie listy priorytetowych ryzyk (Moduł 4).....	73
7.7. Opracowanie, wdrożenie i ciągła realizacja planu ulepszeń/modernizacji (Moduł 5).....	75

7.8.	Zdefiniowanie monitoringu środków bezpieczeństwa (Moduł 6).....	77
7.9.	Weryfikacja skuteczności PBW (Moduł 7).....	79
7.10.	Przygotowanie procedur zarządzania (Moduł 8).....	79
7.11.	Opracowanie programów wsparcia (Moduł 9) .....	80
7.12.	Zaplanowanie i realizacja okresowych przeglądów PBW (Moduł 10).....	81
7.13.	Przegląd PBW po incydencie (Moduł 11) .....	82
8.	Logistyka zaopatrzenia w wodę w sytuacjach kryzysowych.....	83
8.1.	Wprowadzenie .....	83
8.2.	Uwarunkowania prawne .....	84
8.3.	Podstawy zarządzania logistycznego.....	84
8.4.	Przykład zaopatrzenia ludności gminy w wodę do spożycia w warunkach kryzysowych .....	85
	Anonimowa ankieta gotowości wdrożenia Planów Bezpieczeństwa Wodnego w systemie zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) .....	91
	NOTATKI .....	93
	LITERATURA.....	94

## 1. Wprowadzenie

Praczułowiek zbierając runo leśne w celu zaspokojenia głodu starał się nie zatruć. W tamtych czasach praludzie tworzyli postęp na zasadzie prób i błędów. Pierwsze zapisane kryteria względem bezpieczeństwa zawarte zostały w kodeksie króla Babilonii Hammurabiego (XVIII w p.n.e.).

Etymologia słowa ryzyko wywodzi się ze staro włoskiego *risicare* - „*ośmielić się, stawić czoło, odważyć się*”. Greckie *rhize* odnosi się do śmiałego czynu np. opłynięcia przyłodka. Łacińskie *risicum* oznacza prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia negatywnego lub pozytywnego, porażki lub sukcesu.

W roku 1657 Pascal opublikował dzieło „*Logika, czyli sztuka myślenia*”, które stało się podstawą do definicji ryzyka. Halley w 1693 roku opracował tablice długości życia ludzi. Evelyn prowadząc badania stanu zdrowia mieszkańców Londynu stwierdził, że smog i dym są przyczyną chorób płuc.

W XX wieku następuje rozwój definicji ryzyka:

- A. Willet: „*ryzyko jest zobiektyzowaną niepewnością wystąpienia niepożądanego zdarzenia i zmienia się wraz z niepewnością, nie zaś ze stopniem prawdopodobieństwa*”,
- W. A. Rowe: „*ryzyko jest możliwością urzeczywistnienia się czegoś niepożądanego, negatywną konsekwencją pewnego zdarzenia*”,
- J. Sinkey: „*ryzyko jest niepewnością związaną z określonym zdarzeniem lub dochodem w przyszłości*”,
- L. Tempan: „*ryzyko to możliwość zaistnienia niekorzystnej sytuacji podczas realizacji planów i wykonania budżetów przedsiębiorstw*”.

Polski wkład w definiowanie ryzyka:

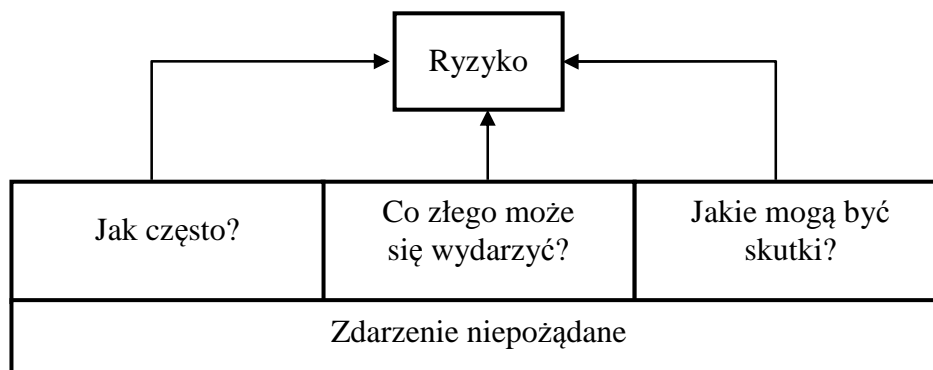
- B. Nietyksza „*przez ryzyko należy rozumieć niepewność w działaniu możliwą do przewidzenia*”,
- B. Minc: „*ryzyko oznacza możliwości powstania odchyleń od zamierzonych efektów działania*”,
- E. Kulwicki: „*nie ma ryzyka bez niepewności*”.

Ogólnie metody badania ryzyka ze względu na cel dzielą się ze względu na:

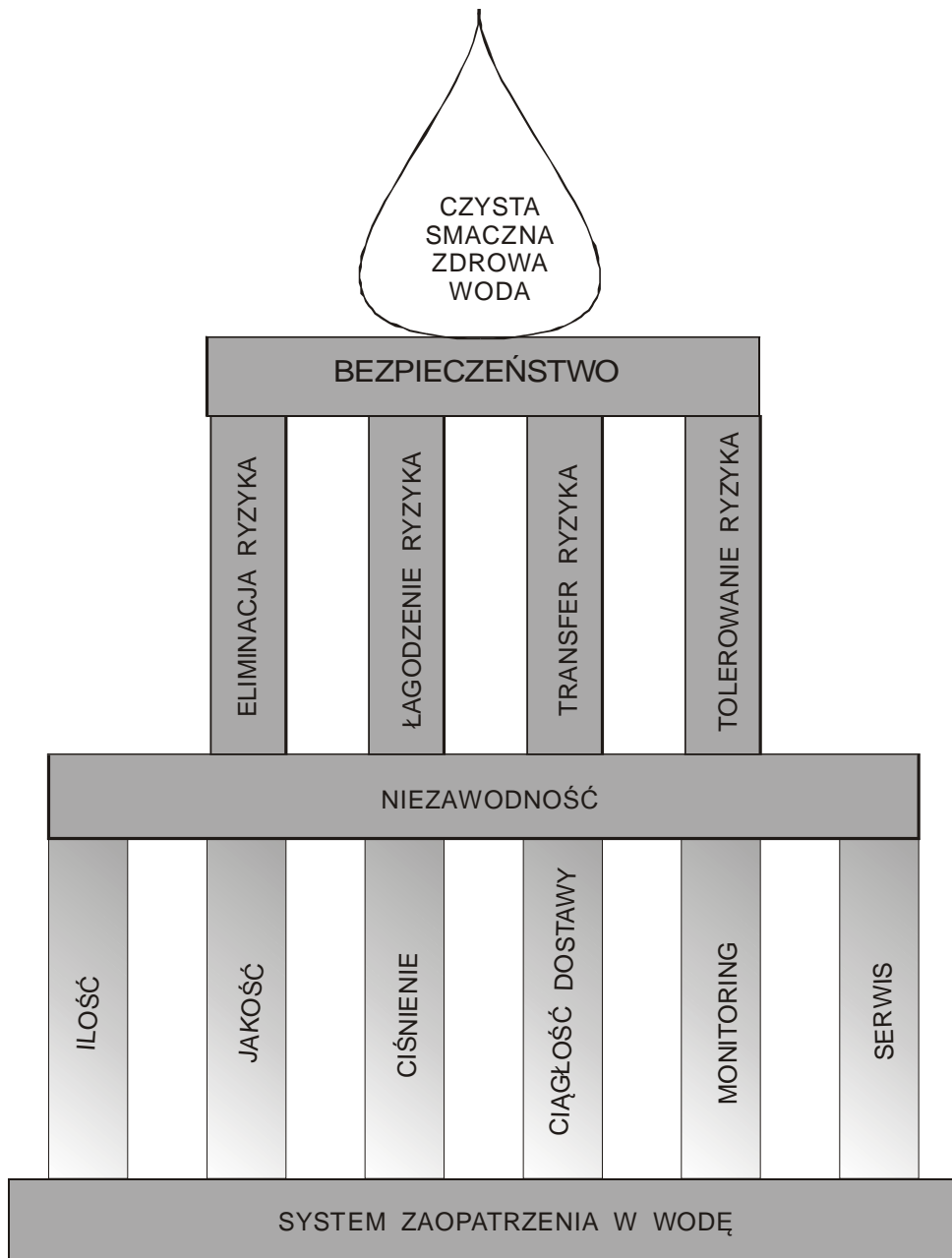
- stopień złożoności – proste, złożone,

- sposób analizy – indukcyjne i dedukcyjne,
- charakter analizy – jakościowe, ilościowe i mieszane,
- stopień dokładności – szacunkowe, szczegółowe,
- rodzaj analizowanych szkód – ludzkie, materialne,
- element systemu – człowiek, obiekt techniczny, środowisko.

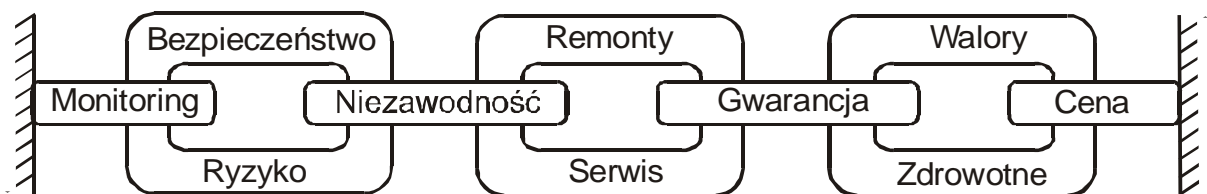
Ustawa Prawo Ochrony Środowiska wprowadza definicję poważnej awarii: „*jest to zdarzenie, w szczególności emisja, pożar lub eksplozja, powstałe w trakcie procesu przemysłowego, magazynowania lub transportu, w których występuje jedna lub więcej niebezpiecznych substancji, prowadzące do natychmiastowego powstania zagrożenia życia, zdrowia ludzi lub środowiska, lub powstania takiego zagrożenia z opóźnieniem*”. Pojęcie zdarzenia niepożądanego, niezawodności, ryzyka i bezpieczeństwa w systemach technicznych zobrazowano na rysunkach 1-6.



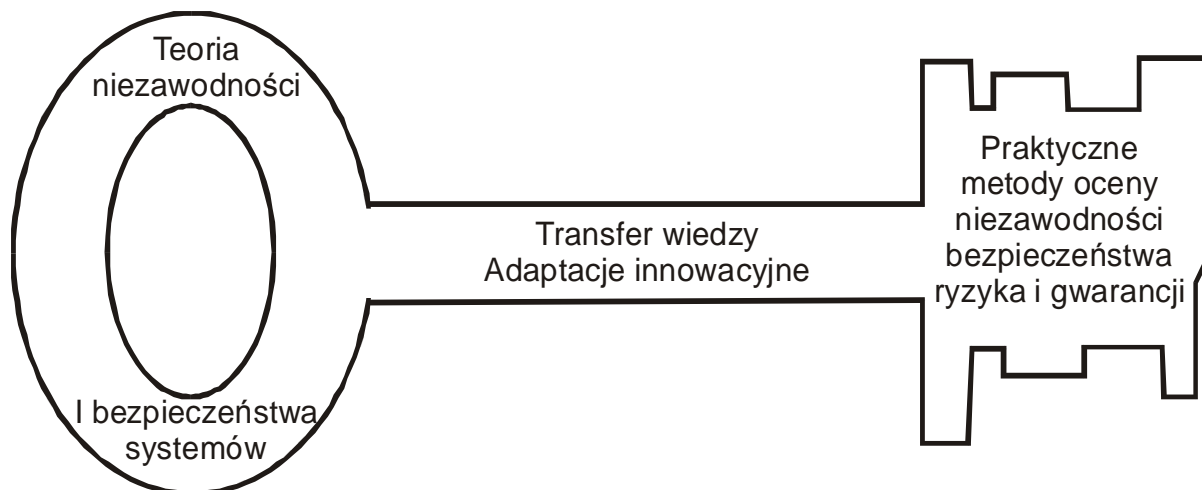
Rys. 1. Sposób oceny ryzyka



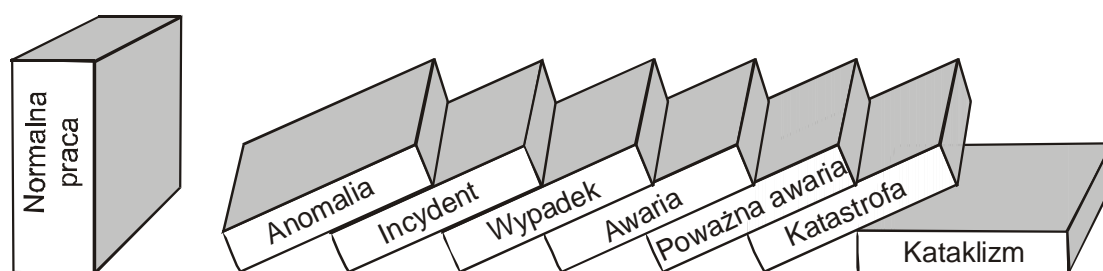
Rys. 2. Ilustracja bezpieczeństwa SZZW



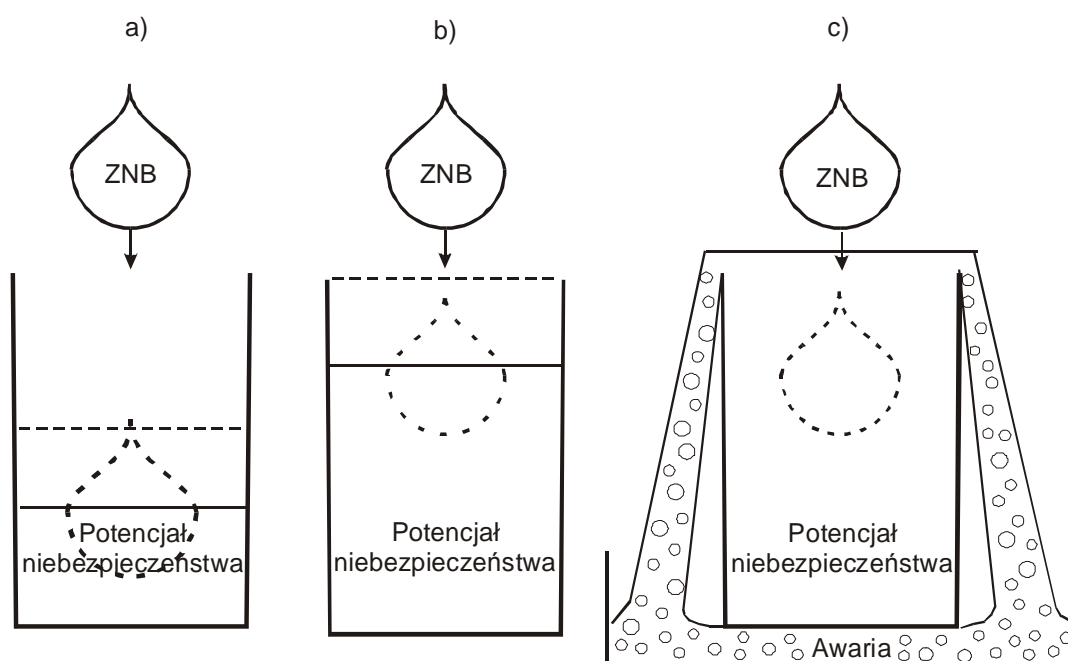
Rys. 3. Łańcuch jakości funkcjonowania SZZW



Rys. 4. Klucz wdrożeniowy metod oceny niezawodności i bezpieczeństwa funkcjonowania SZZW



Rys. 5. Szeregową eskalacją zdarzenia nadzwyczajnego typu efekt domina



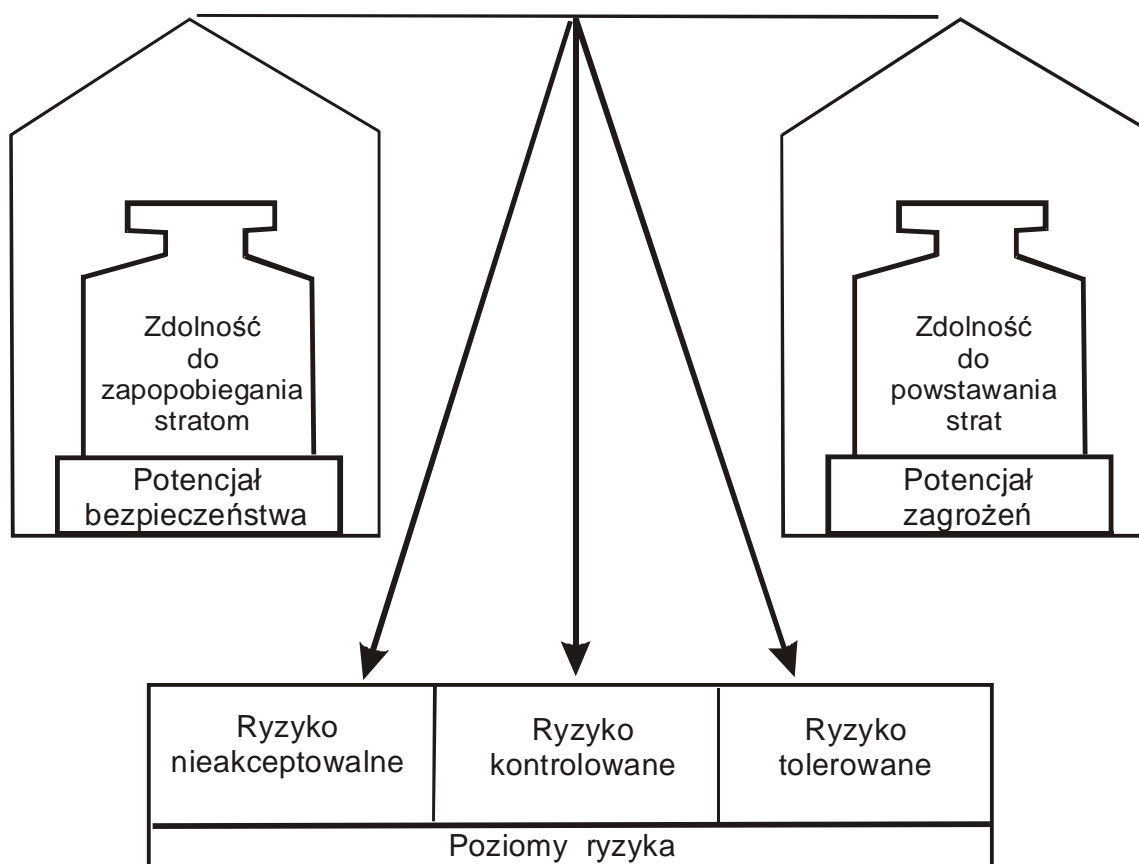
Rys. 6. Możliwość rozwoju sytuacji niebezpiecznej: a) ryzyko tolerowane, b) ryzyko kontrolowane, c) ryzyko nieakceptowalne, ZNB - zdarzenie niebezpieczne

Zakres informacji o zagrożeniach i ryzyku można usystematyzować w następujący sposób:

- system informacji naukowej,
- system obowiązujących przepisów prawnych,
- wytyczne regulaminu i instrukcje postępowania w sytuacjach niebezpiecznych,
- programy edukacyjne,
- nieformalne sądy i przekonania zdobyte na drodze empirycznej.

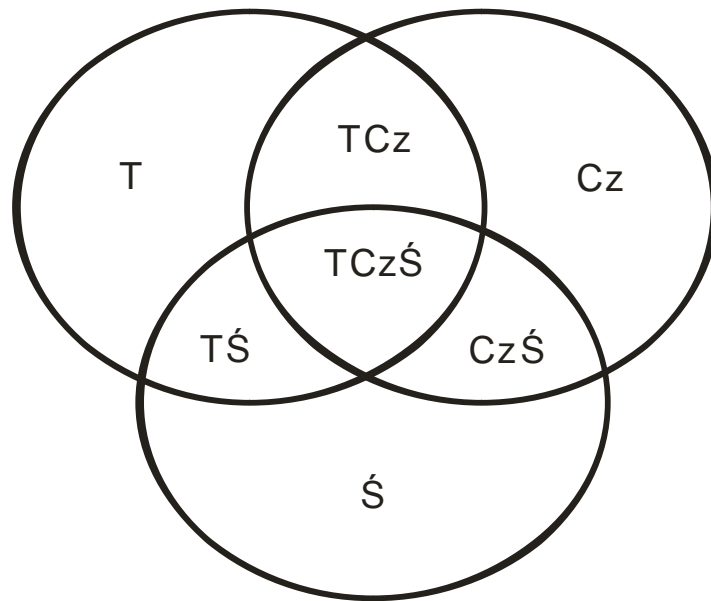
Człowiek ocenia ryzyko na podstawie znajomości działania zagrożenia, jego zasięgu oraz mechanizmów powstawania straty (rysunek 7-8). Znane zagrożenia z reguły są oceniane jako mniejsze od zagrożeń nierozpoznanych. Piramidę zdarzeń niepożądanych przedstawiono na rysunku 9. Postępowanie w sytuacji ryzyka zależy od:

- oceny własnych możliwości w zakresie radzenia sobie ze zdarzeniami obciążonymi ryzykiem,
- oceny cech ryzyka w zakresie możliwych korzyści i strat, jakie towarzyszą podjęciu ryzyka.



Rys. 7. Ocena ryzyka uszkodzeń SZZW





Rys. 8. Trzy obszary okoliczności i przyczyn powstania awarii SZW w układzie T-Cz-Ś (obiekt techniczny-człowiek-środowisko)

Prawdopodobieństwo zdarzenia awaryjnego z udziałem T-Cz-Ś wynosi:

$$P(T-Cz-Ś) = P(T) \cdot P(Cz) \cdot P(Ś) \quad (1)$$

Prawdopodobieństwo zdarzenia awaryjnego z udziałem T-Cz w układzie T-Cz-Ś wynosi:

$$P(T-Cz) = P(T) \cdot P(Cz) - P(T) \cdot P(Cz) \cdot P(Ś) \quad (2)$$

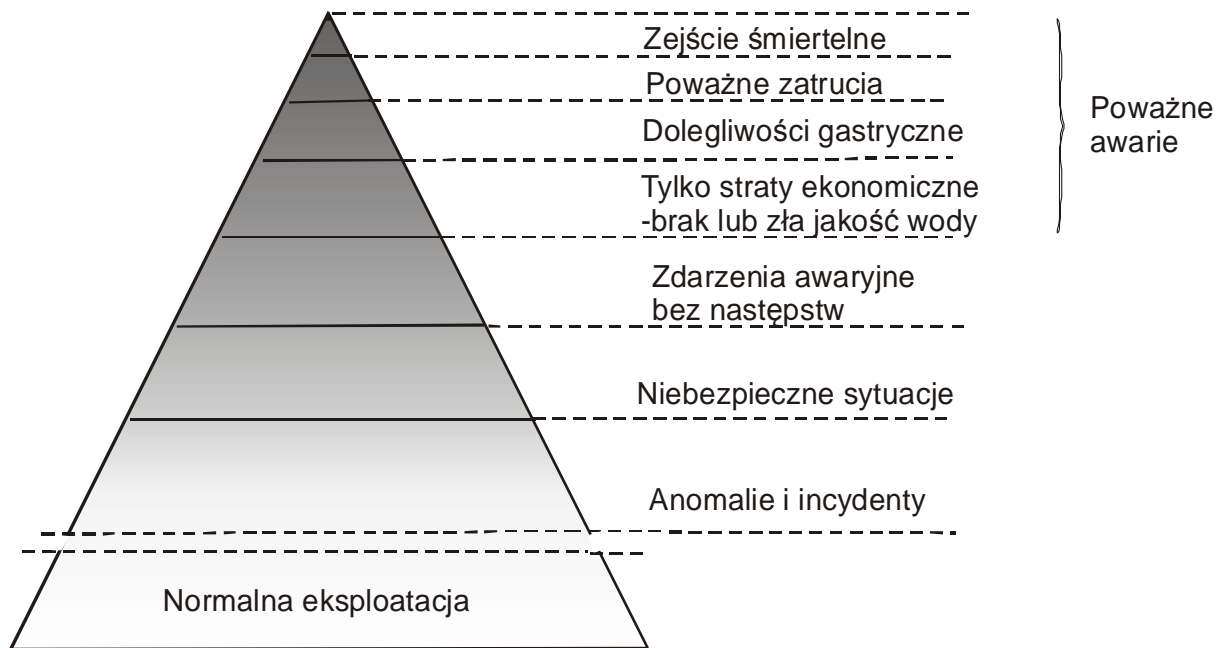
Prawdopodobieństwo zdarzenia awaryjnego z udziałem Cz-Ś w układzie T-Cz-Ś wynosi:

$$P(Cz-Ś) = P(Cz) \cdot P(Ś) - P(T) \cdot P(Cz) \cdot P(Ś) \quad (3)$$

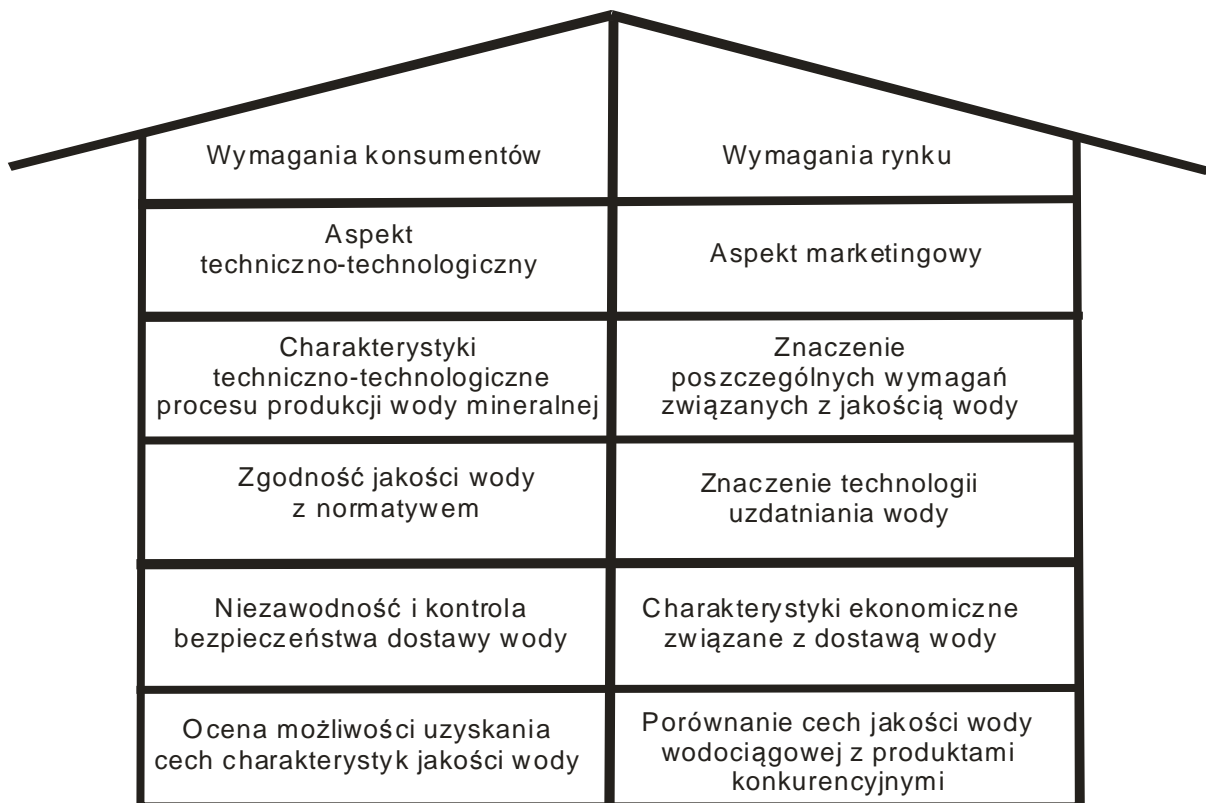
Prawdopodobieństwo zdarzenia awaryjnego z udziałem T-Ś w układzie T-Cz-Ś wynosi:

$$P(T-Ś) = P(T) \cdot P(Ś) - P(T) \cdot P(Cz) \cdot P(Ś) \quad (4)$$

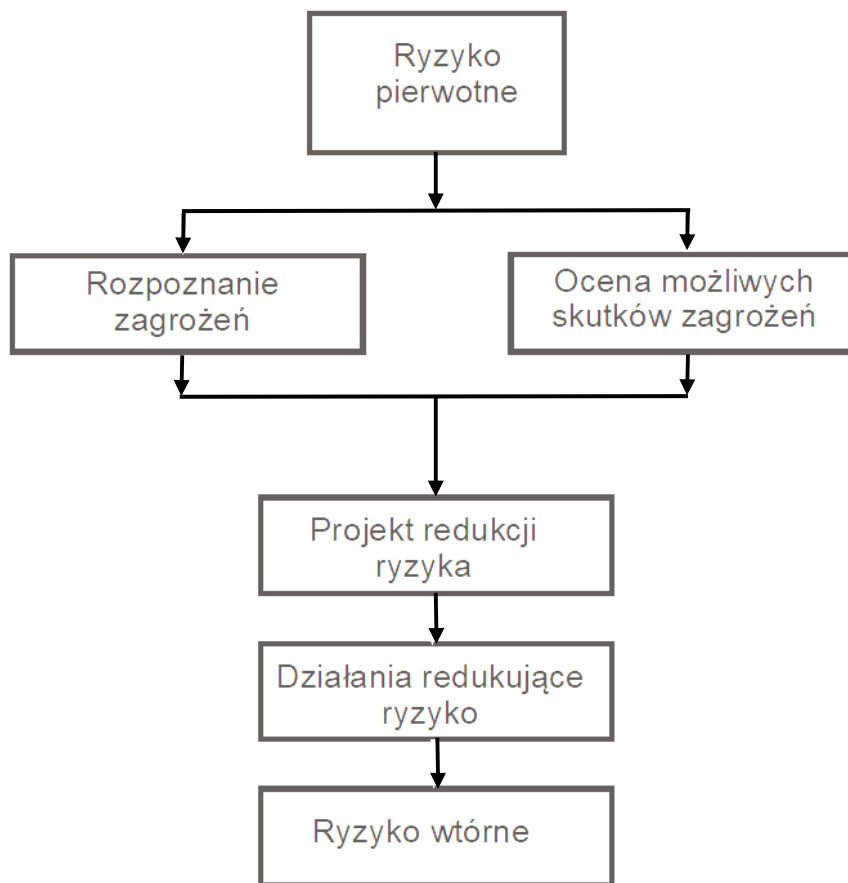
Na rysunkach 9-14 przedstawiono wybrane zagadnienia dotyczące oceny i zarządzania ryzykiem w SZZW.



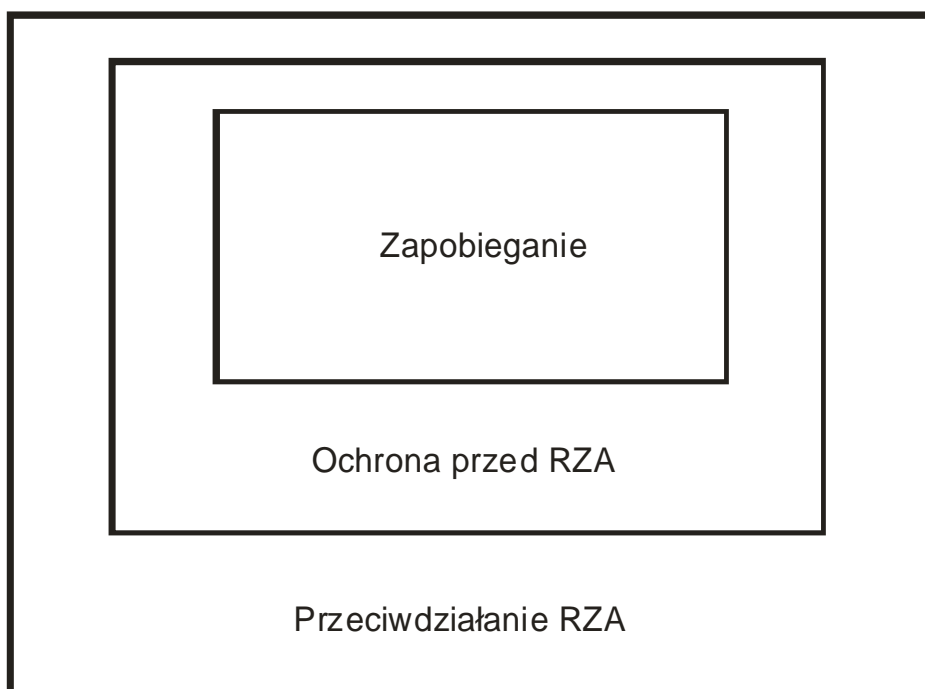
Rys. 9. Piramida zdarzeń niepożądanych



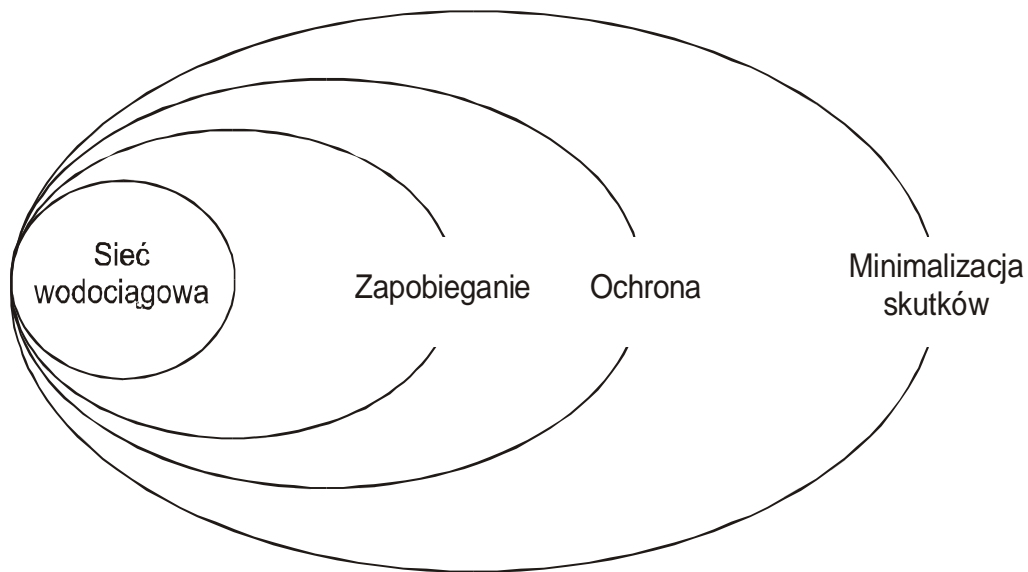
Rys. 10. Schemat zarządzania jakością wody do spożycia z wodociągu publicznego



Rys. 11. Działania związane z redukcją ryzyka



Rys. 12. Trójpoziomowe bezpieczeństwo SZZW



Rys. 13. Bariery bezpieczeństwa i ochrony sieci wodociągowej

Sposób komunikowania się ze społeczeństwem:

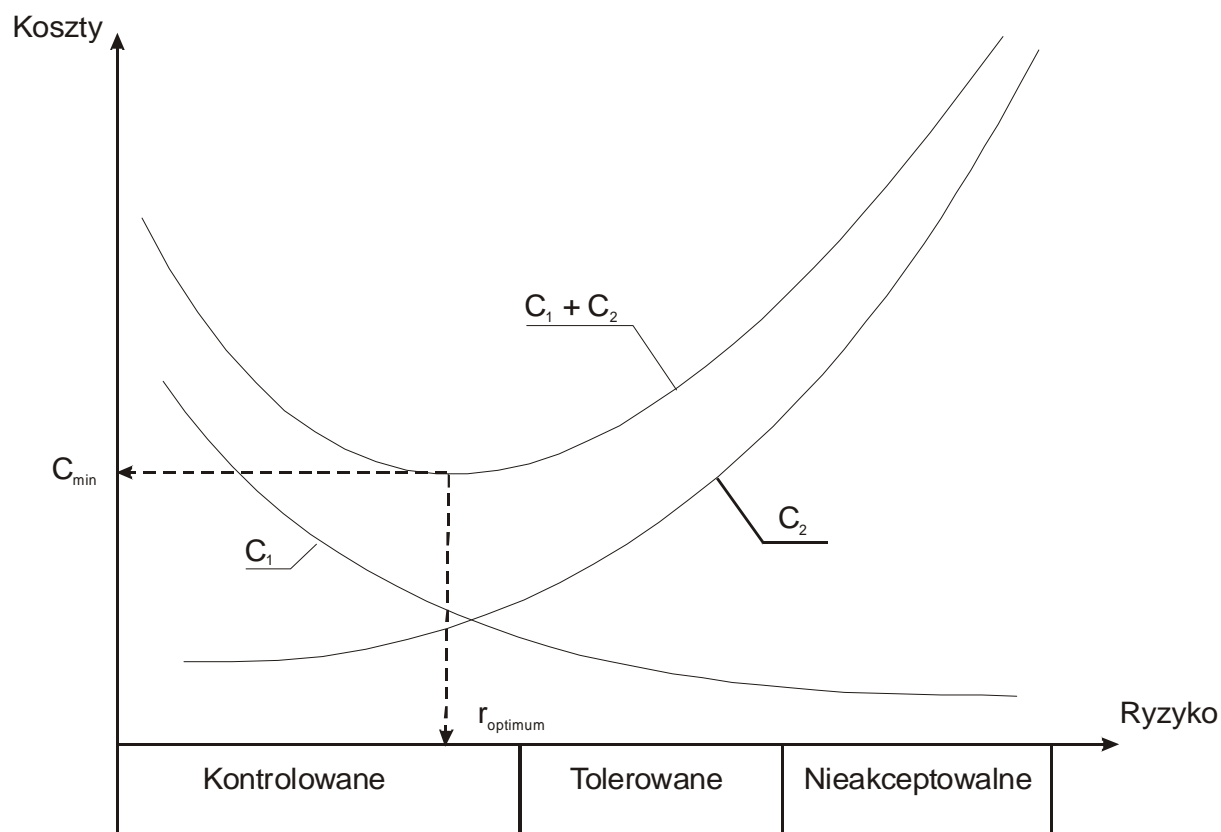
- powiadomienie społeczeństwa w lokalnych środkach masowego przekazu o istniejącym zagrożeniu, w tym możliwość użycia objazdowej aparatury nagłaśniającej nadającej bieżące komunikaty,
- sprawna łączność całodobowa z przedsiębiorstwem wodociągowym, gdzie mieszkańcy mogliby wyrażać swoje opinie o jakości wody,
- komunikaty o zagrożeniu w mediach elektronicznych powinny podawać osoby zaufania publicznego, przedstawiciele firmy wodociągowej powinni ograniczyć się do informacji o podjętych środkach zaradczych.

Alternatywne sposoby zaopatrzenia w wodę:

- dostęp do niezależnych studni publicznych,
- podanie miejsc i godzin dostawy wody z beczkowsów,
- zwiększenie dostaw wód mineralnych do sieci sklepowych.

Sposoby usunięcia skażonej wody z podsystemu dystrybucji:

- płukanie sieci przez hydranty,
- wyznaczenie daty i godziny, w której mieszkańcy dokonaliby spuszczenia wody z instalacji wewnętrznych i przyłączy domowych.



Rys. 14. Trzy poziomy ryzyko SZZW

### Podsumowanie

- Ryzyko jest nową kategorią oceny jakości usług świadczonych przez firmy wodociągowe i należy go identyfikować z bezpieczeństwem funkcjonowania SZW.
- Zarządzanie ryzykiem należy traktować jako proces związany nierozłącznie z zarządzaniem całą firmą wodociągową poprzez planowanie metod reagowania na ryzyko.
- Identyfikacja ryzyka polega na wyborze reprezentatywnych zdarzeń awaryjnych mogących wystąpić podczas eksploatacji SZW.
- Ocena ryzyka to proces jego jakościowo-ilościowej analizy za pomocą adekwatnych do danego rodzaju ryzyka metod.
- Klasyfikacja ryzyka to ustalenie jego poziomów w skali trójstopniowej – tolerowane, kontrolowane i nieakceptowalne.
- Kontrola i redukcja ryzyka to wdrożenie procedur pozwalających na jego zmniejszenie, a także rejestracja i ocena rezultatów wprowadzenia ich w życie.
- Metoda drzewa zdarzeń jest efektem antycypacji możliwych scenariuszy związanych z pojawieniem się inicjującego zdarzenia niepożądanego (indukcyjne myślenie wyprzedzające). Metoda drzewa niezdatności jest efektem „myślenia wstecz” i polega po

zdefiniowaniu szczytowego zdarzenia awaryjnego na wyznaczeniu sekwencji zdarzeń za pomocą bramek AND oraz OR, co prowadzi do określenia podstawowych zdarzeń niepożądanych, które leżą u podstaw zdarzenia szczytowego.

### **Zamiast wniosków**

- W świecie globalnych powiązań kontrolowanie i zarządzanie ryzykiem staje się niestety coraz bardziej skomplikowane.
- Brak stosownych zabezpieczeń przed różnymi rodzajami niepożądanych zdarzeń prawie codziennie jest pierwszoplanowym tematem środków masowego przekazu.
- Na problematykę podejmowania decyzji w obliczu ryzyka zwrócił uwagę w XX wieku Knight Keynes.
- Zaczęto poszukiwać przyczyn niedokładności świata za pomocą teorii chaosu.
- Kolejne metody „przepowiadania przyszłości” związane są z algorytmami genetycznymi. Sieci neuronowe naśladują zachowania ludzkiego umysłu.
- Ciągłe nie ma jednak niemal żadnej gwarancji, że dzisiejsze wydarzenia przyniosą jutro określone skutki. Wynika to z filozoficznego stwierdzenia, że pozory prawdy nie są prawdą.
- Komputer potrafi niestety tylko odpowiadać na zadane przez nas pytania, ale nie umie ich sam sformułować. Mimo to wnioski płynące z analiz komputerowych danych liczbowych są bardziej precyzyjne niż intuicja, czy domysły i z tego powodu należy z nich korzystać. Nasuwa się jednak kolejna analogia, że współczesny komputer zastąpił starożytne wyrocznie, do których odwoływano się w tamtych czasach prosząc o wsparcie w sytuacjach podejmowania decyzji w warunkach ryzyka. W obu przypadkach beneficjenci wydawali i wydają się być równie usatysfakcjonowani z otrzymywanych odpowiedzi.

## **2. Ryzyko w nowej ustawie Prawo Wodne oraz Rozporządzeniu Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi**

### **2.1. Prawo wodne**

Dnia 1 stycznia 2018 r. w życie weszło nowe Prawo wodne, które zmierza do osiągnięcia celu Ramowej Dyrektywy Wodnej, jakim jest pełna realizacja zlewniowej polityki gospodarowania wodami. Zarządzanie będzie miało miejsce na poziomie zlewni, regionu wodnego oraz dorzecza i będzie wykonywane przez Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. Ustawa przewiduje takie rozwiązania, które mają utrzymać zrównoważony społeczno-gospodarczy rozwój kraju, przy zapewnieniu dostępności wody o odpowiedniej jakości i we właściwej ilości.

Zawarta w art. 120 – 142 ochrona ujęć wody oraz zbiorników wód śródlądowych dostosowuje nasze przepisy do zaleceń Komisji Europejskiej i Światowej Organizacji Zdrowia mających na celu ochronę zdrowia ludzkiego poprzez kontrolę jakości wody do spożycia w stanie surowym. Ustawa przewiduje ustanawianie stref ochronnych ujęć wody zarówno na wniosek jak i z urzędu. W sytuacji, gdy właściciel ujęcia wody nie złoży wniosku o ustanowienie strefy ochronnej ujęcia, a zachodzą przesłanki do jej ustanowienia, na koszt właściciela ujęcia wody może być strefa wyznaczona z urzędu. W drodze decyzji pozostała możliwość ustanowienia strefy ochronnej obejmującej wyłącznie teren ochrony bezpośredniej, przez organ właściwy do wydania pozwolenia wodnoprawnego. Dla ujęć służących do zaopatrzenia ludności w wodę ustalenie strefy jest obligatoryjne. Na właścicieli ujęć wody realizujących zadania w zakresie zbiorowego zaopatrzenia w wodę, nałożono obowiązek przeprowadzania analizy ryzyka (art. 133).

*Art. 133. 1. Strefę ochronną obejmującą wyłącznie teren ochrony bezpośredniej ustanawia się z urzędu.*

*2. Strefę ochronną obejmującą teren ochrony bezpośredniej i teren ochrony pośredniej ustanawia się:*

*1) na wniosek właściciela ujęcia wody;*

*2) z urzędu, jeżeli właściciel ujęcia wody nie złożył wniosku, o którym mowa w pkt 1, a z przeprowadzonej analizy ryzyka, o której mowa w ust. 3, wynika potrzeba jej ustanowienia.*

*3. Strefę ochronną, o której mowa w ust. 2, ustanawia się na podstawie analizy ryzyka obejmującej ocenę zagrożeń zdrowotnych z uwzględnieniem czynników negatywnie wpływających na jakość ujmowanej wody, przeprowadzoną w oparciu o analizy hydrogeologiczne lub hydrologiczne oraz dokumentację hydrogeologiczną lub hydrologiczną,*

*analizę identyfikacji źródeł zagrożenia wynikających ze sposobu zagospodarowania terenu, a także o wyniki badania jakości ujmowanej wody.*

Analiza ryzyka będzie aktualizowana nie rzadziej niż co 10 lat, a w przypadku ujęć wody dostarczających mniej niż 1000 m<sup>3</sup> wody na rok – nie rzadziej niż co 20 lat.

Brak wykonania analizy ryzyka będzie mógł stanowić podstawę do cofnięcia pozwolenia wodnoprawnego bez odszkodowania.

Strefa ochronna obejmująca teren ochrony bezpośredniej oraz teren ochrony pośredniej, będzie ustanawiana w drodze aktu prawa miejscowego wydawany przez wojewodę. Zgodnie z art. 551 ust. 1 ustawy, w terminie do dnia 30 czerwca 2018 r. właściwe organy Wód Polskich, ustanowią strefy ochronne obejmujące wyłącznie teren ochrony bezpośredniej dla ujęć wody, dla których dotychczas nie ustanowiono takich stref ochronnych. Z art. 551 ust. 2 wynika obowiązek przeprowadzenia analizy ryzyka dla właścicieli ujęć wody, dla których nie ustanowiono strefy ochronnej obejmującej teren ochrony pośredniej. W terminie trzech lat od wejścia w życie ustawy są oni zobowiązani do przeprowadzenia analizy ryzyka i złożenia wniosków o ustanowienie stref ochronnych obejmujących teren ochrony bezpośredniej oraz teren ochrony pośredniej (pośredniej jeżeli będzie to uzasadnione analizą ryzyka).

## **2.2. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi**

Rozporządzenie wprowadza definicję „oceny ryzyka”

*ocena ryzyka – proces polegający na identyfikacji zagrożeń i analizie ryzyka przeprowadzony na podstawie obowiązującej w czasie dokonywania tej oceny normy PN-EN 15975-2 „Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia – Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka – Część 2: Zarządzanie ryzykiem”; przy opracowaniu oceny ryzyka uwzględnia się czynniki określone dla obszaru zaopatrzenia w wodę, o których mowa w § 11 pkt 1, 2 i 4–9 tj:*

- *jakości i rodzaju ujmowanej wody;*
- *zanieczyszczeń występujących w środowisku, ze szczególnym uwzględnieniem usytuowania ujęcia wody, ustanowionej strefy ochronnej ujęcia i oceny zagrożenia zdrowotnego przeprowadzonego dla tego ujęcia;*
- *zastosowanych technologii uzdatniania wody ze szczególnym uwzględnieniem, czy materiały i wyroby używane do uzdatniania wody uzyskały pozytywną ocenę higieniczną właściwego państwowego powiatowego inspektora sanitarnego;*



- *długości sieci wodociągowej;*
- *materiałów użytych do budowy sieci wodociągowej;*
- *wieku wodociągu;*
- *sytuacji epidemicznej, w szczególności w zakresie chorób wodorozależnych;*
- *aktualnych potrzeb i celów badań.*

*Wewnętrzna kontrola jakości wody realizowana przez przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne, o której mowa w art. 5 ust. 1a ustawy, obejmuje: 1) wykonywanie badań jakości wody w urządzeniach wodociągowych: a) w zakresie dotyczącym: – wymagań i parametrów objętych monitoringiem zgodnie z częścią A i częścią B załącznika nr 2 do rozporządzenia, z zastrzeżeniem § 13 ust. 1 pkt 1 i § 14 ust. 1 pkt 1 w przypadku przeprowadzenia oceny ryzyka, o której mowa w § 12,*

Podmioty, które mogą przeprowadzić ocenę ryzyka:

- przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne: powinna uzyskać zatwierdzenie właściwego państwowego powiatowego lub państwowego granicznego inspektora sanitarnego w zakresie bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów oraz właściwego wójta (burmistrza, prezydenta miasta) w pozostałym zakresie mającym na celu zapewnienie należytej jakości produkcji, dystrybucji i kontroli jakości dostarczanej wody,
- podmiot dostarczający lub wykorzystujący wodę pochodzącą z indywidualnego ujęcia w ramach działalności gospodarczej lub w budynkach użyteczności publicznej, budynkach zamieszkania zbiorowego, lub w podmiotach działających na rynku spożywczym, wykorzystujących wodę (powinna uzyskać zatwierdzenie właściwego państwowego powiatowego lub państwowego granicznego inspektora sanitarnego w zakresie bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów),
- podmiot dostarczający lub wykorzystujący wodę pochodzącą z indywidualnego ujęcia w ramach działalności gospodarczej lub w budynkach użyteczności publicznej, budynkach zamieszkania zbiorowego lub w podmiotach działających na rynku spożywczym, wykorzystujących wodę dla mniej niż 50 osób lub mniej niż średnio 10m<sup>3</sup> wody na dobę (powinna uzyskać zatwierdzenie właściwego państwowego powiatowego lub państwowego granicznego inspektora sanitarnego w zakresie bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów).

Ocenę ryzyka należy archiwizować 10 lat. Usunięcie parametru jakościowego wody wymienionego w części A i w części B załącznika nr 2 do rozporządzenia z wykazu parametrów, które mają być monitorowane, wynika z oceny ryzyka na podstawie rezultatów monitorowania źródeł wody z równoczesnym zapewnieniem, że zdrowie konsumentów wody jest chronione przed szkodliwymi skutkami zanieczyszczenia wody. Częstotliwość pobierania próbek wody może zostać zmniejszona lub parametr usunięty z wykazu parametrów, które mają być monitorowane, jeżeli w ocenie ryzyka potwierdzono, że żaden czynnik dający się racjonalnie przewidzieć nie może spowodować pogorszenia jakości wody.

Gdy zanieczyszczenie wody nie może powodować zagrożenia dla zdrowia konsumentów wody istnieje możliwość wprowadzenia warunkowej przydatności wody do spożycia (w oparciu o badania naukowe, informacje o podejmowanych działaniach

### **3. Podstawowa definicja ryzyka**

- Ryzyko to iloczyn prawdopodobieństwa zajścia zdarzenia niepożądanego i wielkości powodowanych przez to zdarzenie strat,
- wraz ze wzrostem prawdopodobieństwa otrzymania negatywnego wyniku, wyższy jest poziom ryzyka,
- w analizie ryzyka, powinno się wykorzystywać historyczną wiedzę z eksploatacji danego systemu, metody analityczne i doświadczenie,
- w wielu przypadkach częścią analizy ryzyka jest analiza czynnika ludzkiego i analiza niezawodności człowieka – dyspozytora systemu,
- zarządzanie ryzykiem można zdefiniować jako społeczno – ekonomiczny proces podejmowania decyzji,
- należy pamiętać, że nie da się wyeliminować ryzyka. Można jedynie podejmować różnego rodzaju działania, mające na celu jego minimalizację do dopuszczalnego poziomu z punktu widzenia bezpieczeństwa oraz poniesionych kosztów,
- dokonując oceny ryzyka należy odpowiedzieć na podstawowe pytania:
  - - co złego może się wydarzyć?,
  - - jak często?,
  - - jakie mogą być skutki?

Na rys. 15 przedstawiono schemat istoty ryzyka. Miarą utraty bezpieczeństwa jest funkcja ryzyka:

- Norma PN-ISO 31000 „Zarządzanie ryzykiem. Zasady i wytyczne” definiuje ryzyko jako kombinację następstw zdarzeń i związanego z nim prawdopodobieństwa jego wystąpienia.
- Norma ISO 9001:2015 „Systemy zarządzania jakością” ryzyko zostało zdefiniowane jako wpływ niepewności na funkcjonowanie systemów lub przedsięwzięć.

Dla systemów wodociągowych obowiązują obecnie normy europejskie:

- PN-EN 15975-1:2016: Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia -Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka -- Część 1: Zarządzanie kryzysowe
- PN-EN 15975-2:2013-12: Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia - Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka -- Część 2: Zarządzanie ryzykiem.



Rys. 15. Istota ryzyka

Z matematycznego punktu widzenia obowiązuje następująca podstawowa definicja ryzyka:

$$r = P \cdot C \quad (5)$$

gdzie:

P – miara zawodności funkcjonowania systemu odpowiadająca kategorii częstości – prawdopodobieństwa,

C – miara konsekwencji odpowiadająca kategorii skutków – szkód, wyrażona np. w jednostkach finansowych.

Procedury analizy ryzyka jest to ogół działań poznawczych mających na celu identyfikację zagrożeń, oszacowanie wielkości ryzyka i ocenę jego wielkości (rys. 16).

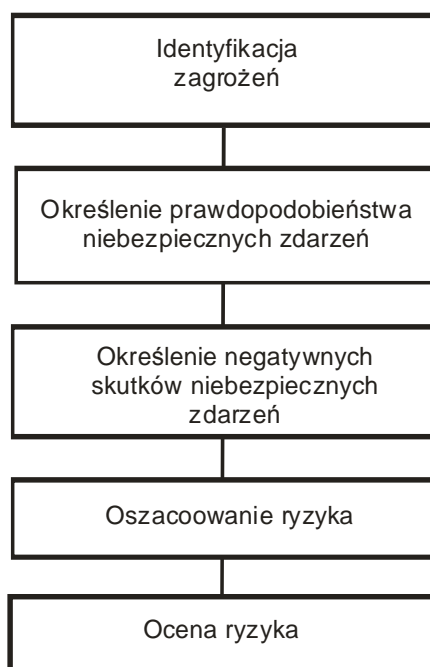
Oszacowanie strat, które niejednokrotnie mają charakter losowy nie jest w praktyce proste. Można wyjść z formuły:

$$\text{Zysk} = \text{Dochód} - \text{Wydatki} \quad (6)$$

Straty obciążają wydatki i wiążą się z ponoszeniem kosztów, przez co wpływają na obniżenie zysku. Ogólnie rzecz biorąc sprawdza się w praktyce eksploatacyjnej zasada, że małe straty pojawiają się z relatywnie dużym prawdopodobieństwem.

$$r \leq r_{\text{dop}} \quad (7)$$

$r_{\text{dop}}$  - oznacza dopuszczalny poziom ryzyka



Rys. 16. Procedura analizy ryzyka

Funkcjonowanie systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW) obarczone jest ryzykiem związanym z brakiem dostawy wody, jej złą jakością oraz brakiem dostawy wody po stwierdzeniu złej jakości w odniesieniu do wskaźników chemicznych lub bakteriologicznych. Zagrożenia dla całego SZZW można klasyfikować ze względu na:

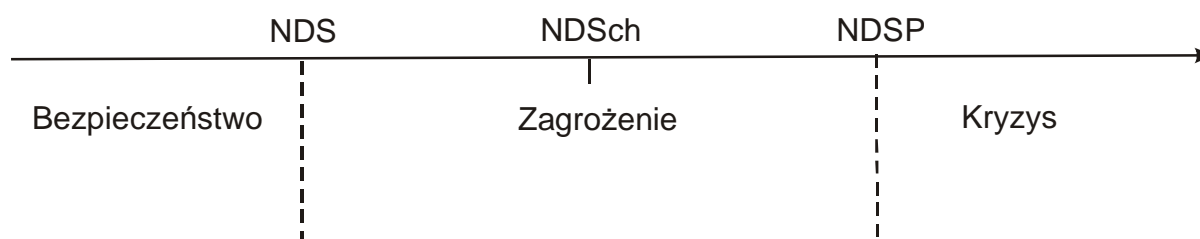
- rodzaj przyczyny
  - wewnętrzne (wynikające bezpośrednio z funkcjonowania podsystemu, np. uszkodzenie jego elementów, awarie przewodów magistralnych czy rozdzielczych i armatury, awarie pompowni),

- zewnętrzne (np. zanieczyszczenia incydentalne źródła wody powodujące brak dostawy wody do SZZW, działania sił natury, takie jak powódź, susza, opady, wichury, osuwiska, jak również brak zasilania energetycznego czy działania osób trzecich – wandalizm, atak terrorystyczny, a nawet cyberterrorystyczny),
- czas trwania
  - krótkotrwałe (zdarzające się rzadko),
  - długotrwałe (mogące spowodować efekt domina),
  - cykliczne (powracające),
- zasięg
  - lokalne,
  - rozległe (regionalne, globalne),
- stałość zasięgu terenowego
  - rozprzestrzeniające się w terenie,
  - nierozprzestrzeniające się w terenie.

Uszkodzeniom można zapobiegać poprzez:

- zapewnienie ochrony krytycznych elementów podsystemu,
- zdalne monitorowanie podsystemu,
- planowanie działań służb remontowych,
- opracowanie planu bezpieczeństwa wodnego opartego na analizie ryzyka wynikającego z możliwości zajścia zdarzeń niepożądanych.

Rysunek 17 przedstawia relacje miar zagrożenia.



Rys. 7. Relacje miar zagrożenia

gdzie:

NDS – największe dopuszczalne stężenie,

NDSch – największe dopuszczalne stężenie chwilowe,

NDSP – największe dopuszczalne stężenie progowe.

## 4. Metody analizy i oceny ryzyka

### 4.1. Informacje ogólne

Szacowanie ryzyka (ang. *risk assessment*) to trzystopniowa procedura polegająca na:

- identyfikowaniu zagrożeń (ang. *hazard identification*),
- szacowaniu prawdopodobieństwa powstania zagrożenia (ang. *probability assessment*),
- szacowaniu podatności na zagrożenie,
- określaniu skutków zdarzenia (ang. *consequence analysis*).

Ocena ryzyka to porównanie wyznaczonych wartości z kryteriami akceptowalności ryzyka, co jest podstawą do analizy bezpieczeństwa. Na tym etapie bardzo istotne jest określenie kryteriów akceptowalności ryzyka, tak aby można je było wykorzystać w procesie podejmowania decyzji dotyczących eksploatacji systemu (np. prac remontowych czy modernizacji).

Najogólniej metody analizy ryzyka dzieli się na:

- ilościowe metody analizy ryzyka (ang. *quantitative methods for risk analysis – QRA*), które przetwarzają dane ilościowe (mieralne) i wyznaczają konkretną wartość ryzyka. Do tych metod zalicza się metody oparte na statystyce matematycznej oraz rachunku prawdopodobieństwa,
- jakościowe metody oceny (szacowania) ryzyka (ang. *qualitative methods of risk analysis – QLRA*), w odróżnieniu od metod ilościowych nie uwzględniają one liczbowego wyznaczania ryzyka z wykorzystaniem metod probabilistycznych (np. rozkładów gęstości),
- metody ilościowo-jakościowe analizy ryzyka (ang. *quantitative-qualitative methods for risk analysis*), do których zalicza się m.in. metody matrycowe, metodę drzewa uszkodzeń (ang. *Fault Tree Analysis – FTA*) i metodę drzewa zdarzeń (ang. *Event Tree Analysis – ETA*), sieci bayesowskie, logikę rozmytą oraz sieci neuronowe,
- metody symulacyjne z zastosowaniem komputerowych modeli hydraulicznych oraz systemów sterowania, przetwarzania i rejestracji danych (na typu SCADA), komputerowych baz danych np. typu GIS (ang. *Geographic Information System*), a także symulację metodą Monte Carlo. Stanowią one narzędzie wspomagające proces analizy ryzyka.

#### 4.2. Metody matrycowe oceny ryzyka

Matryca (macierz) ryzyka przedstawia zależność prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia od jego następstw (skutków) według podstawowego wzoru:

$$r_{ij} = P_i \cdot C_j \quad (8)$$

gdzie:

$P_i$  – prawdopodobieństwo zajścia zdarzeń niepożądanych,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,

$n$  – liczba skali przyjętej dla parametru prawdopodobieństwa,

$C_j$  – konsekwencje, straty związane z danym prawdopodobieństwem,  $j = 1, 2, \dots, m$ ,

$m$  – liczba skali przyjętej dla parametru strat.

Przyjmując odpowiednią skalę dla poszczególnych parametrów, najczęściej w analizie ryzyka stosuje się matryce postaci:  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $3 \times 5$ ,  $5 \times 3$ ,  $7 \times 5$ ,  $7 \times 7$ ,  $9 \times 9$ ,  $10 \times 10$ . W ilościowych metodach matrycowych dla wszystkich parametrów ryzyka przypisuje się odpowiednie wagi punktowe (w przyjętej skali). Przykładowo, dla najprostszej skali trójstopniowej wartościowanie poszczególnych parametrów przedstawia się w sposób następujący:

- dla parametru prawdopodobieństwa
  - małe – waga 1,
  - średnie – waga 2,
  - duże – waga 3,
- dla parametru strat
  - małe – waga 1,
  - średnie – waga 2,
  - duże – waga 3.

W ten sposób otrzymuje się ilościową matrycę ryzyka zaprezentowaną w tab. 1. Zgodnie z podaną w tabeli matrycą do oceny ryzyka, zbiór możliwych wartości ryzyka przedstawia się następująco:

Tabela 1. Dwuparametryczna matryca ryzyka

P \ C	C			
		Małe (1)	Średnie (2)	Duże (3)
Małe (1)		1	2	3
Średnie(2)		2	4	6
Duże (3)		3	6	9

W ten sposób można analizować różne zdarzenia niepożądane, przyjmując następującą ilościową skalę ryzyka:

- ryzyko tolerowane ( $R_T$ ) – liczba punktów od 1 do 2; podzbiór ryzyka tolerowanego,
- ryzyko kontrolowane ( $R_K$ ) – liczba punktów od 3 do 4; podzbiór ryzyka kontrolowanego,
- ryzyko nieakceptowane ( $R_N$ ) – liczba punktów od 6 do 9; podzbiór ryzyka nieakceptowanego.

### Trójparametryczna matryca szacowania ryzyka

W trójparametrycznej matrycy ryzyka parametrami są: częstotliwość wystąpienia zagrożenia (P), skutki zagrożeń (C) i V (podatność na zagrożenie) lub ekspozycja na zagrożenie (E). Ekspozycję na zagrożenie należy wiązać z częstotliwością korzystania z wodociągu publicznego jako źródła wody do spożycia. Obowiązuje formuła:

$$r = P \cdot C \cdot V (E) \quad (9)$$

### Czteroparametryczna matryca szacowania ryzyka

Czteroparametryczna matryca szacowania ryzyka jest wyznaczana na podstawie zależności:

$$r = \frac{P \cdot C \cdot N}{O} \quad (10)$$

gdzie:

P – waga punktowa związana z prawdopodobieństwem wystąpienia danego reprezentatywnego zdarzenia niepożądanego,

C – waga punktowa związana z wielkością strat,



N – waga punktowa związana z zagrożoną liczbą mieszkańców,

O – waga punktowa związana z ochroną System wodociągowy przed nadzwyczajnymi zagrożeniami. Bariery ochronne stanowią zbiorniki wody czystej, system monitoringu itp. Im bardziej rozbudowany system barier ochronnych, tym mniejsze jest ryzyko wystąpienia zagrożenia w SZZW.

Przykładowy opis jakościowo-ilościowy parametrów składowych ryzyka utworzony na potrzeby analizy ryzyka w SZZW, według wymienionej metody matrycowej przedstawia się następująco:

- kategoria liczby mieszkańców zagrożonych N
  - niska – zagrożonych do 5 000 mieszkańców; N = 1,
  - średnia – zagrożonych od 5 001 do 50 000 mieszkańców; N = 2,
  - wysoka – zagrożonych powyżej 50 000 mieszkańców; N = 3,
- kategoria prawdopodobieństwa (częstotliwości) wystąpienia zdarzenia awaryjnego P
  - niska – mało prawdopodobne – raz na 10÷50 lat; P = 1,
  - średnia – dość prawdopodobne – raz na 1÷10 lat; P = 2,
  - wysoka – prawdopodobne – 1÷10 razy w roku bądź częściej; P = 3,
- kategoria skutków C
  - mała – dostrzegalne zmiany organoleptyczne wody, pojedyncze skargi konsumentów, straty finansowe do  $5 \cdot 10^3$  PLN; C = 1,
  - średnia – znaczna uciążliwość organoleptyczna (odór, zmiana barwy i mętności), niedyspozycje zdrowotne konsumentów, liczne skargi, komunikaty w regionalnych mediach publicznych, straty finansowe do  $10^5$  PLN; C = 2,
  - wysoka – wymagane leczenie szpitalne osób, zaangażowanie profesjonalnych służb ratowniczych, wyniki badań organizmów wskaźnikowych ujawniające wysoki poziom substancji toksycznych, informacje w mediach ogólnokrajowych, strata finansowa powyżej  $10^5$  PLN; C = 3,
- kategoria ochrony O
  - niska – standardowy monitoring jakości wody wodociągowej zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem; O = 1,
  - średnia – ponadstandardowy monitoring pracy System wodociągowy (np. wykorzystanie oprogramowania SCADA, opracowanie szczegółowego planu

reagowania w sytuacji zagrożenia, zlokalizowanie alternatywnych źródeł wody);  
O = 2,

- o wysoka – specjalny monitoring pracy System wodociągowy (np. wykorzystanie systemu multibariery z biomonitoringiem wody surowej, uwzględnienie wyników badań prowadzonych na organizmach wskaźnikowych, wykorzystanie telewizji przemysłowej z czujnikami ruchu, opracowanie kompleksowego planu reagowania w zaistniałej sytuacji awaryjnej oraz informowania o zagrożeniu); O = 3.

### **Pięcioparametryczna matryca szacowania ryzyka**

Kompozycją matrycy trójparametrycznej i czteroparametrycznej jest matryca pięcioparametryczna, która ma zastosowanie w przypadku bardzo rozbudowanych SZZW w dużych aglomeracjach miejskich. Ryzyko wyznacza się według formuły:

$$r = \frac{P \cdot C \cdot N \cdot E}{O} \quad (11)$$

gdzie:

E – waga punktowa związana z ekspozycją na zagrożenie.

Opis parametrów składowych ryzyka (N, P, C i O) dla metody pięcioparametrycznej jest taki sam jak dla metody czteroparametrycznej, a opis ekspozycji na zagrożenie przedstawia się następująco:

- kategoria ekspozycji E
  - o mała – kilkanaście razy w roku; E = 1,
  - o średnia – kilka razy w tygodniu; E = 2,
  - o wysoka – codziennie (stale); E = 3.

Matryce ryzyka są modyfikowane w zależności od specyfiki SZZW oraz celu analizy ryzyka. Przykładowo, dla analizy ryzyka awarii sieci wodociągowej wprowadza się parametry charakteryzujące rodzaj sieci i intensywność uszkodzeń. W tabelach 2-4 przedstawiono przykładowe kryteria dla wybranych parametrów ryzyka.

Tabela 2. Kryteria skali opisowo-punktowej dla parametru częstości

Waga punktowa	Opis parametru f	Zakres częstości występowania zdarzenia awaryjnego [awaria/rok]
1	bardzo mało prawdopodobne, raz na 10 lat i rzadziej	$\leq 0,1$
2	mało prawdopodobne, raz na 5 lat	$(0,1 \div 0,2 >$
3	średnio prawdopodobne, raz na 2 lata	$(0,2 \div 0,5 >$
4	umiarkowanie prawdopodobne, raz na 0,5 roku	$(0,5 \div 2,0 >$
5	bardzo prawdopodobne, raz na miesiąc i częściej	$\geq 12$

Tabela 3. Kryteria skali opisowo-punktowej dla parametru strat -aspekt ilościowy

Waga punktowa	Opis parametru C
1	Straty bardzo małe: lokalne obniżenie ciśnienia wody w sieci wodociągowej, odczuwalne przerwy w dostawie wody dla konsumentów zamieszkujących wyższe piętra budynków
2	Straty małe: spadek dobowej produkcji wody $Q_{dmax}$ do 70% wartości nominalnej $Q_n$ lub przerwy w dostawie wody trwające do 2 h, pojedyncze skargi konsumentów
3	Straty średnie: $Q_{dmax} = <50 \div 70\% Q_n$ lub przerwy w dostawie wody $(2 \div 12 >$ h dla pojedynczych konsumentów, spadek ciśnienia wody w sieci wodociągowej, straty finansowe
4	Straty duże: $Q_{dmax} = <30 \div 50\% Q_n$ lub przerwy w dostawie wody $(12 \div 24 >$ h dla konsumentów poszczególnych osiedli, spadek ciśnienia wody w sieci wodociągowej, straty finansowe
5	Straty bardzo duże: $Q_{dmax} < 30\% Q_n$ , spadek ciśnienia w sieci wodociągowej, awaria głównej magistrali wodociągowej, przerwy w dostawie wody trwające powyżej 24 h dla poszczególnych osiedli, dzielnic lub całego miasta, znaczące straty zarówno finansowe, jak i społeczne

Tabela 4. Kryteria skali opisowo-punktowej dla parametru strat -aspekt jakościowy

Waga punktowa	Opis parametru C
1	<p>Zagrożenie bardzo małe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• lokalne pogorszenie parametrów jakości wody</li> <li>• dostrzegalne zmiany organoleptyczne wody                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• pojedyncze skargi konsumentów</li> </ul> </li> <li>• brak zagrożenia zdrowotnego dla konsumentów</li> </ul>
2	<p>Zagrożenie małe:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• lokalne pogorszenie parametrów jakości wody</li> </ul> <p>dostrzegalne zmiany organoleptyczne wody (zapach, zmieniona barwa i mętność, przy istniejącym minimalnym zagrożeniu dalszego pogorszenia się jakości wody)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• skargi konsumentów wody</li> <li>• brak zagrożenia zdrowotnego dla konsumentów</li> </ul>
3	<p>Zagrożenie średnie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• znaczna uciążliwość organoleptyczna (odór, zmieniona barwa i mętność)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• liczne skargi</li> <li>• komunikaty w regionalnych mediach publicznych</li> </ul> </li> <li>• zagrożenie zdrowotne dla konsumentów (przekroczenia wskaźników fizykochemicznych, brak mikroorganizmów chorobotwórczych)</li> </ul>
4	<p>Zagrożenie duże:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wtórne zanieczyszczenie wody w poszczególnych fragmentach sieci wodociągowej</li> <li>• możliwość narażenia licznej grupy konsumentów na spożycie wody o pogorszonej jakości                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• komunikaty w regionalnych mediach publicznych</li> <li>• niedyspozycje zdrowotne konsumentów</li> </ul> </li> <li>• przesłanki do eskalacji zdarzenia, powstania tzw. efektu domina (przekroczenie wskaźników fizykochemicznych, możliwość wystąpienia mikroorganizmów chorobotwórczych)</li> </ul>
5	<p>Zagrożenie bardzo duże:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• wtórne zanieczyszczenie wody w sieci wodociągowej</li> <li>• możliwość narażenia licznej grupy konsumentów na spożycie wody o pogorszonej jakości                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• zaangażowanie profesjonalnych służb ratowniczych</li> </ul> </li> <li>• wyniki badań organizmów wskaźnikowych ujawniające wysoki poziom substancji toksycznych</li> <li>• informacje w mediach ogólnokrajowych, przekroczenie wskaźników fizykochemicznych oraz(lub) obecność mikroorganizmów chorobotwórczych                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• konieczność podjęcia leczenia szpitalnego osób narażonych</li> </ul> </li> </ul>

Tabela 5. Kryteria skali opisowo-punktowej dla parametru podatności na zagrożenie

Waga punktowa	Opis parametru V
1	<p>Bardzo mała podatność na zaistniałą awarię (bardzo duża odporność): sieć w układzie zamkniętym, możliwość odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci (w celu naprawy)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• możliwość uniknięcia przerw w dostawie wody dla konsumentów, pełny monitoring sieci wodociągowej (ciągłe pomiary ciśnienia i natężenia przepływu w strategicznych punktach sieci) obejmujący cały obszar zasilania w wodę, wykorzystanie opomiarowania SCADA oraz GIS, możliwość zdalnego sterowania parametrami hydraulicznymi pracy sieci</li> <li>• rezerwa awaryjna w sieciowych zbiornikach wodociągowych pokrywająca zapotrzebowanie miasta przez co najmniej dobę (<math>Q_{dmax}</math> lub <math>Q_{dś}</math>)</li> <li>• kompleksowy system ostrzegania i reagowania w sytuacjach kryzysowych               <ul style="list-style-type: none"> <li>• pełna możliwość korzystania z alternatywnych źródeł wody</li> </ul> </li> </ul>
2	<p>Mała podatność na zaistniałą awarię (duża odporność):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sieć w układzie otwartym lub mieszanym, możliwość odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka</li> <li>• standardowy monitoring pracy sieci wodociągowej z pomiarami wartości ciśnienia i natężenia przepływu</li> <li>• system wczesnego ostrzegania i reagowania w sytuacjach kryzysowych               <ul style="list-style-type: none"> <li>• dostępność alternatywnych źródeł wody</li> </ul> </li> </ul>
3	<p>Średnia podatność na zaistniałą awarię (średnia odporność): sieć w układzie mieszanym, możliwość odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci (ograniczenia w dostawie wody do konsumentów ze względu na przepustowość sieci)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• standardowy monitoring pracy sieci wodociągowej z pomiarami wartości ciśnienia i natężenia przepływu               <ul style="list-style-type: none"> <li>• system opóźnionego reagowania w sytuacjach kryzysowych</li> <li>• alternatywne źródła wody nie w pełni zabezpieczające potrzeby</li> </ul> </li> </ul>
4	<p>Duża podatność na zaistniałą awarię (mała odporność):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sieć w układzie otwartym, brak możliwości odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci bez przerw w dostawie wody do konsumentów               <ul style="list-style-type: none"> <li>• ograniczony monitoring pracy sieci wodociągowej</li> <li>• system późnego ostrzegania w sytuacjach kryzysowych</li> </ul> </li> <li>• ograniczona dostępność do alternatywnych źródeł wody do spożycia</li> </ul>
5	<p>Bardzo duża podatność na zaistniałą awarię (bardzo mała odporność):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• sieć w układzie otwartym, brak możliwości odcięcia zasuwami awaryjnego odcinka sieci bez przerw w dostawie wody do konsumentów               <ul style="list-style-type: none"> <li>• brak monitoringu pracy sieci wodociągowej</li> <li>• brak systemu ostrzegania oraz reagowania w sytuacjach kryzysowych</li> </ul> </li> <li>• bardzo ograniczona dostępność do alternatywnych źródeł wody do spożycia</li> </ul>

Metody matrycowe mają szerokie zastosowanie w analizach ryzyka ze względu na swoją nieskomplikowaną formę i przez to możliwość szybkiej analizy. Posiadają natomiast zasadniczą wadę, która może znacząco wpływać na końcową ocenę ryzyka, szczególnie gdy analiza wykonywana jest pobieżnie. W metodach matrycowych nie uwzględnia się przy

końcowej interpretacji większej rangi parametru strat. Dla przykładu w najprostszej macy dwuparametrycznej z trzema możliwymi zakresami wartości strat i prawdopodobieństwa tj.  $c_1=1$  (straty małe),  $c_2=2$  (straty średnie),  $c_3=3$  (straty duże) oraz  $p_1=1$  (prawdopodobieństwo małe),  $p_2=2$  (prawdopodobieństwo średnie),  $p_3=3$  (prawdopodobieństwo duże), zbiór możliwych wartości ryzyka (wg. dwuparametrycznej macy) wynosi  $R=\{r_i\}=\{1,2,3,2,4,6,3,6,9\}$ . Rozważając np. wartość ryzyka  $r=3$ , którą kwalifikuje się najczęściej do ryzyka kontrolowanego, można zauważyć, że taką samą wartość otrzymamy w przypadku małych strat ale występujących z dużym prawdopodobieństwem oraz strat dużych ale z małym prawdopodobieństwem wystąpienia. Zasadniczo w procesie zarządzania ryzykiem te dwa przypadki nie są równoważne. Podobne problemy pojawiają się w macy wieloparametrowych. Problem ten rozwiązano proponując uzupełnienie parametru strat o współczynnik rangi wg wzoru:

$$r = P_i \cdot C_i^{w_i} \quad (12)$$

gdzie:

$P_i$  - waga dla zakresu prawdopodobieństwa

$w_i$  - współczynnika rangi skutków lub konsekwencji zdarzenia niepożądanego, przy czym:

- dla strat małych  $w_i = 1$ ,
- dla strat średnich,  $w_i = 2$ ,
- dla strat dużych,  $w_i = 3$ .

### 4.3. Metody jakościowo-ilościowe analizy i oceny ryzyka wykorzystaniem drzew logicznych

#### 4.3.1. Drzewa niezdatności

Analiza za pomocą drzew niezdatności (ang. *Fault Tree Analysis* – FTA) zajmuje się identyfikacją warunków i czynników, które powodują, mogą powodować lub się przyczynić do wystąpienia danego zdarzenia szczytowego. Drzewa uszkodzeń (FT) to model opisujący związki pomiędzy uszkodzeniami elementarnych części systemu, błędami operatorów a zajściem zdarzenia związanego z niewypełnieniem przez system odpowiedniej funkcji.

Terminy używane w FTA są następujące:

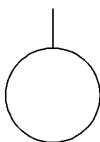
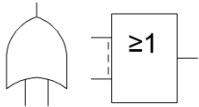
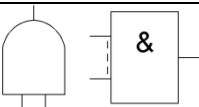
- wyjście – rezultat akcji bądź innego wejścia; konsekwencja przyczyny. Wyjściem może być zdarzenie lub stan. Wyjście z kombinacji właściwych wejściowych zdarzeń reprezentowane przez bramkę może być zarówno zdarzeniem pośrednim, jak i

szczytowym. Wyjście może być również wejściem do zdarzenia pośredniego lub szczytowego,

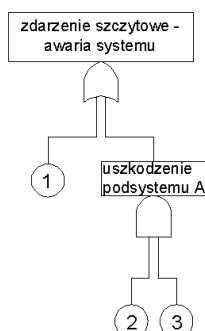
- zdarzenie szczytowe – wynik kombinacji wszystkich zdarzeń wejściowych. Jest to zdarzenie, pod którym buduje się FT. Zdarzenie szczytowe często utożsamia się ze zdarzeniem finalnym lub szczytowym wyjściem. Zdarzenie szczytowe jest definiowane na początku analizy. Ma najwyższą pozycję w hierarchii zdarzeń,
- bramka – symbol reprezentujący powiązanie pomiędzy zdarzeniem wyjściowym a odpowiadającymi wejściami. Dany symbol bramki określa wymagany typ relacji pomiędzy zdarzeniami wejściowymi, które spowodują wystąpienie zdarzenia wyjściowego,
- przekrój – grupa zdarzeń, która (jeśli wszystkie zdarzenia wystąpią) spowoduje pojawienie się zdarzenia szczytowego,
- przekrój minimalny – minimalny lub najmniejszy zbiór zdarzeń, które muszą wystąpić by, spowodować zdarzenie szczytowe. Niewystąpienie choćby jednego ze zdarzeń w zbiorze spowoduje brak wystąpienia zdarzenia szczytowego,
- zdarzenie elementarne – zdarzenie albo stan, które nie może być dalej rozwinięte w dół w konstrukcji FT.

Sporządzając FT, wykorzystuje się tzw. funktory (bramki logiczne) określające między innymi iloczyn logiczny zdarzeń i sumę logiczną zdarzeń. Symbole wykorzystywane w metodzie FTA przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Symbole używane w metodzie FTA

Symbol(e)	Nazwa	Opis
	Zdarzenie elementarne (ang. basic event)	Zdarzenie najniższego poziomu dla którego znane jest prawdopodobieństwo wystąpienia lub informacja o niezawodności.
	Bramka LUB (ang. OR)	Zdarzenie wyjściowe występuje, jeśli wystąpi jakiegokolwiek ze zdarzeń wejściowych.
	Bramka I (ang. AND)	Zdarzenie wyjściowe występuje, jeśli wystąpią wszystkie ze zdarzeń wejściowych.

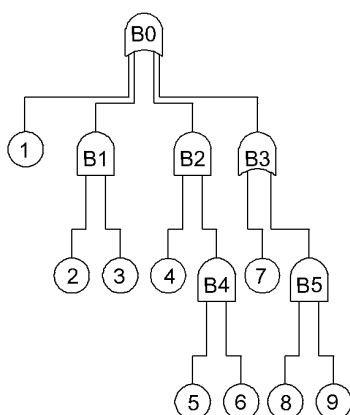
Konstrukcje FT rozpoczyna się zawsze od zdarzenia szczytowego. Następnie należy wyszukać wszystkie zdarzenia pośrednie, konieczne i wystarczające do wystąpienia zdarzenia szczytowego. Kolejne poziomy drzewa łączą się za pomocą bramek logicznych (rysunek 18). Przy tworzeniu niższych poziomów FT należy odpowiadać na pytanie: „jakie są przyczyny wystąpienia tego zdarzenia?”.



Rys. 18. Konstrukcja FT – zdarzenia pośrednie oraz elementarne (konieczne i wystarczające do wystąpienia zdarzenia szczytowego)

Drzewa uszkodzeń są źródłem informacji o wszelkich kombinacjach zdarzeń, jakie muszą zajść, by wstąpiło zdarzenie szczytowe. Zbiór takich zdarzeń nazywa się przekrojem. Przekrój określa się minimalnym, jeśli nie da się go bardziej zredukować.

Identyfikacja minimalnych przekrojów może się odbywać bez użycia algorytmów dla nieskomplikowanych FT. Prostą metodę odnajdywania przekrojów minimalnych przedstawiono na przykładzie. Analizowane FT ilustruje rysunek 19.



Rys. 19. Przykładowe FT prezentująca procedurę identyfikacji minimalnych przekrojów

Metoda polega na sukcesywnym zastępowaniu każdej z bramek przez zdarzenia wejściowe (zdarzenia elementarne, nowe bramki) do momentu, w którym przejdzie się przez całe FT i pozostaną tylko zdarzenia elementarne.



Dalej przedstawiono koncepcję metody odnajdywania minimalnych przekrojów dla FT z rysunku 20. W celu jasności postępowania poszczególnym bramkom logicznym przyporządkowano nazwy B0, B1, B2, B3, B4, B5. W przykładzie z rysunku 19 tok postępowania wygląda następująco:

„B0” 1 B1 B2 B3	„B1” 2,3 1 B2 B3
„B2” 4,B4 B3 2,3 1	„B3” 7 B5 1 2,3 4,5 4,6
„B4” 7 8 9 1 2,3 4,5 4,6	„B5” 7 8,9 1 2,3 4,5 4,6

Rys. 20. Tok postępowania przy poszukiwaniu przekrojów minimalnych

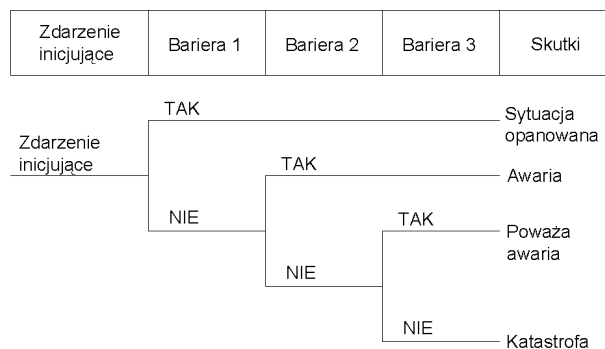
Otrzymano 6 przekrojów:

7  
8,9  
1  
2,3  
4,5  
4,6

Dwa z przekrojów są jednoelementowe, pozostałe cztery dwuelementowe.

### 4.3.2. Drzewa zdarzeń

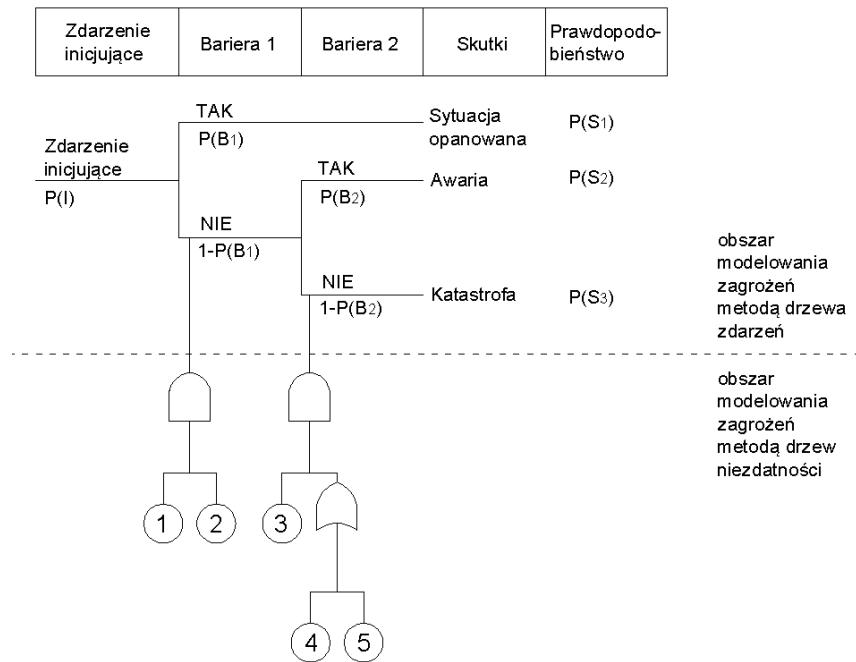
Metoda drzewa zdarzeń jest używana do analizy konsekwencji i barier ochronnych systemu. Jest metodą ilościową i jakościową. Przedstawia bariery ochronne systemu i możliwe ścieżki zadziałania lub niezadziałania elementów ochrony systemu. Metoda drzewa zdarzeń jest także używana do analizy niezawodności człowieka. Drzewo zdarzeń przedstawia graficznie chronologiczny rozwój awarii. Diagram ET konstruuje się od strony lewej do prawej, rozpoczynając od zdarzenia inicjującego. Scenariusze buduje się, rozpatrując to, czy dana bariera ochronna zadziałała bądź nie, rozbudowując drzewo w prawą stronę. W każdym węźle gałąź drzewa rozgałęzia się na dwie – górna gałąź „prawda” (tak); dolna gałąź „fałsz” (nie). Rozgałęzienie to identyfikuje się z zadziałaniem/niezadziałaniem bariery. Drzewo rysuje się do rozważenia zadziałania wszystkich barier (rysunek 21). Przy takim założeniu w efekcie końcowym otrzymuje się skutki zdarzenia inicjującego uszeregowane od konsekwencji najmniejszych do największych.



Rys. 21. Konstrukcja drzewa zdarzeń

### 4.3.3. Metoda hybrydowa z zastosowaniem drzew uszkodzeń i drzew zdarzeń

Scenariusz awaryjny może być analizowany równocześnie za pomocą metody ETA, jak i FTA. Po wystąpieniu zdarzenia inicjującego uwzględnia się kolejne bariery ochronne. Prawdopodobieństwo zadziałania tych barier określa się FTA. W ten sposób powstaje hybryda – połączone dwie metody analizy niezawodności z wykorzystaniem metody drzew logicznych. Przykład drzewa hybrydowego przedstawiono na rysunku 22.



Rys. 22. Hybrydowa metoda analizy niezawodności z wykorzystaniem ET i FT

Zaprezentowany przykład modelu hybrydowego (rysunek 22) składa się z dwóch obszarów: modelowania zagrożeń metodą ETA i modelowania zagrożeń metodą FTA. W pierwszym obszarze analizowano zdarzenie inicjujące, którego skutki mogą być zneutralizowane bądź zminimalizowane za pomocą barier ochronnych.

#### 4.3.4. Przykład aplikacyjny

Źródłem wody są dwa ujęcia wód podziemnych. Pobór wody odbywa się przez system studni wierconych:

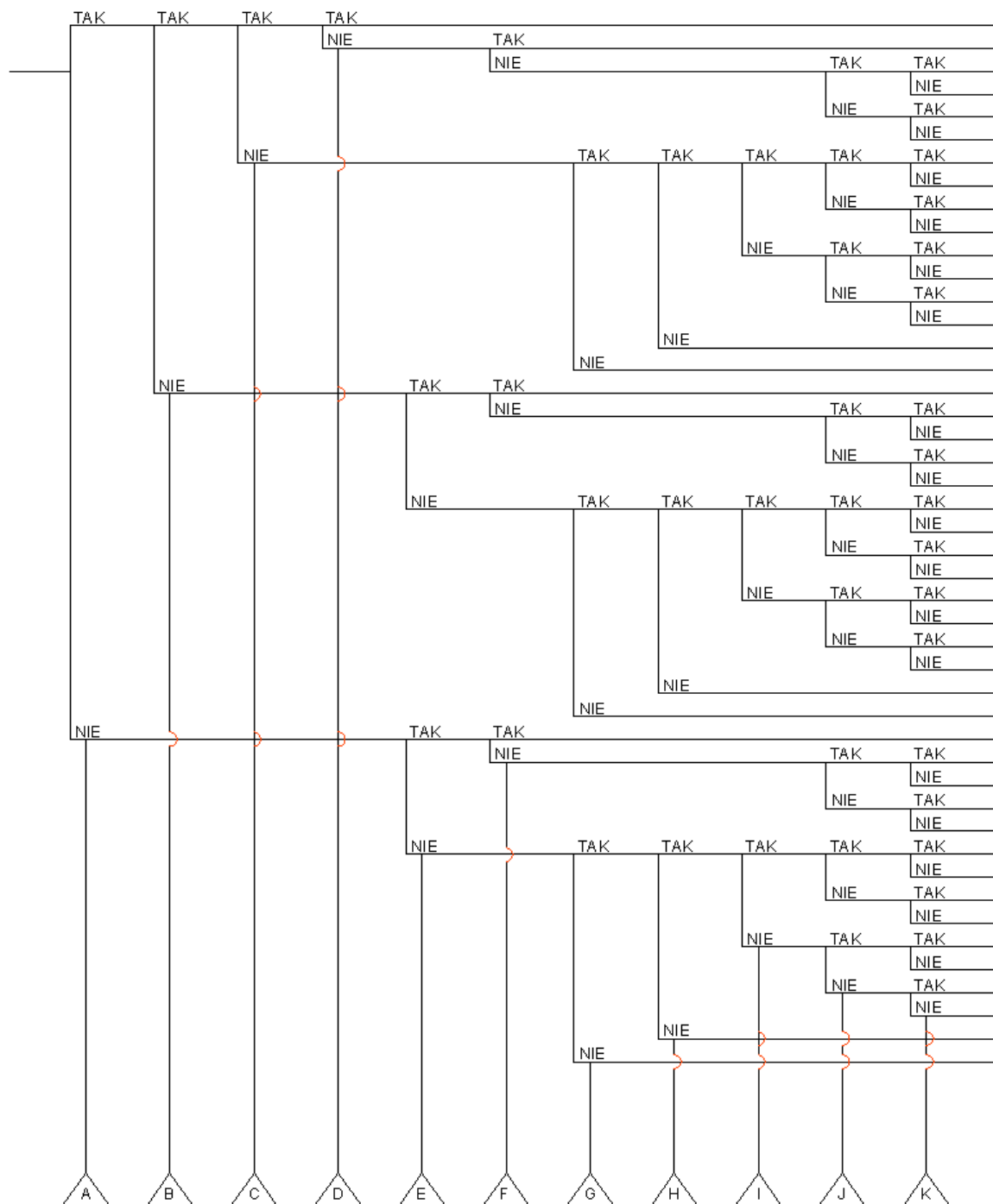
- ujęcie A składa się z dwóch studni głębinowych wierconych: S-I ( $Q = 61,0 \text{ m}^3/\text{h}$ ), S-II ( $Q = 53,3 \text{ m}^3/\text{h}$ ).
- ujęcie B składa się z dwóch studni: S-1 ( $Q = 20,6 \text{ m}^3/\text{h}$  – rezerwowa), S-2 ( $Q = 23,0 \text{ m}^3/\text{h}$  – podstawowa).

Na rysunku 23 przedstawiono drzewo hybrydowe dla SZZW dla zdarzenia inicjującego w postaci pojawiania się skażenia wody w źródle wody podziemnej. Wyselekcjonowano 11 barier ochronnych:

- wykrycie skażenia przez monitoring jakości wody podziemnej A
- niepoprawna interpretacja danych o jakości wody podziemnej,
- brak zamknięcia ujęcia wody A,

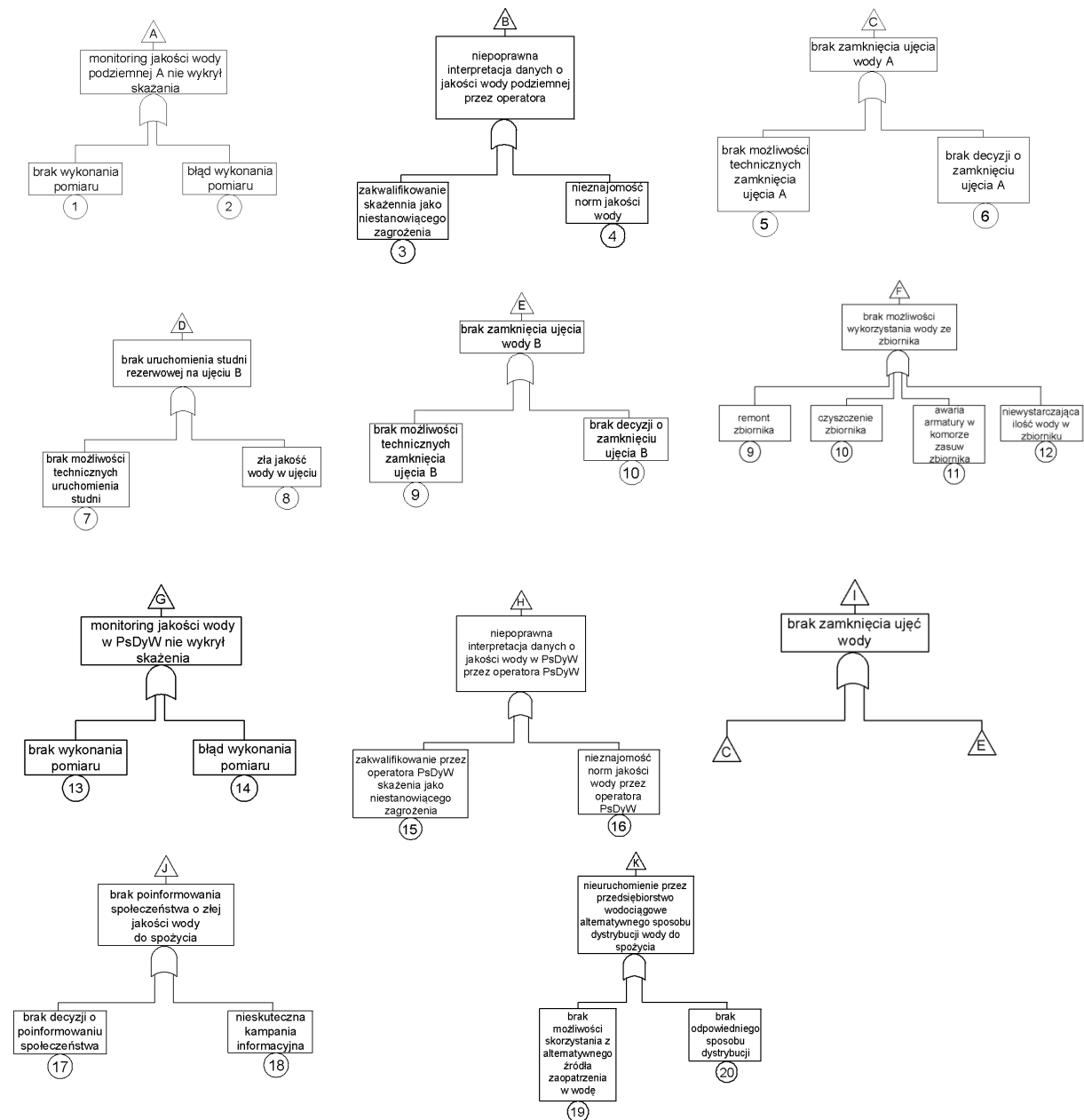
- brak uruchomienia studni rezerwowej na ujęciu B,
- brak zamknięcia ujęcia wody B,
- brak możliwości wykorzystania wody ze zbiornika,
- wykrycie skażenia przez monitoring jakości wody w PsDyW,
- niepoprawna interpretacja danych o jakości wody w PsDyW,
- brak zamknięcia ujęć wody,
- brak poinformowania społeczeństwa o złej jakości wody do spożycia,
- nieuruchomienie przez przedsiębiorstwo wodociągowe alternatywnego sposobu dystrybucji wody do spożycia.

Zdarzenie inicjujące - skażone źródło wody podziemnej	Monitoring jakości wody podziemnej A wykrywa skażenie	Poprawna interpretacja danych o jakości wody	Zamknięcie ujęcia wody A	Uruchomienie rezerwowej studni na ujęciu B	Zamknięcie ujęcia wody B	Wystarczająca ilość wody w zbiornikach	Monitoring jakości wody w PsDyW w ukrytym skażeniu	Poprawna interpretacja danych o jakości wody w PsDyW przez operatora PsDyW	Zamknięcie ujęć wody	Poinformowanie społeczeństwa o złej jakości wody do spożycia	Uruchomienie przez przedsiębiorstwo wodociągowe alternatywnego sposobu dystrybucji wody do spożycia
---	---	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--	--	----------------------	--	---



Rys. 23. Drzewo hybrydowe (część ETA)

Na rysunku 24 przedstawiono rozwinięcie drzewa hybrydowego z rysunku 6 w części modelowania metodą FTA.



Rys. 24. Drzewo hybrydowe (część FTA)

W analizowanym przykładzie otrzymano 46 możliwych scenariuszy rozwojowych sytuacji w skutek wystąpienia zdarzenia inicjującego. Dla 11 barier ochronnych, przy założonym stopniu dokładności wyselekcjonowano 20 zdarzeń elementarnych, powodujących niezadziałanie barier ochronnych.

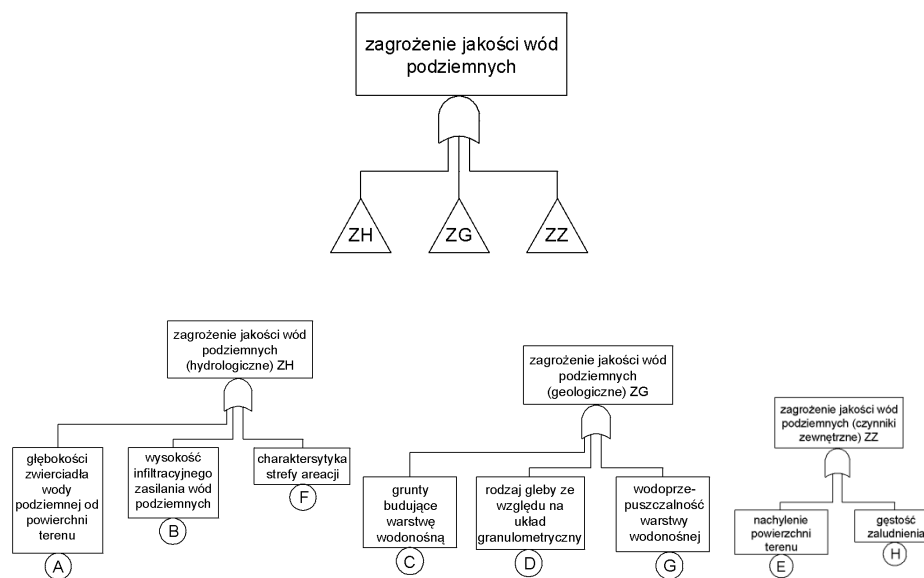
#### 4.4. Metoda oceny zagrożenia ujęć wód podziemnych

##### 4.4.1. Założenia metody

W metodzie uwzględniono 8 czynników posiadających decydujący wpływ na przedostanie się zanieczyszczeń z powierzchni terenu do wód podziemnych. Są to:

- - czynnik A - głębokość zwierciadła wody podziemnej od powierzchni terenu (ang. *Depth to groundwater*),
- - czynnik B - wysokość infiltracyjnego zasilania wód podziemnych (ang. *Recharge Net*),
- - czynnik C - grunty budujące warstwę wodonośną (ang. *Aquifer media*),
- - czynnik D - rodzaj gleby ze względu na układ granulometryczny (ang. *Soil media*),
- - czynnik E - nachylenie powierzchni terenu (ang. *Topography*),
- - czynnik F - charakterystyka strefy aeracji (ang. *Impact of vadose zone*),
- - czynnik G - wodoprzepuszczalność warstwy wodonośnej (ang. *Conductivity of the aquifer*),
- - czynnik H - gęstość zaludnienia (ang. *Density*).

Wyżej wymienione czynniki przedstawiono jako zdarzenia elementarne w drzewnie uszkodzeń, dla którego zdarzeniem szczytowym jest zagrożenie jakości wód podziemnych.



Rys. 25. Drzewo uszkodzeń dla zdarzenia szczytowego „zagrożenie jakości wód podziemnych”.

Każdemu czynnikowi przypisuje się pewien współczynnik liczbowy (w zakresie od 1 do 10), którego wartość zależy od charakteru lub wartości danego czynnika. Wartość 10 oznacza warunki w znaczącym stopniu sprzyjające zanieczyszczeniu, wartość 1 odpowiada warunkom w największym stopniu ograniczającym możliwość zanieczyszczenia wód podziemnych.

W tab. 6-13 przedstawiono zakresy i współczynniki dla w/w czynników posiadających decydujący wpływ na przedostanie się zanieczyszczeń z powierzchni terenu do wód podziemnych.

Tab. 6. Zakresy i współczynniki dla czynnika A „Głębokość do zwierciadła wody gruntowej”

Zakres, [m]	Współczynnik A
0,0÷1,5	10
1,5÷4,5	9
4,5÷9,0	7
9,0÷15,0	5
15,0÷22,0	3
22,0÷30,0	2
>30,0	1

Tab. 7. Zakresy i współczynniki dla czynnika B „Zasilanie warstwy wodonośnej”

Zakres, [mm]	Współczynnik B
0÷50	1
50÷100	3
100÷180	6
180÷250	8
>250	10

Tab. 8. Zakresy i współczynniki dla czynnika C „Utwory warstwy wodonośnej”

Rodzaj warstwy wodonośnej	Współczynnik C
Łupki, łupki ilaste	1
Skąły metamorficzne i magmowe	3
Zwietrzałe skały metamorficzne i magmowe	4
Gliny morenowe, zwałowe	5
Sekwencje skał osadowych: łupków, wapieni, piaskowców	6
Piaskowce	6
Wapienie	6
Piaski i żwiry	8
Bazalty	9
Ośrodki krasowe	10



Tab. 9. Zakresy i współczynniki dla czynnika D „Skład mechaniczny gleb”

Charakterystyka gleby	Współczynnik D
Bardzo płytka lub brak pokrywy glebowej	10
Żwiry	10
Piaski	9
Torfy	8
Gleby ilaste zagregowane, kurczliwe, spękanie	7
Gliny piaszczyste, piaski gliniaste	6
Glina	5
Gliny pylaste	4
Gliny zwięzłe, gliny pylaste zwięzłe	3
Gleby mineralno – organiczne (murszowe)	2
Gleby ilaste niezagregowane, mało kurczliwe	1

Tab. 10. Zakresy i współczynniki dla czynnika E „Nachylenie terenu”

Zakres, [%]	Współczynnik E
0÷2	10
2÷6	9
6÷12	5
12÷18	3
>18	1

Tab. 11. Zakresy i współczynniki dla czynnika F „Strefa aeracji”

Charakterystyka warstwy	Współczynnik F
Warstwa nieprzepuszczalna	1
Pyły, ily	3
Łupki, łupki ilaste	3
Skały metamorficzne i magmowe	4
Skała wapienna	6
Piaskowce	6
Sekwencje skał osadowych: łupków, wapieni, piaskowców	6
Piaski, żwiry i pospółki gliniaste	6
Piaski, żwiry i pospółki gliniaste	6
Bazalty	9
Ośrodki krasowe	10

Tab. 12. Zakresy i współczynniki dla czynnika G „Wodoprzepuszczalność warstwy wodonośnej”

Zakres, [m/s]	Zakres, [m/d]	Współczynnik G
$5 \times 10^{-7} \div 5 \times 10^{-5}$	0,05 ÷ 5	1
$5 \times 10^{-5} \div 1,5 \times 10^{-4}$	5 ÷ 13	2
$1,5 \times 10^{-4} \div 3,3 \times 10^{-4}$	13 ÷ 29	4
$3,3 \times 10^{-4} \div 5 \times 10^{-4}$	29 ÷ 43	6
$5 \times 10^{-4} \div 1 \times 10^{-3}$	43 ÷ 86,4	8
$> 1 \times 10^{-3}$	> 86,4	10

Tab. 13. Zakresy i współczynniki dla czynnika H „Gęstość zaludnienia”

Zakres, [miesz./km <sup>2</sup> ]	Współczynnik H
> 1000	10
900 ÷ 999	9
800 ÷ 899	8
700 ÷ 799	7
600 ÷ 699	6
500 ÷ 599	5
400 ÷ 499	4
300 ÷ 399	3
200 ÷ 299	2
< 200	1

W tab. 14 zaprezentowano zestawienie współczynników wagowych dla czynników A÷G.

Tab. 14. Współczynniki wagowe 8 czynników posiadających decydujący wpływ na przedostanie się zanieczyszczeń z powierzchni terenu do wód podziemnych

czynnik	Współczynnik wagowy
A	$W_A=5$
B	$W_B=4$
C	$W_C=3$
D	$W_D=5$
E	$W_E=1$
F	$W_F=5$
G	$W_G=3$
H	$W_H=2$

Indeks zagrożenia wód podziemnych zanieczyszczeniem z powierzchni terenu wylicza się z formuły:

$$I_{zwp} = A \cdot W_A + B \cdot W_B + C \cdot W_C + D \cdot W_D + E \cdot W_E + F \cdot W_F + G \cdot W_G + H \cdot W_H \quad (13)$$

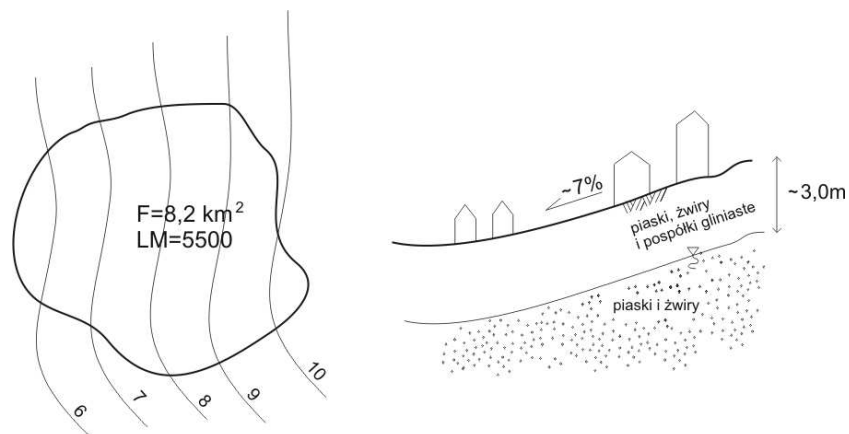
W tab.15 podano kategorie zagrożenia jakości wód podziemnych dla  $I_{zwp}$ .

Tab. 15. Kategorie zagrożeń wód podziemnych

$I_{zwp}$	<100	101÷200	>201
Kategoria zagrożenia	niska	średnia	duża

#### 4.4.2. Przykładowa ocena zagrożenia wód podziemnych zanieczyszczeniem z powierzchni terenu

Ocenie poddano zasoby wód podziemnych na obszarze, którego plan i przekrój przedstawiono na rys. 26.



Rys. 26. Schematyczny plan i przekrój ocenianego obszaru

Ponadto analizowany obszar cechowały :

- - czynnik B - wysokość infiltracyjnego zasilania wód podziemnych – 130 mm,
- - czynnik D - rodzaj gleby ze względu na układ granulometryczny - bardzo płytka lub brak pokrywy glebowej
- - czynnik G - wodoprzepuszczalność warstwy wodonośnej -  $3,7 \times 10^{-4}$  m/s – 6

W tab. 16. zaprezentowano zestawienie czynników dla ocenianego obszaru wraz z współczynnikami wagowymi i wyliczeniem Indeksu zagrożenia wód podziemnych

Tab. 16. Zestawienie czynników dla ocenianego obszaru wraz z współczynnikami wagowymi i wyliczeniem Indeksu zagrożenia wód podziemnych

Czynnik	Współczynnik	Współczynnik wagowy	$I_{zwp}$
A	9	$W_A=5$	45
B	3	$W_B=4$	12
C	8	$W_C=3$	24
D	10	$W_D=5$	50
E	5	$W_E=1$	5
F	6	$W_F=5$	30
G	6	$W_G=3$	18
H	6	$W_H=2$	12
			$I_{zwp}= 196$

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń, oceniono że badany obszar zalicza się do średniej kategorii zagrożenia jakości wód podziemnych.

#### **4.4.3. Podsumowanie**

Zaproponowany indeks oceny zagrożenia wód podziemnych zanieczyszczeniem z powierzchni terenu uwzględnia wszystkie czynniki, tj. hydrogeologiczne i zewnętrzne mające znaczący wpływ na zagrożenie dla jakości wód podziemnych.

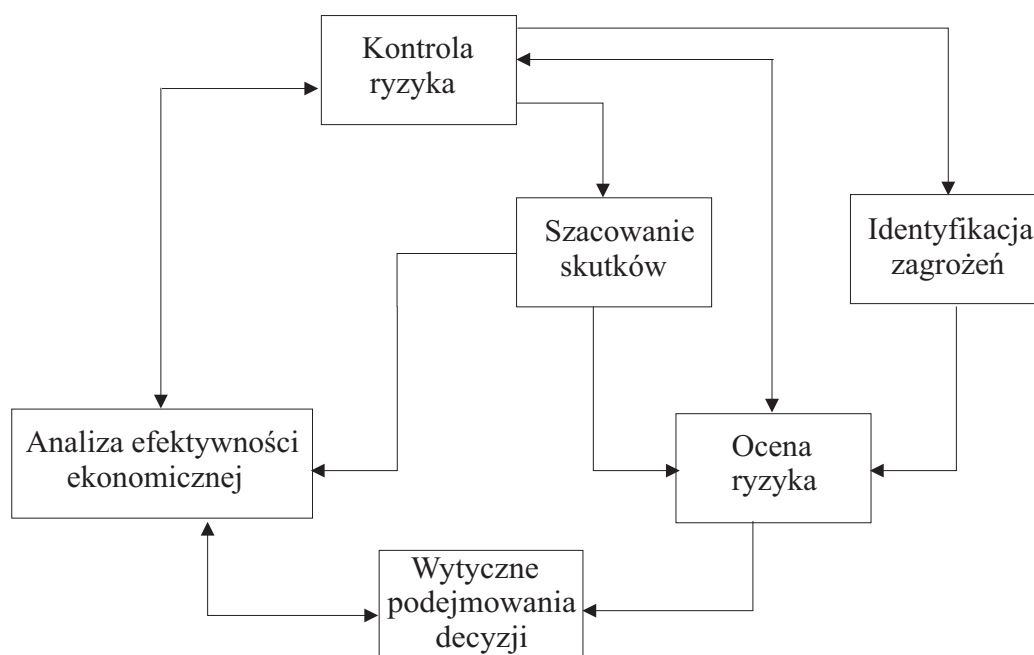
Ocena zagrożeń jakości wód podziemnych może być wykorzystana jako narzędzie wspomagające podczas podejmowania decyzji o lokalizacji inwestycji potencjalnie niebezpiecznych.

Metoda może być stosowana na niewielkich wydzielonych obszarach podlegających ocenie jak i na obszarach większych jak np. zlewnia, powiat, gmina, zespół gmin. Wyniki analizy wielkopowierzchniowych można przedstawić w formie warstwicznych map zagrożeń, na których obszary o jednakowym poziomie indeksu zagrożenia wód podziemnych będą wydzielone izoliniami. Zastosowanie zaproponowanej metody na większych powierzchniach będzie wiązało się z wzrostem kosztów analizy, spowodowanej koniecznością m.in. wykonania większej liczby otworów geologiczno-inżynierskich.

Uwzględnienie gęstości zaludnienia w zaproponowanej metodzie uwzględnia znaczący wpływ antropogenicznych źródeł zanieczyszczeń mogących zanieczyścić wody podziemne.

## 5. Podstawy zarządzania ryzykiem w firmie wodociągowej

Zarządzanie ryzykiem w przedsiębiorstwie wodociągowym to wielostopniowa procedura mająca na celu poprawę bezpieczeństwa systemu, obejmująca aspekt ilościowy i jakościowy wody do spożycia. Na rysunku 27 przedstawiono ogólny schemat zarządzania ryzykiem.

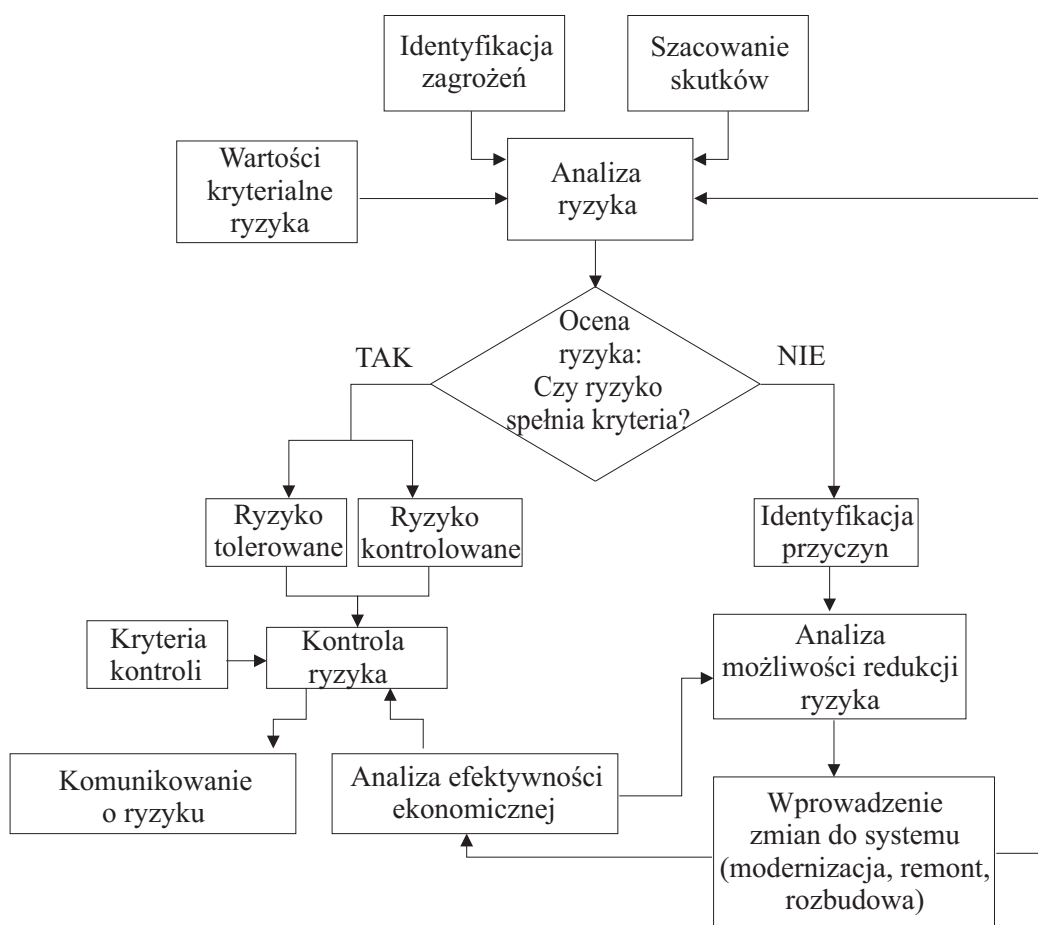


Rys. 27. Ogólny schemat zarządzania ryzykiem

Do najważniejszych logistycznych zabezpieczeń ograniczających ryzyko należą m.in.:

- opracowanie planów operacyjno-ratowniczych na wypadek różnego rodzaju awarii,
- zabezpieczenie pracy środków łączności oraz sieci powiadamiania alarmowego,
- organizowanie dostawy wody ze źródeł alternatywnych (np. dowóz wody do osiedli mieszkaniowych beczkownikami),
- zapewnienie podstawowych środków medyczno-sanitarnych (np. do odkażania wody),
- zapewnienie zasobów w ramach wsparcia zewnętrznego (np. zaopatrzenie ludności w wodę butelkowaną),
- organizowanie prewencyjnych inspekcji, których celem jest ocena stanu zabezpieczeń przeciwwawaryjnych oraz identyfikacja potencjalnych, nowych przyczyn awarii,
- opracowanie systemu szkoleń załogi na wypadek wystąpienia sytuacji kryzysowej, w tym przeprowadzanie okresowych ćwiczeń z zakresu obrony cywilnej.

Zarządzanie ryzykiem należy traktować jako proces związany nierozłącznie z zarządzaniem całym przedsiębiorstwem wodociągowym poprzez opracowywanie metod reagowania na ryzyko, czyli przygotowanie infrastruktury organizacyjnej wspomagającej zarządzanie ryzykiem. Kontrola i redukcja ryzyka polega na wdrożeniu procedur pozwalających na jego zmniejszenie, a także na rejestracji i ocenie rezultatów wprowadzenia zmian. Na rysunku 28 przedstawiono szczegółowe procedury zarządzania ryzykiem dla przedsiębiorstwa wodociągowego.



Rys. 28. Procedury zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie wodociągowym

### Kryteria akceptowalności ryzyka

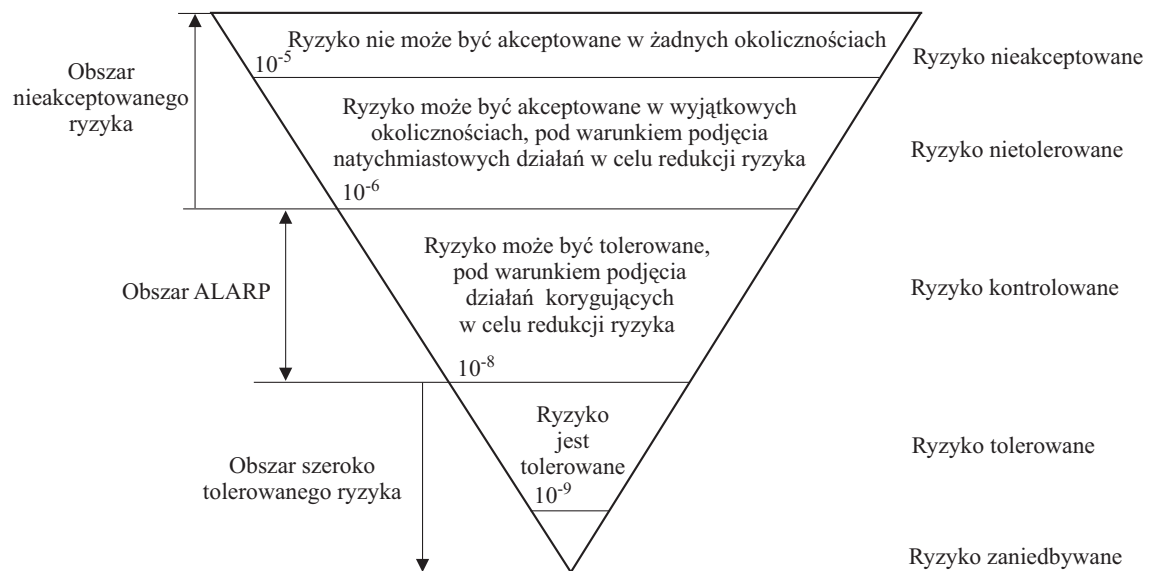
Im kryteria akceptowalności ryzyka są bardziej wymagające, tym zastosowane środki bezpieczeństwa i ochrony są bardziej rozbudowane i kosztowne. Jest to więc istotny element w polityce finansowej przedsiębiorstwa wodociągowego.

W celu wyznaczenia wartości kryterialnych w ocenie ryzyka można się posłużyć tzw. zasadą ALARP (ang. *As Low As is Reasonably Practicable*), która zakłada, że poziom ryzyka

powinien być tak niski, jak jest to racjonalnie (ekonomicznie i technicznie) uzasadnione. Zasadę ALARP wprowadzono po raz pierwszy w Wielkiej Brytanii, gdzie określono nieakceptowalną (nie dopuszczalną) wartość indywidualnego ryzyka śmierci dla pracowników ( $r = 0,001$ ) i ludności ( $r = 0,0001$ ). Zasada ALARP zakłada, że cały zakres ryzyka dzieli się na trzy obszary:

- obszar poniżej dolnej granicy, tj. obszar ryzyka szeroko tolerowanego,
- obszar powyżej górnej granicy, tj. obszar ryzyka nieakceptowanego,
- obszar ALARP znajdujący się między dwiema podanymi granicami.

Na rysunku 29 przedstawiono propozycję wartości kryterialnych dla ryzyka indywidualnego konsumentów wody z wykorzystaniem koncepcji ALARP.



Rys. 29. Proponowane kryteria akceptowanego ryzyka konsumentów wody

W zależności od różnicy pomiędzy granicami ALARP a poziomem ryzyka nieakceptowalnego można sformułować zasady wyboru metody szacowania ryzyka im różnica pomiędzy wartościami granicznymi dla ryzyka nieakceptowanego a ALARP jest mniejsza, tym wybrana metoda powinna być dokładniejsza:

- w przypadku wysokiego poziomu ryzyka zaleca się stosować metody ilościowe lub jakościowo-ilościowe,

- przy znacznych różnicach poziomów pomiędzy ALARP a ryzykiem nieakceptowanym zaleca się stosowanie metod matrycowych,
- w przypadku niewielkich zagrożeń zaleca się stosowanie metod jakościowych.

### **Zaopatrzenie w wodę w sytuacjach kryzysowych**

Wodociąg powinien posiadać możliwości

- odcięcia danych ujęć wody z operacyjną możliwością eksploatacji całego systemu lub jego fragmentów np. sieci wodociągowej, ujęcia wody, rurociągów tranzytowych,
- włączenia do pracy alternatywnych technologii uzdatniania wody (np. okresowe dawkowanie węgla aktywnego w postaci pylistej), zwiększenia dawek środka dezynfekującego,
- dostawy wody z pominięciem zakładu uzdatniania wody (ZUzW).

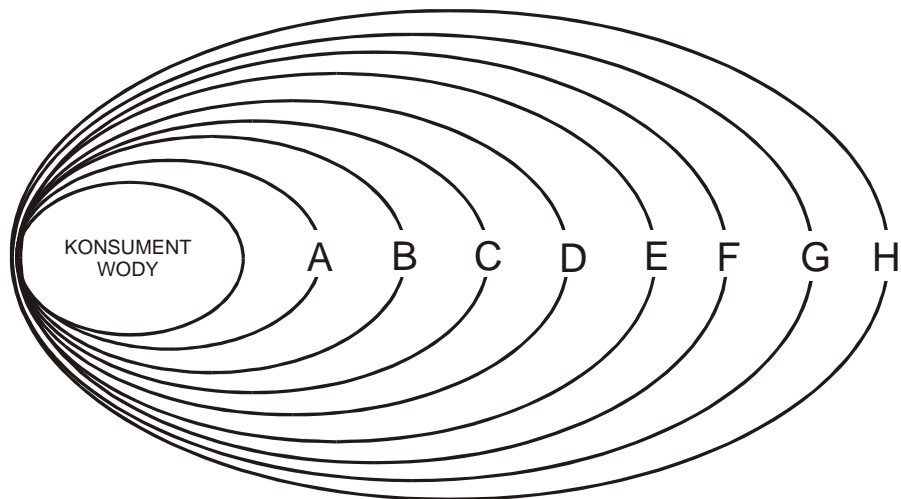
Minimalne ciśnienie wody w sieci wodociągowej w czasie sytuacji awaryjnej powinno wynosić:

- dla wodociągu komunalnego 0,1 MPa,
- dla wodociągu wiejskiego 0,06 MPa.

Wodociąg oraz studnie awaryjne powinny mieć zapewnioną możliwość zasilania energią z agregatów prądotwórczych w okresie minimum 8-16 dób (zapas paliwa).



## System multibariera



Rys. 30. Elementy systemu multibariera chroniącego konsumenta przed złą jakością wody do spożycia w sieci wodociągowej.

A – system późnego ostrzegania o skażonej wodzie do spożycia w systemie dystrybucji (komunikaty przez masmedia, ogłaszanie przez megafony z poruszającego się samochodu itp.),

B – system późnego ostrzegania – monitoring jakości wody uzdatnionej w StUzW,

C – monitoring wody surowej na ujęciu,

D – przepływowy zbiornik zapasowy wody surowej,

E – intensyfikacja procesów uzdatniania wody i włączenie technologii alternatywnych,

F – objętości asekuracyjne wody czystej w zbiornikach wodociągowych,

G – system wczesnego ostrzegania – monitorowanie wody surowej poprzez stację osłonowo-ostrzegawczą,

## 6. Oceny dywersyfikacji dostawy wody

### 6.1. Informacje ogólne

Znana z ekonomii dywersyfikacja portfela to najpopularniejsza oraz określana jako jedna z najefektywniejszych metod ograniczania ryzyka inwestycyjnego. Rozumie się przez to podział portfela na różne rodzaje inwestycji między innymi pod względem rodzaju rynku (np. surowce, waluty, akcje, obligacje), branży (w przypadku akcji) czy zasięgu geograficznego, które obejmują dane podmioty (np. akcje, fundusze akcji przedsiębiorstw z określonego rejonu).

Z podstaw niezawodności wprost wynika, że aby zwiększyć niezawodność danego elementu należy go zdublować w strukturze niezawodnościowej, równoległej jako element rezerwy gorącej, czyli w natychmiastowej gotowości. W przypadku zasobów wodnych w SZZW mamy najczęściej kilka podsystemów dostawy wody (=PsDoW) o różnych wydajnościach. Jeden PsDoW powoduje, że dany SZZW jest w znaczącym stopniu narażony na brak dostaw wody. Awaryjne wyłączenie podstawowego i jedyne ujęcia wody powoduje zagrożenia zdrowia i życia dla mieszkańców danej jednostki osadniczej.

Już kilkaset lat przed naszą erą budowniczowie miast zakładali zasilanie w wodę z kilku źródeł. Starożytna Petra leżała na skrzyżowaniu dwóch szlaków handlowych łączących Morze Czarne z Damaszkiem i Zatokę Perską z Gazą. Dzisiaj miasto leży na terytorium Jordanii i jest wpisane na Listę Światowego Dziedzictwa UNESCO. Petrę stworzyli Nabatejczycy jako miasto „wykute w różowej skale” w IV wieku p.n.e. W czasie rozkwitu miasto liczyło 30 tys. mieszkańców, a roczna suma opadów na tym terenie wynosi 150 mm. Miasto Petra zajmowało obszar około 60 kilometrów kwadratowych. Lokalizacja Petry w półpustynnej kotlinie była powodem budowy zaawansowanego systemu zbiorników i zapór, które pozwalały na magazynowanie i rozprowadzanie wody przez gliniane rury.

Projektanci miasta i jego mieszkańcy nie marnowali wody. Nabatejczycy łączyli umiejętności kamieniarskie ze znajomością praw hydrauliki, które w Europie poznawano dopiero 2000 lat później. Nieliczne źródła leżały daleko od doliny, a po obfitych opadach deszczu woda spływała Doliną Mojżesza okresową rzeką wprost do wąwozu o długości 1,5 km prowadzącego do miasta.

Aby zapobiec okresowemu zalewaniu miasta zbudowano tamę, która przekierowywała wodę obok wąwozu poprzez system tuneli, skąd dopiero doprowadzano część wody z powrotem do miasta. Gromadzone nadmiary wody z okresu zimowego i gwałtownych, krótkotrwałych opadów pozwalały przetrwać nawet długie okresy letniej suszy. Okoliczne całoroczne niewielkie cieki wodne pozwalały jedynie na życie niewielkiej osady.

Znaczny przyrost mieszkańców spowodował konieczność rozbudowy systemu dostawy wody w oparciu o zbiorniki retencyjne, cysterny i doprowadzające do nich kanały. Wybudowano 5 tam zabezpieczających miasto przed zalaniem. W ten sposób pojedyncze tamy wytrzymywały napór wody. Powstałe w ten sposób zbiorniki retencyjne stanowiły „wielowarstwowy filtr”. Głazy zatrzymywały się w górnych zbiornikach, a osady w dolnych. Pozyskiwane osady z dolnych zbiorników służyły do upraw rolniczych. Dzięki takiemu systemowi Petra stała się sztuczną oazą samowystarczalną w wodę, gdzie według dzisiejszych szacunków przypadało ok. 50 dm<sup>3</sup>/(mieszkańca·dobę). Ze zbiorników woda kierowana była do cystern skąd rozprowadzana była do istniejących budowli. Cały pustynny wodociąg zaopatrywany był z 8 źródeł w tym największe z nich to:

- Siq – 36 m<sup>3</sup>/h,
- Wadi Shab Qais – 30 m<sup>3</sup>/h,
- Ain Braq – 0,8 m<sup>3</sup>/h,
- Ain Dabdabah – 2,5 m<sup>3</sup>/h,
- Ain Ammon i Ain Siyagh - <1,0 m<sup>3</sup>/h.

## 6.2. Wskaźnik Shannon’a-Weaver’a

Z wspólnych prac Shannon’a i Weaver’a zaczerpnięto wskaźnik dywersyfikacji:

$$d_{sw} = -\sum_{i=1}^n (u_i) \cdot (\ln(u_i)) \quad (14)$$

gdzie:

$u_i$  – udział wydajności eksploatacyjnej  $i$ -tego PsDoW w całkowitej dostawie wody/udział objętości  $i$ -tego zbiornika w stosunku do całkowitej objętości zbiorników sieciowych,  
 $m$  – liczba PsDoW /zbiorników sieciowych.

Tabele 17÷22 przedstawiają wartości wskaźnika  $d_{sw}$  obliczonego na podstawie wzoru (14).

Tabela 17. Wartości liczbowe wskaźnika Shannona-Weavera dla  $m=2$

$m=2$	$u_1 = 0,5$ $u_2 = 0,5$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,4$	$u_1 = 0,7$ $u_2 = 0,3$	$u_1 = 0,8$ $u_2 = 0,2$	$u_1 = 0,9$ $u_2 = 0,1$	$u_1 = 0,95$ $u_2 = 0,05$	$u_1 = 0,99$ $u_2 = 0,01$
$d_{sw}$	0,69	0,67	0,61	0,50	0,33	0,20	0,06

Tabela 18. Wartości liczbowe wskaźnika Shannona-Weavera m=3

m = 3	u <sub>1</sub> = 0,33 u <sub>2</sub> = 0,33 u <sub>3</sub> = 0,33	u <sub>1</sub> = 0,4 u <sub>2</sub> = 0,3 u <sub>3</sub> = 0,3	u <sub>1</sub> = 0,5 u <sub>2</sub> = 0,3 u <sub>3</sub> = 0,2	u <sub>1</sub> = 0,6 u <sub>2</sub> = 0,3 u <sub>3</sub> = 0,1	u <sub>1</sub> = 0,6 u <sub>2</sub> = 0,2 u <sub>3</sub> = 0,2	u <sub>1</sub> = 0,7 u <sub>2</sub> = 0,2 u <sub>3</sub> = 0,1	u <sub>1</sub> = 0,8 u <sub>2</sub> = 0,1 u <sub>3</sub> = 0,1
d <sub>sw</sub>	1,10	1,09	1,03	0,90	0,95	0,80	0,64

Tabela 19. Wartości liczbowe wskaźnika Shannona-Weavera dla m=4

m = 4	u <sub>1</sub> = 0,25 u <sub>2</sub> = 0,25 u <sub>3</sub> = 0,25 u <sub>4</sub> = 0,25	u <sub>1</sub> = 0,3 u <sub>2</sub> = 0,3 u <sub>3</sub> = 0,2 u <sub>4</sub> = 0,2	u <sub>1</sub> = 0,4 u <sub>2</sub> = 0,3 u <sub>3</sub> = 0,15 u <sub>4</sub> = 0,15	u <sub>1</sub> = 0,5 u <sub>2</sub> = 0,3 u <sub>3</sub> = 0,1 u <sub>4</sub> = 0,1	u <sub>1</sub> = 0,6 u <sub>2</sub> = 0,2 u <sub>3</sub> = 0,1 u <sub>4</sub> = 0,1	u <sub>1</sub> = 0,7 u <sub>2</sub> = 0,1 u <sub>3</sub> = 0,1 u <sub>4</sub> = 0,1	u <sub>1</sub> = 0,8 u <sub>2</sub> = 0,1 u <sub>3</sub> = 0,05 u <sub>4</sub> = 0,05
d <sub>sw</sub>	1,39	1,37	1,30	1,17	1,09	0,94	0,71

Tabela 20. Wartości liczbowe wskaźnika Shannona-Weavera m=5

m = 5	u <sub>1</sub> = 0,2 u <sub>2</sub> = 0,2 u <sub>3</sub> = 0,2 u <sub>4</sub> = 0,2 u <sub>5</sub> = 0,2	u <sub>1</sub> = 0,3 u <sub>2</sub> = 0,3 u <sub>3</sub> = 0,2 u <sub>4</sub> = 0,1 u <sub>5</sub> = 0,1	u <sub>1</sub> = 0,4 u <sub>2</sub> = 0,3 u <sub>3</sub> = 0,1 u <sub>4</sub> = 0,1 u <sub>5</sub> = 0,1	u <sub>1</sub> = 0,5 u <sub>2</sub> = 0,2 u <sub>3</sub> = 0,1 u <sub>4</sub> = 0,1 u <sub>5</sub> = 0,1	u <sub>1</sub> = 0,6 u <sub>2</sub> = 0,1 u <sub>3</sub> = 0,1 u <sub>4</sub> = 0,1 u <sub>5</sub> = 0,1
d <sub>sw</sub>	1,61	1,51	1,42	1,36	1,23

Tabela 21. Wartości liczbowe wskaźnika Shannona-Weavera dla niezależnych PsDoW o takich samych wydajnościach

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
u <sub>i</sub>	1	0,50	0,33	0,25	0,20	0,17	0,14	0,125	0,11	0,1
d <sub>sw</sub>	0	0,693	1,096	1,386	1,609	1,807	1,927	2,079	2,185	2,303

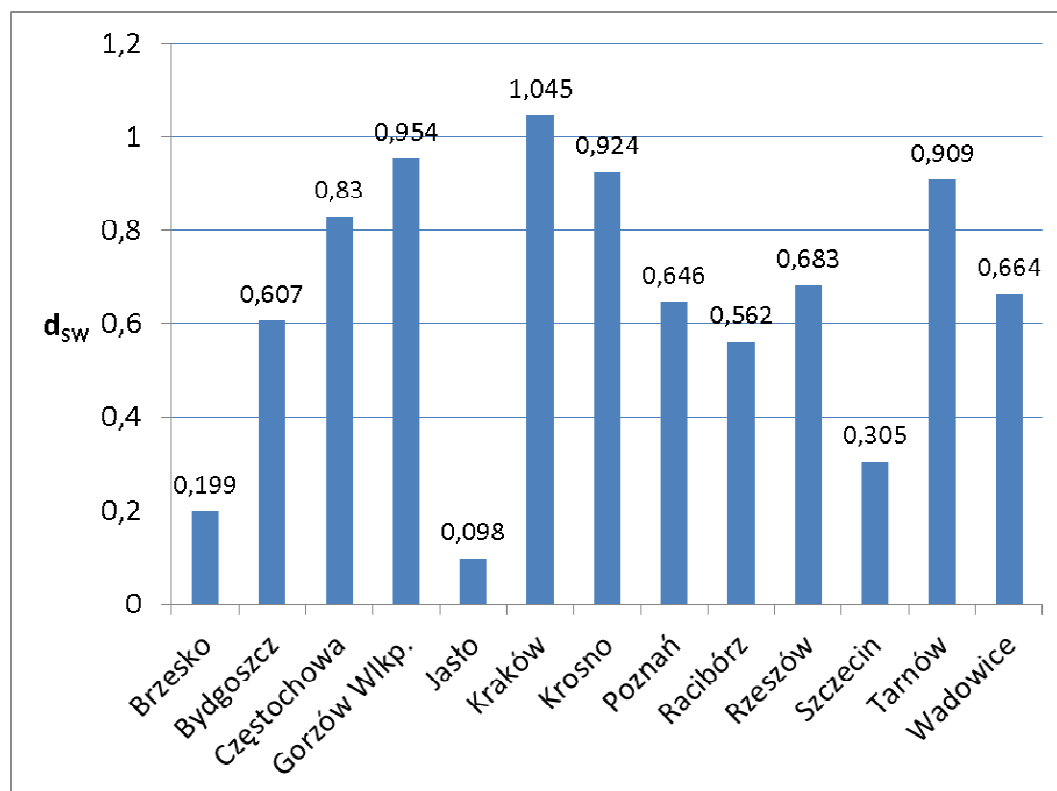
Po analizie wskaźników w powyższych tabelach zauważono, że na wartość wskaźnika d<sub>sw</sub> największy wpływ ma liczba PsDoW. Im większe wartości wskaźnika d<sub>sw</sub> tym stopień dywersyfikacji dostaw wody jest korzystny. Poniżej przedstawiono kategoryzację i skalę oceny stopnia dywersyfikacji zasobów wody dla wskaźnika Shannon'a-Weaver'a.

Tabela 22. Obliczenie wskaźnika dywersyfikacji ujęć wody wg Shannon'a-Weaver'a

miasto	m, $u_i$	$d_{sw}$	Kategoria dywersyfikacji:
Brzesko	m=2 $u_1=0,95$ $u_2=0,05$	0,199	mała
Bydgoszcz	m=2 $u_1=0,704$ $u_2=0,296$	0,607	średnia
Częstochowa	m=3 $u_1=0,32$ $u_2=0,62$ $u_3=0,06$	0,83	wystarczająca
Gorzów Wlkp.	m=3 $u_1=0,23$ $u_2=0,176$ $u_3=0,593$	0,954	wystarczająca
Jasło	m=2 $u_1=0,98$ $u_2=0,02$	0,098	mała
Kraków	m=4 $u_1=0,63$ $u_2=0,11$ $u_3=0,18$ $u_4=0,08$	1,045	wystarczająca
Krosno	m=3 $u_1=0,595$ $u_2=0,281$ $u_3=0,124$	0,924	wystarczająca
Poznań	m=2 $u_1=0,652$ $u_2=0,348$	0,646	średnia
Racibórz	m=2 $u_1=0,75$ $u_2=0,25$	0,562	średnia
Szczecin	m=2 $u_1=0,909$ $u_2=0,091$	0,305	mała
Tarnów	m=3 $u_1=0,168$ $u_2=0,634$ $u_3=0,198$	0,909	wystarczająca
Wadowice	m=2 $u_1=0,621$ $u_2=0,379$	0,664	średnia

Kategoria dywersyfikacji:  
 brak dywersyfikacji  
 mała dywersyfikacja  
 średnia dywersyfikacja  
 wystarczająca dywersyfikacja  
 zadowalająca dywersyfikacja

Skala oceny stopnia dywersyfikacji:  
 $d_{sw} = 0$   
 $0 < d_{sw} \leq 0,325$   
 $0,325 < d_{sw} \leq 0,690$   
 $0,690 < d_{sw} \leq 1,390$   
 $d_{sw} > 1,390$



Rys. 31. Wykres wartości wskaźnika dywersyfikacji wg Shannon'a-Weaver'a dla wybranych SZZW

Na podstawie analizy rys. 31 można stwierdzić:

- żaden z analizowanych SZZW nie uzyskał zadowalającego stopnia dywersyfikacji,
- pięć SZZW (Częstochowa, Gorzów Wlkp., Kraków, Krosno, Tarnów) zostało zakwalifikowanych do kategorii wystarczającej dywersyfikacji,
- kategorii małej dywersyfikacji stwierdzono w trzech SZZW (Brzesko, Jasło, Szczecin) we względu na małą liczbę ujęć i dużej nierównomierności udziałów wydajności ujęć w całkowitej dobowej produkcji wody.

### 6.3. Wskaźnik Pielou

Z prac dotyczących oceny stopnia bioróżnorodności biocenoz zaadoptowano miarę określenia stopnia dywersyfikacji dostaw wody do miasta, który wyznacza się ze wzoru:

$$d_p = \frac{d_{sw}}{d_{sw_{max}}} \quad (15)$$

przy czym  $d_{sw}$  to wskaźnik Shannon'a-Waever'a, obliczany zgodnie z wzorem (14) a wartość  $d_{sw_{max}}$  wyliczana jest jako:

$$d_{sw_{max}} = \ln(n) \quad (16)$$

Na podstawie wzorów (15) i (16) można wywnioskować, że dla jednego PsDoW  $d_p$  jest nieokreślone. Tabele 23÷26 przedstawiają wartości wskaźnika Pielou'a obliczonego zgodnie z wzorem (15).

Tabela 23. Wartości liczbowe wskaźników Pielou'a dla dwóch niezależnych PsDoW o różnych wydajnościach/zbiornikach sieciowych o różnych objętościach

$m = 2$	$u_1 = 0,5$ $u_2 = 0,5$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,4$	$u_1 = 0,7$ $u_2 = 0,3$	$u_1 = 0,8$ $u_2 = 0,2$	$u_1 = 0,9$ $u_2 = 0,1$	$u_1 = 0,95$ $u_2 = 0,05$	$u_1 = 0,99$ $u_2 = 0,01$
$d_p$	1,0	0,97	0,88	0,72	0,47	0,286	0,081

Tabela 24. Wartości liczbowe wskaźników Pielou'a dla trzech niezależnych PsDoW o różnych wydajnościach/zbiornikach sieciowych o różnych objętościach

$m = 3$	$u_1 = 0,33$ $u_2 = 0,33$ $u_3 = 0,33$	$u_1 = 0,4$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,3$	$u_1 = 0,5$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,2$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,1$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,2$	$u_1 = 0,7$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,1$	$u_1 = 0,8$ $u_2 = 0,1$ $u_3 = 0,1$
$d_p$	1,0	0,991	0,9375	0,817	0,865	0,730	0,582

Tabela 25. Wartości liczbowe wskaźników Pielou'a dla czterech niezależnych PsDoW o różnych wydajnościach/zbiornikach sieciowych o różnych objętościach

$m = 4$	$u_1 = 0,25$ $u_2 = 0,25$ $u_3 = 0,25$ $u_4 = 0,25$	$u_1 = 0,3$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,2$ $u_4 = 0,2$	$u_1 = 0,4$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,15$ $u_4 = 0,15$	$u_1 = 0,5$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$	$u_1 = 0,7$ $u_2 = 0,1$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$
$d_p$	1,0	0,985	0,936	0,843	0,786	0,678

Tabela 26. Wartości liczbowe wskaźników Pielou'a dla pięciu niezależnych PsDoW o różnych wydajnościach/zbiornikach sieciowych o różnych objętościach

	$u_1 = 0,2$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,2$ $u_4 = 0,2$ $u_5 = 0,2$	$u_1 = 0,3$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,2$ $u_4 = 0,1$ $u_5 = 0,1$	$u_1 = 0,4$ $u_2 = 0,3$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$ $u_5 = 0,1$	$u_1 = 0,5$ $u_2 = 0,2$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$ $u_5 = 0,1$	$u_1 = 0,6$ $u_2 = 0,1$ $u_3 = 0,1$ $u_4 = 0,1$ $u_5 = 0,1$
$d_p$	1,0	0,935	0,881	0,844	0,762

Analiza wskaźników  $d_p$  otrzymanych w tabelach 23÷26 wskazuje, że:

- przy braku lub przy małej nierównomierności udziałów PsDoW w dostawie wody wskaźnik Pielou'a osiąga wartości zbliżone bądź równe 1,0,
- nie obowiązuje zasada, że im większa liczba PsDoW to tym większa wartość  $d_p$ , np. wartość wskaźnika  $d_p$  dla  $m=4$  jest większa niż  $d_p$  dla  $m=5$ .

W tab. 27 przedstawiono wartości wskaźników  $d_p$  dla niezależnych PsDoW o takich samych wydajnościach.

Tabela 27. Wartości liczbowe wskaźników  $d_p$  dla niezależnych PsDoW o takich samych wydajnościach

$m$	2	3	4	5	6	8	10	20
$u_i$	0,5	0,33	0,25	0,20	0,167	0,125	0,10	0,05
$d_p$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Analizując tab. 27 stwierdzono, iż dla dowolnej liczby niezależnych PsDoW o identycznych wydajnościach wskaźnik Pielou'a jest równy 1,0. Maksymalna wartość wskaźnika oznacza równomierną dywersyfikację zasobów wody w SZZW. Poniżej przedstawiono kategoryzację i skalę oceny stopnia dywersyfikacji zasobów wody:

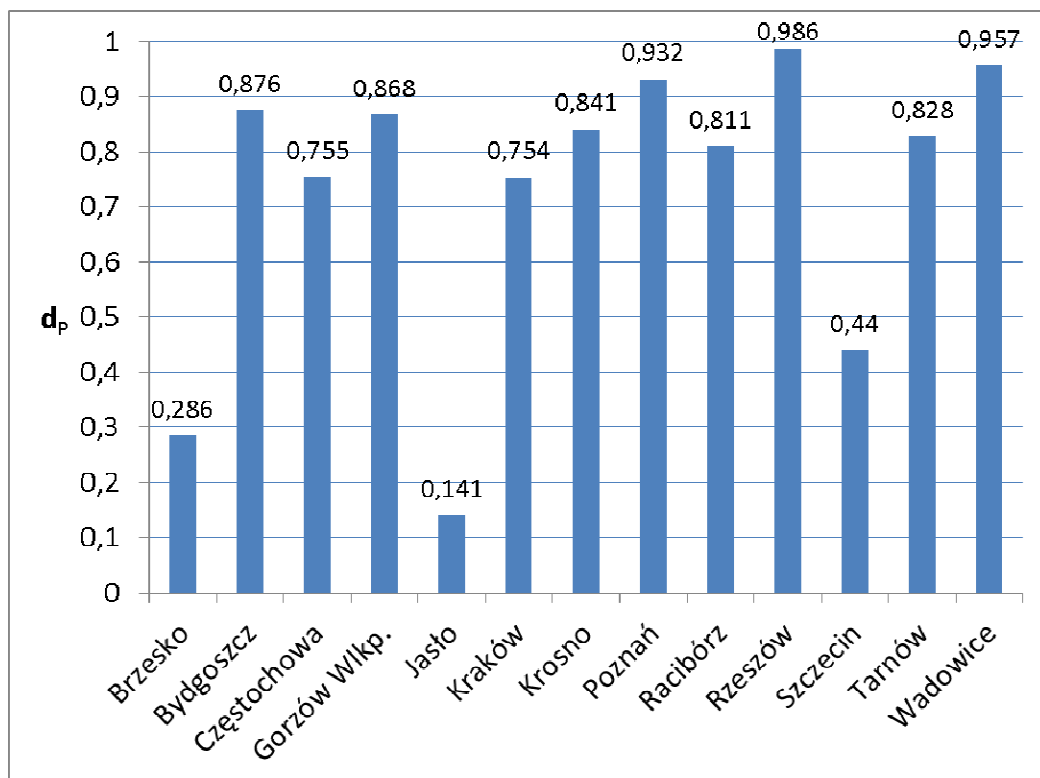
Kategoria dywersyfikacji:  
brak dywersyfikacji  
mała dywersyfikacja  
średnia dywersyfikacja  
wystarczająca dywersyfikacja  
zadowalająca dywersyfikacja

Skala oceny stopnia dywersyfikacji:  
 $d_p$  nieokreślone (dla  $m=1$ )  
 $0 < d_p \leq 0,500$   
 $0,500 < d_p \leq 0,700$   
 $0,700 < d_p \leq 0,900$   
 $0,900 < d_p \leq 1,0$



Tabela 28. Obliczenia wskaźnika dywersyfikacji ujęć wody wg Pielou dla wybranych SZZW

miasto	m, $u_i$	$d_p$	Kategoria dywersyfikacji:
Brzesko	m=2 $u_1=0,95$ $u_2=0,05$	0,286	mała
Bydgoszcz	m=2 $u_1=0,704$ $u_2=0,296$	0,876	wystarczająca
Częstochowa	m=3 $u_1=0,32$ $u_2=0,62$ $u_3=0,06$	0,755	wystarczająca
Gorzów Wlkp.	m=3 $u_1=0,23$ $u_2=0,176$ $u_3=0,593$	0,868	wystarczająca
Jasło	m=2 $u_1=0,98$ $u_2=0,02$	0,141	mała
Kraków	m=4 $u_1=0,63$ $u_2=0,11$ $u_3=0,18$ $u_4=0,08$	0,754	wystarczająca
Krosno	m=3 $u_1=0,595$ $u_2=0,281$ $u_3=0,124$	0,841	wystarczająca
Poznań	m=2 $u_1=0,652$ $u_2=0,348$	0,932	zadowalająca
Racibórz	m=2 $u_1=0,75$ $u_2=0,25$	0,811	wystarczająca
Szczecin	m=2 $u_1=0,909$ $u_2=0,091$	0,44	mała
Tarnów	m=3 $u_1=0,168$ $u_2=0,634$ $u_3=0,198$	0,828	wystarczająca
Wadowice	m=2 $u_1=0,621$ $u_2=0,379$	0,957	zadowalająca



Rys. 32. Wykres wartości wskaźnika dywersyfikacji wg Pielou dla wybranych SZZW

Na podstawie analizy rys. 32 można stwierdzić:

- trzy SZZW (Poznań, Rzeszów, Wadowice) zostały zakwalifikowanych do kategorii zadawalającej dywersyfikacji,
- siedem SZZW (Bydgoszcz, Częstochowa, Gorzów Wlkp., Kraków, Krosno, Racibórz, Tarnów) zostało zakwalifikowanych do kategorii wystarczającej dywersyfikacji,
- małą dywersyfikację stwierdzono dla trzech SZZW (Brzesko, Jasto, Szczecin) ze względu na małą liczbę ujęć wody (2) i dużej różnicy w ich zdolnościach produkcyjnych.

## **7. Plany Bezpieczeństwa Wodnego - wytyczne WHO, podstawy metodyczne, przykłady**

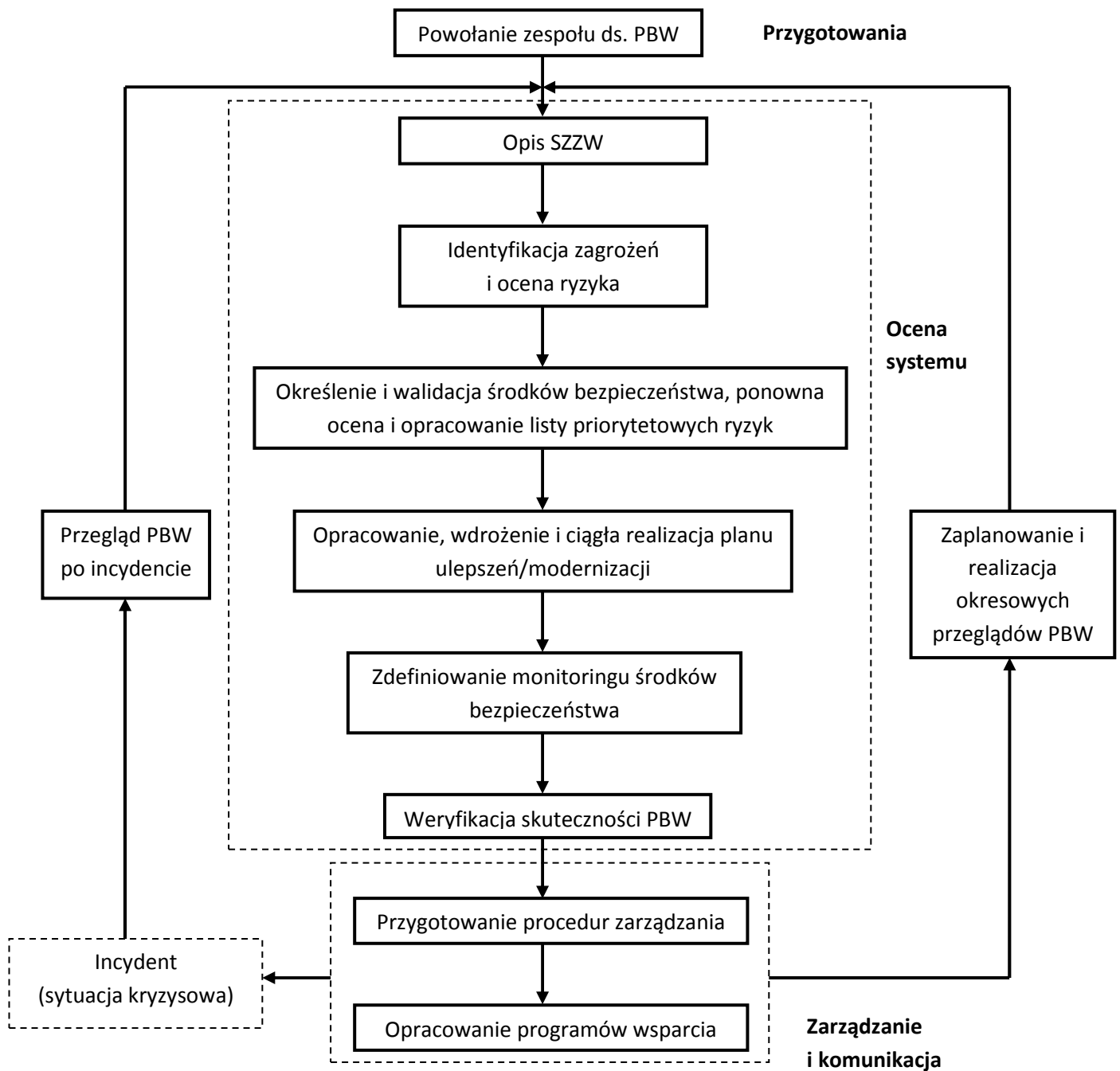
### **7.1. Regulacje prawne, wytyczne i normy odnoszące się do Planów Bezpieczeństwa Wody**

Potrzeba ciągłego podnoszenia poziomu bezpieczeństwa konsumentów wody została dostrzeżona przez Światową Organizację Zdrowia (ang. *World Health Organization* - WHO) już w latach pięćdziesiątych dwudziestego wieku. Od tego czasu regularnie ukazywały się najpierw „Międzynarodowe standardy dla wody przeznaczonej do spożycia” (ang. *International Standards for Drinking-Water*), a później „Wytyczne dotyczące jakości wody przeznaczonej do spożycia” (ang. *Guidelines for Drinking-Water Quality*). Obecnie obowiązuje czwarta edycja „Wytycznych dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia” z 2011 r.. Jednym z osiągnięć „Wytycznych...” jest wprowadzenie pojęcia oraz założeń dla Planów Bezpieczeństwa Wodnego (PBW, ang. *Water Safety Plans*). Głównym celem PBW jest zapewnienie bezpiecznego dostępu do wody przeznaczonej do spożycia. Plan Bezpieczeństwa Wodnego kładzie duży nacisk na prewencję zagrożeń i opiera się na zasadach zawartych w normie PN-EN 15975-2. Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia – Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka – Część 2: Zarządzanie ryzykiem.

W 2009 roku WHO opublikowała: „Podręcznik opracowania planów bezpieczeństwa wodnego. Zarządzanie ryzykiem krok po kroku – instrukcja dla dostawców wody do spożycia” (ang. *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers*), który stanowi swoistą instrukcję dla przedsiębiorstw wodociągowych. Podręcznik ten zawiera 11 etapów opracowania i realizacji PBW. Zgodnie z Podręcznikiem WHO: *Najskuteczniejszym sposobem spójnego zabezpieczenia dostaw wody do spożycia jest zastosowanie kompleksowej metody oceny i zarządzania ryzykiem obejmującej wszystkie etapy dostarczania wody od ujęcia do konsumenta. W niniejszych Wytycznych takie metody nazywa się planami bezpieczeństwa wodnego.*

Obecnie w Polsce nie ma obowiązku wdrażania PBW, dlatego zdecydowana większość polskich przedsiębiorstw wodociągowych nie wdrożyła PBW w swoich SZZW (wdrożył go m.in. Słupsk), prawdopodobnie w oczekiwaniu na odpowiednie uwarunkowania prawne oraz bagatelizując możliwości, jakie daje wdrożenie PBW. Wiele krajów, m.in. Australia, Niemcy wprowadziło ten model w życie, co wpłynęło na poprawę jakości funkcjonowania tamtejszych przedsiębiorstw wodociągowych oraz zmniejszenie liczby zdarzeń niepożądanych. Na tle krajów Unii Europejskiej Polska ma w tym względzie sporo do zrobienia, dlatego należy poszukiwać nowych możliwości, które pozwolą na właściwą

realizację PBW. Rozszerzenie PBW stanowi Plan Bezpieczeństwa Cyklu Wodnego (ang. *Water Cycle Safety Plan – WCSP*). Ogólny tok postępowania przedstawiono na rys. 33.



Rys. 33. Tok postępowania w realizacji PBW

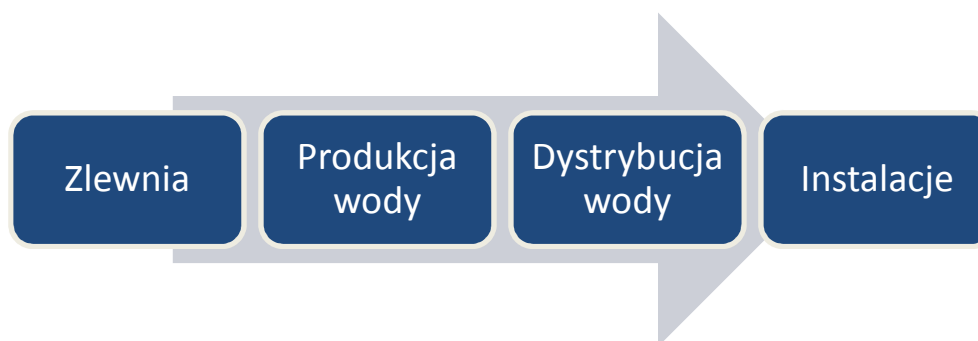
Projekt Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 1 lutego 2018 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi wprowadza obowiązek wdrożenia PBW w krajach Unii Europejskiej. Szacuje się, że w Polsce PBW będzie obligatoryjny około 2021 roku.

Należy przy tym pamiętać, że wdrożenie nawet bardzo dobrego PBW nie zabezpiecza w pełni przed wystąpieniem sytuacji kryzysowej. Zawsze może wystąpić zdarzenie, którego nikt nie był w stanie przewidzieć. Podejście PBW oparte na prewencji zagrożeń znacząco ogranicza jednak prawdopodobieństwo takiego scenariusza oraz pozwala na przygotowanie przedsięwzięcia wodociągowego do odpowiedniej reakcji.

## 7.2. Zdefiniowanie podmiotów odpowiedzialnych za jakość wody w SZZW

W Polsce wdrażanie PBW dopiero następuje. Plan bezpieczeństwa wodnego powinien obejmować wszystkie etapy dostarczania wody od ujęcia do konsumenta, zgodnie z rysunkiem 34. Oczywiście wiele wodociągów ma własne rozwiązania zmniejszające ryzyko związane z jakością wody, jednak nie są to programy kompletne i ograniczają się do pojedynczych podsystemów, np. uzdatniania lub dystrybucji. W większości przypadków ta sytuacja wynika z ograniczeń w zakresie odpowiedzialności za jakość wody w łańcuchu SZZW:

- za jakość wody w źródle, zlewni odpowiadają instytucje państwowe, takie jak Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska czy Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej,
- za jakość wody w SZZW odpowiada przedsiębiorstwo wodociągowe,
- za jakość wody w instalacjach odpowiadają właściciele instalacji, często są to spółdzielnie mieszkaniowe.



Rys. 34. Przebieg procesu dostawy i dystrybucji wody do konsumentów

Z uwagi na fakt, że odpowiedzialność za teren zlewni i instalacje nie należy do przedsiębiorstwa wodociągowego to do kompleksowego opracowania PBW niezbędna jest współpraca z jednostkami zewnętrznymi, w ramach powołanych zespołów. Powinna to być współpraca podmiotów z obszaru rolnictwa i leśnictwa, przemysłu, transportu, usług komunalnych, miejscowych władz z przedsiębiorstwem wodociągowym jako liderem zespołu ds. bezpieczeństwa wody.

### 7.3. Zespół ds. WSP (Moduł 1)

Pierwszym etapem, kluczowym dla powodzenia dalszych prac, jest utworzenie kompetentnego zespołu ds. WSP. Głównym celem zespołu jest opracowanie oraz wdrożenie WSP, a także jego późniejsza aktualizacja. Trzon zespołu powinny stanowić:

- przedsiębiorstwo wodociągowe (m.in. kierownik sieci, kierownik ZUZW) – **lider Zespołu**,
- Powiatowa Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna,
- Urząd Miasta, m.in. Wydział Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego,
- ekspert zewnętrzny posiadający doświadczenie w analizie i ocenie ryzyka w SZZW.

Poszczególne przedsiębiorstwa powinny być reprezentowane przez osoby doświadczone, posiadające odpowiednie kompetencje. Zespół powinni wspomagać pracownicy przedsiębiorstwa wodociągowego nie zajmujący kierowniczych stanowisk, którzy często mają bardzo dużą wiedzę na temat pracy poszczególnych obiektów SZZW oraz potencjalnych zagrożeń.

Skład Zespołu może być modyfikowany w zależności od etapu analizy. Przykładowo analiza zagrożeń w zlewni będzie wymagać innego składu osobowego niż analiza potencjalnych zagrożeń w instalacji wodociągowej. Sytuacja ta wynika z ograniczeń w zakresie odpowiedzialności za jakość wody w łańcuchu SZZW. W związku z tym, w skład zespołu ds. PBW okresowo powinni wchodzić m.in.

- Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska, Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej, Starostwo Powiatowe (teren zlewni),
- spółdzielnie mieszkaniowe, szpitale, budynki użyteczności publicznej (instalacje),
- eksperci mogący wnieść dodatkową wartość do WSP.

Wyniki prac należy na bieżąco przekazywać Zarządowi Spółki, który powinien wspierać podejmowane działania. Jest to bardzo ważne, szczególnie jeśli chodzi o przekonanie

pracowników przedsiębiorstwa wodociągowego do współpracy i zaktywizowanie ich działania. Instytucją odpowiedzialną za pracę zespołu oraz efekty pracy zawsze powinno być przedsiębiorstwo wodociągowe. Powołanie przedstawionego zespołu ds. WSP leży w kompetencjach burmistrza miasta.

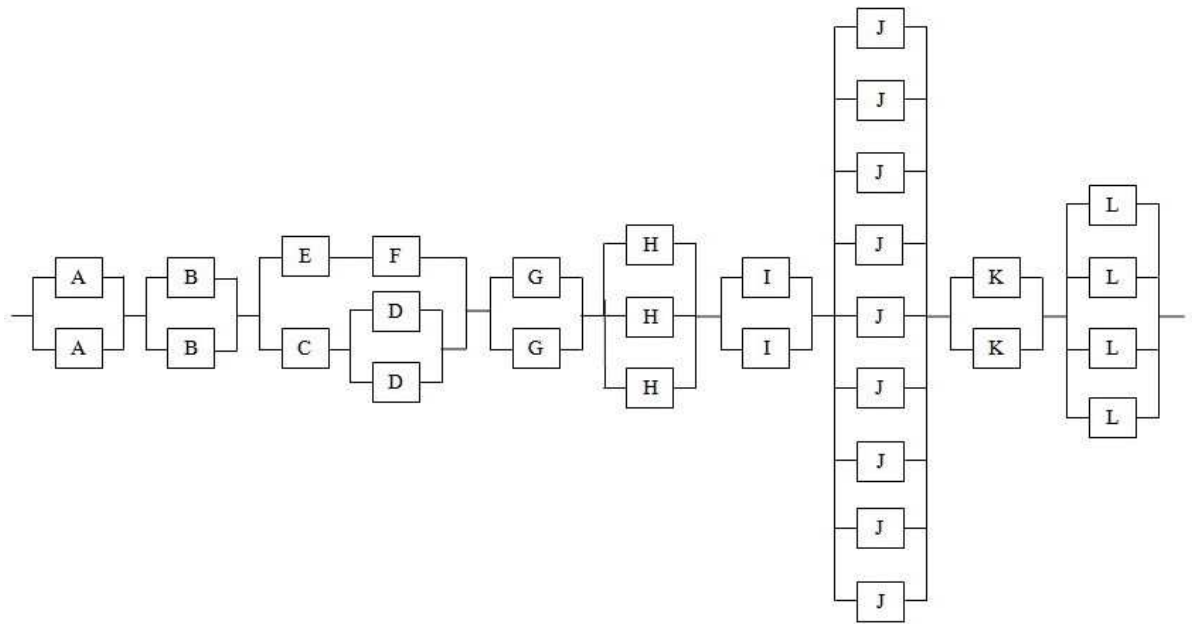
#### **7.4. Opis systemu zaopatrzenia w wodę (Moduł 2)**

Istotnym etapem analizy jest sporządzenie dokładnego opisu całego SZZW od ujęcia, aż do konsumenta. Jeżeli dysponuje się już takim opracowaniem, należy sprawdzić jego aktualność.

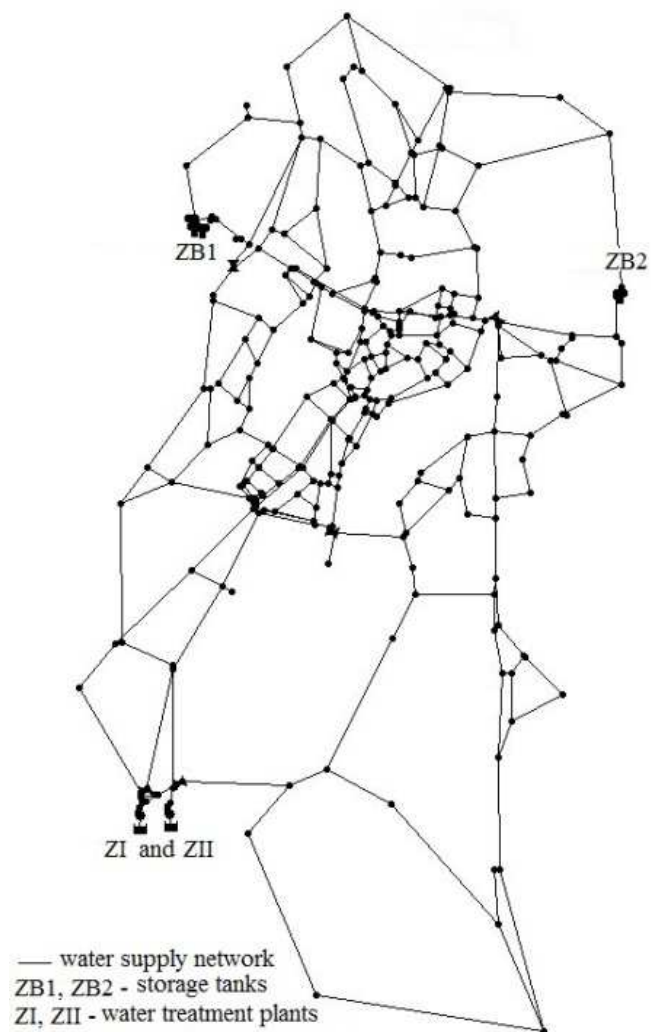
Kluczowe działania:

- szczegółowa charakterystyka systemu pod kątem możliwości wystąpienia zdarzeń niepożądanych i późniejszej analizy ryzyka (od ujęcia do konsumenta),
- opracowanie schematów blokowych, map uwzględniających wszystkie etapy dostawy i dystrybucji wody.

Na rys. 35 przedstawiono przykładowy schemat niezawodnościowy ZUzW opracowany na podstawie schematu technologicznego ZUzW udostępnionego przez przedsiębiorstwo wodociągowe. Na rys. 36 przedstawiono przykładowy model hydrauliczny sieci wodociągowej. Taki model daje możliwość przeprowadzenia symulacji pracy sieci, w tym śledzenia m.in. przepływów wody, ciśnienia, rozprzestrzeniania zanieczyszczeń w sieci czy też zarządzania jakością wody. Pozyskanie nowych informacji na temat pracy SZZW jest możliwe także dzięki wykorzystaniu oprogramowania GIS (ang. *Geographical Information Systems*). Należą do nich m.in. przestrzenny rozkład awarii, częstość ich występowania na danym obszarze oraz określenie zasięgu oddziaływania awarii.



Rys. 35. Schemat niezawodnościowy SUW



Rys. 36. Schemat sieci wodociągowej



### 7.5. Identyfikacja zagrożeń oraz zdarzeń niebezpiecznych i ocena ryzyka (Moduł 3)

Zagrożenia dotyczące zaopatrzenia w wodę mogą się pojawić na każdym etapie produkcji i dystrybucji wody przeznaczonej do spożycia: w źródle wody, na etapie uzdatniania oraz magazynowania, jak i w podsystemie dystrybucji wody. Punkt ten powinien obejmować identyfikację wszystkich potencjalnych zdarzeń niepożądanych stanowiących zagrożenie dla bezpieczeństwa konsumentów wody zarówno w czasie normalnej eksploatacji jak i w czasie trwania sytuacji kryzysowych. Istotna jest także wizualna inspekcja ocenianych obiektów. W tym celu należy podjąć współpracę z jednostkami odpowiedzialnymi za jakość wody w zlewni i w instalacjach. Poniżej przedstawiono główne zagrożenia, które należy uwzględnić w analizie.

Do głównych zagrożeń źródeł wody należą:

- niekorzystne warunki meteorologiczne, np. powodzie, susze,
- 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,
- odprowadzanie nieoczyszczonych ścieków sanitarnych, odpadów lub innych substancji niebezpiecznych do gruntu lub wody,
- wycieki ścieków sanitarnych do gruntu z nieszczelnych zbiorników bezodpływowych,
- odprowadzanie zanieczyszczonej wody wykorzystywanej do celów budowlanych do gruntu,
- niewłaściwie prowadzona gospodarka wodno-ściekowa w zakładach przemysłowych, zakładach hodowli zwierząt, ubojniach,
- niewłaściwie prowadzona działalność rolnicza, np. nadmierne stosowanie środków ochrony roślin, zrzuty gnojowicy,
- niewłaściwie prowadzona działalność związana z wydobyciem kruszywa,
- korozja, uszkodzenie elementów konstrukcyjnych ujęcia,
- niewłaściwe przechowywanie pobieranej wody,
- działalność rekreacyjna na zbiornikach wodnych, m.in. na zbiornikach poeksploatacyjnych po wydobyciu kruszywa,
- celowe szkodliwe działanie osób trzecich: akt wandalizmu, atak terrorystyczny.

Do zagrożeń na etapie uzdatniania należą:

- zanieczyszczenie pobieranej wody, którego konwencjonalny proces uzdatniania nie jest w stanie usunąć oraz nie ma możliwości wykorzystania alternatywnej technologii uzdatniania,
- wstrzymanie lub ograniczenie dostaw energii elektrycznej,
- niewłaściwie dobrana technologia uzdatniania,
- niewłaściwy dobór materiałów wykorzystywanych w procesie uzdatniania,
- błędy operatora, m.in. niewłaściwe dawkowanie reagentów, niewłaściwie prowadzona eksploatacja ZUzW,
- awaria systemu sterowania,
- awaria/przeładowanie poszczególnych urządzeń wchodzących w skład ZUzW,
- zjawiska katastroficzne, m.in. pożar, powódź,
- celowe, szkodliwe działanie osób trzecich.

Do zagrożeń na etapie magazynowania i dystrybucji wody należą:

- zdarzenia niepożądane skutkujące ograniczeniem lub wstrzymaniem dostawy wody do podsystemu dystrybucji, np. zanieczyszczenie źródła wody, awarie ZUzW, pompowni wodociągowych,
- wtórne zanieczyszczenie wody w sieci wodociągowej lub zbiornikach wodociągowych,
- awarie sieci wodociągowej,
- nagłe otwieranie oraz zamykanie zasuw powodujące wypłukiwanie osadów z sieci wodociągowej,
- uszkodzenie konstrukcji zbiorników wodociągowych, możliwość przecieków,
- brak właściwego zabezpieczenia zbiorników wodociągowych oraz armatury, możliwość łatwego dostępu osób nieupoważnionych, potencjalne akty wandalizmu.

Podręcznik WHO zaleca stosowanie metody półilościowej dwuparametrycznej matrycy ryzyka opartej na parametrze dotkliwości oraz prawdopodobieństwa. Jako alternatywę podano w nich uproszczoną ocenę ryzyka na podstawie opinii zespołu eksperckiego. Każde zdarzenie jest oceniane przez ekspertów jako „znaczące”, „nieokreślone” lub „nieznaczące”. Zaleca się późniejszą walidację środków bezpieczeństwa, czyli sprawdzenie, czy funkcjonują one poprawnie.

Wybór metody analizy ryzyka jest kwestią indywidualną i stopień jej zaawansowania powinien uwzględniać możliwości zespołu. W opinii autorów niniejszych materiałów metoda zaproponowana przez WHO powinna zostać rozszerzona poprzez uwzględnienie w analizie parametru związanego z możliwością wykrycia zagrożenia. Pozwoli to na wytypowanie oraz ocenę skuteczności środków bezpieczeństwa już na etapie analizy ryzyka oraz w jasny sposób obrazuje wpływ środków bezpieczeństwa na wartość ryzyka. W tym celu może zostać wykorzystana jedna z wieloparametrycznych matryc przedstawionych we wcześniejszej części opracowania.

Ponadto na potrzeby realizacji założeń PBW można wykorzystać metodę analizy rodzajów błędów oraz ich skutków (ang. *Failure Mode and Effects Analysis* –FMEA) lub jej modyfikację z wykorzystaniem logiki rozmytej (ograniczenie subiektywności oraz niepewności analizy). Do głównych celów analizy FMEA, zgodnie z zasadą „ciągłego doskonalenia”, należą eliminowanie wad wyrobu lub procesu produkcji dzięki rozpoznaniu przyczyn ich pojawiania się i podjęciu odpowiednich działań zapobiegawczych oraz unikanie powstawania rozpoznanych oraz hipotetycznych wad w nowych wyrobach lub procesach dzięki wykorzystaniu wiedzy oraz doświadczenia z wcześniej dokonywanych analiz. Sposób przeprowadzania analizy FMEA w SZZW przedstawiono na rys. 37.

Ocenę bezpieczeństwa konsumentów wody można wykonać z zastosowaniem metody FMEA, na podstawie priorytetowej liczby ryzyka RPN (ang. *Risk Priority Number*), zgodnie z zależnością:

$$RPN = S \cdot O \cdot D \quad (17)$$

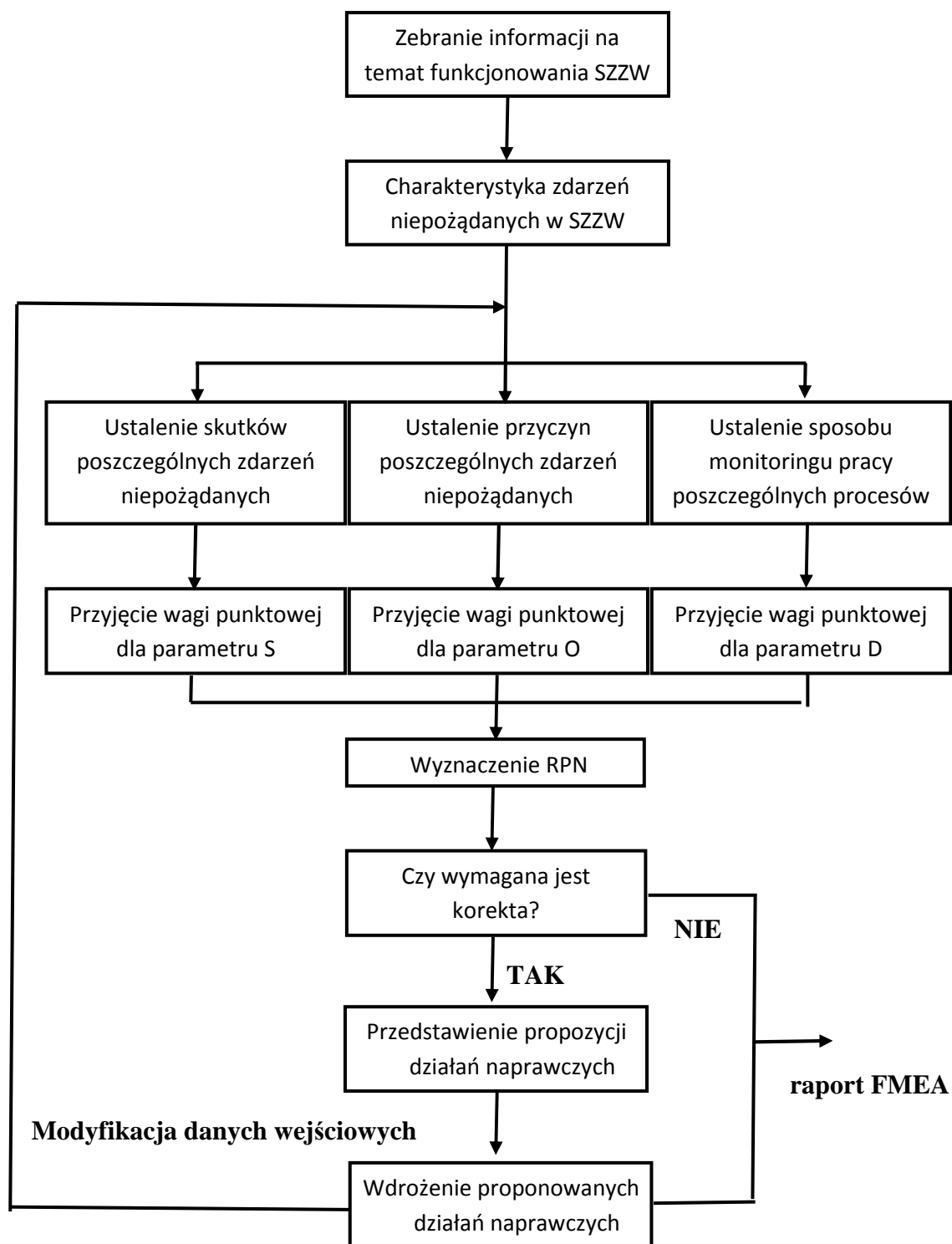
gdzie:

S (ang. *Severity*) – waga punktowa związana ze znaczeniem zdarzenia niepożądanego,

O (ang. *Occurence*) – waga punktowa związana z częstością występowania zdarzenia niepożądanego,

D (ang. *Detection*) – waga punktowa związana z możliwością wykrycia zdarzenia niepożądanego.

Wartości parametrów S, O oraz D przyjmuje się na podstawie informacji zawartych w tab. 28 – 30. Należy poddać analizie wszystkie potencjalne zdarzenia niepożądane, jakie mogą wystąpić w SZZW, których skutkiem może być spożycie wody o jakości niezgodnej z obowiązującym rozporządzeniem lub ograniczenie dostawy wody do konsumentów.



Rys. 37. Proces analizy FMEA

Tabela 28. Kryteria i wagi punktowe dla parametru S

Znaczenie zdarzenia niepożądanego	Opis lingwistyczny	Waga punktowa
bardzo małe	Brak dostrzegalnych skutków, uszkodzenie nie wpływa na funkcjonowanie systemu, woda jest zdatna do spożycia zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia	1
małe	Występujące zakłócenia w pracy poszczególnych podsystemów nie są odczuwalne dla konsumentów, woda jest zdatna do spożycia zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia	2
		3
przeciętne	Występujące zakłócenia w pracy poszczególnych podsystemów wywołują wysoki stopień niezadowolenia konsumentów wody, warunkowa przydatność wody do spożycia zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia	4
		5
		6
duże	System znajduje się w stanie niezdatności, może istnieć zagrożenie dla zdrowia konsumentów wody, brak przydatności wody do spożycia zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia	7
		8
bardzo duże	Zdarzenie niepożądane stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia i życia konsumentów wody, brak przydatności wody do spożycia zgodnie z rozporządzeniem Ministra Zdrowia	9
		10

Tabela 29. Kryteria i wagi punktowe dla parametru O

Prawdopodobieństwo zdarzenia niepożądanego	Częstotliwość występowania	Waga punktowa
bardzo małe	> 1 na 20 000 d	1
małe	(1 na 4000 d – 1 na 20 000 d>	2
	(1 na 1000 d – 1 na 4000 d>	3
przeciętne	(1 na 400 d – 1 na 1000 d>	4
	(1 na 80 d – 1 na 400 d>	5
	(1 na 40 d – 1 na 80 d>	6
duże	(1 na 20 d – 1 na 40 d>	7
	(1 na 8 d – 1 na 20 d>	8
bardzo duże	(1 na 2 d – 1 na 8 d>	9
	< 1 na 2 d	10

Tabela 30. Kryteria i wagi punktowe dla parametru D

<b>Niewykrywalność zdarzenia niepożądanego</b>	<b>Opis lingwistyczny</b>	<b>Waga punktowa parametru D</b>
bardzo mała	Pełny monitoring, urządzenia online, potencjalne zdarzenie niepożądane prawie na pewno zostanie wykryte	1
mała	Potencjalne zdarzenie niepożądane jest wykrywane przez automatyczne kontrole, które doprowadzają do wykrycia błędu i zabezpieczenia przed jego rozwojem	2
		3
przeciętna	Zdarzenie niepożądane nie zostanie wykryte do czasu obniżenia jakości wody przeznaczonej do spożycia lub utraty wydajności	4
		5
		6
duża	Zdarzenie niepożądane nie zostanie wykryte do czasu przeprowadzenia inspekcji	7
		8
bardzo duża	Brak systemu monitoringu, brak szans na wykrycie potencjalnego zdarzenia niepożądanego	9
		10

Efektem końcowym analizy jest wartość RPN, która może być podstawą do przyjęcia właściwego planu zarządzania SZZW, a także wytypowania słabych punktów systemu. Całkowite wyeliminowanie przyczyn powstawania zdarzeń niepożądanych jest niemożliwe, dlatego należy podejmować działania mające na celu zmniejszenie częstości ich występowania, zmniejszenie negatywnych skutków zdarzeń niepożądanych oraz zwiększenie możliwości ich wykrywania. Ocena bezpieczeństwa polega na porównaniu otrzymanej wartości z przyjętą skalą. Zaproponowano pięć poziomów bezpieczeństwa konsumentów wody:

- zaniechany poziom bezpieczeństwa (ZPB) –  $RPN \leq 20$ , w którym w wyniku eksploatacji SZZW nie istnieją przesłanki do zagrożenia zdrowia lub życia konsumentów wody,
- tolerowany poziom bezpieczeństwa (TPB) –  $20 < RPN \leq 40$ , w którym w wyniku eksploatacji SZZW nie istnieją przesłanki do zagrożenia zdrowia lub życia konsumentów wody, konsumenci mogą jednak odczuwać niewielkie niedogodności związane z eksploatacją SZZW,

- kontrolowany poziom bezpieczeństwa (KPB) –  $40 < RPN \leq 60$ , w którym w wyniku eksploatacji SZZW, przede wszystkim w wyniku spożycia zanieczyszczonej wody, może istnieć niewielkie zagrożenie dla zdrowia konsumentów, istnieją jednak wystarczające bariery zabezpieczające,
- nietolerowalny poziom bezpieczeństwa (NTPB) –  $60 < RPN \leq 100$ , w którym w wyniku eksploatacji SZZW, przede wszystkim w wyniku spożycia zanieczyszczonej wody, istnieje zagrożenie dla zdrowia konsumentów,
- nieakceptowalny poziom bezpieczeństwa (NAPB) –  $RPN > 100$ , po przekroczeniu którego w wyniku eksploatacji SZZW konsumenci są narażeni na utratę zdrowia lub życia.

W tabeli 31 przedstawiono przykładowy sposób przeprowadzenia analizy dla przykładowego miasta powiatowego. Analizę przeprowadzono przy założeniu, że istniejące środki zabezpieczające działają właściwie.

Tabela 31. Fragment analizy ryzyka (przykład)

Lp.	Faza procesu	Wymaganie/Funkcja/Charakterystyka	Potencjalny rodzaj błędu	Potencjalny skutek błędu	Dotkliwość (S)	Potencjalna przyczyna błędu	Prewencja	Występowalność (O)	Kontrola	Wykrywalność (D)	RPN
1	Pobór wody powierzchniowej	Pobór wody o odpowiedniej jakości	Nadmierne zanieczyszczenie wody rzecznej (bakterie, wirusy, oleje, benzyna, detergenty, pestycydy, WWA)	Zanieczyszczona woda wpływa do ZUzW	6	Powódź	Ustanowienie stref ochrony ujęć wody, możliwość zamknięcia ujęcia, alternatywne źródła wody	5	Automatyczne badanie jakości wody na stacji osłonowo- ostrzegawczej oraz w przekroju ujęcia, biomonitoring	2	60 KPB
2						Poważna awaria przemysłowa		2		24 TPB	
3						Szkodliwe działanie osób trzecich		2		24 TPB	
4		Właściwa ochrona ujęcia wody	Nieskuteczna ochrona ujęcia wody (brak fizycznej ochrony obiektu, brak monitoringu, brak opracowanych rozwiązań na wypadek wystąpienia sabotażu, brak właściwego zabezpieczenia bram wjazdowych, brak zabezpieczenia systemów sterowania, brak współpracy pomiędzy odpowiednimi podmiotami odpowiedzialnymi za ich ochronę)	Zakłócenie pracy ujęcia	5	Brak technicznych możliwości ochrony ujęcia wody	Instrukcja/szkolenie pracowników, stała kontrola i modernizacja systemu zabezpieczeń	2	Regularne przeglądy stanu systemu zabezpieczeń, stała obecność pracowników na terenie ujęcia, przeglądy stopnia ochrony infrastruktury krytycznej wykonywane przez NIK	4	40 TPB
5						Brak kompleksowego podejścia do ochrony ujęcia przez kierownictwo		3		60 KPB	
6		Wykrycie zanieczyszczenia przez system monitoringu jakości wody w przekroju ujęcia	Niewykrycie zanieczyszczenia przez system monitoringu jakości wody w przekroju ujęcia (bakterie, wirusy, oleje, benzyna, detergenty, pestycydy, WWA)	Zanieczyszczona woda wpływa do ZUzW	6	Błąd pomiarowy laboranta	Instrukcja/szkolenie pracowników, regularne przeglądy urządzeń pomiarowych oraz naprawa potencjalnych awarii	5	Równoległe badanie jakości wody wpływającej na ZUzW	2	60 KPB
7						Błąd urządzenia pomiarowego		3		36 TPB	
8						Brak wykonania pomiaru		2		24 TPB	
9		Właściwa interpretacja wyników analizy jakości wody w przekroju ujęcia	Niewłaściwa interpretacja wyników analizy jakości wody w przekroju ujęcia	Zanieczyszczona woda wpływa do ZUzW	6	Błąd interpretacji operatora ZUzW	Instrukcja/szkolenie pracowników	4	Równoległe badanie jakości wody wpływającej na ZUzW	2	48 KPB
10						Brak interwencji operatora po wykryciu zanieczyszczenia		3		36 TPB	
11		Zamknięcie ujęcia w przypadku wykrycia zanieczyszczenia, którego konwencjonalny proces uzdatniania nie jest w stanie usunąć	Brak zamknięcia ujęcia	Zanieczyszczona woda wpływa do ZUzW	6	Brak decyzji o zamknięciu ujęcia	Instrukcja/szkolenie pracowników, opracowanie planu reagowania w przypadku wystąpienia skażenia, stworzenie technicznych możliwości zamknięcia ujęcia	2	Monitoring pracy ZUzW	2	24 TPB
12						Brak technicznych możliwości zamknięcia ujęcia		1		12 ZPB	



## 7.6. Określenie i walidacja środków bezpieczeństwa, ponowna ocena i opracowanie listy priorytetowych ryzyk (Moduł 4)

Po uwzględnieniu w analizie wszystkich potencjalnych zdarzeń niepożądanych, należy dokonać identyfikacji i walidacji środków bezpieczeństwa, zgodnie z tabelą 32, w celu sprawdzenia ich skuteczności i naprawy ewentualnych błędów. Skuteczność środków kontroli powinna znaleźć odzwierciedlenie w analizie (konieczna może być korekta wartości ryzyka). Jednym z efektów analizy powinno być także wskazanie brakujących środków kontroli. Kolejnym krokiem powinno być uszeregowanie zdarzeń niepożądanych pod kątem zagrożenia, jakie stanowią dla konsumentów wody oraz przedstawienie propozycji działań korygujących lub naprawczych.

Tabela 32. Identyfikacja i walidacja środków bezpieczeństwa (przykład)

Zagrożenie	Odpowiedzialny	Środek bezpieczeństwa	Walidacja środka bezpieczeństwa	Skuteczność
Wtargnięcie na teren ZUzW osób niepożądanych	Kierownik ZUzW	- ogrodzenie terenu ZUzW, - stała obecność pracowników na terenie ZUzW, - monitoring, - funkcja alarm urządzeń ZUzW.	ocena reakcji pracowników na zagrożenie po symulacji wtargnięcia na teren ZUzW	reakcja pracowników właściwa

Na podstawie otrzymanych wartości RPN możliwe jest stworzenie rankingu ryzyka, co pozwoli na opracowanie listy priorytetowych zagrożeń, co pozwoli na wskazanie obszarów wymagających modyfikacji w celu zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa dostawy wody. Przykład priorytetyzacji ryzyka przedstawiono w tabeli nr 33. Im wyższa wartość RPN, tym wyższy priorytet ma dane zdarzenie niepożądane.

Tabela 33. Priorytetyzacja ryzyka (przykład)

Zdarzenie	RPN	Ranking RPN	Zdarzenie	RPN	Ranking RPN
1	60	11	36	60	11
2	24	21	37	24	21
3	24	21	38	24	21
4	40	16	39	72	9
5	60	11	40	60	11
6	60	11	41	36	17
7	36	17	42	60	11
8	24	21	43	50	13
9	48	14	44	30	19
10	36	17	45	56	12
11	24	21	46	56	12
12	12	25	47	56	12
13	56	12	48	18	22
14	42	15	49	30	19
15	48	14	50	30	19
16	36	17	51	12	26
17	36	17	52	12	26
18	36	17	53	120	3
19	28	20	54	72	9
20	14	24	55	120	3
21	72	9	56	108	4
22	60	11	57	81	8
23	36	17	58	81	8
24	64	10	59	81	8
25	48	14	60	135	2
26	48	14	61	90	6
27	48	14	62	84	7
28	32	18	63	84	7
29	16	23	64	84	7
30	30	19	65	84	7
31	32	18	66	48	14
32	48	14	67	240	1
33	48	14	68	240	1
34	36	17	69	96	5
35	60	11			

### **7.7. Opracowanie, wdrożenie i ciągła realizacja planu ulepszeń/modernizacji (Moduł 5)**

Przeprowadzona w poprzednim punkcie priorytetyzacja ryzyka pozwala na wskazanie największych zagrożeń dla bezpieczeństwa konsumentów wody oraz słabych punktów systemu, które wymagają najpilniejszych działań. W tabeli 34 przedstawiono przykład działań korygujących lub naprawczych, jakie przedsiębiorstwo wodociągowe powinno podjąć w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa konsumentów wody. Działania naprawcze powinny zostać opracowane zostały przedstawione dla zdarzeń o największym priorytecie ryzyka, dla ryzyka nietolerowalnego (tzw. punkt graniczny, którego osiągnięcie wymaga podjęcia działań) i nieakceptowalnego. Ostatecznym efektem tego etapu powinna być aktualizacja PBW uwzględniająca nowe, wdrożone środki bezpieczeństwa. Nie wszystkie działania będą wymagały nakładów finansowych, jednak w niektórych przypadkach będzie to konieczne. Z tego względu przedsiębiorstwo wodociągowe każdorazowo musi uwzględnić finansowanie programu ulepszeń oraz podjąć decyzję, co do zasadności kosztów.

Plan ulepszeń oraz modernizacji powinien zostać uszeregowany pod względem ważności. Działania te powinny być przeprowadzone zgodnie z harmonogramem ustalonym przez zespół ekspertów. Ponadto należy określić osoby odpowiedzialne za realizację poszczególnych działań. Podczas opracowania planu modernizacji należy brać także pod uwagę takie zagadnienia, jak organizacja szkoleń dla pracowników, konsultacje społeczne czy współpraca z ośrodkami naukowymi.

Tabela 34. Propozycja działań korygujących lub naprawczych (przykład)

Zdarzenie	Lokalizacja	Opis	Ranking RPN	Zalecane działania korygujące lub naprawcze	Osoba odpowiedzialna	Termin wykonania	Status
68	Podsystem dystrybucji wody	Nieuruchomienie alternatywnych sposobów zaopatrzenia w wodę w przypadku zanieczyszczenia wody w PsDyW w wyniku braku decyzji o ich uruchomieniu	1	- opracowanie planu reagowania w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej, - wskazanie osoby odpowiedzialnej za uruchomienie alternatywnych źródeł wody oraz dostawę wody beczkowozami,	pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	data zakończenia działania	planowane/ w toku/ ukończone
67	Podsystem dystrybucji wody	Nieuruchomienie alternatywnych sposobów zaopatrzenia w wodę w przypadku zanieczyszczenia wody w PsDyW w wyniku niezdatności alternatywnych źródeł wody	1	- opracowanie planu reagowania w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej, - regularny monitoring jakości wody w alternatywnych źródłach pod kątem jej przydatności do spożycia, - regularne przeglądy stanu technicznego alternatywnych źródeł wody, - regularne przeglądy stanu technicznego beczkowozów,	pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	data zakończenia działania	planowane/ w toku/ ukończone
60	Podsystem dystrybucji wody	Brak ostrzeżenia konsumentów o zagrożeniu w przypadku zanieczyszczenia wody w PsDyW w wyniku nieskutecznej akcji informacyjnej	2	- opracowanie planu reagowania w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej, - wskazanie osób odpowiedzialnych za przeprowadzenie akcji informacyjnej, - przekazanie konsumentom informacji na temat sposobu informacji o zagrożeniu – edukacja konsumentów,	pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	data zakończenia działania	planowane/ w toku/ ukończone
53	Podsystem dystrybucji wody	Wtórne zanieczyszczenie wody w instalacji lub sieci spowodowane brakiem stabilności biologicznej lub chemicznej wody	3	- kontrola zawartości ogólnego węgla organicznego w wodzie podawanej do sieci oraz ewentualne zastosowanie metody usuwania substancji biogennej na ZUZW, - regularna ocena właściwości agresywnych i korozyjnych wody oraz ewentualne zastosowanie metod obniżających agresywność wody, - kontrola stanu technicznego sieci i instalacji wodociągowych oraz podjęcie ewentualnych działań naprawczych,	pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	data zakończenia działania	planowane/ w toku/ ukończone
55	Podsystem dystrybucji wody	Wtórne zanieczyszczenie wody w instalacji lub sieci spowodowane przez niewłaściwe warunki hydrauliczne pracy sieci	3	- wdrożenie modelu hydraulicznego pracy sieci wodociągowej, - sukcesywna renowacja lub wymiana najstarszych przewodów wodociągowych, - sukcesywne zmniejszanie średnic przewodów, co wpłynie na wzrost prędkości przepływu wody oraz skrócenie czasu przebywania wody w sieci (sieć jest znacznie przewymiarowana)	pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	data zakończenia działania	planowane/ w toku/ ukończone
56	Podsystem dystrybucji wody	Brak wykrycia zanieczyszczenia przez system monitoringu jakości wody w PsDyW w wyniku błędu pomiarowego laboranta	4	- regularne szkolenia pracowników, - wprowadzenie większej liczby punktów monitoringu jakości wody w PsDyW w celu zminimalizowania możliwości popełnienia błędu,	pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	data zakończenia działania	planowane/ w toku/ ukończone
69	Podsystem dystrybucji wody	Nieuruchomienie alternatywnych sposobów zaopatrzenia w wodę w przypadku zanieczyszczenia wody w PsDyW w wyniku braku możliwości dystrybucji wody poza PsDyW	5	- regularne przeglądy stanu technicznego posiadanych beczkowozów, - analiza możliwości zaopatrzenia w wodę w czasie trwania sytuacji kryzysowej oraz zabezpieczenie odpowiedniej liczby beczkowozów,	pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	data zakończenia działania	planowane/ w toku/ ukończone
61	Podsystem dystrybucji wody	Brak ostrzeżenia konsumentów o zagrożeniu w przypadku zanieczyszczenia wody w PsDyW w wyniku braku decyzji o poinformowaniu konsumentów	6	- opracowanie planu reagowania w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej, - wskazanie osób odpowiedzialnych za przeprowadzenie akcji informacyjnej, - poinformowanie osób odpowiedzialnych za przeprowadzenie akcji informacyjnej o skutkach potencjalnych zaniedbań,	pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	data zakończenia działania	planowane/ w toku/ ukończone
62	Podsystem dystrybucji wody	Awaria przewodów wodociągowych lub armatury spowodowana przez przeciek na połączeniu przewodów	7	- sukcesywna renowacja lub wymiana najstarszych przewodów wodociągowych, - organizacja pracy brygad remontowych w systemie dwuzmianowym, co pozwoli na skrócenie czasu oczekiwania na naprawę,	pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	data zakończenia działania	planowane/ w toku/ ukończone

## **7.8. Zdefiniowanie monitoringu środków bezpieczeństwa (Moduł 6)**

Zgodnie z Wytycznymi WHO monitoring operacyjny polega na zdefiniowaniu i walidacji monitoringu środków bezpieczeństwa oraz procedur demonstrujących skuteczność tych środków. Efektywny monitoring środków bezpieczeństwa jest konieczny do zarządzania ryzykiem. Monitoring powinien obejmować zarówno parametry decydujące o przydatności wody do spożycia, jak i fizyczne środki zabezpieczające przed wystąpieniem zdarzeń niepożądanych. Przykład monitoringu oraz wskazanie możliwych działań korekcyjnych w przypadku przekroczenia poziomu krytycznego przedstawiono w tab. 35. Skuteczny monitoring zależy od ustalenia:

- co będzie monitorowane,
- jak będzie to monitorowane,
- czasu i częstotliwości monitoringu,
- gdzie będzie przeprowadzany monitoring,
- kto będzie przeprowadzał monitoring,
- kto dokona analizy,
- kto otrzyma rezultaty pozwalające na podjęcie działań.

Część z wymagań monitoringowych, takich jak SCADA czy monitoring jakości wody w sieci wodociągowej, może być już realizowana w SZZW analizowanego miasta. Zaleca się jednak ich przegląd oraz weryfikację. Głównym efektem tego etapu powinna być likwidacja największych luk w istniejącym systemie monitoringu. Monitoring obrazuje skuteczność istniejących środków bezpieczeństwa.

Tabela 35. Wymagania monitoringowe i działania korekcyjne (przykład)

<b>Proces/środek bezpieczeństwa</b>	<b>Poziom krytyczny</b>	<b>Wymagania monitoringowe</b>	<b>Częstość</b>	<b>Miejsce</b>	<b>Osoba odpowiedzialna</b>	<b>Działania korekcyjne</b>
Podsystem dystrybucji wody: kontrola jakości wody z alternatywnych ujęć	Woda pobrana z alternatywnych ujęć nie spełnia wymagań jakościowych zawartych w rozporządzeniu	Monitoring jakości wody pobranej z alternatywnych ujęć pod kątem jej przydatności do spożycia przez ludzi	Raz w miesiącu	Laboratorium ZUZW	Pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	Opracowanie metodyki uzdatniania wody w sytuacji kryzysowej do jakości zgodnej z rozporządzeniem
Podsystem dystrybucji wody: system ostrzegania konsumentów o zagrożeniu, np. zanieczyszczeniu wody w PsDyW	Brak możliwości poinformowania konsumentów o zagrożeniu	Regularne testy systemu ostrzegania konsumentów przed zagrożeniem	Raz w roku	Biuro, pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego, Miejskie Centrum Zarządzania Kryzysowego (MCZK)	Pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego/ pracownik MCZK	Wprowadzenie efektywnego systemu ostrzegania przed zagrożeniem (sms, internet, radio, telewizja, samochód z systemem nagłaśniającym)
Podsystem dystrybucji wody: monitoring jakości wody w wybranych punktach sieci pod kątem zanieczyszczenia biologicznego	Woda w PsDyW jest zanieczyszczona biologicznie	Monitoring jakości wody pobranej w wybranych punktach sieci pod kątem zanieczyszczenia biologicznego	Zgodnie z rozporządzeniem	Laboratorium ZUZW	Pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	Wprowadzenie działań mających na celu usunięcie zanieczyszczenia, np. modyfikacja procesu uzdatniania wody
Podsystem dystrybucji wody: monitoring stanu sieci wodociągowej	Występujące awarie przewodów wodociągowych lub armatury są powodem skarg konsumentów lub znacznych strat wody	Monitoring stanu sieci wodociągowej z wykorzystaniem urządzeń do lokalizacji wycieków, np. geofony, korelatory, logery szumu	Raz w miesiącu	Obszar zasilania	Pracownik przedsiębiorstwa wodociągowego	Naprawa lub wymiana uszkodzonych przewodów lub armatury

### **7.9. Weryfikacja skuteczności PBW (Moduł 7)**

Celem tego etapu jest sprawdzenie, czy PBW jest realizowany właściwie, tzn. czy do konsumentów jest dostarczana woda o właściwej jakości, w odpowiedniej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem oraz w akceptowanej cenie w dowolnej chwili czasu. Etap ten pozwala na stwierdzenie, czy PBW jest stosowany w praktyce i czy jest skuteczny. Na weryfikację składają się trzy procesy:

- monitoring zgodności – szczegółowe wymagania dotyczące monitoringu operacyjnego oraz potencjalnych działań korekcyjnych zostały przedstawione w poprzednim module. Monitoring weryfikacyjny powinien być prowadzony jako okresowy przegląd lub po wprowadzeniu zmian w SZZW,
- audyt czynności operacyjnych – celem audytu jest ocena zgodności oraz skuteczności PBW. Audyt może być realizowany zarówno przez kierownictwo przedsiębiorstwa wodociągowego (audyt wewnętrzny), jak i przez ekspertów zewnętrznych (audyt zewnętrzny prowadzony np. przez zespół ds. PBW z innego przedsiębiorstwa),
- badanie sondażowe opinii konsumentów wody – opinia konsumentów wody na temat poziomu zadowolenia z usług świadczonych przez przedsiębiorstwo wodociągowe, głównie bezpieczeństwa funkcjonowania SZZW.

### **7.10. Przygotowanie procedur zarządzania (Moduł 8)**

Warunkiem realizacji PBW jest wprowadzenie tzw. standardowych procedur operacyjnych (SPO), czyli procedur, które stanowią opis działań, jakie należy podejmować w czasie normalnej eksploatacji, lub działań korekcyjnych w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej. Procedury powinny zostać opracowane przez kierownictwo przedsiębiorstwa wodociągowego (m.in. na podstawie niniejszego opracowania) oraz obejmować dokładny opis działań do wykonania na poszczególnych stanowiskach. Istotnym aspektem jest wykorzystanie doświadczenia oraz wiedzy wieloletnich pracowników przedsiębiorstwa wodociągowego.

W SPO należy jednoznacznie wskazać odpowiedzialność za poszczególne działania oraz określić procedury postępowania w przypadku wystąpienia zdarzeń niepożądanych lub wykrycia odchyień przez monitoring. Standardowe procedury operacyjne powinny być na bieżąco aktualizowane oraz w razie potrzeby modernizowane, szczególnie po wystąpieniu zdarzeń niepożądanych. Do zadań, jakie należy uwzględnić podczas opracowywania SPO, zalicza się:

- jasne sprecyzowanie działań poszczególnych pracowników,
- codzienny obchód po terenie ZUzW,
- przegląd stanu systemu zabezpieczeń,
- procedurę pobierania próbek,
- monitoring jakości wody surowej,
- monitoring jakości wody uzdatnianej oraz wody czystej,
- monitoring jakości wody w PsDyW,
- raportowanie wyników pomiarów,
- reagowanie po wystąpieniu zanieczyszczenia wody, które stanowi zagrożenie dla zdrowia konsumentów wody, a konwencjonalny proces uzdatniania nie jest w stanie go usunąć,
- kontrolę stanu technicznego ZUzW, pompowni, zbiorników, sieci wodociągowej,
- raportowanie występujących zdarzeń niepożądanych,
- reagowanie po wystąpieniu zdarzenia niepożądanego, w tym awarii zasilania,
- dostawę wody z alternatywnych źródeł wody (uzdatnianie, dowóz),
- reagowanie po wystąpieniu sytuacji kryzysowej (lokalizacja wymaganego sprzętu, informacje techniczne oraz logistyczne),
- strategię łączności po wystąpieniu sytuacji kryzysowej (sposób informowania konsumentów o zagrożeniu).

#### **7.11. Opracowanie programów wsparcia (Moduł 9)**

Zgodnie z Wytycznymi WHO przez programy wsparcia rozumie się podejmowanie działań mających na celu rozwój umiejętności i wiedzy personelu, przywiązanie do podejścia PBW oraz rozwój zdolności zarządzania SZZW w sposób umożliwiający właściwą realizację postanowień zawartych w ustawie o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków oraz postanowień PBW. Odpowiednio wykwalifikowany personel jest jednym z warunków niezbędnych do zapewnienia bezpiecznego funkcjonowania SZZW. Ponadto realizacja PBW wymaga posiadania odpowiedniego sprzętu oraz zaplecza finansowego.

Zdaniem autorów opracowania najbardziej efektywnym działaniem wpływającym na rozwój umiejętności i wiedzy personelu jest staż w przedsiębiorstwach wodociągowych, które już wdrożyły PBW. Przedsiębiorstwo wodociągowe powinno także uczestniczyć w cyklicznie odbywających się konferencjach, podczas których problematyka bezpieczeństwa SZZW jest stale omawiana (m.in. Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Zastosowanie



niezawodności i bezpieczeństwa w inżynierii środowiska”, organizowana cyklicznie przez ośrodek krakowski). Współpraca z ośrodkami naukowymi w tym zakresie z pewnością przyczyni się do właściwej realizacji postanowień PBW, co z kolei podniesie poziom bezpieczeństwa konsumentów wody.

#### **7.12. Zaplanowanie i realizacja okresowych przeglądów PBW (Moduł 10)**

Właściwa realizacja PBW wymaga dokonywania regularnych przeglądów przez zespół ds. PBW. Proponuje się, aby przegląd odbywał się raz w roku, zgodnie z ustalonym harmonogramem. Prowadzenie okresowych planowanych przeglądów pozwala na ocenę skuteczności wdrożonego PBW. Plan bezpieczeństwa wodnego powinien być ciągle aktualizowany i modernizowany, dlatego należy dokonywać przeglądów także w przypadku planowania istotnych zmian w SZZW, co zmniejszy ryzyko podjęcia inwestycji zagrażających bezpieczeństwu konsumentów wody. Przegląd PBW należy wykonać w przypadku wystąpienia takich zdarzeń jak:

- zajście poważnej awarii, krytycznej awarii, wypadku lub katastrofy,
- zmiany w zagospodarowaniu zlewni lub zidentyfikowanie nowych zagrożeń w zlewni,
- modernizacja technologii uzdatniania wody,
- rozbudowa lub modernizacja PsDyW,
- modernizacja lub budowa nowych zbiorników wodociągowych,
- zmiany w procedurach postępowania,
- zmiany kadrowe na stanowiskach kluczowych dla właściwej realizacji PBW.

Podczas wykonywania przeglądu zespół nie tylko powinien dysponować poza samym dokumentem PBW ale także wnioskami z poprzednich przeglądów, planem działań zaplanowanych podczas poprzednich przeglądów w celu ich weryfikacji, szczegółowym opisem nowych środków bezpieczeństwa w celu przeprowadzenia ich walidacji, audytami wewnętrznymi oraz zewnętrznymi, skargami konsumentów wody oraz ewentualnie szczegółowym opisem zmian planowanych w SZZW lub zaistniałych zdarzeń niepożądanych.

### 7.13. Przegląd PBW po incydencie (Moduł 11)

Wdrożenie nawet najlepiej przygotowanego PBW nie wyklucza możliwości wystąpienia sytuacji kryzysowej, chociaż zdecydowanie obniża jej prawdopodobieństwo. Poza okresowym przeglądem należy także dokonywać przeglądu PBW po zajściu poważnej awarii, krytycznej awarii, wypadku lub katastrofy w celu uniknięcia podobnej sytuacji w przyszłości. Takie podejście pozwoli na ocenę podjętych działań, wskazanie luk w systemie zabezpieczeń oraz przedstawienie propozycji ulepszenia PBW. Do działań, które należy podjąć, należą m.in.:

- określenie, czy zaistniała sytuacja kryzysowa została spowodowana przez zdarzenia już rozpoznane, czy też eksperci nie brali pod uwagę takiego scenariusza,
- analiza przyczyn oraz skutków zdarzenia,
- ocena, czy istniała możliwość uniknięcia sytuacji kryzysowej,
- ocena, czy istniejące środki bezpieczeństwa były wystarczające,
- ocena postępowania pracowników SZZW pod kątem możliwości popełnienia błędu (zmęczenie, brak wiedzy, brak doświadczenia),
- ocena skuteczności systemu informowania o zagrożeniu (łączność, terminowość),
- ocena skuteczności procedur postępowania,
- przedstawienie propozycji modernizacji oceny ryzyka (np. wskazanie nowych zagrożeń), procedury postępowania (np. sprecyzowanie obowiązków), środków bezpieczeństwa (np. rozbudowa systemu monitoringu) czy też systemu informowania o zagrożeniu (np. wykorzystanie SMS),
- precyzyjne ustalenie poziomu krytycznego, którego przekroczenie wymaga podjęcia odpowiednich działań.

## **8. Logistyka zaopatrzenia w wodę w sytuacjach kryzysowych**

### **8.1. Wprowadzenie**

Pierwotna interpretacja terminu logistyka pochodzi z czasów starożytnych, kiedy to zawód urzędnika kontrolującego rachunki poddanych i przekazywanie stosownych sprawozdań władzy określany był mianem „logistes”. Z kolei logista w wojskach starożytnego Rzymu organizował zaopatrzenie dla wojska. Geneza francuskiego terminu „loger” dotyczy sposobów zabezpieczenia potrzeb socjalno-bytowych wojska, co można odnieść do współczesnego kwatermistrzostwa.

Logistyka w sytuacjach kryzysowych spowodowanymi zagrożeniami niemilitarnymi obejmuje działania podejmowane na rzecz ludności poszkodowanej. Do zagrożeń kryzysowych o charakterze niemilitarnym zalicza się katastrofy naturalne, poważne awarie techniczne, niepokoje społeczne a także ataki terrorystyczne. Jej zadaniem jest opracowanie rozwiązań teoretycznych pozwalających na kształtowanie, sterowanie i kontrolę procesów zaopatrzeniowych i usługowych realizowanych na rzecz poszkodowanych w sytuacjach kryzysowych.

Zaopatrzenie ludności poszkodowanej to głównie woda do spożycia, żywność, środki higieny osobistej, środki czystości, alternatywne nośniki energii itp.. Usługi to przede wszystkim usługi medyczne niezbędne dla ratowania zdrowia i życia ludności poszkodowanej itp. Priorytetem jest, aby zaopatrzenie i usługi docierały do poszkodowanej ludności we właściwym czasie, we właściwym miejscu, we właściwej postaci oraz w niezbędnych ilościach i właściwej jakości. Usługi logistyczne świadczone ludności obejmują usługi gospodarczo-bytowe, usługi specjalistyczne i pomoc socjalną.

Prekursorem współczesnej logistyki była logistyka wojskowa (ang. *Military Logistics*), która swoje początki miała w Marynarce Wojennej USA podczas II wojny światowej. Uważa się, że początki logistyki sytuacji kryzysowych to końcowe lata XX wieku i związane to było ze zorganizowanymi międzynarodowymi akcjami humanitarnymi po katastrofach naturalnych (związanych z siłami natury).

Celem rozdziału jest pokazanie metodyki bilansowania zapotrzebowania na wodę w sytuacjach kryzysowych na poziomie jednostki terytorialnej – gminy przy braku możliwości korzystania z systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW).

## **8.2. Uwarunkowania prawne**

Zarządzanie kryzysowe to działalność organów administracji publicznej będąca elementem kierowania bezpieczeństwem, które polega na:

- zapobieganiu sytuacjom kryzysowym,
- przejmowaniu nad nimi kontroli,
- reagowaniu w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowych,
- odtworzeniu infrastruktury w szczególności infrastruktury krytycznej.

Infrastruktura krytyczna to systemy oraz wchodzące w ich skład, powiązane ze sobą obiekty, w tym obiekty budowlane, urządzenia, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa oraz służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania organów administracji publicznej, a także instytucji i przedsiębiorców. W skład infrastruktury krytycznej wchodzi między innymi systemy zaopatrzenia w wodę i żywność. Ustawa wprowadza obowiązek opracowania planu reagowania kryzysowego na poziomie krajowym, wojewódzkim, powiatowym oraz gminnym. Organem właściwym w sprawach zarządzania na terenie gminy jest Wójt Gminy. Organem pomocniczym Wójta Gminy jest Gminny Zespół Zarządzania Kryzysowego.

## **8.3. Podstawy zarządzania logistycznego**

Krajowy system zarządzania kryzysowego obejmuje trzy poziomy:

- lokalny (gminny, miejski, powiatowy),
- wojewódzki,
- centralny.

Składową zarządzania kryzysowego jest zarządzanie logistyczne. Obejmuje ono zapewnienie osobom poszkodowanym opieki medycznej, warunków bytowania a także sprawne przemieszczanie ludzi i zasobów materialnych. Zasoby logistyczne to środki bezpieczeństwa, które potencjalnie mogą być użyte w działaniach ratowniczych i w eliminowaniu skutków realizacji zagrożenia oraz w działaniach odtwarzających infrastrukturę krytyczną. Jakościowo zasoby logistyczne zapewniające ochronę ludności w dużej mierze zależą od potencjału gospodarczego danego regionu. Podstawowymi zasobami logistycznymi są środki Państwowej Straży Pożarnej i Państwowego Ratownictwa Medycznego.

Ratownictwo zorganizowane jest w ramach:

- Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego,
- Państwowego Ratownictwa Medycznego.

W Krajowym Systemie Ratowniczo-Gaśniczym zorganizowane są jednostki:

- ratowniczo-gaśnicze,
- ratownictwa medycznego,
- wodno-nurkowe,
- wysokościowe,
- poszukiwawczo-ratunkowe.

Ponadto działają grupy specjalistyczne w branżach o podwyższonym ryzyku występowania zagrożeń:

- górnicze,
- górskie,
- morskie.

Obszary działań zabezpieczenia logistycznego przedstawiają się następująco:

- logistyka zaopatrzenia,
- logistyka produkcji,
- logistyka dystrybucji,
- logistyka serwisu,
- magazynowanie dóbr,
- rekultywacja skażonego środowiska.

#### **8.4. Przykład zaopatrzenia ludności gminy w wodę do spożycia w warunkach kryzysowych**

Gmina X zajmuje obszar 100 km<sup>2</sup>, co stanowi 7,5% powierzchni powiatu. Liczba ludności gminy wynosi 8500 mieszkańców. Gęstość zaludnienia wynosi 85 mk/km<sup>2</sup>. W skład gminy wchodzi 10 sołectw. Lasy obejmują 35% powierzchni gminy tj. 35 km<sup>2</sup>. Użytki rolne zajmują 52% powierzchni tj. 52 km<sup>2</sup>, w tym: grunty orne 42%, a łąki i pastwiska 10%.

Na terenie gminy przeważają miejscowości o dobrym stopniu zurbanizowania z rozwiniętą infrastrukturą komunalną, w gminie zwodociągowane jest 93% gospodarstw domowych a 7% korzysta jedynie z wody z własnej studni, 20,5% mając wodę z wodociągu, korzysta również z własnych studni.

Do sieci wodociągowej na terenie gminy, liczącej 150,8 km długości, podłączone są 2054 budynki. Średnie jednostkowe zużycie wody przez mieszkańców wynosi 102,5 dm<sup>3</sup>/(mk·d).

Na terenie gminy znajdują się 4 Zakłady Uzdatniania Wody (ZUzW), które wykorzystują zasoby wód podziemnych. Ich nominalne wielkości produkcji wody wynoszą:

ZUzW1 – 180 m<sup>3</sup>/d

ZUzW2 – 370 m<sup>3</sup>/d

ZUzW3 – 320 m<sup>3</sup>/d

ZUzW4 – 255 m<sup>3</sup>/d

Razem: 1125 m<sup>3</sup>/d

System zbiorowego zaopatrzenia w wodę gminy ma charakter nadmiarowy tzn., że produkcja nominalna przewyższa maksymalne zapotrzebowanie dobowe na wodę do spożycia. Dobowe zużycie wody w warunkach normalnych na podstawie sprzedaży przedstawiono w tab. 36.

Tab. 36. Zestawienie liczby ludności i średniego zużycia wody w gminie

Miejscowość	Liczba mieszkańców [mk]	Zużycie wody [m <sup>3</sup> /d]
A	630	50,4
B	705	52,9
C	205	12,3
D	385	28,9
E	780	74,1
F	2100	252,0
G	1050	120,8
H	1355	155,8
I	820	82,0
J	470	42,3
<b>Razem</b>	<b>8500</b>	<b>871,5</b>

Fizjologiczne, niezbędne, minimalne, wymagane i zalecane zapotrzebowanie na wodę dla poszczególnych miejscowości zestawiono w tab. 37.

Tab. 37. Bilans fizjologicznego, minimalnego, niezbędnego, wymaganego i zalecanego zapotrzebowania na wodę w warunkach kryzysowych

Miejscowość	Liczba mieszkańców	Zapotrzebow. minimalne		Zapotrzebow. niezbędne		Zapotrzebow. fizjologiczne		Zapotrzebow. wymagane		Zapotrzebow. zalecane		Min. zapotrzebow. fizjologiczne
		q <sub>min</sub>	Q <sub>dmin</sub>	q <sub>niezb.</sub>	Q <sub>dniezb.</sub>	q <sub>fizj.</sub>	Q <sub>dfizj.</sub>	q <sub>wym.</sub>	Q <sub>dwym.</sub>	q <sub>zal.</sub>	Q <sub>dzal.</sub>	
A	630	0,0075	4,73	0,015	9,45	0,0015	0,95	0,03	18,90	0,05	31,50	0,32
B	705	0,0075	5,29	0,015	10,58	0,0015	1,06	0,03	21,16	0,05	35,25	0,35
C	205	0,0075	1,54	0,015	3,08	0,0015	0,31	0,03	6,16	0,05	10,25	0,10
D	385	0,0075	2,89	0,015	5,78	0,0015	0,58	0,03	11,56	0,05	19,25	0,19
E	780	0,0075	5,85	0,015	11,70	0,0015	1,17	0,03	23,40	0,05	39,00	0,39
F	2100	0,0075	15,75	0,015	31,50	0,0015	3,15	0,03	63,00	0,05	105,00	1,05
G	1050	0,0075	7,88	0,015	15,75	0,0015	1,58	0,03	31,50	0,05	52,50	0,53
H	1355	0,0075	10,16	0,015	20,33	0,0015	2,03	0,03	40,66	0,05	67,75	0,68
I	820	0,0075	6,15	0,015	12,30	0,0015	1,23	0,03	24,60	0,05	41,00	0,41
J	470	0,0075	3,53	0,015	7,05	0,0015	0,71	0,03	14,1	0,05	23,50	0,24
<b>RAZEM</b>	-	-	<b>63,77</b>	-	<b>127,53</b>	-	<b>12,77</b>	-	<b>255,04</b>	-	<b>425</b>	<b>4,26</b>

### Zapotrzebowanie na wodę dla zwierząt hodowlanych.

#### Zapotrzebowanie minimalne

Bydło:  $1650 \text{ szt.} \cdot 0,0125 \text{ m}^3/\text{szt.} = 20,63 \text{ m}^3$

Trzoda chlewna:  $8130 \text{ szt.} \cdot 0,0025 \text{ m}^3/\text{szt.} = 20,33 \text{ m}^3$

Kozy, owce:  $51 \text{ szt.} \cdot 0,0075 \text{ m}^3/\text{szt.} = 0,38 \text{ m}^3$

**RAZEM: 41,34 m<sup>3</sup>**

#### Zapotrzebowanie niezbędne

Bydło:  $1650 \text{ szt.} \cdot 0,025 \text{ m}^3/\text{szt.} = 41,25 \text{ m}^3$

Trzoda chlewna:  $8130 \text{ szt.} \cdot 0,005 \text{ m}^3/\text{szt.} = 40,65 \text{ m}^3$

Kozy, owce:  $51 \text{ szt.} \cdot 0,0015 \text{ m}^3/\text{szt.} = 0,77 \text{ m}^3$

**RAZEM: 82,67 m<sup>3</sup>**

## **Zapotrzebowanie na wodę dla obiektów użyteczności publicznej.**

### Zapotrzebowanie niezbędne

#### Placówki oświatowe

Przedszkola:  $160 \text{ dzieci} \cdot 0,03 \text{ m}^3/\text{dziecko} = 4,8 \text{ m}^3/\text{d}$

Szkoły podstawowe i gimnazja:  $770 \text{ uczniów} \cdot 0,012 \text{ m}^3/\text{ucznia} = 9,24 \text{ m}^3/\text{d}$

**RAZEM: 14,04 m<sup>3</sup>/d**

#### Służba zdrowia

Ośrodki zdrowia i przychodnie:  $80 \text{ pacjentów} \cdot 0,0085 \text{ m}^3/\text{pacjenta} = 0,68 \text{ m}^3/\text{d}$

#### Administracja

Urzędy i instytucje:  $45 \text{ pracowników} \cdot 0,017 \text{ m}^3/\text{pracownika} = 0,77 \text{ m}^3/\text{d}$

#### Gastronomia

Restauracje i bary:  $330 \text{ miejsc} \cdot 0,080 \text{ m}^3/\text{miejsce} \cdot \text{d} = 26,4 \text{ m}^3/\text{d}$

#### Handel

Sklepy spożywcze:  $55 \text{ pracowników} \cdot 0,01 \text{ m}^3/\text{pracownika} \cdot \text{d} = 0,55 \text{ m}^3/\text{d}$

Sklepy przemysłowe:  $20 \text{ pracowników} \cdot 0,005 \text{ m}^3/\text{pracownika} \cdot \text{d} = 0,10 \text{ m}^3/\text{d}$

**RAZEM: 0,65 m<sup>3</sup>/d**

## **Bilans minimalnych dostaw wody**

dla potrzeb bytowo-gospodarczych ludności  $63,77 \text{ m}^3/\text{d}$

dla potrzeb fizjologicznych ludności  $4,26 \text{ m}^3/\text{d}$

dla zwierząt hodowlanych  $41,34 \text{ m}^3/\text{d}$

**RAZEM: 109,37 m<sup>3</sup>/d**

## **Bilans niezbędnych dostaw wody**

dla potrzeb bytowo-gospodarczych ludności  $127,53 \text{ m}^3/\text{d}$

dla potrzeb fizjologicznych ludności  $12,77 \text{ m}^3/\text{d}$

dla zwierząt hodowlanych  $82,67 \text{ m}^3/\text{d}$

dla placówek oświatowych  $14,04 \text{ m}^3/\text{d}$

dla służby zdrowia  $0,68 \text{ m}^3/\text{d}$

dla urzędów i instytucji  $0,77 \text{ m}^3/\text{d}$

dla gastronomii  $26,40 \text{ m}^3/\text{d}$

dla handlu  $0,65 \text{ m}^3/\text{d}$

**RAZEM: 265,51 m<sup>3</sup>/d**



Dostawy wody dla potrzeb fizjologicznych ludności w ilościach minimalnych i niezbędnych dostarczana będzie w opakowaniach konfekcjonowanych.

Woda w opakowaniu jednostkowym  $1,5 \text{ dm}^3$

Liczba butelek w zgrzewce – 6 sztuk

Liczba zgrzewek w jednej warstwie – 21 sztuk

Liczba warstw w palecie – 4

Liczba butelek w palecie –  $4 \cdot 21 \cdot 6 = 504$  sztuki

Objętość wody w jednej palecie –  $(1,5 \cdot 504)/1000 = 0,756 \text{ m}^3$

Woda w opakowaniu jednostkowym  $5 \text{ dm}^3$

Liczba pojemników w jednej warstwie – 36 sztuk

Liczba warstw w palecie – 4

Liczba pojemników w palecie –  $4 \cdot 36 = 144$  sztuki

Objętość wody w palecie –  $(5 \cdot 144)/1000 = 0,720 \text{ m}^3$

Liczba palet z butelkami  $1,5 \text{ dm}^3$  dla zapotrzebowania fizjologicznego minimalnego

$$l_{\text{fmin}} = \frac{4,26}{0,756} = 5,6 \approx 6 \text{ palet} \quad (18)$$

Liczba palet z pojemnikami  $5 \text{ dm}^3$  dla zapotrzebowania fizjologicznego minimalnego

$$l_{\text{fmin}} = \frac{4,26}{0,72} = 5,9 \approx 6 \text{ palet} \quad (19)$$

Liczba palet z butelkami  $1,5 \text{ dm}^3$  dla zapotrzebowania fizjologicznego niezbędnego

$$l_{\text{fniez.}} = \frac{12,77}{0,756} = 16,9 \approx 17 \text{ palet} \quad (20)$$

Liczba palet z pojemnikami  $5 \text{ dm}^3$  dla zapotrzebowania fizjologicznego niezbędnego

$$l_{\text{fniez.}} = \frac{12,77}{0,72} = 17,7 \approx 18 \text{ palet} \quad (21)$$

Bilans minimalnych dostaw wody bez potrzeb fizjologicznych ludności wynosi:

$$109,37 - 4,26 = 105,11 \text{ m}^3/\text{d}$$

Bilans niezbędnych dostaw wody bez potrzeb fizjologicznych ludności wynosi:

$$265,51 - 12,77 = 252,74 \text{ m}^3/\text{d}$$

Dostawy wody w ilościach minimalnych i niezbędnych będą odbywać się za pomocą beczkwozów o pojemności  $8 \text{ m}^3$ . Zakłada się, że w ciągu doby beczkowóz może wykonać 3 kursy, czyli dostarczyć  $3 \times 8 = 24 \text{ m}^3/\text{d}$ .

Liczba beczkwozów zapewniająca minimalne dostawy wody

$$\frac{105,11}{24} = 4,375 \approx 5 \text{ beczkwozów}$$

Liczba beczkwozów zapewniająca niezbędne dostawy wody

$$\frac{252,74}{24} = 10,531 \approx 11 \text{ beczkwozów}$$

Zapotrzebowanie wymagane i zalecane na wodę realizowane będzie z wykorzystaniem 106 prywatnych studni kopnych i 6 studni publicznych typu abisyńskiego. Oszacowanie wydajności dobowych studni przedstawiają się następująco:

$$6 \text{ studni} \cdot 10 \text{ m}^3/\text{d} = 60 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$32 \text{ studnie} \cdot 6 \text{ m}^3/\text{d} = 192 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$74 \text{ studnie} \cdot 3 \text{ m}^3/\text{d} = \underline{222 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$Q_{dk} = 474 \text{ m}^3/\text{d}$$

Zaopatrzenie kryzysowe z wykorzystaniem studni  $Q_{dk} = 474 \text{ m}^3/\text{d}$  daje jednostkowe zużycie wody w ilości:

$$q_j = \frac{Q_{dk}}{LM} = \frac{474}{8500} \cdot 1000 = 55,8 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$$

Spełniony jest warunek  $q_j > q_{zal}$ , a tym bardziej  $q_j > q_{wym} = 30 \text{ dm}^3/\text{mk} \cdot \text{d}$

**Anonimowa ankieta gotowości wdrożenia Planów Bezpieczeństwa Wodnego  
w systemie zbiorowego zaopatrzenia w wodę (SZZW)**

Lp.	Pytanie	Odpowiedź	
1	Średnia dobowa produkcja wody w m <sup>3</sup> /dobę:		
2	Liczba zaopatrywanych w wodę mieszkańców:		
3	Rodzaj ujęcia/ujęć wody:	Podziemne	Powierzchniowe
4	Czy są wyznaczone strefy ochronne ujęcia wody?	Tak	Nie
5	Czy wskazano grupy zagrożeń mających wpływ na utratę bezpieczeństwa funkcjonowania twojego SZZW?	Tak	Nie
6	Czy wiesz o wszystkich możliwych źródłach zagrożeń mikrobiologicznych dla wody do spożycia na terenie całego obszaru zasilania w wodę?	Tak	Nie
7	Czy wiesz o wszystkich możliwych źródłach zagrożeń chemicznych dla wody do spożycia na terenie całego obszaru zasilania w wodę?	Tak	Nie
8	Czy znasz zagrożenia dla utraty bezpieczeństwa twojego SZZW wynikające z awarii podsystemów lub pojedynczych elementów SZZW?	Tak	Nie
9	Czy znasz potencjalne drogi (ścieżki) rozprzestrzeniania się potencjalnych zagrożeń mikrobiologicznych?	Tak	Nie
10	Czy znasz potencjalne drogi (ścieżki) rozprzestrzeniania się potencjalnych zagrożeń chemicznych?	Tak	Nie
11	Czy prawdopodobieństwo/częstotliwość wystąpienia zagrożeń jest rejestrowana?	Tak	Nie
12	Czy potrafisz ocenić skutki poszczególnych zagrożeń?	Tak	Nie
13	Czy potrafisz ocenić ryzyko związane z wystąpieniem zagrożenia?	Tak	Nie

14	Czy wiesz jak reagować na wypadek przekroczenia norm jakościowych w wodzie do spożycia?	Tak	Nie
15	Czy w twoim SZZW istnieją źródła awaryjnego zaopatrzenia ludności w wodę?	Tak	Nie
16	Czy w twoim SZZW istnieją procedury reagowania na wypadek wystąpienia zewnętrznych sytuacji kryzysowych (np. powódź, susza, incydentalne zanieczyszczenie źródła wody)?	Tak	Nie
17	W jaki sposób realizowany jest monitoring jakości wody surowej?	Codziennie	Okresowo (np. raz na miesiąc)
18	W jaki sposób jest realizowany monitoring wody uzdatnionej?	Codziennie	Okresowo
19	Czy wdrożono wymagania wyznaczonych stref ochronnych ujęcia wody?	Tak	Nie
20	Objętość awaryjna wody uzdatnionej w zbiornikach wodociągowych wynosi:	$>30\% Q_{\text{dobowe}}$	$<30\% Q_{\text{dobowe}}$
21	Czy jest powołany zespół do wdrożenia Planów Bezpieczeństwa Wodnego?	Tak	Nie

Interpretacja ankiety przedstawia się następująco:

- Określa się sumę punktów uzyskanych w odpowiedziach od pytania 4 do 21 wg następującego schematu:
- Odpowiedź „Tak” lub inna z przedostatniej kolumny – 1 punkt,
- Odpowiedź „Nie” lub inna z ostatniej kolumny – 0 punktów.

Dla uzyskanej sumy punktów wyniki ankiety interpretowane są:

- Suma punktów 16÷18 – system jest bardzo dobrze przygotowany do wdrożenia PBW,
- Suma punktów 10÷15 – system jest dobrze przygotowany do wdrożenia PBW, ale wymaga uzupełnienia niektórych procedur,
- Suma punktów 6÷9 – system jest średnio przygotowany do wdrożenia PBW i wymaga bezwzględnego uzupełniania procedur wynikających z przeprowadzonej ankiety,
- Suma punktów 0÷6 – system nie jest przygotowany do wdrożenia PBW i wymaga kompleksowego przeglądu pod kątem procedur eksploatacyjnych, a także przeprowadzenia szkoleń dla jego operatorów.



# LITERATURA





**KATEDRA  
ZAOPATRZENIA W WODĘ  
I ODPROWADZANIA ŚCIEKÓW**  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Al. Powstańców Warszawy 6

35-959 Rzeszów

Tel. 17 8651408



prof. dr hab. inż. Janusz Rak



dr hab. inż. Barbara Tchórzewska-Cieślak, prof. PRz



dr inż. Krzysztof Boryczko



dr inż. Dawid Szpak