

POLITECHNIKA ŚLĄSKA
WYDZIAŁ INŻYNIERII ŚRODOWISKA I ENERGETYKI
KATEDRA INŻYNIERII WODY I ŚCIEKÓW
Dyscyplina: inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka



ROZPRAWA DOKTORSKA

**Zarządzanie ryzykiem w podnoszeniu efektywności
operacyjnej funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę
Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów S.A.**

Łukasz Czopik

PROMOTOR

prof. dr hab. inż. Izabela Zimoch

Gliwice 2024

Podziękowania

*Pragnę podziękować Pani Promotor prof. dr hab. inż. Izabeli Zimoch
za merytoryczną opiekę, wskazanie drogi rozwoju zawodowego.*

SPIS TREŚCI

SPIS WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ I SKRÓTÓW	5
1. WSTĘP	7
2. PRZEGLĄD LITERATURY.....	11
2.1. Budowa i eksploatacja systemu zaopatrzenia w wodę (SZW)	11
2.1.1. Budowa SZW i zasada integralności jego komponentów	11
2.1.2. Wtórne zanieczyszczenie wody w Podsystemie Dystrybucji Wody ..	20
2.1.3 Awaryjność sieci wodociągowej i jej wpływ na jakość i stan wody...	23
2.1.4 Narażenia SZW na ataki terrorystyczne	31
2.2. Zarządzanie ryzykiem	36
2.2.1. Metody zarządzania ryzykiem stosowane w zaopatrzeniu w wodę ...	37
2.2.2 Norma PN-EN 15975-2 Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 2: Zarządzanie ryzykiem	46
2.2.3 Metody i matryce oceny ryzyka - Aneks A normy PN-EN 15975-2 ..	50
2.2.4 Korzyści wynikające z wprowadzenia systemu zarządzania ryzykiem (Planu Bezpieczeństwa Wody)	53
2.3. Obowiązki prawne zapewnienia bezpieczeństwa wody	55
3. TEZA, CEL I ZAKRES PRACY	66
4. METODYKA BADAWCZA.....	68
4.1. Algorytm zarządzania ryzykiem w podnoszeniu efektywności operacyjnej funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę	68
4.2. Charakterystyka i postępowanie z danymi.....	74
4.2.1. Charakterystyka i procedury postępowania z danymi przestrzennymi	75
4.2.2. Zastosowanie analiz statystycznych w procedurach kwantyfikacji zbiorów	76
4.3. Moduł 1. Analiza zagrożeń i zdarzeń w PsUjW	77
4.4. Moduł 2. Analiza ryzyka w interpretacji bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody.....	87
4.5. Moduł 3. Uszkodzalność przewodów wodociągowych	95
4.6. Moduł 4. Analiza zagrożeń w następstwie zdarzenia awaria przewodu wodociągowego	101
4.7. Moduł 5 - Zarządzanie SZW w sytuacji ingerencji osób trzecich	106
4.8. Rankingowanie ryzyk.....	110
5. PRZEDMIOT BADAŃ.....	111
6. ZASTOSOWANIE MODUŁÓW BADAWCZYCH	121
6.1. Aplikacja modułu 1	121
6.2. Aplikacja modułu 2	131
6.3. Aplikacja modułu 3	133

6.4. Aplikacja modułu 4.....	134
6.5. Aplikacja modułu 5.....	136
6.6. Aplikacja rankingowania ryzyk.....	138
7. DYSKUSJA WYNIKÓW.....	143
8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	147
9. DALSZE KIERUNKI BADAŃ.....	148
10. BIBLIOGRAFIA.....	149
11. SPIS TABEL.....	163
12. SPIS RYCIN.....	167
13. STRESZCZENIE W JĘZYKU POLSKIM.....	168
14. STRESZCZENIE W JĘZYKU ANGIELSKIM.....	169

Spis ważniejszych oznaczeń i skrótów

ALARP	- As Low As Reasonably Practicable
BRWO	- biodegradowalnych węgiel organiczny
C	- skutki wystąpienia zdarzenia niepożądanego
CIS	- Customer Information System - system bilingowy
CIZ	- skutek wystąpienia zdarzenia ingerencji zewnętrznej w infrastrukturę SZW
DMA	- District Metering Area
DSS	- Decision Support System
DWD	- Drinking Water Directive
λ	- intensywności uszkodzeń przewodów wodociągowych
Δt	- rozpatrywany przedział czasu
EPA	- Environmental Protection Agency
ETA	- analiza drzewa zdarzeń
FTA	- analiza drzewa uszkodzeń
GIS	- Geograficzny System Informacyjny
HACCP	- analiza zagrożeń i krytyczne punkty kontroli
ICT	- Information and Communications Technology
IWA	- International Water Association
IZ	- ingerencja zewnętrzna osób trzecich
K-S	- test Kołmogorowa-Smirnowa
LIMS	- Laboratory Information Management System
$L_r(\Delta t)$	- długość analizowanego <i>r-tego</i> wydzielonego jednostkowego rurociągu w przedziale czasu Δt
MV	- mierzona wartość parametryczna jakości wody
$N_r(\Delta t)$	- liczba uszkodzeń <i>r-tego</i> wydzielonego jednostkowego rurociągu w przedziale czasu Δt
OWO	- ogólny węgiel organiczny
OZ	- obszar zasilania punktu poboru wody ze środowiska
P	- prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego
PBW	- Plan Bezpieczeństwa Wody
PIS	- Państwowa Inspekcja Sanitarna
PPIS	- Państwowy Powiatowy Inspektor Sanitarny
PR_{UBMW}	- rozkład przestrzenny ryzyka populacji narażonej na utratę bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody
PsDW	- Podsystem Dostaw Wody
PsDyW	- Podsystem Dystrybucji Wody
PsGW	- Podsystem Gromadzenia Wody
PsPoIIW	- Podsystem pompowania II stopnia
PsPoIW	- Podsystem pompowania I stopnia
PsPrW	- Podsystem Przesyłu Wody

PsPW	- Podsystem Produkcji Wody
PsUjW	- Podsystem Ujmowania Wody
PsUzW	- Podsystem Uzdatniania Wody
PV	- wartości parametryczna jakości wody
PW	- ustawa Prawo Wodne
PWIS	- Państwowy Wojewódzki Inspektor Sanitarny
R	- ryzyko zdarzenia niepożądanego
RDW	- Ramowa Dyrektywa Wodna
RMZ	- Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi
SBM	- stan bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody
SI_{BMW}	- indeks stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego
SCADA	- Supervisory Control And Data Acquisition – system kontroli i pozyskiwania danych
SUW	- Stacja Uzdatniania Wody
SZW	- System Zaopatrzenia w Wodę
THM	- trihalometany
UOZZW	- ustawa o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków
$W(CA_r)$	- wskaźnik skumulowanej oceny skutków awarii
$W(CIZ)$	- wskaźnik skumulowanej oceny skutków ingerencji zewnętrznej
$W(C_r)$	- wskaźnik skutków wystąpienia awarii przewodu wodociągowego
$W(F_r)$	- wskaźnik funkcjonalności przewodów wodociągowych
$W(GWW)$	- wskaźnik oceny globalnego wieku wody
$W(JW_r)$	- wskaźnik pogorszenia jakości wody
$W(SG_r)$	- wskaźnik wystąpienie zdarzenia w obszarze szkód górniczych
$W(SJW_r)$	- wskaźnik potencjalnego wpływ zdarzenia na pogorszenie jakości wody
$W(S_r)$	- wskaźnik średnicy przewodów wodociągowych
$W(ST_r)$	- wskaźnik oceny stanu technicznego przewodu wodociągowego
$W(TD)$	- wskaźnik czasu przepływu wody do punktu kontroli
$W(T_r)$	- wskaźnik czasu usuwania awarii
$W(U_r)$	- wskaźnik uciążliwości napraw przewodu wodociągowego
$W(WD)$	- wskaźnik udziału wody dystrybuowanej wydzielonym jednostkowym fragmencie przewodu wodociągowego
$W(WSBMW)$	- wskaźnik walidacji stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody
$W(ZM)$	- wskaźnik zabezpieczenia mikrobiologicznego wody
$W(ZO_r)$	- wskaźnik zasięgu oddziaływania awarii
$W(Z_r)$	- wskaźnik zabezpieczenia przewodów wodociągowych
$W(ZT_r)$	- wskaźnik zawodności technicznej
WHO	- Światowa Organizacja Zdrowia
WSP	- Water Safety Plan

1. WSTĘP

Motto uchwalonej 2000 roku Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW)

Woda nie jest produktem handlowym takim jak każdy inny, ale raczej dziedzictwem, które musi być chronione, bronione i traktowane jako takie [27],

musi znaleźć odzwierciedlenie w życiu codziennym społeczności na całym świecie. Od początku cywilizacji osady ludzkie powstawały wokół źródeł wody. Rewolucja przemysłowa, intensywny rozwój przemysłu, rolnictwa i innych gałęzi gospodarki z jednej strony umożliwiły dynamiczną transformację społeczności, powstawanie wielkich metropolii, czy ogromnych centrów innowacji technologicznych, z drugiej jednak strony efektem tej działalności, w tym presji antropogenicznej, jest mocne zanieczyszczenie środowiska. Zasoby wód naturalnych będące podstawą wszelkiego życia na ziemi, krążące w ciągłym obiegu hydrologicznym są zarówno miejscem kumulacji wszystkich substancji naturalnie występujących w środowisku, jak również odbiornikiem zanieczyszczeń generowanych przez człowieka. Powyższe dowodzi prawdziwości myśli przewodniej RDW, która wprowadziła obowiązek stosowanie zasady zrównoważonego rozwoju oraz zobowiązała kraje członkowskie Unii Europejskiej do podjęcia działań mających na celu poprawę jakości oraz ochronę zasobów wód, w szczególności z odniesieniem do źródeł wykorzystywanych do zaopatrzenia jednostek osadniczych w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi oraz rekreacji (np. kąpieliska). RDW ustanowiła ramy prawne wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, których nadrzędnym celem jest zachowanie i poprawa stanu wód powierzchniowych i podziemnych, zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym. Należy jednak podkreślić fakt, że woda będąca podstawą wszelkiego rozwoju życia na ziemi w wielu miejscach na świecie jest niestety celem licznych ataków terrorystycznych [11, 38, 67], czy wręcz wojen o wodę [67]. Konflikty te odnoszą się nie tylko do woda występująca środowisku naturalnym (zbiorniki wodne), ale także do wody zgromadzona w obiektach infrastruktury wodociągowej – systemach zaopatrzenia w wodę (SZW).

Pomimo obowiązywania od 3 listopada 1998 r. Drinking Water Directive (DWD) [30] w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi regulującej kwestie jakości wody na cele konsumpcyjne, w 10 maju 2015 r. została zarejestrowana pierwsza

obywatelska inicjatywa Right2Water, pod nazwą *Dostęp do wody i kanalizacji jest prawem człowieka! Woda jest dobrem publicznym, nie towarem!*”. Prawo dostępu do podstawowych usług dobrej jakości, w tym do wody do picia oraz kanalizacji jest jednym z zasad europejskiego filaru praw socjalnych. Inicjatywa ta wezwała Komisję Europejską do przedłożenia projektu przepisów wdrażających uznane przez Organizację Narodów Zjednoczonych (ONZ) prawo człowieka do wody i infrastruktury sanitarnej. Pod tą inicjatywą podpisało się ponad 1,6 mln obywateli Unii Europejskiej [42, 45]. Efektem wszystkich działań związanych z tą inicjatywą było ostateczne uchwalenie w dniu 16 grudnia 2020 r. Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Zapisy tam przedstawione zmieniają całkowicie podejście do zarządzania i prowadzenia eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę oraz zmieniają zasady prowadzenia nadzoru w zakresie bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów wody [28]. Pomimo upływu, w styczniu 2023 roku, terminu transpozycji do prawa krajowego Dyrektywy, do dnia dzisiejszego w Polsce brak jest jej implementacji. Wdrożenie celów tej Dyrektywy wymusi na podmiotach zajmujących się dostawą wody zmianę podejścia do funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę. Nowa Dyrektywa 2020/2184 wprowadza bezwzględny obowiązek eksploatacji SZW oparty na zarządzaniu ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody od ujęcia do kranu u konsumenta. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO – World Health Organization) opracowała wytyczne metodyczne do budowy dedykowanego systemu zarządzaniem ryzykiem dostaw wody, tzw. Planu Bezpieczeństwa Wody (PBW, ang. WSP – Water Safety Plan) [176]. Na poziomie UE, powyższe działania mają również na celu zobowiązać członków UE do przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym, ponieważ ma to zobowiązywać państwa członkowskie do zasobooszczędnej gospodarki wodą pitną. Dostawcy wody, a w szczególności średnie i duże przedsiębiorstwa wodociągowe w Polsce w przeciągu ostatnich kilkadziesiąt lat dokonały znaczącego usprawnienia procesów dostawy wody, podnosząc jakość produktu końcowego, optymalizując kosztowo gospodarkę przedsiębiorstw, inwestując w automatyzację technologii produkcji wody i jej dystrybucji, jak również wdrażając zmiany organizacyjne w racjonalnym funkcjonowaniu SZW w zmieniających się uwarunkowaniach eksploatacyjnych. Działania te mają wzmocnić zaufanie konsumentów do jakości świadczonych usług odstaw wody, a przez to przełożyć się na wzrost konsumpcji wody z kranu. Kolejne istotne kierunki zmian w procesie dostaw wody będą kształtowane poprzez wpływ idei inteligentnych miast - wyzwania

wynikającego z rozwoju ICT (ang. Information and Communication Technologies), społeczeństw informacyjnych oraz idei zrównoważonego rozwoju [14]. Zapisy Dyrektywy 2020/2184 mają sprzyjać ograniczeniu zużycia energii i zapobiegać niepotrzebnym stratom wody. Większa przejrzystość sektora wpłynie również na poprawę pozycji konsumentów i da impuls do bardziej zrównoważonych wyborów, między innymi do racjonalnego korzystania z wody z kranu przy jednoczesnym ograniczeniu konsumpcji wody butelkowej, co przełoży się na ograniczenie obiegu i produkcji opakowań plastikowych. Według proponowanych zasad, państwa członkowskie są zobowiązane do poprawy dostępu do wody pitnej dla wszystkich obywateli, zwłaszcza dla słabszych i zmarginalizowanych grup społecznych, które obecnie mają do niej utrudniony dostęp. Inną istotną zmianą w prawodawstwie (art. 17 DWD) to obowiązek zapewnienia łatwego i przyjaznego dla użytkownika dostępu – w tym online – do informacji o jakości wody pitnej, o budowie systemu zaopatrzenia w wodę na danym obszarze zamieszkania i zapewnieniu integralności pomiędzy wszystkimi komponentami SZW, co pomoże zwiększyć zaufanie konsumenta do wody z kranu [45].

Nadrzędnym celem wprowadzonych zapisów obejmujących zarządzanie ryzykiem dostaw wody jest zapewnienie bezpiecznych dostaw zdrowej i czystej wody do konsumentów [28]. Wprowadzanie zarządzania ryzykiem w procesie zaopatrzenia w wodę w całym łańcuchu jej dostaw został podzielony w Dyrektywie 2020/2184 na trzy etapy wraz ze wskazaniem daty ich wdrożenia. Pierwszy etap obejmuje wykonanie oceny ryzyka i wdrożenie zarządzania ryzykiem w obszarach zasilania dla punktów poboru wody, którą należy przeprowadzić po raz pierwszy do dnia 12 lipca 2027 r. Ta ocena ryzyka i zarządzanie ryzykiem podlega przeglądom w regularnych odstępach czasu nie dłuższych niż sześć lat, z uwzględnieniem wymogów przewidzianych w art. 7 RDW [27]. W razie konieczności, w szczególności po zaistnieniu zdarzenia niebezpiecznego, oceny te wraz z procedurami zarządzania ryzykiem winny być aktualizowane. Drugi etap oceny i wdrażania systemów zarządzania ryzykiem w dostawach wody do konsumentów dotyczy systemu zaopatrzenia w wodę, natomiast ostatni trzeci etap obejmuje jedynie wykonanie oceny ryzyka w wewnętrznych systemach wodociągowych (WSW). Ocenę ryzyka w SZW i WSW należy przeprowadzić po raz pierwszy do dnia 12 stycznia 2029 r. Oceny te podlegają przeglądom w regularnych odstępach czasu nie dłuższych niż sześć lat i w razie konieczności są aktualizowane na bieżąco. Podobnie jak w obszarach zasilania dla punktów poboru wody przeznaczonej do

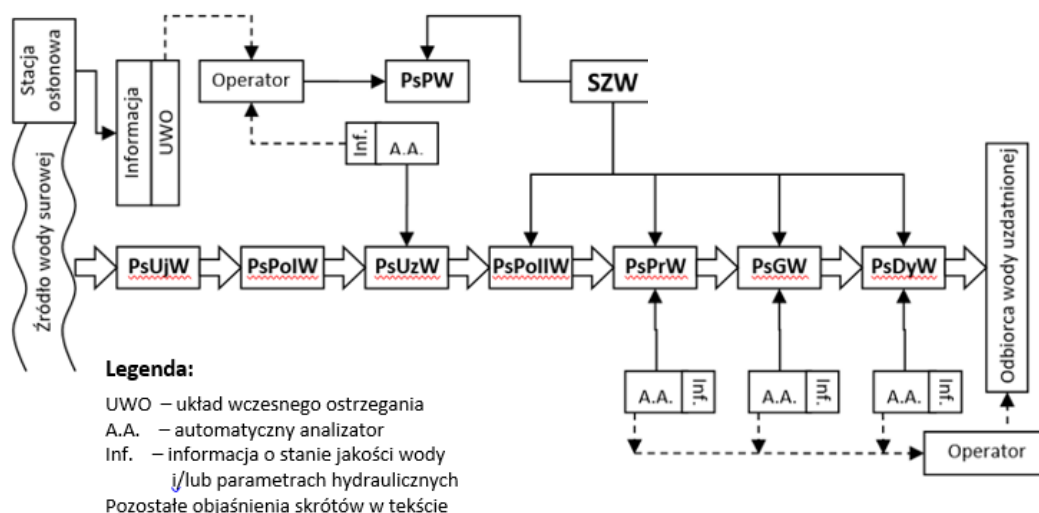
spożycia przez ludzi, również w SZW standardem eksploatacyjnym staną się procedury zarządzania ryzykiem uwzględniające integralność poszczególnych elementów infrastruktury wodociągowej. Procedury zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody, zgodnie z założeniami Dyrektywy 2020/2184, mają umożliwić podmiotom dostarczającym wodę konsumentom na wprowadzenia elastycznych zasad monitorowania jakości wody, dostosowanych do rzeczywistej dynamiki zmian jakości wody w SZW. Takie podejście umożliwia zwiększenie efektywności wykonywanych badań jakości wody między innymi poprzez alokację środków finansowych na monitorowanie wody w obszarach o dużej zmienności jej stabilności chemicznej i mikrobiologicznej, przy jednoczesnym ograniczeniu zakresu i częstotliwości badań dla parametrów, których poziom stężeń nie stwarzają nawet potencjalnego zagrożenia dla zdrowia publicznego, czy zaburzenia integralności SZW. Ponadto, taka strategia pozwala także na przekierowanie zaoszczędzonych środków finansowych na ściśle zdefiniowane potrzeby, dostosowując je do indywidualnej specyfikacji eksploatowanego SZW, a tym samym w największym stopniu redukującym poziom ryzyka.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Budowa i eksploatacja systemu zaopatrzenia w wodę (SZW)

2.1.1. Budowa SZW i zasada integralności jego komponentów

Zgodnie z ustawą o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków przedsiębiorstwo wodociągowe ma obowiązek zapewnić zdolność posiadanych urządzeń wodociągowych do realizacji dostaw wody w wymaganej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem oraz dostaw wody w sposób ciągły i niezawodny, a także zapewnić należyłą jakość dostarczanej wody [169]. Powyższe zadania są wykonywane przez te podmioty z wykorzystaniem zespołu integralnie powiązanych urządzeń budujących SZW, służących do zaopatrzenia każdego odbiorcy w bezpieczną wodę spełniającą wskazane wyżej kryteria.

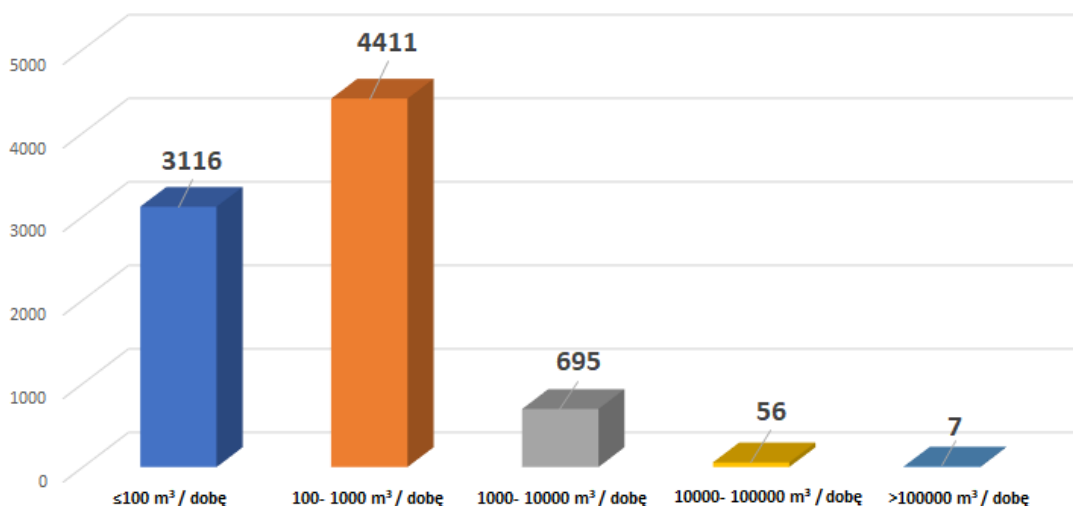


Rys. 2.1. Struktura integralności komponentów systemu zaopatrzenia w wodę[198]

W obecnych uwarunkowaniach funkcjonowania SZW wysoki poziom świadczonych usług dostaw do konsumenta czystej i zdrowej wody wymusza konieczność wprowadzania różnego rodzaju zabezpieczeń. Rolą tych zabezpieczeń jest ostrzeżenie operatora SZW przed niepożądanymi zdarzeniami zmiany jakości i ilości wody zarówno w ujęciu, jak i w newralgicznych punktach eksploatacji podsystemu produkcji wody (PsPW) oraz podsystemu dystrybucji wody (PsDyW). Zatem systemy kontroli, w tym monitoringu on-line, mają zapewnić pełną identyfikację powstałych zagrożeń w dynamicznie zmieniającym się środowisku eksploatacji infrastruktury wodociągowej

W takim ujęciu, systemowa interpretacja budowy SZW obejmuje szczegółowy jego podział z uwzględnieniem monitoringu jakości wody w źródle oraz w sieci wodociągowej. W tak złożonej strukturze SZW integralnymi elementami w PsPW są takie podsystemy jak: ujmowania (PsUjW), pompowania wody pierwszego stopnia (PsPoIW), uzdatniania (PsUzW), pompowania wody drugiego stopnia (PsPoIIW), które mogą również funkcjonować pod pojęciem podsystemu dostaw wody (PsDW). Natomiast w układzie sieci wodociągowej wyróżnia się kolejno podsystemy przesyłu (PsPrW), gromadzenia (PsGrW) i dystrybucji wody (PsDyW), który realizuje dostawy wody do przyłącza wodociągowego (rys. 2.1) [198]. Ostatnim elementem technicznym w łańcuchu dostaw wody jest wewnętrzna instalacja wodociągowa, stanowiąca wraz z przyłączem wewnętrzny system wodociągowy (WSW) który jest we właściwości właściciela lub administratora nieruchomości [18, 24, 53, 136].

Pomimo rozbudowanej struktury SZW i złożoności procesu dostaw wody, zbiorowe zaopatrzenie w wodę zgodnie z art. 7.1 pkt. 3 ustawy o Samorządzie gminnym (Dz.U. 990 nr 16, poz. 95 z późn zm.) jest zadaniem własnym gminy [171]. W Raporcie Głównego Inspektora Sanitarnego za 2022 r. [123] podano, iż w Polsce w ramach zbiorowego zaopatrzenia w wodę 8 285 wodociągów dostarczało wodę, w imieniu 2 477 gmin oraz 66 miast na prawach powiatu, z czego tylko 7 (4,8%) stanowi SZW o dobowej wydajności przekraczającej 100 000 m³ (rys. 2.2), podczas gdy 3 115 SZW (38%) stanowią wodociągi o produkcji dobowej poniżej 100 m³. Największy udział w strukturze dostawców wody w Polsce mają podmioty eksploatujące wodociągi o dobowej produkcji wody w zakresie od 101 do 1 000 m³, które łącznie stanowią ponad 53% wodociągów eksploatowanych w 2022 roku. Podsumowując można stwierdzić, iż w Polsce dominują przedsiębiorstwa wodociągowe eksploatujące małe SZW, charakteryzujące się dobową produkcją wody poniżej 1 000 m³ wody (ponad 91% wszystkich SZW), które zaopatrują ok. 12 mln ludności, co stanowi 32% całkowitej ludności w Polsce. Natomiast duże SZW, z zaledwie 9% udziałem w krajowej strukturze systemów wodociągowych, dostarczają wodę do ponad 24 mln ludności (68% ludności Polski).



Rys. 2.2. Struktura wodociągów w 2022 r. [93]

W Polsce funkcjonują dostawcy wody eksploatujący wszystkie podsystemy SZW od ujęcia do wodomierza głównego u odbiorcy, do których zaliczyć można duże dostawców wody dostarczające konsumentom w ciągu doby powyżej 100 000 m³ wody takie jak: AQUANET S.A w Poznaniu, Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w m.st. Warszawie S.A, Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji S.A. we Wrocławiu, czy Wodociągi Miasta Krakowa S.A. Równoległe, obok dużych dostawców wody prowadzą działalność także przedsiębiorstwa wodociągowe, które eksploatują wyłącznie podsystem dystrybucji wody, m. in. AQUA SPRINT w Siemianowicach Śląskich, Chorzowsko – Świętochłowice Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, czy Katowickie Wodociągi S.A. Dla tych przedsiębiorstw dostawcą wody jest Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. (GPW), które eksploatuje z kolei jedynie podsystemy ujmowania, uzdatniania oraz gromadzenia i przesyłu wody rozległą siecią rurociągów magistralnymi dostarczających wodę wyłącznie do podmiotów realizujących zbiorowe zaopatrzenia w wodę w aglomeracji śląskiej. Spółka ta nie jest przedsiębiorstwem wodociągowym [54] w myśl interpretacji ustawy o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków [169]. W Polsce obecnie, brak jest w krajowej legislacji definicji podmiotu hurtowego dostawcy wody. Definicję dostawcy wody wprowadza dopiero Dyrektywa 2020/2184 [28]. Skutkiem braku spójności aktów prawnych, jak i nieprecyzyjności zapisów i luk w legislacji krajowej, wyłania się problem braku określenia przez gminy w aglomeracji

śląskiej potrzeb inwestycyjnych dla GPW S.A., i to nawet w zakresie konieczności poprawy jakości wody w środowisku naturalnym, która zasila punkty poboru dla stacji uzdatniania wody zarządzanych przez Spółkę.

Na potrzeby zaopatrzenia w wodę, wykorzystywane są zarówno wody powierzchniowe jak i podziemne. Projektując podsystem ujmowania wody, zasadniczą kwestią jest wystarczająca wydajność zasobów dyspozycyjnych oraz możliwość korzystania z nich w sposób ciągły. Zgodnie z zasadami zrównoważonej gospodarki wodą, istotne jest korzystanie w pierwszej kolejności z zasobów odnawialnych [136]. Postęp techniczno-technologiczny, rozwój technik informacyjnych IT (Information Technology) jak i narzędzi do modelowania zasobów wodnych, dostępność w czasie rzeczywistym do danych hydro-klimatycznych, wdrażanie narzędzi predykcji opartych na sztucznej inteligencji, oraz doskonalenie struktur interfejsów przyjaznych dla użytkownika (modele graficzne), doprowadziły do znacznej dynamiki rozwoju i aplikacji systemów wspomagania podejmowanie decyzji (ang. Decision Support System, DSS) w zarządzaniu gospodarką wodną, w tym pracujących w czasie rzeczywistym [174]. Jednym z takich narzędzi jest opracowany przez Environmental Protection Agency (EPA) model SWAT (Soil and Water Assessment Tool), który jest wykorzystywany do symulacji przemieszczania się wody w zlewni oraz do sporządzania bilansu wodnego, oceny stopnia erozji i zanieczyszczenia wody, np. metalami ciężkimi czy fosforanami [20, 168]. Ponadto istnieje wiele dostępnych aplikacji narzędzi informatycznych stosowanych w inżynierii wodnej i w zarządzaniu zasobami wodnymi, które wspomagają podejmowania decyzji w krótkim i długim horyzoncie czasowy:

- WEAP (Water Evaluation and Planning System): to narzędzie modelowania opracowane przez firmę Stockholm Environment Institute (SEI), wykorzystywane do analiz dostępności i zarządza zasobami wodnymi dla różnych scenariuszy zmian klimatycznych, jak i zróżnicowanego sposobu wykorzystanie zasobów wód naturalnych w różnych kontekstach, takich jak zrównoważone planowanie gospodarki wodnej, zarządzanie ryzykiem powodziowym, planowanie zapotrzebowania na wodę w SZW, w rolnictwie, przemyśle i innych sektorach gospodarki. WEAP umożliwia modelowanie procesów hydrologicznych, takich jak obiegi wodne, infiltracja, odpływ powierzchniowy i podziemny, ewapotranspiracja itp. Wspomaga proces planowania i zarządzania zasobami wodnymi poprzez sporządzanie strategii i scenariuszy zarządzania, ocenę efektywności różnych działań wspartą oceną ryzyka. WEAP jest wykorzystywany przez organizacje zajmujące się

- zarządzaniem zasobami wodnymi na całym świecie, w tym przez rządy, agencje środowiskowe, organizacje pozarządowe oraz konsultantów w dziedzinie gospodarki wodnej i dziedzinie środowiska [56];
- MIKE SHE (MIKE Surface Water - Groundwater Hydrodynamic Model): jest to oprogramowanie opracowane przez firmę DHI Group z Danii, służące do modelowania hydrodynamiki zasobów wód powierzchniowych i podziemnych. Program umożliwia integrację danych hydrologicznych, klimatycznych i topograficznych oraz przeprowadzanie symulacji dotyczących strumieni wodnych, infiltracji, spływu powierzchniowego i interakcji między wodami powierzchniowymi a podziemnymi [51];
 - Delft-FEWS (Flood Early Warning System): został opracowany przez Deltares, niezależny instytut badawczy z siedzibą w Delft w Holandii jako narzędzie służące do wczesnego ostrzegania przed powodzią. Jest to kompleksowe narzędzie informatyczne służące do monitorowania, prognozowania i zarządzania losowymi zdarzeniami związanymi z zasobami wód naturalnych, takimi jak powódź, susza, a także inne zjawiska hydrologiczne. Oprogramowanie integruje dane z różnych źródeł, takich jak obserwacje terenowe, prognozy meteorologiczne, wyniki modeli hydrologicznych oraz dane dotyczące infrastruktury wodnej. Na podstawie tych danych system generuje prognozy i ostrzeżenia, które są przekazywane do decydentów i operatorów systemów zarządzania gospodarką wodną, w celu podjęcia odpowiednich działań zapobiegawczych. Takie skonsolidowane działania poparte predykcjami, pozwalają na skuteczne zarządzanie ryzykiem związanym ze zdarzeniami hydrologicznymi, co przekłada się na minimalizowanie potencjalnych szkód spowodowanych przez powódź i inne ekstremalne zjawiska wodne. Delft-FEWS jest szeroko stosowany na całym świecie w ramach systemów zarządzania zasobami wodnymi, zarówno na poziomie lokalnym, jak i regionalnym [43,162];
 - HydroDesktop: jest pakietem softwarowym otwartego oprogramowania do zarządzania danymi hydrologicznymi, rozwijanym przez konsorcjum CUAHSI (Consortium of Universities for the Advancement of Hydrologic Science, Inc.), zrzeszające uniwersytety i instytucje badawcze z USA. Narzędzie to umożliwia integrację, analizę i wizualizację danych z różnych źródeł [23];
 - Aquator natomiast to narzędzie opracowane w Polsce przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB). Jest to system

informatyczny przeznaczony do monitorowania, analizy i prognozowania zasobów wodnych oraz zjawisk meteorologicznych. Aquator umożliwia monitorowanie stanu zasobów wodnych, w tym poziomów wód gruntowych, przepływów rzecznych, poziomów jezior i zbiorników wodnych, jak również prognozowanie opadów. Narzędzie to wykorzystywane jest jako DSS w zarządzaniu wodą powierzchniową i podziemną oraz w ocenie wpływu zmian klimatycznych na dostępność wody.

Świadomość wpływu jakości ujmowanej ze środowiska wody na zapewnienie bezpieczeństwa zdrowotnego konsumenta, przyczyniła się do podjęcia w ramach projektu ERA-EnvHealth (FP7-ENV-2007-CSA-1.2.3-01) prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem programu ARTEM-WQ (AwaReness Tool for the Evaluation and Mitigation of drinking Water Quality). Prace te finansowane były przez Francuską Narodową Agencję Bezpieczeństwa Sanitarnego (ANSES), brytyjską Radę ds. Badań nad Środowiskiem Naturalnym (NERC) i VROM w Holandii (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerstwo Mieszkalnictwa, Planowania Przestrzennego i Ochrony Środowiska). ARTEM-WQ jest narzędziem do wspomagania decyzji w zakresie realizacji celów DWD, dedykowanym głównie do zarządców zlewni rzecznych oraz do menadżerów i operatorów małych i średnich SZW, jak również władz sanitarnych odpowiedzialnych za monitorowanie jakości wody. Umożliwia ono holistyczne podejście do oceny bezpieczeństwa zdrowotnego wody w różnych obszarach SZW. Uzyskane rezultaty symulacji pozwalają szerokiej grupie interesariuszy na identyfikowanie zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych oraz na ocenę ryzyka w całym łańcuchu dostaw wody, wynikającego z kompleksowego zakresu presji (rolniczych, przemysłowych, klimatycznych itp.) determinujących spodziewane zmiany ilościowe jak i jakościowe zasobów wodnych. Takie kompleksowe podejście do symulacji z wykorzystaniem programu ARTEM-WQ pozwala na określanie kierunku zmian uwarunkowań zewnętrznych i wewnętrznych eksploatacji SZW w sposób spójny, jak również na opracowanie racjonalnych środków łagodzących w celu poprawy bezpieczeństwa wody pitnej dostarczanej konsumentom. Ostatecznie narzędzie pozwala na ocenę efektywności eksploatacji SZW w kontekście spodziewanych zmian w środowisku wodnym z uwzględnieniem ryzyka zdrowia publicznego [23].

Skład wód podziemnych zależy od rodzaju i budowy warstw, z którymi woda ma kontakt. Na skład chemiczny wody ma również wpływ zwietrzenie i uziarnienie skał, prędkość przepływu wody podziemnej, a także stopień kontaktu z wodami powierzchniowymi, czy opadowymi. Wody podziemne charakteryzują się raczej stabilnym składem fizyko-

chemicznym, który kształtują procesy hydrogeochemiczne. Jakkolwiek na ten skład mają również wpływ procesy fizyczne i bio-chemiczne. Do procesów tych należą: utlenianie, redukcja, rozpuszczanie, strącanie, hydratacja, hydroliza, wietrzenie, sorpcja, desorpcja, migracja [65]. W większości przypadków uzdatniania wód podziemnych polega na ich odgazowaniu – usunięciu siarkowodoru i dwutlenku węgla oraz napowietrzeniu wody celem utlenienia żelaza i manganu do form nierozpuszczalnych, które w tej formie są usuwane w procesie filtracji [65, 136]. W odróżnieniu od wód podziemnych wody powierzchniowe są silniej ekspozowane na presję antropogeniczną. Zatem na skład jakości wody, poza warunkami hydrogeologicznymi, geologicznymi źródeł wody, mają znaczący wpływ zanieczyszczenie obcego pochodzenia będąc skutkiem sposobu zagospodarowania zlewnie (działalność rolnicza, rekreacyjno-wypoczynkowa, przemysłowa). Wobec powyższego, wody powierzchniowe znajdujące się pod bezpośrednim narażeniem na skutki działalności człowieka oraz na zmienne warunki atmosferyczne (susze, intensywne opady deszczu czy śniegu, spływy powierzchniowe), charakteryzują się dużą zmiennością składu fizyko-chemicznego i większą różnorodnością substancji w nich występujących niż wody podziemne [65]. Wody powierzchniowe, ze względu na znaczne ich zanieczyszczenie wymagają najczęściej w procesie ich uzdatniania zastosowania: wstępnego utleniania (ozonowania), koagulacji wspomaganą polielektrolitami, filtracji na filtrach np. antracytowo piaskowych, sorpcji na złożach węgla aktywnego oraz dezynfekcji.

Na etapie decyzji o budowie lub prowadzeniu eksploatacji stacji uzdatniania wody (SUW), należy rozważyć charakter zasilania punktu poboru wody ze środowiska oraz pozyskać informacje w celu identyfikacji presji antropogenicznej i losowych zdarzeń niebezpiecznych, które mogą wystąpić w środowisku wraz z określeniem sposobu ich oddziaływania (pośrednie lub bezpośrednie) na jakość i dostępność wody w punkcie jej ujmowania ze środowiska. W zakresie kompetencji dostawcy wody jest taki dobór metody uzdatniania oraz opracowanie procedur eksploatacji SZW, tak aby woda była dostarczana konsumentom w sposób ciągły, bez zakłóceń i by była wodą bezpieczną dla ich zdrowia, a jej jakość była zgodna z wymaganiami legislacyjnymi.

Procesy oczyszczania są prowadzone w podsystemie uzdatniania wody (PsUzW). Zadaniem SUW jest oczyszczanie wody do jakości bezpiecznej dla konsumenta i wartości parametrycznych stężeń określonej w przepisach (np. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Dz. U. 2017, poz. 2294; dalej RMZ) [98]. Ponadto stacje wodociągowe muszą zapewnić

właczanie do podsystemu jej dystrybucji (PsDyW) wody w odpowiedniej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem, w sposób zapewniający jej doprowadzenie do konsumenta. W zależności od warunków hydraulicznych panujących w SZW, można podzielić je na:

- systemy grawitacyjne, w których ujęcie wody znajduje się powyżej obszaru zasilania, na wysokości gwarantującej, że woda może być poddana procesom uzdatniania na SUW, a następnie grawitacyjnie odpłynąć do sieci przy zapewnieniu wymaganego ciśnienia roboczego w punktach poboru;
- systemy pompowe, gdy ujęcie wody znajduje się poniżej obszaru zasilania, w konsekwencji należy wodę podnieść za pomocą pomp (PsPoIW i PsPoIIW) na odpowiednią wysokość tak, aby po doprowadzeniu do jednostki osadniczej zapewnione było w sieci wodociągowej odpowiednie ciśnienie, pozwalające na bezpieczne korzystanie z urządzeń sanitarnych.

Woda ujmowana ze środowiska najczęściej poddawana jest procesom oczyszczania w SUW. Procesy uzdatniania wody można podzielić na 3 rodzaje: fizyczne, chemiczne biologiczne. Przykładami procesów jednostkowych są: napowietrzanie, koagulacja, sedymentacja, flotacja, filtracja, wymiana jonowa, chemiczna strącanie, korekta odczynu, sorpcja (węgiel aktywny), utlenianie chemiczne (wstępne i pośrednie), procesy membranowe, procesy biologiczne oraz dezynfekcja. Na SUW, szczególnie zasilane wodami powierzchniowymi stosowane są sekwencje tych procesów, które gwarantują wysoką efektywność oczyszczalnia wody. Prawidłowo zaprojektowana SUW oraz racjonalnie prowadzona jej eksploatacja umożliwia produkcję stabilnej mikrobiologicznie i chemicznie wody, która po wtłoczenie do sieci minimalizuje ryzyko wystąpienia wtórnego zanieczyszczenia wody w podsystemie dystrybucji oraz minimalizuje proces generowania ubocznych produktów dezynfekcji, szczególnie w rozległych podsystemach dystrybucji.

Podsystem dystrybucji wody jest zbudowany z infrastruktury liniowej (sieć wodociągowa) wyposażonej w armaturę regulacyjno-odcinającą (zasuwy, zawory, reduktory ciśnień) oraz obiektów technicznych tj. zbiorniki zapasowo-wyrównawcze, pompownie czy dodatkowe studnie wraz z punktami dochlorowywnia na sieci. Kategorie sieci wodociągowych zdefiniowane zostały w normie [94] w zależności od pełnionej funkcji na trzy rodzaje przewodów wodociągowych [2, 18, 24]:

- magistralny – przewód wodociągowy o znacznych średnicach, najczęściej o średnicy powyżej $\varnothing 300$ mm, służący jako główny rurociąg dystrybucyjny na

obszarze zaopatrzenia w wodę, zwykle bez bezpośredniego przyłączenia odbiorców,

- rozdzielczy – przewód wodociągowy z reguły o średnicy od $\varnothing 300$ do $\varnothing 100$ mm, który łączy magistralę z przyłączami,
- przyłączy – przewód wodociągowy zwykle o średnicy poniżej $\varnothing 100$ mm, którym dostarczana jest woda z przewodu rozdzielczego do odbiorcy.

Podsystem dystrybucji wody w zależności od rozległości i różnic wysokościowych zaopatrywanego obszaru można podzielić na:

- jednostrefowy – obszar zasilania stanowi jedną strefę wymaganego ciśnienia,
- dwustrefowy – w obszarze dostaw wody odpowiednio wydzielono dwie różne strefy ciśnienia,
- wielostrefowy – eksploatacja sieci wodociągowej w strefie zasilania o znacznym zróżnicowaniu wysokościowym realizowana jest w kilku wydzielonych strefach pomiarowych tzw. DMAs (District Metered Areas), wydzielenie których pozwala na optymalne zarządzanie parametrami hydraulicznymi pracy sieci wodociągowej w efekcie podziału PsDyW na podstrefy w zależności od ukształtowania terenu (pompownie pośrednie). Ponadto wydzielenie stref DMA pozwala na skuteczne zarządzanie stratami wody, zgodnie z celem nowej DWD.

W układach dwu i wielostrefowych konieczne jest stosowanie układów pompowych i lub zbiorników retencyjnych [18]. Rozróżnia się dwa typowe układy sieci rurociągów doprowadzających wodę do odbiorców:

- układ rozgałęziony (promienisty), w którym przewody tworzą gałęzie niełączące się w obwody, doprowadzając wodę do odbiorców z jednego kierunku;
- układ pierścieniowy, w którym przewody tworzą obwody zamknięte, doprowadzając wodę do odbiorców z różnych kierunków zasilania [18,24].

Dostarczenie bezpiecznej, zgodnie z wymaganiami prawnymi wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi jest gwarantowane integralnością i niezawodną pracą wszystkich podsystemów. Błędnie dobrane jednostkowe procesy uzdatniania zarówno w odniesieniu do jakości i dynamiki zmienności ujmowanej wody, skutkują brakiem zapewnienia jej stabilności mikrobiologicznej oraz chemicznej w odniesieniu do budowy PsDyW, zwiększa potencjalne zagrożenie wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej. W konsekwencji dostarczana do odbiorców woda nie spełnia wartości parametrycznych określonych zarówno dla parametrów chemicznych i wskaźnikowych

(RMZ Załącznik 1, część B i C), jak i mikrobiologicznych (RMZ Załącznik 1, część A), a w skrajnych przypadkach może stanowić zagrożenia dla zdrowia i życia konsumenta.

2.1.2. Wtórne zanieczyszczenie wody w Podsystemie Dystrybucji Wody

W Dyrektywie 2020/2184 [28] położono szczególny nacisk na bezpieczeństwo konsumenta, czyli końcowego odbiorcę usług dostaw wody. W ramach oceny funkcjonowania podsystemu dystrybucji wody w procedurach zarządzania SZW należy uwzględnić odporność systemu na występowanie zdarzeń niepożądanych, generujących zagrożenia dla zdrowia publicznego [96, 185, 191]. W przypadku awarii infrastruktury sieci wodociągowej, w efekcie której nie może być realizowana podstawowa funkcja PsDyW tj. zaopatrzenie w wodę, występuje jedno z krytycznych ryzyk jakim jest brak lub ograniczenie dostaw wody. Drugim zdarzeniem niepożądanym, które stanowi wyzwanie dla eksploatatorów PsDyW jest wtórne zanieczyszczenie wody. Jedną z przyczyn pojawiania się tego losowego zdarzenia jest problem występujący w wielu systemach wodociągowych, tj. znaczne przewymiarowanie przewodów. Skutkiem tego stanu jest spadek prędkości przepływu wody, a w konsekwencji występujące niekorzystne warunki przepływu, wydłużające czas transportu wody do konsument. W następstwie przewymiarowania sieci wodociągowej, przewody te stają się swoistymi reaktorami, w których zachodzi zarówno procesy sedymentacji transportowanej zawiesiny jak i powstawania biofilmu, oraz proces generowania ubocznych produktów dezynfekcji wody. Powyższe okoliczności są niejednokrotnie przyczyną pogorszenia jakości wody w sieci wodociągowej. Niekorzystne warunki hydrauliczne panujące w PsDyW, współdecydują o negatywnych zmianach składu fizyczno-chemicznego i bakteriologicznego wody. W zależności od rodzaju zanieczyszczenia wyróżnia się dwa typy wtórnego zanieczyszczenia wody. Pierwszą kategorią są zanieczyszczenia związkami chemicznymi. Najczęściej są to produkty korozji żeliwa i stali, powodujące wzrost zawartości żelaza ogólnego, podwyższenie mętności i zmianę barwy. Ponadto do grupy wtórnych, chemicznych zanieczyszczeń wody zaliczane są uboczne produkty dezynfekcji jak trihalometany (THM), w głównej mierze chloroform, czy chloryny i chlorany. Drugą kategorią są zanieczyszczenia mikrobiologiczne [8, 34, 142, 144, 173, 180].

Głównymi czynnikami wpływającymi na wystąpienie wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej są:

- brak stabilności mikrobiologicznej i chemicznej transportowanej wody,
- występowanie procesów biochemicznych w sieci w skutek tworzenia się biofilmu,
- obecność dużych dawek dezynfektanta w wodzie w sieci wodociągowej,
- rodzaj materiału, z którego wykonane są przewody, a w szczególności ich podatności na korozję,
- gwałtowne zmiany prędkości przepływu wody powodujące zrywanie zdeponowanych osadów,
- niskie prędkości przepływu wody, w tym stagnacja,
- wzrost temperatury wody,
- gwałtowne zmiany ciśnienia powodujące uderzenia hydrauliczne,
- zły stan techniczny i sanitarny przewodów, w tym nieszczelność rurociągów.

Za potencjalne przyczyny wtórnego zanieczyszczenia wody można przyjąć także nieprawidłowo wykonane remonty i wymiany rurociągów oraz armatury, stanowiące zdarzenia stwarzające potencjalne możliwość przedostania się do wody wodociągowej zanieczyszczeń ze środowiska zewnętrznego. Ponadto bezpośrednie podłączenie urządzeń domowych i przemysłowych do sieci, bez stosowania zaworów zapobiegających przepływowi zwrotnemu (zawory antyskażeniowe), to również istotna droga przedostawania się do sieci wodociągowej różnego rodzaju zanieczyszczenia, które stanowią potencjalne zagrożenia chorobotwórcze [3, 17, 18, 21, 61, 75, 76, 159, 160]. Z tego też względu w Polsce w 1992 r. wprowadzono normę PN-92/B-01706 [90], która dla zabezpieczenia sieci przed przepływem zwrotnym określała i zalecała zasady projektowania instalacji wodociągowych z zastosowaniem zaworów antyskażeniowych. Wówczas jednak nie wprowadzono obowiązku stosowania tych zaworów dla nowobudowanych obiektów. Aktualne przepisy prawa budowlanego [170] wprowadziły obowiązek wyposażenia nowych budynków w instalację wodociągową, która ma zawory antyskażeniowe, zgodnie z normą PN-EN 1717:2003 [93]. Fakt ten stanowi istotną barierę ochronną przed potencjalnym zewnętrznym zanieczyszczeniem transportowanej wody.

Brak stabilności chemicznej wody przekłada się z jednej strony na jej cechę korozyjności, z drugiej zaś na skłonność do wytrącania osadów na ścianach rurociągów, czy zbiorników magazynujących wodę. O korozyjności wody decydują odczyn, twardość wody oraz agresywny dwutlenek węgla, jak również zawartość chlorków, siarczanów i zasadowość wody. Skutkiem agresywności korozyjnej wody jest korozja elektrochemiczna metalowych elementów, niszczenie powłok antykorozyjnych, czy korozja chemiczna

materiałów zawierających cement. Powstające w wyniku korozji produkty mogą się gromadzić na ścianach przewodów, być wbudowywane w biofilm, czy stanowić źródło substratów pokarmowych [101, 141, 144]. Z tych powodów eksploataccy systemów wodociągowych badają potencjał korozyjny wody z wykorzystaniem indeksu nasycenia Langelier'a, indeksu Ryznera, czy indeksu Larson-Skold'a oraz wskaźnika intensywności agresywności kwaso-węglanowej wody.

W PsDyW ponad 95% mikroorganizmów występuje na wewnętrznych powierzchniach przewodów wodociągowych w postaci biofilmu. Biofilm to zespół mikroorganizmów powiązanych zależnościami troficznymi od bakterii autotroficznych, heterotroficznych oraz grzybów do równolegle rozwijających się ich konsumentów. Biofilm charakteryzuje różnorodność strukturalna, genetyczna, złożoność interakcji oraz obecność zewnątrzkomórkowych substancji, które chronią mikroorganizmy przed działaniem dezynfektanta [10, 17, 21, 61, 63, 79]. Woda stabilna biologicznie jest taką wodą, która nie zawiera mikroorganizmów oraz nie podtrzymuje ich rozwoju w sieci wodociągowej. Zagrożenie epidemiczne spowodowane obecnością błony biologicznej w sieci wodociągowej jest związane zarówno z jakością i rodzajem wód ujmowanych w punkcie poboru wody ze środowiska, jak i efektywnością technologiczną procesów uzdatniania, w szczególności skutecznością dezynfekcji. Nieliczne mikroorganizmy wprowadzone do rurociągów mogą być zatrzymywane przez utworzony biofilm, który może stać się potencjalnym źródłem wtórnego mikrobiologicznego zanieczyszczenia wody [10, 63, 79, 101, 141, 162, 163, 164, 179]. Do rozwoju mikroorganizmów konieczne są nieorganiczne związki azotu, fosforu oraz dodatkowo żelaza (II), manganu (II), siarki (II). Ponadto obecność frakcji ogólnego węgla organicznego, tj. biodegradowalnego węgla organicznego (BRWO) wraz z niskimi prędkościami przepływu stwarzają dogodne warunki do rozwoju mikroorganizmów heterotroficznych [101, 144, 163]. Rozwój biofilmu jest jedną z przyczyn pogorszenia parametrów akceptowalności wody, takich jak zapach i smak, co jest skutkiem procesów biochemicznych, np. generowanie siarkowodoru przez bakterie redukujące siarczyny w środowisku beztlenowym. Ograniczenie powstawania biofilmu może zapewnić obecność odpowiedniego stężenia dezynfektanta. Jednak jego zużycie w takich warunkach jest zdecydowanie większe, niż w przypadku braku osadów, czy biofilmu. Dezynfektant w pierwszej kolejności zużywany jest w procesach utlenienia, a następnie w dezaktywacji mikroorganizmów w zbiornikach końcowych SUW, a jego pozostałość stanowi czynnik zapobiegający rozwojowi mikroorganizmów w sieci wodociągowej [17, 21, 61, 65, 101].

Zapewnienie prawidłowej eksploatacji i efektywnego uzdatniania wody w PsPW jest pierwszym, a zarazem kluczowym etapem minimalizacji ryzyka wystąpienia wtórnego zanieczyszczenia wody w PsDyW.

2.1.3. Awaryjność sieci wodociągowej i jej wpływ na jakość i stan wody

Zadanie dostawy wody w odpowiedniej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem oraz odpowiedniej jakości do konsumenta jest bezpośrednio realizowane siecią wodociągową, stanowiącą powiązania współpracujących ze sobą przewodów magistralnych, rozdzielczych i przyłączy wodociągowych. Rozwój PsDyW umożliwił rozwój jednostek osadniczych w znacznej odległości od stacji uzdatniania wody. W XIV w Gdańsku funkcjonowały pierwsze drewniane rurociągi, które doprowadzały wodę do osady z wybudowanych wcześniej studni [78]. Dziś nie jest możliwe normalne funkcjonowanie społeczeństwa, czy rozwój jednostek osadniczych bez zapewnienia szybkiego i stałego dostępu do bezpiecznej wody. Dla obecnie funkcjonujących sieci wodociągowej w celu przedłużenia niezawodnej jej pracy należy prowadzić eksploatację z zastosowaniem wiedzy, m.in. w zakresie pracy hydraulicznej SZW, wpływu jakości wody na stan techniczny przewodów, czy wpływu czynników zewnętrznych na awaryjność systemu. Eksploatacja każdego z wymienionych elementów systemu wodociągowego wymaga indywidualnego podejścia uwzględniającego pełnioną funkcję [39, 68].

Awaryjność sieci wodociągowej jest złożonym zagadnieniem, które obejmuje różne aspekty, takie jak warunki techniczne, odnawialność sieci i jakość wody. Sieci wodociągowe muszą spełniać określone wymagania techniczne, które zapewniają niezawodność dostawy wody i związaną z nią elastyczność funkcjonowania PsDyW. Wymagania te obejmują odpowiedni wybór układu sieci przewodów, właściwy dobór materiału, rur i ich połączeń, odpowiednie zwymiarowanie przewodów na etapie projektowania uwzględniające strategię rozwoju jednostki osadniczej, odpowiedni dobór uzbrojenia sieci. Podłożem warunkującym niezawodność eksploatacji PsDyW jest również zapewnienie dobrej jakości wykonania prac budowlanych począwszy od zapewnienia stabilności posadowienia przewodów wodociągowych, aż do prawidłowo przeprowadzonej dezynfekcji przed włączeniem przewodów do funkcjonującej już sieci wodociągowej. Niewątpliwie istotnym czynnikiem determinującym zaopatrzenie konsumentów w bezpieczną wodę jest właściwa eksploatacja sieci wodociągowej obejmująca bieżące płukania przewodów (szczególnie końcówek, w których występuje

stagnacja wody wywołana nieznacznymi jej rozbiorami), przeglądy i konserwacje, bieżące remonty sieci, sterowanie pracą sieci w dynamicznie zmieniających się warunkach eksploatacji, wydzielenie stref DMA w celu optymalizacji parametrów hydraulicznych pracy, oraz skuteczne naprawy awaryjne z zachowaniem procedur usuwania uszkodzeń, minimalizujących czas przerw w dostawach wody [58, 181]. Odnawialność sieci wodociągowej jest kluczowym aspektem jej długotrwałego funkcjonowania. Wymaga to regularnej konserwacji i modernizacji sieci, które zapewniają jej niezawodność i efektywność pracy. Woda musi spełniać określone wymagania jakościowe zgodnie z legislacją krajową [98]. W pierwszej kolejności musi być bezpieczna dla konsumenta i jednocześnie nie może mieć właściwości agresywnych czy wręcz jej jakość w połączeniu z prędkościami przepływu nie powinna umożliwiać tworzenia biofilmu i osadów mineralnych, które stanowią jedno ze źródeł wtórnego zanieczyszczenia wody. Wszystkie te aspekty są ściśle powiązane i mają wpływ na awaryjność sieci wodociągowej. Dlatego też, zarządzanie siecią wodociągową wymaga kompleksowego podejścia, które uwzględni wszystkie wyżej wymienione czynniki [39, 68].

Awaryjność sieci wodociągowej jest nieodłącznym elementem jej eksploatacji. W kontekście eksploatacji SZW, awaryjność może mieć wpływ na różne aspekty jego funkcjonowania, takie jak ograniczenie lub brak dostępności wody, wahania jej jakości, dodatkowe, nieplanowane koszty związane z utrzymaniem i naprawą sieci, utrata wpływów finansowych z tytułu stosowania bonifikat za świadczenie usług niespełniających zapisów umowy, a także utrata zaufania konsumentów do dostawcy wody, czy władz lokalnych [5, 39, 68, 69, 78, 85, 99, 100, 140]. Ryzyko utraty integralności SZW spowodowane awarią sieci wodociągowej związane jest z możliwością wystąpienia zakłóceń w dostawie wody, zarówno w sensie ilościowym (przerwy w dostawie, obniżenie ciśnienia), jak i jakościowym (wtórne zanieczyszczenie wody). Duża awaryjność sieci wodociągowej niewątpliwie przekłada się na utratę w oczach konsumentów dobrego wizerunku dostawców wody, w efekcie rosnącego ryzyka braku dostaw wody lub pogorszenia jej jakości, co w skrajnym przypadku może wywołać liczne powikłania chorobowe, prowadzące do utraty zdrowia lub w skrajnych przypadkach i życia w wyniku spożycia wody o nieodpowiedniej jakości. Ryzyko, generowane przez awarie w PsDyW związane jest z nieprzewidywanymi kosztami finansowymi, jakie pociągają za sobą zdarzenia awaryjne [5, 39, 68, 69, 78, 85, 99, 100, 140].

Eksploatacja współczesnych SZW, w tym PsDyW oznacza kompleks czynności, które podejmowane są aby zapewnić niezawodne funkcjonowanie elementów infrastruktury wodociągowej, podlegający stałej ocenie pod względem efektywności technicznej i ekonomicznej. Ocena ta prowadzona jest na bieżąco, w sposób ciągły zarówno przez eksploatatorów systemów, jak i odbiorców usług wodociągowych. W związku z powyższym stałe doskonalenie metod oceny efektywności eksploatacji SZW w aspekcie techniczno-ekonomiczno-niezawodnościowym stanowi ciągle aktualne wyzwanie dla świata nauki. Budowa i warunki eksploatacji komponentów SZW z uwzględnieniem integralności jej podsystemów wpływają na wybór metody oceny stopnia realizacji powierzonych im zadań w procesie dostaw wody do konsumenta. Do powszechnie stosowanych metod oceny niezawodności eksploatacji SZW zalicza się [71, 99, 116, 178, 198]:

- metody analityczne,
- metody przeglądu stanów systemu - zupełnego (MPZ) i częściowego (MPCz),
- metody analizy strukturalnej: metoda funkcji algebry logiki (FAL), metoda minimalnych ścieżek sprawności (MSS), metoda minimalnych przekrojów niesprawności (MPN), metodę schematów blokowych, metody drzew logicznych w tym analiza drzewa błędu (FTA Fault Tree Analysis, zwana też analizą drzewa usterek, czy uszkodzeń) i analiza drzewa zdarzeń (ETA - Event Tree Analysis), oraz metodę dekompozycji,
- metody łańcuchów i procesów Markowa [156],
- metody analizy i modelowania statystycznego [64].

Literatura przedmiotu wskazuje, że w ocenie niezawodności obiektów technicznych, w tym wodociągowych, dla zmiennych ciągłych mają zastosowanie rozkłady: wykładniczy, normalny, Weibulla, logarytmo-normalny, gamma, jednostajny, podczas gdy dla zmiennej dyskretnej są to rozkłady: Bernoullego, Poissona i geometryczny. Liczne prace naukowe prezentujące rezultaty badań niezawodności obiektów wodociągowych potwierdzają zgodność rozkładów zmiennych opisujących czynniki warunkujące eksploatację SZW ze wskazanymi powyżej rozkładami zmiennych losowych [2, 13, 33, 57, 71, 89, 135, 198, 200, 201, 203, 202]. Działania obiektów wodociągowych wszystkich podsystemów SZW najczęściej opisywane są modelami losowymi eksploatacji z odnową niezerową, w których odnowa jest stochastycznym procesem Poissona [33, 71, 84, 87, 88, 187, 197, 198, 200, 201, 204]. Wobec tego, liczba

odnów O_t (liczba zgłoszeń) odnotowanych do chwili t w procesie Poissona ($O_t, t \geq 0$) definiowana jest zależnością [178, 197]:

$$O_t = \begin{cases} 0, & \text{dla } T_1 > t \\ \sup\{n: T_1 + T_2 + \dots + T_n \leq t\}, & \text{dla } T_1 < t \end{cases} \quad (2.1)$$

gdzie:

$(T_i)_{i=1,2,3,\dots,n}$ – jest ciągiem niezależnych zmiennych losowych stanowiących czas pracy (odnów) o rozkładzie wykładniczym ze stałym parametrem λ ($\lambda = \text{const}$),
 T_i – czas pomiędzy $(i-1)$ a i -tym uszkodzeniem (zdarzeniem, nazywanym zgłoszeniem)
 O_t – liczba odnów (zgłoszeń), które wystąpiły do chwili t .

Stochastyczny proces odnów, będący procesem Poissona o intensywności strumienia uszkodzeń $\lambda = \text{const}$ to strumień najprostszy charakteryzujący się [178, 198]:

- 1) *stacjonarnością*, która oznacza, że w dowolnym odcinku czasu Δt prawdopodobieństwo wystąpienia O_n uszkodzeń zależy jedynie od λ oraz od długości odcinka Δt , natomiast nie zależy od położenia odcinka Δt na osi czasu:

$$O_n = P(O_{\Delta t}) = \lambda t \quad (2.2),$$

- 2) *brakiem następstw* (brak pamięci), co oznacza że czas od momentu $t > 0$ do momentu zajścia kolejnego uszkodzenia $O_{\Delta t}(n+1)$ ma rozkład wykładniczy o parametrze λ , który jest niezależny od liczby uszkodzeń O_t w przedziale $(0, t)$, zatem uszkodzenia są zdarzeniami przypadkowymi, niezależnymi:

$$O_{t=0} = 0 \text{ oraz } (O_t, t > 0) \text{ ma przyrosty niezależne} \quad (2.3),$$

- 3) *zwyczajnością*, która oznacza, że prawdopodobieństwo zajścia przedziale czasu $(t, t+\Delta t)$ dokładnie jednego uszkodzenia jest równe:

$$P(O_{\Delta t} = 1) = \lambda \cdot \Delta t + o(\Delta t) \quad \text{dla } \Delta t \rightarrow 0 \quad (2.4),$$

natomiast prawdopodobieństwo zajścia przedziale czasu $(t, t+\Delta t)$ dwóch lub więcej uszkodzeń jest równe:

$$P(O_{\Delta t} \geq 2) = o(\Delta t) \quad (2.5),$$

gdzie $o(\Delta t)$ to symbol Landaua.

Zatem elementy SZW funkcjonują w cyklach „praca-odnowa” i są charakteryzowane miarami bezawaryjności, naprawialności, gotowości i wykorzystania technicznego (tabela 2.1).

Tabela 2.1. Podstawowe parametry niezawodności eksploatacji SZW [198]

Parametr	Postać funkcyjna	Postać ogólna estymatora
Prawdopodobieństwo pracy $R(t)$	$R(t) = \int_t^{\infty} f(u)du$ (2.6)	$R^*(t) = \frac{n(t)}{N}$ (2.8)
	$R(t) = \exp(-\omega \cdot t)$ ^(1.) (2.7)	
Średni czas pracy między uszkodzeniami T_p	$T_p = E(T_p') = \int_0^{\infty} t f(t)dt$ (2.9)	$T_p^* = \frac{1}{l+z} \left(\sum_{i=1}^l t_{pi} + z \cdot t \right)$ (2.10)
Parametr strumienia uszkodzeń $\omega(t)$	$\omega(t) = \frac{dE(N_u^i)}{dt}$ (2.11)	$\omega^*(t) = \frac{n_u(t, t + \Delta t)}{N \cdot \Delta t}$ (2.13)
	$\omega = \lambda = \frac{1}{T_p}$ ^(1.) (2.12)	
Częstość uszkodzeń f	$f = \frac{1}{E(T_p') + E(T_o')}$ ^(2.) (2.14)	$f = \frac{1}{T_p + T_o}$ (2.15)
Prawdopodobieństwo odnowy $P_o(t)$	$P_o(t) = \int_o^t f_o(t)dt$ (2.16)	$P_o^*(t) = \frac{n_o(t)}{N}$ (2.18)
	$P_o(t) = 1 - \exp(-\mu t)$ ^(1.) (2.17)	
Średnie czasy: odnowy T_o , naprawy T_n , oczekiwania na naprawę T_z	$T_j = E(T_j') = \int_0^{\infty} t f_j(t)dt$ ^(3.) (2.19)	$T_j^* = \frac{1}{n_o} \sum_{i=1}^{n_o} t_{ji}$ (2.20)
Intensywność odnowy $\mu(t)$	$\mu(t) = \frac{f_o(t)}{1 - P_o(t)}$ (2.21)	$\mu^* = \frac{n_o}{t_{os}}$ (2.22)
Wskaźnik gotowości K	$K = \frac{E(T_p')}{E(T_p') + E(T_o')}$ (2.23)	$K^* = \frac{T_p^*}{T_p^* + T_o^*}$ (2.24)

gdzie:

wykaz symboli w Spisie ważniejszych oznaczeń i skrótów
 indeks u opisuje uszkodzenie, indeks p – pracę, a o - odnowę

- (1.) - poissonowski proces odnowy z wykładniczym rozkładem funkcji gęstości czasu pracy i odnowy
- (2.) - dla elementów, dla których stany eksploatacyjne opisane są stacjonarnym procesem losowym, a strumień uszkodzeń jest strumieniem najprostszym
- (3.) - indeks j przyjmuje postacie indeksów odpowiednich zmiennych losowych

Do praktycznej oceny awaryjności rurociągów, będących obiektami liniowymi najczęściej stosuje się parametr intensywność uszkodzeń λ . Im mniejsza intensywność uszkodzeń (mniejsza awaryjność) tym oczywiście wyższa niezawodność i odwrotnie. Wartość średniej jednostkowej intensywności uszkodzeń przewodów szacuje się na

podstawie danych pozyskanych z eksploatacji, korzystając ze wzoru [16, 24, 25, 70, 71, 72, 73, 98, 106, 108, 109, 111, 120, 182, 187, 197, 199, 200]:

$$\lambda(t, t + \Delta t) = \frac{n(t+\Delta t)}{L \cdot \Delta t} \quad (2.25)$$

gdzie:

$\lambda(t, t+\Delta t)$ – jednostkowa intensywność uszkodzeń; [uszk./(\text{km}\cdot\text{rok})] lub [uszk./(\text{km}\cdot 10 \text{ lat})] lub [uszk./(\text{10 km}\cdot\text{rok})],

L – długość badanych przewodów w okresie Δt (średnia w tym przedziale); [km],

Δt – rozpatrywany okres badań (przedział czasu); [lata].

Awaryjność sieci wodociągowej jest kluczowym aspektem w zarządzaniu infrastrukturą wodociągową. Badania awaryjności infrastruktury wodociągowej obejmują analizę przyczyn, skutków, rodzaju awarii, ich liczby oraz czasu usuwania awarii. Awaryjność wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo dostawy wody i koszty eksploatacji. W ocenie awaryjności sieci wodociągowej uwzględnia się materiały użyte do budowy sieci wodociągowej. Stosowanie trwałych, odpornych na korozję materiałów (np. rury stalowe, polietylenowe) może zmniejszyć ryzyko awarii. Również wiek przewodów ma wpływ na intensywność ich występowania. Analizy stanu awaryjności, uwzględniające: rodzaj, przyczyny i skutki zdarzeń są pierwszym etapem działań mających na celu ocenę stanu technicznego rurociągów. Wyniki tych analiz znajdują wyraz w wartościach liczbowych intensywności uszkodzeń. Dużą awaryjność przewodów, potwierdza się szczegółowymi badaniami technicznymi, które umożliwiają podjęcie odpowiednich działań dotyczących zakresu remontów oraz stosowanych technologii i kolejności odnowy przewodów. Awaryjność sieci jest procesem, determinowany licznymi czynnikami, które można sklasyfikować w trzech grupach:

Grupa I: czynniki związane z przewodem i jakością jego wykonania:

- rodzaj i materiał przewodu oraz sposób jego zabezpieczenia antykorozyjnego,
- średnica przewodu,
- sposób łączenia elementów infrastruktury wodociągowej (rur, kształtek, armatury) oraz liczba połączeń w badanym odcinku sieci wodociągowej,
- wiek przewodu,
- ciśnienie oraz zakres wahań ciśnienia roboczego, w tym uderzenia hydrauliczne, czy zmiany kierunku przepływu,

- prędkość przepływu wody,
- jakość wody transportowanej siecią wodociągową, a głównie korozyjność tych mediów w stosunku do materiału;

Grupa II: czynniki związane z środowiskiem posadowienia przewodu

- rodzaj i wilgotność gruntu (agresywność gruntu),
- charakter obciążeń zewnętrznych (dynamiczne, statyczne),
- niestabilność gruntu np. tereny szkód górniczych,
- wysadzinowość gruntu;

Grupa III: czynniki związane z eksploatacją przewodu

- warunki eksploatacji w tym zakres i intensywność czynności konserwacyjnych,
- procedury prac remontowych oraz napraw,
- zakres monitoringu hydraulicznego i związana z tym szybkość lokalizacji i usuwania awarii [58, 69, 81, 85].

Literatura przedmiotu podaje, iż przy stosunkowo dużym zróżnicowaniu intensywności uszkodzeń poszczególnych sieci wodociągowych można stwierdzić, że: najmniejszą awaryjnością charakteryzują się sieci magistralne, a największą przyłącza wodociągowe. Jednocześnie awaryjność sieci wodociągowych na terenach objętych działalnością górniczą jest częstsza niż sieci na pozostałych terenach [39, 161]. Bardzo ważnym kryterium jest materiał, z jakiego są wykonane przewody. Największą awaryjność stwierdza się dla przewodów z żeliwa szarego, a najmniejszą dla przewodów z tworzyw sztucznych. Badania potwierdzają, iż intensywność uszkodzeń rurociągów jest skorelowana z ich średnicą. Z danych literaturowych wynika, że najbardziej narażone na uszkodzenia są rurociągi o mniejszych średnicach. Dotyczyło to sieci rurociągów żeliwnych i stalowych. [39, 161].

Tabela 2.2 Klasyfikacja intensywności uszkodzeń przewodów wodociągowych [58, 83]

Klasyfikacja awaryjności	Intensywność uszkodzeń λ [uszk/km/rok]
niska	$\lambda \leq 0,1$
średnia	$0,1 < \lambda \leq 0,5$
wysoka	$0,5 > \lambda$

Istotne znaczenia w analizie przyczyn występowania losowych uszkodzeń infrastruktury sieci wodociągowej ma zmienność warunków hydraulicznych parametrów

eksploatacyjnych PsDyW. Nagłe wahania ciśnienia, czy uderzenia hydrauliczne wpływają na występowanie awarii. Ponadto, na większą awaryjność sieci wodociągowej ma wpływ korozyjność wody, w efekcie której materiał rur ulega degradacji na skutek zachodzących reakcji chemicznych. Wpływ zewnętrznych czynników, takich jak prace budowlane, wibracje, zewnętrzne obciążenia mechaniczne lub uszkodzenia mechaniczne, przekłada się na postępujące w czasie mikropęknięcia generujące przecieki lub nagłe uszkodzenia o natychmiastowych skutkach dla zapewnienia ciągłości dostaw wody. Reasumując, w procesie eksploatacji PsDyW klasyfikacja skali awaryjności sieci wodociągowej najczęściej oparta jest na wskaźniku intensywności uszkodzeń przewodów (tabela 2.2) [58, 83].

Dla eksploatatorów podsystemu dystrybucji w kontekście strat wody i zmniejszenia przychodu spowodowanego brakiem sprzedaży wody bardzo ważnym jest czas od wystąpienia awarii do jej usunięcia. Proces usuwania awarii można podzielić na 3 etapy:

ETAP 1 - powiadomienie – czas upływający od momentu przyjęcia zgłoszenia o awarii lub identyfikacji stanu awaryjnego przez służby techniczne (najczęściej dyspozytora) do wszczęcia procedury usuwania awarii poprzez przekazanie informacji do określonych komórek organizacyjnych przedsiębiorstwa (np. dział eksploatacji, dział remontów i modernizacji, dział kontroli jakości wody, dział ds. informacji i komunikacji itp.),

ETAP 2 - oczekiwanie na naprawę – czas upływający od przekazania informacji o awarii określonym komórkom organizacyjnym do rozpoczęcia naprawy obejmujący m. in. lokalizację potencjalnego miejsca awarii i oszacowanie skutków jej suwania, czynności związane z pozyskaniem ewentualnych zgód na zajęcia pasa drogowego lub wejścia na teren prywatny, organizację techniczną ekip remontowych, organizację działu kontroli jakości wody, określenie zakresu niezbędnych informacji i formy komunikacji z właściwymi interesariuszami itp.,

ETAP 3 - naprawa – czas upływający od rozpoczęcia naprawy do jej zakończenia i przywrócenia integralności systemu [39, 99].

Zgodnie z zasadami zarządzania ryzykiem dostaw wody, określenie i wdrożenie środków zaradczych i barier bezpieczeństwa w PsDyW ma na celu minimalizację ryzyka awaryjności. W związku z powyższym w codziennych praktykach eksploatacyjnych niezbędnymi są zarówno prowadzenie regularnych przeglądów technicznych jak i realizacja planowanych konserwacji infrastruktury wodociągowej. Działania te umożliwiają z odpowiednim wyprzedzeniem wykrycie syndromów potencjalnych

zdarzeń niebezpiecznych i podjęcie celowych działań prewencyjnych. Istotną barierą ochronną jest także bieżący monitoring ciśnienia i przepływu (kierunku) wody, gdyż zarówno zbyt wysokie jak i niskie ciśnienie wody, lub nagłe jego wahanie zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego. W procesie zarządzania ryzykiem w odniesieniu do ograniczania awaryjności sieci wodociągowej wymagane jest również monitorowanie jakości transportowanej wody, z uwzględnieniem parametrów kształtujących jej charakter, tj. korozyjność, czy generowanie osadów. Działanie te powinny być zintegrowane z kompleksowym systemem monitoringu, który w czasie rzeczywistym kontroluje szeroki zakres parametrów pracy SZW oraz umożliwia raportować odchylenia od stanu normalnego pracy. Umożliwia to precyzyjne zlokalizowanie miejsca awarii oraz wspomaga całościowo proces jej usuwania [47]. Ponadto, w racjonalnym procesie zarządzania ryzykiem konieczne jest również wdrożenia planu odnowy, remontów infrastruktury uwzględniającego ewaluacje oszacowanych ryzyk [4]. Jedną z podstawowych zasad zarządzania SZW opartego na ryzyku jest stosowanie odpowiednich materiałów, posiadających wymagane certyfikaty dopuszczające do kontaktu z wodą [98], które każdorazowo muszą być indywidualnie dostosowane do warunków eksploatacji SZW i odporności na czynniki środowiskowe [5, 39, 68, 69, 78, 85, 99, 140, 161].

2.1.4. Narażenia SZW na ataki terrorystyczne

Zgodnie z Ustawą o zarządzaniu kryzysowym, art. 3 punkt f [168], całość infrastruktury budującej systemu zaopatrzenia w wodę została zaklasyfikowana jako infrastruktura krytyczna, dla której określone są odpowiednie stany bezpieczeństwa. Nowe przepisy zdefiniowane Dyrektywą 2022/2557 w sprawie odporności podmiotów krytycznych [29] mają wzmocnić ich podatność na szereg zagrożeń, w tym na zagrożenia naturalne, ataki terrorystyczne, zagrożenia wewnętrzne lub sabotaże. W związku z tym, państwa członkowskie UE do 17 lipca 2026 roku będą musiały przyjąć krajowe strategie i przeprowadzać regularne oceny ryzyka w celu zidentyfikowania podmiotów krytycznych, które dostarczają usługi kluczowe dla społeczeństwa i gospodarki [29].

Potencjał terrorystyczny nie jest niczym nowym. W 1941 roku dyrektor Federalnego Biura Śledczego John Edgar Hoover napisał, iż: *„Od dawna uznano, że wśród przedsiębiorstw użyteczności publicznej wodociągi stanowią szczególnie bezbronny punkt ataku dla zagranicznego agenta ze względu na strategiczną pozycję, jaką zajmują*

w utrzymaniu koła przemysłu kręcą się, chroniąc zdrowie i morale amerykańskiego społeczeństwa.” [38]. Ponadto będąc infrastrukturą krytyczną systemy zaopatrzenia w wodnej są silnie powiązane z innymi systemami infrastruktury krytycznej, zwłaszcza z sektorem energetycznym i transportu, a także z przemysłem chemicznym, zapewniającym ciągłość dostaw niezbędnych do uzdatniania wody środków chemicznych, co dodatkowo zwiększa ekspozycję SZW na szeroki wachlarz niebezpieczeństw, skutkujących atakami terrorystycznymi. Podatność tych sektorów gospodarczych na zagrożenia jest przedmiotem niepokoju i wymaga podjęcia działań wzmacniających ich odporność na potencjalne ryzyko związane z atakami hybrydowymi czy zagrożeniami terrorystycznymi [19]. Agencja Ochrony Środowiska EPA nieustannie podejmuje szereg kroków organizacyjnych i planistycznych w celu wzmocnienia bezpieczeństwa wody. Agencja utworzyła Narodowe Centrum Badań nad Bezpieczeństwem Wewnętrznym w celu opracowania podstaw naukowych i narzędzi, które można wykorzystać do reagowania na ataki na systemy wodne. Centrum prowadzi badania stosowane dotyczące sposobów ochrony i zapobiegania, łagodzenia, reagowania i szybkiego przywracania stanu pierwotnego po zdarzeniach związanych z utratą bezpieczeństwa [19].

Obecnie zdefiniowane są cztery oblicza terroryzmu, tj. terroryzm chemiczny, biologiczny, radiologiczny i nuklearny (CBRN - chemical, biological, radiological, and nuclear). W dzisiejszym świecie ta forma walki we wszystkich dziedzinach życia wzbudza największy niepokój i strach. Poprzez działanie terrorystyczne wykorzystanie którejkolwiek z broni CBRN otwiera możliwość nie tylko do szantażu, ale także do fizycznego, długotrwałego wyniszczenia życia na ziemi. Terroryzm odwołuje się również do jednego z najbardziej charakterystycznych dla XXI wieku zjawiska – do rzeczywistości wirtualnej. Aktywność współczesnego świata silnie zależne jest od masowo powiązanych sieci komputerowych, w którym funkcjonowanie któregośkolwiek z układów systemów zaopatrzenia w wodę pitną, oczyszczalni ścieków, szpitali czy elektrowni atomowych zależne jest od sprawnego działania sieci komputerowych [66].

Systemy zaopatrzenia w wodę mogą stanowić potencjalne cele działań terrorystycznych. Ze względu na bezwzględna potrzebę zapewnienia w jednostkach osadniczych wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, każde, nawet krótkotrwałe zakłócenie w jej dostawach może spowodować [46] znaczne zakłócenia w codziennym funkcjonowaniu. Historycznie rzecz biorąc, groźba sabotażu na obiekty SZW nie była postrzegana jako

realne zagrożenie, jednak w ostatnich latach zidentyfikowane na całym świecie zagrożenie atakiem terrorystycznym stało się bardziej prawdopodobne. Badając sabotaż na obiekty SZW należy wziąć pod uwagę dwa jego rodzaje:

- wandalizm, oznaczający przerwę w dostawie wody, lub znaczące jej ograniczenie, które przekłada się na powstawanie trudności w codziennym funkcjonowaniu jednostek osadniczych,
- terrorizm, rozumiany jako zanieczyszczenie zasobów wody i obniżenie jej jakości lub zniszczenie kluczowych elementów infrastruktury SZW [5, 27, 54].

Celowy atak na infrastrukturę SZW w ramach ataku terrorystycznego może prowadzić do poważnych konsekwencji zdrowotnych i gospodarczych, implikujących istotne straty ekonomiczne. Dlatego w krajach, w których wdrożono ewidencjonowanie chorób wodopochodnych w ramach zarządzania kryzysowego zaleca się przeprowadzanie dodatkowych, celowanych systemów szkoleń zarówno dla personelu medycznego, jak i służb organu kontrolującego jakość wody, eksploatatorów SZW. Szkolenia te mają na celu wzmocnienie kompetencji w zakresie szybkiego wykrywania i prawidłowego reagowania na atak terrorystyczny, przekładające się na podejmowania efektywnych działań [46, 59, 205]. Istnieje zatem realna potrzeba utrzymania wysokiego poziomu kontroli bezpieczeństwa wokół ujęć i stacji uzdatniania wody, oraz na obiektach technicznych podsystemu dystrybucji wody (pompowni, sieciowe zbiorniki wodociągowe, armatura sterująca itp.), a także potrzeba opracowania programów gotowości na wypadek wystąpienia sytuacji awaryjnych zarówno na poziomie lokalnym, jak i krajowym [205]. Wdrożenie planu reagowania kryzysowego powinno obejmować ćwiczenia antyterrorystyczne wraz z oceną procedur działań na podstawie symulacji terenowych scenariuszy wystąpienia zdarzenia potencjalnie niebezpiecznego dla egzystencji społeczności danego regionu [11,130]. Infrastruktura wodociągowa będąc tzw. infrastrukturą krytyczną, musi posiadać odpowiedni poziom bezpieczeństwa, zatem wszelkie działania wzmacniające odporność na działania terrorystyczne powinny być zadaniem priorytetowym dla kadry zarządzającej SZW, jak i władz lokalnych. System wodociągowy charakteryzuje się ciągłą pracą i wymaga wysokiego poziomu niezawodności działania oraz bezpieczeństwa. Infrastruktura wodociągowa jako współzależne obiekty technologiczne funkcjonujące w dynamicznie zmieniającym się środowisku zewnętrznym jest unikalnym systemem technicznym, w którym poszczególne jego elementy pełniąc różne funkcje jednocześnie współdziałają ze sobą, tworząc integralną całość [35, 67, 74].

Współczesne konflikty międzynarodowe, powodują iż ataki na infrastrukturę wodociągową stają się coraz częstszym zdarzeniem niebezpiecznym opartym na taktykach „nowej” fali terroru. Jest to relatywnie tania metoda działania, powodująca jednocześnie znaczne straty finansowe, a przede wszystkim wywierająca znaczny wpływ psychologiczny na duże grupy społeczne. Nakręcanie spirali szantażu, generującego poczucie strachu, leży u podstaw działania wielu terrorystów [46].

Tabela 2.3. Przykładowe ataki terrorystyczne [67]

Data	Zaangażowane strony	Opis
1965	Izrael, Palestyna	Pierwszy odnotowany atak terrorystyczny na pompownie izraelskiego narodowego dostawcy wody zrealizowany przez Ruch Wyzwolenia Narodowego Palestyny Al-Fatah był zakończony niepowodzeniem.
1983	Izrael	Izraelski rząd w wyniku prowadzonych działań wywiadowczych odkrył spisek izraelskich Arabów, próbujących zatruć wodę w Galilei niezidentyfikowanym proszkiem.
1992	Turecja	W zbiornikach wodnych tureckich sił powietrznych w Stambule odkryto śmiertelne stężenie cyjanku potasu. Do ataku przyznała się Partia Pracujących Kurdystanu.
2001	Izrael, Palestyna	Palestyńczycy zniszczyli rurociągi transportujące wodę na Zachodnim Brzegu w pobliżu Jerycha. AgbatJabar - obóz dla uchodźców, został odcięty od zaopatrzenia w wodę po grabieży i uszkodzeniu pompy wodnej przez Palestyńczyków. Palestyńczycy oskarżyli Izrael o zniszczenie cysterny transportującej wodę, blokowanie dostaw wody za pomocą cystern i niszczenie materiałów pod budowę oczyszczalni ścieków.
2003	Irak	Rebelianci zbombardowali główny wodociąg w Bagdadzie. Miejscy inżynierowie stwierdzili, że był to pierwszy atak na SZW w Bagdadzie od momentu rozpoczęcia wojny w Iraku.
2006	Izrael, Liban	Rakiety Hezbollahu uszkodziły oczyszczalnię ścieków w Izraelu. W odwecie Izraelczycy uszkodzili SZW, w tym zbiorniki, przewody i przepompownie wzdłuż rzeki Litani w południowym Libanie.
2010	Afganistan	W afgańskiej prowincji Chost, graniczącej z Pakistanem, doszło do wybuchu zdalnie sterowanej bomby ukrytej w ciężarówce transportującej wodę. Zginęły trzy osoby, w tym dwoje dzieci.
1978/- 1984	Sudan	W sudańskim mieście Juba w 1978 r. miały miejsce demonstracje przeciwko budowie kanału Jonglei, podczas których zginęło dwóch studentów. Budowa kanału została zawieszona w 1984 r. po serii ataków na place budowy.
Lata 80. XX w	Mozambik, Rodezja/ Zimbabwe,	Podczas walki o niepodległość w regionie, dochodziło do regularnego niszczenia linii energetycznych na zaporze Cahora Bassa przez Narodowy Ruch Oporu Mozambiku.
1998	Demokratyczna Republika Konga	Podczas próby obalenia rządów prezydenta Kabili doszło do ataków na zaporę elektrowni wodnej Inga. Doprowadziło to do zakłócenia dostaw elektryczności z elektrowni Inga oraz wody do stolicy kraju Kinszaszy.
1999	Lusaka, Zambia	Wybuch bomby zniszczył główny wodociąg, odcinając dostęp do bieżącej wody dla trzymilionowej populacji miasta Lusaka.
1999	Republika Połu- dniowej Afryki	W pobliżu zbiornika wodnego w miejscowości Wallmansthal odkryto bombę domowej roboty. Był to sabotaż mający na celu zakłócenie dostaw wody dla rolników.
1999	Angola	W centrum Angoli znaleziono 100 ludzkich ciał w 4 studniach z pitną wodą.
2003- 2007	Sudan, Darfur	Podczas trwającej w Sudanie wojny domowej celem ataków stały się również zasoby wodne. W 2003 r., według relacji mieszkańców, w okolicy Tina bombardowania zniszczyły liczne studnie. Z kolei w miejscowości Khasan Basao studnie zostały zatruć. W 2004 r. w Darfurze studnie zostały celowo zanieczyszczone w ramach strategii prześladowania wysiedleńców.

W literaturze przedmiotu (tabela 2.3) można znaleźć liczne przykłady działań dotyczących zatrucia wody do picia, np.: próba ataku botuliną w Paryżu w 1980 roku [205], czy skażenie Salmonellą wody w lokalnym systemie wodociągowym w Dallas w 1984 roku, które spowodowało zatrucia pokarmowe 751 konsumentów wody z czego 45 osób było hospitalizowanych [37].

Oprócz ataków na infrastrukturę wodociągową, obecne konflikty o podłożu wojen o dostęp do wody, stają się kluczowe w strategiach zapewnienia bezpieczeństwa kraju. Główną przyczyną jest stale rosnący popyt na surowce naturalne. Obszary, na których występują pożądane surowce naturalne znajdują się na terenie krajów niestabilnych zarówno politycznie, jak i ekonomicznie. Woda jest podstawowym surowcem naturalnym, integralnym elementem wszystkich działań socjalnych i ekologicznych, służącym m.in. do produkcji energii, żywności, utrzymania zdrowia ludzkiego czy rozwoju przemysłowego [11]. Konflikty polityczne, ekonomiczne, zbrojne, których elementem jest dostęp do wody toczą się na bliskim wschodzie, Afryce, czy Azji, ale stają się także realnym niebezpieczeństwem w krajach rozwiniętych wskutek zachodzących zmian klimatu [11, 130].

Wprowadzony system zarządzania ryzykiem dostaw wody w całym łańcuchu dostaw wody musi uwzględniać zagrożenia, które niosą za sobą ataki terrorystyczne dla każdego elementu tego łańcucha. Norma [91] zawiera zapisy dla dostawców wody celem zarządzania w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej. Dodatkowo wzmocnia ona współpracę interesariuszy zaopatrzenia w wodę wprowadzając ramy współpracy dostawcy wody z organami administracji samorządowej oraz rządowej. W ostatnim czasie obiekty infrastruktury wodociągowej potencjalnie zagrożone atakiem terrorystycznym zostały objęte monitoringiem służb wywiadowczych [41].

W ramach szacowania ryzyka działań terrorystycznych zdefiniowano obszary funkcjonowania SZW szczególnie wrażliwe na te działania. Do analizy pod kątem budowy środków kontroli i barier wyznaczono kluczowy zakres terrorystycznego oddziaływania obejmujący: dostęp do obiektów za pomocą sieci dróg, autostrad; dostęp do obiektów od strony wodnej (transport drogą morską, śródlądową); monitoring kamerami przemysłowi, oświetlenie obiektów; teledetekcja osób, pojazdów, czas oraz skuteczność jednostek i systemów reagowania w obliczu zagrożeń [35].

Budując system zarządzania ryzykiem dostaw wody wszyscy interesariusze muszą wprowadzać bariery, środki kontroli, które w pierwszej kolejności ograniczają lub utrudniają wszelką aktywność generującą zagrożenia począwszy od wandalizmu po ataki

terrorystyczne. Środkami tymi są między innymi ciągły monitoring kamerami zabezpieczeń fizycznych, jak i ochrona fizyczna. O ile ta działalność jest możliwa w przypadku ochrony obiektów kubaturowych tj. stacja uzdatniania wody, przepompownie czy zbiorniki, to dla rozległych sieci rurociągów jest to niewykonalne. Zatem bariery bezpieczeństwa dla podsystemu dystrybucji wody powinny opierać się na systemach telemetrycznych, obejmujących pomiary przepływu, ciśnienia, parametrów jakościowych wody (np. odczynu, potencjału redox) oraz wykrywać wszelkie nieprawidłowości oraz zaburzenia w funkcjonowaniu SZW [6, 35, 36, 74, 86].

2.2. Zarządzanie ryzykiem

Teoria ryzyka to dyscyplina nauki, której najnowsze metody analityczne kładą nacisk na szacowanie ryzyka w podejściu holistycznym, promującym wdrażanie we wszystkich dziedzinach życia kompleksowego systemu zarządzania ryzykiem uwzględniającego zrównoważony rozwój społeczno-gospodarczy. W pierwszej kolejności zarządzanie ryzykiem było wprowadzane w branży finansowej (ubezpieczenia, banki, fundusze). Okazało się bardzo skuteczną metodą ograniczania ryzyka generowanego występowaniem różnego rodzaju zdarzeń niebezpiecznych i związanych z nimi zagrożeń. Zarządzanie ryzykiem w powiązaniu z zapewnieniem niezawodności i ciągłości działań jest stosowane niemalże we wszystkich branżach przemysłu i innych dziedzinach, m.in. dotyczących ochrony środowiska, ochrony zdrowia czy zdrowia publicznego. Dobrze sprawdza się w produkcji i obrocie żywnością (systemy HACCP - Hazard Analysis and Critical Control Points), stąd od ponad 20 lat WHO zaleca wprowadzenie zarządzania ryzykiem także do zaopatrzenia ludności w wodę. Impulsem do rozwoju tej dziedziny nauki było występowanie sytuacji kryzysowych, a głównie identyfikacja ich przyczyn i stosowanie procedur postępowania po wystąpieniu zdarzenia kryzysowego. Pozyskiwane dane, informacje generowane po analizie toku działań po wystąpieniu sytuacji kryzysowej, były wykorzystywane do projektowania założeń systemów wczesnego ostrzegania. W działalności branży wodociągowej pierwsze kroki zostały zagregowane w wydaniu międzynarodowych standardów WHO (Wytycznych dotyczących jakości wody do picia), które w perspektywie czasu wraz z postępem nauki były rozwijane i uzupełniane [176]. Na ich podstawie tworzone są standardy krajowe oraz dyrektywy UE.

Dokonany przegląd bogatej literatury przedmiotu badań związanych z zarządzaniem ryzykiem w odniesieniu do systemów technicznych wskazuje, iż w tym obszarze znalazły zastosowanie metody oceny (szacowania) ryzyka: ilościowa, jakościowa, mieszana oraz ekspercka [1, 31, 32, 80, 102, 110, 149, 172, 182, 184, 194].

2.2.1. Metody zarządzania ryzykiem stosowane w zaopatrzeniu w wodę

W wielu obszarach naszego codziennego życia, obejmujących zarówno systemy techniczne świadczące podstawowe usługi komunalne dla społeczności w tym zaopatrzenie w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi, jak również obiekty infrastruktury krytycznej czy zdrowia publicznego, budowanych i stosowanych jest wiele systemów zarządzania ryzykiem, gwarantujących bezpieczny rozwój cywilizacyjny [95]. Głównym celem wdrożenia zasad eksploatacji systemu zaopatrzenia w wodę w całym łańcuchu dostaw wody od ujęcia do kranu u konsumenta opartej na zarządzaniu ryzykiem jest zapewnienie tak wysokiego bezpieczeństwa i niezawodności dostaw jak to tylko możliwe. Dyrektywa 2020/2184 [28] w 15 punkcie preambuły zaleca aby podejście oparte na ryzyku bazowało na Wytycznych WHO dotyczących jakości wody do picia [176], rekomendujących opracowywanie i wdrażanie tzw. planu bezpieczeństwa wody, w tym również dla małych społeczności, w codzienne praktyki funkcjonowania systemów zaopatrzenia w wodę. Wytyczne WHO wraz z normą EN 15975-2 dotyczącą bezpieczeństwa zaopatrzenia w wodę pitną [92], stanowią uznane na poziomie międzynarodowym zasady, na których opierają się produkcja i dystrybucja wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, oraz monitorowanie i analiza parametrów takiej wody. Jest to jedynie zalecenie a nie obowiązek, stąd w wielu krajach wykorzystywane są inne metody zarządzania ryzykiem.

Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP)

Jednym z pierwszych systemów zarządzania ryzykiem jest HACCP (Analiza zagrożeń i krytyczne punkty kontroli), stosowany w dostawach wody do konsumentów m.in. w Islandii, Szwajcarii, Szwecji, Słowenii i Macedonii, gdzie woda do picia klasyfikowana jest jako produkt żywnościowy. HACCP jest to system obejmujący postępowanie mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa żywności, w tym wody, przez identyfikację i oszacowanie skali zagrożeń z punktu widzenia wymagań zdrowotnych żywności oraz ryzyka wystąpienia zagrożeń podczas przebiegu wszystkich etapów produkcji, jak i obrotu żywnością [15, 60, 97, 165]. System ten ma również na celu

określenie metod eliminacji lub ograniczania zagrożeń oraz ustalenie działań korygujących. W Polsce jest on prawnie wymagany w produkcji i obrocie żywnością na gruncie prawa krajowego [97, 125]. HACCP jest wdrażany w 12 krokach [55]:

1. Zdefiniowanie zakresu stosowania systemu HACCP,
2. Utworzenie zespołu HACCP,
3. Opisanie produktu wraz z określeniem przewidywanego sposobu wykorzystania,
4. Opracowanie schematu procesu technologicznego,
5. Weryfikacja schematu procesu technologicznego na linii technologicznej,
6. Sporządzenie listy wszystkich zagrożeń i środków kontroli,
7. Określenie krytycznych punktów kontroli,
8. Określenie wartości docelowych i krytycznych dla każdego punktu krytycznego,
9. Opracowanie systemu monitorowania dla każdego punktu krytycznego,
10. Ustalenie działań korygujących,
11. Ustalenie procedury weryfikacji,
12. Prowadzenie dokumentacji i zapisów.

Plan Bezpieczeństwa Wody

Do zarządzania ryzykiem w systemach zaopatrzenia w wodę WHO rekomenduje stosowanie systemu analizy ryzyka w całym łańcuchu dostaw wody od ujęcia do kranu u konsumenta, tzw. Plan Bezpieczeństwa Wody (PBW) (*Water Safety Plans*) [176]. PBW znalazł zastosowanie jako kompleksowy system zarządzania ryzykiem zaopatrzenia w wodę w Zjednoczonym Królestwie Wielkiej Brytanii, w Irlandii Północnej, czy na Węgrzech. Idea holistycznego podejścia w zarządzaniu ryzykiem dostaw wody do konsumenta uwzględniona w PBW jest spójna z założeniami i celem określonym w normie PN-EN 15975-2 *Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 2: Zarządzanie ryzykiem*, która zawiera ogólne instrukcje, wytyczne do budowania tego systemu [92]. Zgodnie z zaleceniami WHO jak i normą, proces identyfikacji zdarzeń niebezpiecznych i zagrożeń oraz szacowanie ryzyka, zarządzanie nim powinien być dostosowywany indywidualnie dla konkretnego systemu zaopatrzenia w wodę.

Rekomendowane przez Światową Organizację Zdrowia PBW został szczegółowo opisany w zaktualizowanym w 2023 r. podręczniku *Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers, second edition* [175]. Obejmują 10 integralnie połączonych modułów, zgodnie z którymi budowany jest kompleksowy

system zarządzania ryzykiem dostaw wody obejmujący wszystkie procesy ujmowania, uzdatniania i dystrybucji wody [134]:

Moduł 1: Powołanie zespołu ds. przygotowania PBW.

Moduł 2: Dokumentacja i opis SZW.

Moduł 3: Przeprowadzenie oceny zagrożenia i charakterystyki ryzyka w celu rozpoznania i zrozumienia w jaki sposób zagrożenia mogą przenikać do systemu – identyfikacja wszystkich biologicznych, chemicznych i fizycznych zagrożeń oraz sytuacji niebezpiecznych na każdym z kolejnych etapów SZW.

Moduł 4: Ocena proponowanego systemu – matryca szacowania ryzyka, klasyfikacja ryzyk.

Moduł 5: Identyfikacja środków kontroli, tj. narzędzi, dzięki którym ryzyko może być kontrolowane – bariery ochronne.

Moduł 6: Zdefiniowanie monitorowania środków kontroli – jakie wartości graniczne definiują akceptowalną ich skuteczność i w jaki sposób będą monitorowane – weryfikacja skuteczności barier – monitoring operacyjny (przeeglądy, badania).

Moduł 7: Ustalenie procedur weryfikowania czy PBW są skuteczne i realizują cele zdrowotne konsumenta wody; opracowanie procedur zarządzania określających działania podejmowane w normalnych warunkach eksploatacji SZW oraz opisują kroki jakie należy podjąć w sytuacjach zdarzeń nadzwyczajnych.

Moduł 8: Opracowanie programów wspierających (szkolenia, modernizacja, strategie).

Moduł 9: Przygotowanie procedur zarządzania PBW.

Moduł 10: Ustalenie procedur dotyczących komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej.

Moduł 11: Przegląd kontrolny w zakresie modułów 2-10 w tym przegląd PBW po incydencie, sytuacji kryzysowej – korekta zidentyfikowanych słabych obszarów PBW.

Inne metody analizy i oceny ryzyka stosowane w systemach zaopatrzenia w wodę

Zależność wystąpienia zdarzenia niepożądanego i jego negatywnych skutków jest najczęściej przedstawiana za pomocą dwuparametrycznej matrycy ryzyka [106], Przyjmując odpowiednią skalę wartości wag zmiennym analizy tj. prawdopodobieństwu (p) i dotkliwościom skutków zdarzenia (C) można stosować matryce opisującą ryzyko (r) jako iloczyn tych zmiennych, według formuły:

$$r = p \cdot C \quad (2.26).$$

W zależności od szczegółowości metody badawczej, stosowane są wielowymiarowe matryce: 3x3; 5x5, 4x5, 7x5, 7x7, czy 9x9, lub innym dowolnym wymiarze zdefiniowanym przez zespół ds. zarządzania ryzykiem, który przyjmuje metodykę oceny ryzyka w zależności od indywidualnych cech SZW. W najprostszej dwuparametrycznej matrycy o wymiarze 3x3 kategoryzowanie zmiennych ryzyka najczęściej przedstawia się następująco:

- dla prawdopodobieństwa (p) wagi (W_1) przyjmuje się wg zasady:
 - prawdopodobieństwo małe – waga 1,
 - prawdopodobieństwo średnie – waga 2,
 - prawdopodobieństwo duże – waga 3,
- dla skutków (C) stosuje się następującą podział wagi (W_2):
 - skutki małe – waga 1,
 - skutki średnie – waga 2,
 - skutki duże – waga 3,

Stosując wzór (2.27) otrzymujemy macierz przestawioną w tabeli 2.4. [106]:

$$r = W_1 \cdot W_2$$

Tabela 2.4. Dwuparametryczna matryca ryzyka

		Skutki (C)		
		Waga W_2		
Prawdopodobieństwo (p)		małe (1)	średnie (2)	duże (3)
Waga W_1	małe (1)	1	2	3
	średnie (2)	2	4	6
	duże (3)	3	6	9

W matrycowej metodzie wyznaczania wartości ryzyka dla wyżej zdefiniowanych wag prawdopodobieństw (W_1) i skutków (W_2), najczęściej stosuje się następującą jego kategoryzację:

- ryzyko tolerowane – liczba punktów 1-2,
- ryzyko kontrolowane – liczba punktów 3-4,
- ryzyko nieakceptowalne – liczba punktów 6-9.

Dla złożonych SZW, oczywiście ilość parametrów determinujących ryzyko w analizie matrycowej można zwiększyć. Zespół naukowy profesora Janusza Raka z Politechniki Rzeszowskiej w swoich pracach badawczych [12, 106-122, 144-158] rekomenduje w złożonych analizach szacowania ryzyka stosowanie trój-, cztero- czy

pięcioparametrycznych matryc, pozwalających zarówno na precyzyjniejsze opracowywanie barier ochronnych jak i skuteczne zarządzanie ryzykiem.

W matrycach trójparametrycznych w analizach ryzyka SZW wprowadza się trzecią zmienną podatność (V), a ryzyko wyznacza się wg poniższego wzoru (2.28) [106-122, 144-158]:

$$r = p \cdot C \cdot V \quad (2.28).$$

Przykładem zastosowania takiej matrycy w ocenie ryzyka eksploatacji SZW jest uwzględnienie jego podatności na występowanie awarii. W matryce tej zmienne przyjmują poniższe wartości wag:

- waga W_1 dla prawdopodobieństwa (p):
 - niemożliwe: 1 raz na 100 lat – waga 0,1,
 - sporadycznie możliwe: 1 raz na 20 lat – waga 1,
 - mało prawdopodobne: 1 raz na 10 lat – waga 2,
 - całkiem prawdopodobne: 1 raz na rok – waga 5,
 - bardzo prawdopodobne: 10 razy na rok – waga 10,
- waga W_2 dla skutków C:
 - mała strata: lokalne obniżenie ciśnienia wody w sieci rozdzielczej, możliwe odczuwalne przerwy w dostawach wody na wyższych piętrach – waga 1,
 - średnia strata: spadek dobowej produkcji wody (Q_{dmax}) do 70% wartości nominalnej (Q_n) lub przerwy w dostawie wody trwające do 2h, pojedyncze skargi konsumentów, strata finansowa do 50 000 zł – waga 3,
 - duża strata: utrzymanie zdolności produkcyjnej SZW w zakresie $Q_{dmax} < 50\% \div 70\%$ wartości nominalnej wydajności (Q_n) lub przerwy w dostawie wody do konsumentów w poszczególnych strefach zasilania od 2h do 12h; strata finansowa do 500 000 zł – waga 7,
 - bardzo duża strata: spadek dobowej produkcji wody, przekładający się na pokrycie dobowego zapotrzebowanie na wodę (Q_{dmax}) na poziomie 30% ÷ 50% wartości nominalnej wydajności (Q_n), lub przerwy w dostawie wody od 12h do 24h do konsumentów w poszczególnych strefach zasilania; strata finansowa w zakresie od 100 000 do 1 000 000 zł – waga 15,
 - poważna katastrofa: znaczący spadek dobowej produkcji wody (Q_{dmax}) utrzymujący się na poziomie poniżej 30% wartości nominalnej (Q_n), któremu najczęściej towarzyszy spadek ciśnienia w sieci wodociągowej, wywołany awarią

układu technologicznego uzdatniania wody lub awarii magistrali, przerwy w dostawie wody powyżej 24h do poszczególnych stref zasilania lub całej jednostki osadniczej, strata finansowa powyżej 1 000 000 zł – waga 50,

– waga W_3 dla podatność (V):

- bardzo mała podatność, bardzo duża oporność SZW na awarię – waga 0,5,
- mała podatność, duża oporność na awarię – waga 1,
- średnia podatność, średnia oporność – waga 2,
- duża podatność, mała oporność – waga 6,
- bardzo duża podatność, mała oporność/ duża oporność na awarię – waga 10 [106-122].

Dla tak przyjętych zmiennych maczyca trójparametryczna przyjmuje formę przedstawioną w tabeli 2.5. Przy zastosowaniu pięciu kategorii ryzyka rozkład jego wartości zaprezentowano w poniższej tabeli 2.6. [106-122, 144-158].

Tabela 2.6. Kategoryzacja ryzyka w skali pięciostopniowej [46, 54]

Klasa	Skala opisowa	Wartości liczbowe
1	zaniedbywane	$0,05 < r \leq 5$
2	tolerowane	$5 < r \leq 50$
3	kontrolowane	$50 < r \leq 200$
4	nietolerowane	$200 < r \leq 400$
5	nieakceptowalne	$400 < r \leq 5000$

Skuteczne zarządzanie bezpieczeństwem SZW wymaga stosowanie systemu wielu barier celem zwiększenia niezawodności jego funkcjonowania. W takim podejściu do zarządzania ryzykiem w jego złożonych analizach oprócz klasycznych zmiennych ryzyka zasadnym jest uwzględnienie zarówno wielkości narażonej na zagrożenie populacji (N) jak i poziomu ochrony SZW (O). Dla tak interpretowanego ryzyka, jego formułę matematyczna przedstawia zależność [46, 54]:

$$r = \frac{p \cdot C \cdot N}{O} \quad (2.29)$$

gdzie:

- p – prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenie niepożądanego, określone wagą W_1 ,
- C – skutki zdarzenia niepożądanego z przypisaną wagą W_2 ,
- N – liczbą mieszkańców narażonych na zagrożenie z przyporządkowaną wagą W_3 ,
- O – poziom ochrony SZW determinowany złożonością systemu barier i zabezpieczeń, opisany wagą W_4 .

Tabela 2.5. Trójparametryczna matryca ryzyka

Skutki (C) Podatność (V) Prawdopodobieństwo (p)		Waga W2																								
		1					3					7					15					50				
		Waga W3					Waga W3					Waga W3					Waga W3					Waga W3				
		0,5	1	2	6	10	0,5	1	2	6	10	0,5	1	2	6	10	0,5	1	2	6	10	0,5	1	2	6	10
Waga W1	0,1	0,05	0,1	0,2	0,6	1	0,15	0,3	0,6	1,8	3	0,35	0,7	1,4	4,2	7	0,75	1,5	3	9	15	2,5	5	10	30	50
	1	0,5	1	2	6	10	1,5	3	6	18	30	3,5	7	14	42	70	7,5	15	30	90	150	25	50	100	300	500
	2	1	2	4	12	20	3	6	12	36	60	7	14	28	84	140	15	30	60	180	300	50	100	200	600	1000
	5	2,5	5	10	30	50	7,5	15	30	90	150	17,5	35	70	210	350	37,5	75	150	450	750	125	250	500	1500	2500
	10	5	10	20	60	100	15	30	60	180	300	35	70	140	420	700	75	150	300	900	1500	250	500	1000	3000	5000

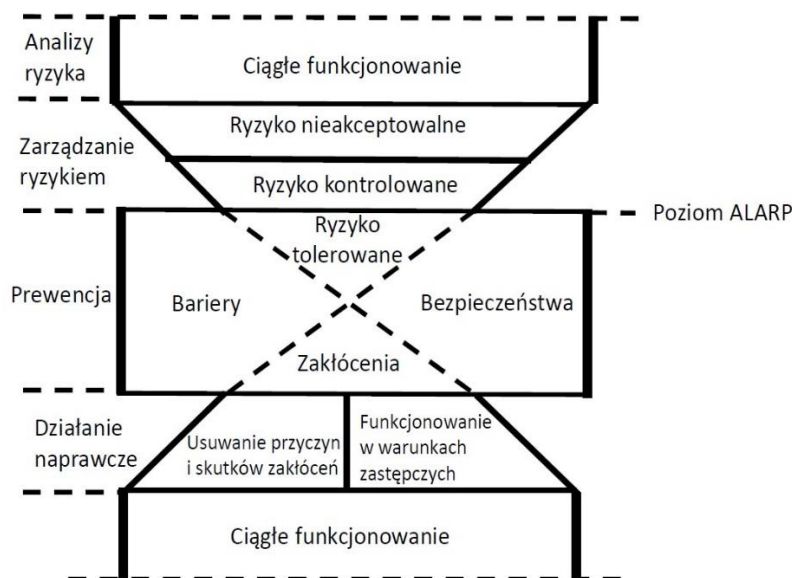
W zaproponowanej przez Autorów [115, 119] metodyce analitycznej, wagi każdej ze zmiennych ($W_1 \div W_2$) przyjmują odpowiednio wartości 1, 2, 3, dla których ryzyko charakteryzujące się wartościami z zakresu od 0,33 do 27 wyznaczonymi równaniem (2.29), opisano 3 kategoriami (tabela 2.7).

Tabela 2.7. Kategoryzacja ryzyka dla czteroparametrycznej matrycy uwzględniającej system barier ochronnych [115, 119]

Kategoria ryzyka	Skala punktowa
tolerowane	$0,33 \leq r \leq 3,0$
kontrolowane	$4,0 \leq r \leq 8,0$
nieakceptowalne	$9,0 \leq r \leq 27$

Analizy ryzyka za pomocą metody matrycowej jest metodą elastyczną. Umożliwia rozbudowę matrycy zgodnie z aktualnymi potrzebami w procedurach zarządzania ryzykiem. Niezależnie od przyjętej struktury matrycy końcowym etapem analizy jest klasyfikacja ryzyka do odpowiednio zdefiniowanej jego kategorii [117, 119, 147, 150, 182, 186, 188, 189, 191, 195, 196].

W procedurach zarządzania ryzykiem podejmowane są działania mające na celu jego minimalizację z uwzględnieniem bezpieczeństwa i kosztów. Ma tutaj zastosowanie zasada ALARP (As Low As Reasonable Practicable, rys. 2.3) [110, 117, 118].



Rys. 2.3. Rozkład ryzyk w odniesieniu dla zasady ALARP [110, 117, 118]

Ocena ryzyka stanowiąca podstawę analizy bezpieczeństwa. Zarządzanie ryzykiem dostaw wody od źródła do kranu u konsumenta jest najlepszą metodą zapewnienia bezpiecznej wody w systemie zaopatrzenia [83].

Oprócz wieloparametrycznych matrycowych metod oceny ryzyka, w działalności przedsiębiorstw wodociągowych znalazły zastosowanie przede wszystkim metody mieszane, ilościowo jakościowe, do których zaliczono:

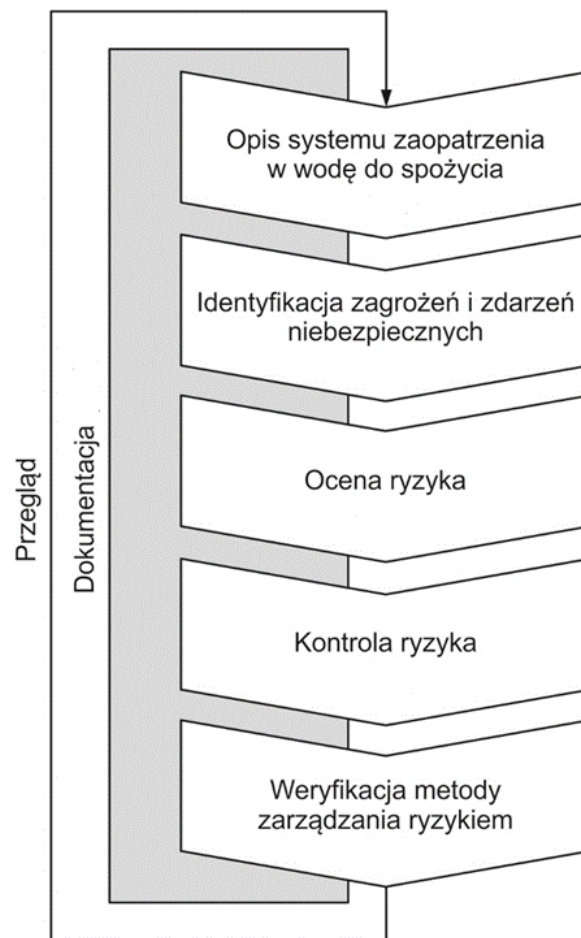
- FEMA (Failure Mode and Effects Analysis) – analiza rodzajów i skutków niezdatności to to metoda oparta na badaniu rodzajów i skutków potencjalnych błędów. Celem tej metody jest zapobieganie skutkom wad, które mogą wystąpić zarówno fazy projektowania jak i w fazie użytkowania systemu [26, 105, 124];
- FMECA (Failure Mode, Effects and Critical Analysis) – analiza rodzajów, skutków i krytyczności niezdatności. Jest to metoda analityczna, w której przeprowadza się badanie rodzajów i skutków możliwych błędów. Ma ona na celu zapobieganie skutkom wad, które mogą wystąpić w fazie użytkowania [177];
- HAZOP (Hazard and Operability Study) – badanie zagrożeń i gotowości operacyjnej. Metoda ta to technika identyfikacji zagrożeń, w której w sposób systematyczny analizuje się i ocenia się każdą część systemu w celu przedstawienia sposobu pojawiania się odstępstw od założeń projektowych, z uwzględnieniem możliwości wywołania komplikacji w standardowych warunkach eksploatacji SZW [194];
- HRA (Human Reliability Assessment) – analiza niezawodności człowieka. Jest to metoda, która bada i ocenia wpływ ludzkiego działania na pracę systemu oraz ocenia wpływ błędów ludzkich na bezpieczeństwo i efektywność funkcjonowania systemu [7, 62, 75, 82];
- ETA (Event Tree Analysis) – analiza drzewa zdarzeń. Jest to technika identyfikacji zagrożeń i analizowania częstości ich występowania. W metodzie tej stosuje się rozumowanie indukcyjne, służące do przełożenia różnych zdarzeń inicjujących na potencjalne skutki (rezultatu) [12, 106-122, 132, 144-158];
- FTA (Fault Tree Analysis) – analiza drzewa niezdatności. Jest techniką identyfikacji zagrożeń i analizowania ich częstości. Pierwszym etapem tej metody jest zdefiniowania niepożądanego zdarzenia szczytowego (końcowego). W kolejnych etapach analizy wyznacza się wszystkie sposoby jego pojawienia się. Prezentacja graficzna, zdarzeń podstawowych i ich relacji z wykorzystaniem funktorów (bramki

- wejścia-wyjścia), prowadzi do wyznaczenia wartości prawdopodobieństwa zdarzenia szczytowego [12,143];
- PHA (Preliminary Hazard Analysis) – wstępna analiza zagrożeń jest to technika identyfikacji zagrożeń oraz analizowania ich częstości. Może ona być stosowana we wczesnym stadium projektowania lub modernizacji SZW w celu identyfikacji zagrożeń i oceny krytyczności elementów SZW [133];
 - schemat blokowy niezawodności – jest techniką analizowania częstości, w której tworzy się model niezawodnościowy SZW (lub jego komponentu), w oparciu o warunki współzależności poszczególnych jego elementów w celu oceny jego gotowości do bezawaryjnego działania [182];
 - CRA (Coarse Risk Analysis) – szacunkowa (zanaliza ryzyka jest to technika analizy szkodliwych zdarzeń, ich przyczyn, częstości wystąpienia oraz konsekwencji ich wystąpienia. Szacowanie ryzyka w tej metodzie ogranicza się do prezentowania kategorii prawdopodobieństwa i konsekwencji [131];
 - QMRA/QCRA (Quantitative Microbial/Chemical Risk Analysis) – ilościowa mikrobiologiczna lub chemiczna ocena ryzyka to technika identyfikacji zanieczyszczeń mikrobiologicznych/chemicznych w celu wyznaczenia miejsca zagrożenia i oszacowanie ryzyka dla zdrowia ludzkiego. Składa się ona z: identyfikacji zagrożeń, oceny wpływu poziomu zanieczyszczenia na skutki zdrowotne (dawka-odpowiedź), oceny drogi narażenia (wielkość i czas trwania narażenia, liczba i kategorie osób narażonych) oraz charakterystyki ryzyka (integracja informacji w jednym modelu matematycznego, aplikacja metod Monte-Carlo) [4] również w odniesieniu do chorób wodopochodnych [9, 194].

2.2.2. Norma PN-EN 15975-2 Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 2: Zarządzanie ryzykiem

Zarówno WHO jak i DWD w odniesieniu do zaopatrzenia ludności w wodę pitną zalecają stosowanie normy PN-EN 15975-2 *Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 2: Zarządzanie ryzykiem* [29, 92]. Norma ta wprowadza zasadnicze elementy podejścia holistycznego opisanego w Planach Bezpieczeństwa Wody wydanych przez WHO. Norma wskazuje, iż wdrożenie w codzienne praktyki eksploatacyjne SZW procesu zarządzania ryzykiem stanowi wartość dodaną, ponieważ pomaga w systematycznej weryfikacji parametrów

operacyjnych, dostosowując warunki eksploatacji SZW do dynamicznie zmieniających się czynników zewnętrznych jak i wewnętrznych pracy infrastruktury wodociągowej. Ponadto podejście do eksploatacji SZW oparte na zarządzaniu ryzykiem wspomaga profesjonalne zarządzanie systemem, jak również identyfikację i ustalanie priorytetów w zakresie doskonalenia procesu dostaw wody do konsumentów i potrzeb modernizacji infrastruktury wodociągowej. Usprawnia także proces komunikacji pomiędzy interesariuszami, w szczególności tymi, którzy są współodpowiedzialni za łańcuch dostaw wody. Norma prezentuje ogólny schemat postępowania w zarządzaniu ryzykiem (rys. 2.4).



Rys.2.4. Schemat procesu zarządzania ryzykiem w SZW [29, 92]

Przedmiotowa norma zaleca, aby proces zarządzania ryzykiem był stale rozwijany i prowadzony przez wielodyscyplinarny zespół powołany przez dostawcę wody, dysponujący odpowiednim poziomem wiedzy z zakresu i zdrowia publicznego oraz środowiskowych, technicznych i ekonomicznych czynników warunkujących prawidłowe

funkcjonowania SZW. Poszczególne komponenty procesu zarządzania ryzykiem (rys. 2.4) tworzą:

- **Opis systemu zaopatrzenia w wodę**, który powinien przedstawiać stan aktualny oraz odnosić się do poszczególnych podsystemów, układów i elementów SZW;
- **Identyfikacja zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych**, obejmującą systematyczne rozpoznanie wszelkich problemów, które mogą pojawić się w funkcjonowaniu SZW, stanowiących zdarzenia niebezpieczne wpływające na zakłócenia pracy systemu, generujące zagrożenia, które mogą się pojawić w normalnych, jak nadzwyczajnych (ekstremalnych) warunkach eksploatacji SZW;
- **Ocena ryzyka** obejmuje cały proces analizy ryzyka i ewaluacji ryzyka. Analiza ryzyka wymaga systematycznej, indywidualnej interpretacji zidentyfikowanych zagrożeń i powiązanych z nimi zdarzeń niebezpiecznych, poprzez oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia każdego ze zdarzeń niebezpiecznych i skutków ich następstw. W ocenie, ryzyko jest wynikiem iloczynu prawdopodobieństwa pojawienia się zdarzenia niebezpiecznego i skutków następstw wynikających z zagrożeń. Celem ewaluacji ryzyka jest natomiast porównanie różnych rodzajów ryzyk i ustalenie dla nich priorytetów w zależności od szacowanego wpływu na integralność SZW i zdrowie konsumenta wody. Ewaluacja ryzyka daje udokumentowaną podstawę do podjęcia decyzji odnośnie zmiany lub przyjęcia dodatkowych środków (barier) bezpieczeństwa;
- **Kontrola ryzyka**, polega na wyborze i wdrożeniu opcji postępowania z konkretnym, oszacowanym ryzykiem. Przyjęte rozwiązania minimalizacji ryzyk muszą zapewniać zachowanie integralności SZW. Wybór środków odpowiednich do kontroli ryzyka powinien być oparty na normatywnych specyfikacjach i procedurach, które dostawca wody do spożycia jest w stanie zachować. Środki bezpieczeństwa stosowane w kontroli ryzyka mogą mieć charakter prewencyjny lub reaktywny. Dyrektywa 2020/2184 w załączniku II [29] podaje przykłady środków kontroli ryzyka (środków bezpieczeństwa), mających charakter prewencyjny, służących podtrzymaniu aktualnego, akceptowalnego lub tolerowanego poziomu ryzyka. Są to w szczególności:
 - monitorowanie jakości wody,
 - kontrole zapisów dotyczących sprawności i stanu utrzymania urządzeń,
 - inspekcje obszaru zasilania oraz infrastruktury uzdatniania, magazynowania i dystrybucji wody.

Natomiast środki reaktywne to wszelkie dodatkowe działania podejmowane w celu minimalizowania ryzyka lub ograniczenia skutków, wynikających z wystąpienia incydentu, tj. nadzwyczajnych warunków eksploatacji SZW. W przypadku wystąpienia incydentu o znacznych rozmiarach, mogącego stanowić niebezpieczeństwo dla zdrowia ludzkiego może okazać się konieczne wdrożenie zarządzania kryzysowego, zgodnie z normą PN-EN 15975-1 *Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 1: Zarządzanie kryzysowe* [91].

Środki kontroli ryzyka mogą mieć charakter organizacyjny (procedury, instrukcje, prowadzenie dokumentacji, szkolenia) oraz modernizacyjny i inwestycyjny. Kategoryzacja ryzyk pozwala zidentyfikować niezbędne środki bezpieczeństwa oraz ułatwia planowanie ich wdrożenia (plany krótko, średnio i długoterminowe). Wpływa to pozytywnie na optymalizację nakładów finansowych, a co za tym idzie poprawia efektywność ekonomiczną funkcjonowania SZW;

- **Weryfikacja PBW** polega na zebraniu dowodów potwierdzających, że zastosowany proces zarządzania ryzykiem działa prawidłowo i zapewnia integralność SZW, a tym samym ciągłość dostaw do konsumenta bezpiecznej wody do spożycia. W celu zweryfikowania zgodności z celami postawionymi dostawcy wody pitnej, przedmiotowa norma zaleca poddać jakość wody do spożycia analizie zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawnymi odnoszącymi się do parametrów zdrowotnych i estetycznych wody;
- **Dokumentacja** z realizacji wszystkich etapów zarządzania ryzykiem SZW (rys. 2.4) jest konieczna do weryfikacji skuteczności procesu. Zapewnia osobom zaangażowanym w proces zarządzania ryzykiem dostęp do odpowiednich wytycznych, procedur, kart procesowych, harmonogramów i kart eksploatacji obiektów. Dostarcza także dowodów, iż wszystkie powzięte decyzje i założenia poczynione w procesie zarządzania ryzykiem są przejrzyste, identyfikowalne, i tym samym sprawdzalne. Ponadto, dokumentacja zarządzania ryzykiem SZW umożliwia dokonanie przeglądu zgodności z procesem zarządzania ryzykiem, a także pozwala na identyfikację słabych stron procesu, i tym samym wskazuje kierunki rozwoju, i utrzymywania, a w konsekwencji doskonalenia procesu zarządzania ryzykiem w SZW.

Przegląd opisanych powyżej kroków i aktualizację systemu zarządzania ryzykiem należy przeprowadzać okresowo. Dyrektywa 2020/2184 wskazuje rekomendowany, cykliczny okres przeglądu nie krótszy niż 6 lat oraz w określonych sytuacjach, lub w odpowiedzi na incydent lub zdarzenie niebezpieczne. Przegląd ten, zgodnie z normą PN-EN 15 975-2 [92], ma zagwarantować nie tylko aktualność systemu zarządzania ryzykiem SZW, ale także dostosowanie do dynamicznie zmieniających się warunków eksploatacji SZW wynikających ze zmian w:

- strukturze technicznej i integralności elementów SZW,
- procedurach eksploatacyjnych,
- wymaganiach prawnych i/lub regulacyjnych,
- środowisku, w którym funkcjonuje SZW.

2.2.3. Metody i matryce oceny ryzyka - Aneks A normy PN-EN 15975-2

Norma PN-EN 15 975-2 zaleca, aby rozpoznane rodzaje ryzyka mogły podlegać różnym podejściom do ich analizy, cechującym się spójnością. W tym celu rekomendowane są trzy opcje:

- analiza ilościowa,
- analiza półilościowa,
- analiza jakościowa.

Analizy i ewaluacje ryzyk wykorzystujące metody matrycowe oceny ryzyka, stanowią obecnie najprostsze i najefektywniejsze narzędzia analityczne w procedurach zarządzania ryzykiem. Norma zaleca, aby dostawca wody przygotował indywidualnie, swoje własne matryce, definiując deskryptory oraz wartości wag dla prawdopodobieństwa i skutków (dotkliwość następstw). Dla niektórych procesów pomiar ilościowy dotkliwości następstw i prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego jest niemożliwy, i z tego powodu często w metodyce badawczej przyjmuje się analizę półilościową lub jakościową.

W metodzie ilościowej w szacowaniu ryzyka konieczne jest zdefiniowanie podstawowych parametrów ryzyka, tj. prawdopodobieństwa (p) oraz skutków (C), a jego wartość wyznacza się z formuły (2.26) [106-122, 144-158]. W praktyce prawdopodobieństwo (p) zdarzeń niebezpiecznych i towarzyszących im zagrożeń wyznacza się na podstawie pozyskanych informacji historycznych, zgromadzonych w odpowiednich bazach danych, czy też w oparciu o doświadczenia operatorów SZW lub

wiedzę ekspercką. Skutki (C) natomiast są określane przez analizę, kwantyfikację efektów zdarzeń niepożądanych. Zmienna (C) może uwzględniać różne aspekty dotkliwości, takie jak: finansowy, techniczny, operacyjny, zasobów ludzkich, społeczny, czy środowiskowy. Efektywność analizy ryzyka zależy zatem od jakości danych źródłowych oraz dokładności wskazanych wartości i statystycznej walidacji użytego modelu badawczego. Stosując metody ilościowe szacowania ryzyka uzyskane wyniki są obiektywne i mogą być porównywalne. Rezultaty oceny ryzyka przypisujące je do konkretnych kategorii wraz z ich ewaluacją, stanowią przejrzysty sposób ich rankingowania, który dla kadry menadżerskiej SZW może być narzędziem wspomagającym decyzję zarządcze, zarówno w obszarze inwestycyjnym, organizacyjnym czy podnoszenia kompetencji pracowników. W przypadku braku kompleksowego opisu deskryptorów matrycy, pewnymi wadami metod ilościowych może być niewłaściwe rozpoznanie ryzyka. Inne utrudnienie może stanowić konieczność zapewnienia dostępu do rozbudowanych systemów informatycznych, niezbędnych do zarządzania dużą ilością danych wejściowych, w celu wielokierunkowej oceny ryzyka oraz określenia skutecznych barier ochronnych w procedurach zarządzania ryzykiem. Zatem, wadą utrudniającą aplikację metod ilościowych szacowania ryzyka jest złożoność oceny ryzyka, zdefiniowanego w rozbudowanych formułach matematycznych.

Stosowanie podejścia jakościowego w szacowaniu ryzyka w większości opiera się na subiektywnej ocenie, determinowanej dobrymi praktykami oraz doświadczeniem pracowników. Efektem prowadzonych prac jest ewidencja zdarzeń niepożądanych wraz z przyporządkowanymi zagrożeniami oraz wartościowanie ryzyka, najczęściej w kategoriach niskie, średnie czy wysokie. Metoda ta szybko dostarcza informacji, a działania naprawcze lub korygujące mogą być efektywnie wdrażane z chwilą rozpoznania ryzyka. W metodzie jakościowej analizy ryzyka, identyfikacja zdarzeń niepożądanych wraz ze skutkami, prezentowane są w sposób opisowy, dlatego powinny być wnikliwe dla precyzyjnego rozpoznania ryzyka oraz powinny zawierać szczegóły wspomagające podjęcie konkretnych działań naprawczych [40, 44, 45, 105, 113]. Metody jakościowe wskazują wrażliwe obszary ryzyka, które wymagają uwagi, jednocześnie nie obejmują szacowania kosztów ujętych w opracowaniu sposobów postępowania z ryzykiem. Szacowanie ryzyka metodami jakościowymi jest możliwe nawet przy ograniczonym dostępie do konkretnych informacji i danych ilościowych, lub zasobów, które są potrzebne przy szacowaniu ryzyka metodami ilościowymi. Metody jakościowe, w toku analizy i oceny ryzyka umożliwiają rozpatrywanie i uwzględnienia dodatkowych

aspektów takich jak wizerunek przedsiębiorstwa, kultura organizacyjna, czy struktura wiekowa personelu. Niewątpliwie ograniczona dokładność identyfikacji i opisu skutków potencjalnego wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych jest główną wadą metod jakościowych analizy ryzyka. Może się to przełożyć na nieprawidłowe oszacowanie kategorii ryzyka, co może skutkować brakiem zdefiniowana właściwych barier, czy środków zaradczych. Podejście jakościowe uznawane jest za prostsze stąd może być wykorzystywane w małych SZW.

W związku z wadami przytoczonych metod ilościowych i jakościowych, zalecane w praktyce, w ocenie ryzyka eksploatacji SZW jest stosowanie ich kombinacji, co czyni metody półilościowe elastycznymi narzędziami analitycznymi. Zastosowanie podejścia opartego na scenariuszach z metody jakościowej, wykorzystywanego do identyfikowania wszystkich obszarów ryzyka i jego skutków, umożliwia, równocześnie przy użyciu metody ilościowej, oszacowanie kosztów skutków wystąpienia danego zdarzenia niepożądanego w danej kategorii ryzyka [12, 77].

W procesie oceny ryzyka eksploatacji SZW istotne znaczenie ma metoda ekspercka. Jest to metoda mieszana ilościowo-jakościowa, której podstawą jest wykorzystanie wiedzy ekspertów z różnych dziedzin eksploatacji SZW. Wsparcie eksperckie w zakresie uwarunkowań technicznych funkcjonowania obiektów wodociągowych, mechanizmów uzdatnianie wody, aspektów energetycznych czy uwarunkowań hydraulicznych pracy SZW, aspektów środowiskowych, ekonomicznych, jak i organizacyjnych, jest kluczowym w identyfikacji zdarzeń niebezpiecznych, oraz w prognozowaniu i definiowaniu możliwych zachowań poszczególnych elementów SZW w zmiennych warunkach eksploatacji. Eksperci biorący udział w identyfikacji zagrożeń, wyrażają swoje niezależne opinie w temacie analizowanego stanu zachowania SZW, co zapewnia kompleksowe, wielowymiarowe podejście do identyfikacji zdarzeń niebezpiecznych i ich skutków. W metodzie tej konieczne jest zachowanie wieloetapowości postępowania w procesie szacowania ryzyka i niezależności ekspertów wraz z wykluczeniem negatywnych aspektów komunikacji bezpośredniej. Powyższe założenia skutkują dokładnością, szczegółowością zdefiniowanego zakresu pozyskiwanych danych, obiektywizmem uzyskanych rezultatów. Prowadzone prace umożliwiają weryfikację przyjętych założeń w toku dyskusji i prezentowania stanowiska przez poszczególnych ekspertów. Należy tu zaznaczyć, iż uzyskany efekt analizy i oceny ryzyka jest uzależniony od poziomu wiedzy i doświadczenia dobranych ekspertów.

2.2.4. Korzyści wynikające z wprowadzenia systemu zarządzania ryzykiem (Planu Bezpieczeństwa Wody)

Korzyści z wdrażania w codzienne praktyki wodociągowe zarządzania opartego na ryzyku podkreśla szereg prac naukowych [40, 44, 104, 106-122, 127, 1381, 139, 144-158, 182-186, 177 193]/ W artykule *Oczekiwane korzyści z wdrażania Planów Bezpieczeństwa Wody dla przedsiębiorstw, klienta i środowiska* [193], autorki wskazały na kilka aspektów w tym:

- korzyści organizacyjne, zapewniające m. in.:
 - wymianę wiedzy i doświadczeń pracowników oraz uporządkowanie dokumentacji w przedsiębiorstwie,
 - przypisanie odpowiedzialności personalnej za dany obszar funkcjonowania SZW,
 - polepszenie komunikacji wewnętrznej i zewnętrznej w przedsiębiorstwie,
 - poprawę sprawności działania w sytuacjach awaryjno-kryzysowych,
 - doskonalenie zarządzania i monitoringu operacyjnego,
 - samodoskonalenie pracowników przedsiębiorstwa;
- korzyści ekonomiczne, gwarantujące m. in.::
 - ograniczenie kosztów,
 - właściwą alokację potrzeb finansowych,
 - atut w pozyskiwaniu przez przedsiębiorstwa wsparcia finansowego,
 - możliwość zmniejszenia kosztów polisy ubezpieczeniowej;
- korzyści środowiskowe wzmacniające m.in.:
 - minimalizację zagrożeń zdrowotnych i poprawę jakości wody do picia,
 - działania na rzecz zachowania rezerwuaru wód głębinowych dobrej jakości dla przyszłych pokoleń,
 - poprawę zdrowia populacji.

Niewątpliwie wdrożenie systemu zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody (tabela 2.8) przynosi wymierne korzyści nie tylko przedsiębiorstwom wodociągowym, ale także społeczności lokalnej, poprzez budowanie świadomości i odpowiedzialności za korzystanie z zasobów wodnych. Nabiera to szczególnego znaczenia w dobie zmian klimatu, gdzie woda w obliczu galopującego postępu cywilizacyjnego, stanowi strategiczny zasób, kształtujący wizerunek przyszłego świata.

Tabela 2.8. Zestawienie korzyści z wdrażania systemów zarządzania ryzykiem w SZW [190,193,194]

Element SZW	Korzyści w obszarach oddziaływania		
	Przedsiębiorstwo	Klient	Środowisko
Zlewnia	<ol style="list-style-type: none"> Zwiększenie wiedzy i kontroli nad gospodarką wodną, ściekową i odpadową zakładów przemysłowych. Konsolidacja współpracy z jednostkami administracji publicznej w zakresie ochrony zasobów wody, jej gospodarowania i bezpieczeństwa zdrowotnego. Możliwość wprowadzenia ograniczeń w korzystaniu ze środowiska w strefach ochronnych ujęć wody. Ewentualne poszukiwanie nowych ujęć wody w aspekcie zmian klimatycznych (perspektywa roku 2040). 	<ol style="list-style-type: none"> Zabezpieczenie jakościowe zasobów wody dla przyszłych pokoleń. Zwiększenie świadomości ekologicznej i wrażliwości społecznej na zanieczyszczanie środowiska. Edukacja społeczeństwa. 	<ol style="list-style-type: none"> Zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska wodnego. Zabezpieczenie jakości wody surowej. Zasobooszczędna gospodarka.
Ujęcie wraz ze stacją uzdatniania	<ol style="list-style-type: none"> Sklasyfikowanie rodzajów potrzeb inwestycyjnych i remontowanych w układzie priorytetu bezpieczeństwa zdrowotnego wody. Optymalizacja substancji chemicznych zużywanych do procesów uzdatniania i dezynfekcji wody. Ograniczenie awarii poprzez system wczesnego ostrzegania. Zastosowanie środków kontroli adekwatnych do stopnia zagrożenia. Poprawa organizacji pracy. Zwiększenie monitoringu operacyjnego. Uporządkowanie instrukcji i procedur. 	<ol style="list-style-type: none"> Podniesienie bezpieczeństwa zdrowotnego wody. 	<ol style="list-style-type: none"> Wprowadzanie technologii bezodpadowych.
Dystrybucja	<ol style="list-style-type: none"> Zwiększenie niezawodności dostaw. Ograniczenie kosztów awarii. Poprawa organizacji pracy. Zwiększenie monitoringu operacyjnego. Ograniczenie strat wody. Zmniejszenie skarg na brak wody i jej jakość. Uporządkowanie instrukcji i procedur. 	<ol style="list-style-type: none"> Podniesienie poziomu świadczonych usług dostarczania wody. 	<ol style="list-style-type: none"> Ograniczenie marnowania wody.
Kran odbiorcy	<ol style="list-style-type: none"> Zmniejszenie zagrożenia związanego ze skażeniem wody z instalacji wewnętrznej klienta. Wypracowanie środków komunikacji właściwych dla różnych grup społecznych. Zwiększenie współpracy i przepływu informacji z klientem kluczowym. 	<ol style="list-style-type: none"> Racjonalizacja zużycia wody. Zwiększenie świadomości o zdrowotnych właściwościach wody. 	<ol style="list-style-type: none"> Zachowanie prawa do wody każdego człowieka.

2.3. Regulacje prawne dotyczące bezpieczeństwa wody

Zakres zagadnień obejmujących zapewnienie bezpieczeństwa wody na poziomie Unii Europejskiej został ujęty w dwóch głównych dyrektywach: Ramowej Dyrektywie Wodnej (RDW) [27] oraz Dyrektywie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia (DWD – Drinking Water Directive) [28]. Celem RDW jest ustalenie ram dla ochrony śródlądowych wód powierzchniowych, wód przejściowych i przybrzeżnych oraz wód podziemnych, a w ten sposób kreowanie międzynarodowych strategii, które gwarantują poprawę ilościową i jakościową naturalnych zasobów wodnych. Działania te zmierzają do globalnej poprawy warunków zaopatrzenia w dobrej jakości wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi, niezbędnego dla zrównoważonego, i sprawiedliwego korzystania z wód. RDW ustala środowiskowe normy jakości, wielkości dopuszczalnych stężeń określonego zanieczyszczenia lub grupy zanieczyszczeń w wodzie, osadach oraz w faunie i florze. Stężenia te nie powinny być przekroczone z uwagi na ochronę zdrowia ludzkiego, jak i właściwe funkcjonowanie ekosystemów wodnych i środowiska naturalnego. W preambule RDW podkreśla, że woda środowiskowa o dobrej jakości przyczyni się do zapewnienia zaopatrzenia ludności w bezpieczną wodę do spożycia. Artykuł 7 „*Wody wykorzystywane do poboru wody do spożycia*” ustęp 3 nakłada na Państwa Członkowskie obowiązek zapewnienia koniecznej ochrony części wód wyznaczonych jako zasoby wód przeznaczonych do spożycia przez ludzi, w celu uniknięcia pogorszenia ich jakości. Utrzymanie wysokiej jakości tych wód jest gwarantem zredukowania poziomu uzdatniania, wymaganego przy produkcji wody do spożycia. Państwa Członkowskie mogą ustalić strefy ochronne dla tych części wód. Podsumowując, RDW dąży do poprawy jakości naturalnych zasobów wód powierzchniowych jak i podziemnych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności, a przez to zachęca do ograniczenia stosowania środków chemicznych w procesach uzdatniania tej wody.

Na gruncie prawa krajowego transpozycją RDW jest ustawa Prawo Wodne (PW) [167]. Zapisy RDW są realizowane przede wszystkim, w postaci przeglądu i aktualizacji planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy. Plany gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy są jednym z podstawowych dokumentów planistycznych, przyjmowanych w drodze rozporządzeń. Stanowią one podstawę podejmowania decyzji kształtujących stan zasobów wodnych i zasady gospodarowania nimi w perspektywie sześciolatniej. Korzystanie z naturalnych zasobów wodnych nie może powodować pogorszenia stanu wód i ekosystemów od nich zależnych. Zgodnie z ustaleniami planów,

wydawane są pozwolenia wodnoprawne i inne decyzje administracyjne. Plany gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy podlegają przeglądom i aktualizacji co sześć lat. Weryfikacji podlega m.in. zawarty w nich zestaw działań dążących do osiągnięcia lub utrzymania celów środowiskowych, to znaczy utrzymanie dobrego stanu wód powierzchniowych i podziemnych. Projekty Planów gospodarowania wodami na obszarach dorzeczy opracowuje Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie (PGW WP). Dane dotyczące II aktualizacji Planów gospodarowania wodami (IIaPGW), które obowiązują od 2023 r. dostępne są na stronie internetowej Hydroportalu (<https://www.apgw.gov.pl/pl/news/show/492>).

Prawo wodne nakłada na dostawców wody obowiązki obejmujące m.in.:

- opłaty za korzystanie z wód w zależności od rodzaju ujmowanych wód (podziemne, powierzchniowe) czy ilości pobieranej wody ze środowiska;
- opłaty za wprowadzane ścieki do środowiska;
- raportowania jakości wody powierzchniowej wykorzystywanej do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi - zgodnie z PW właściciel ujęcia ma obowiązek przekazać wyniki badań oraz kategoryzację jakości wody powierzchniowej do właściwego miejscowo państwowego powiatowego inspektora sanitarnego, wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska oraz Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie;
- wykonanie analizy ryzyka celem stwierdzenia zasadności ustanowienia terenu ochrony bezpośredniej i pośredniej ujęcia wody - analiza ryzyka ma obejmować 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;
- ustanowienie strefy ochronnej jeśli analiza ryzyka wykaże taką potrzebę.

Ustawa PW reguluje również zasady zarządzania ryzykiem powodziowym, w tym sporządzanie map zagrożenia powodziowego i map ryzyka powodziowego, co również ma wpływ na jakość wody ujmowanej do zaopatrzenia ludności oraz bezpieczeństwo wody pitnej. Jednym z aktów wykonawczych jest Rozporządzenie Ministra Infrastruktury [127] dotyczące Planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły .

W dniu 16 grudnia 2020 r. Parlament Europejski i Rada (UE) przyjęły dyrektywę nr 2020/2184 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [28]. Jej

transpozycja do prawa krajowego poszczególnych Państw Członkowskich obejmowała okres dwóch lat od jej publikacji, czyli powinna być sukcesywnie wdrażana od dnia 12 stycznia 2023 r. Dyrektywa 2020/2184, zgodnie z ustawodawstwem wspólnotowym nie reguluje zasad zaopatrzenia w wodę ludności w poszczególnych krajach, ale odnosi się jedynie do celów, jakimi są:

- ochrona zdrowia ludzkiego przed niepożądanymi skutkami wszelkiego zanieczyszczenia wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi poprzez zapewnienie, aby była ona zdrowa i czysta,
- poprawa powszechnego dostępu do wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

Minęło już ponad 1,5 roku od obowiązkowego terminu transpozycji dyrektywy i Polska jako jedyny kraj członkowski nie transponował DWD do legislacji polskiej. Kwestie dotyczące zaopatrzenia w wodę oraz nadzoru nad jakością i bezpieczeństwem wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi w dalszym ciągu są regulowane:

- ustawą z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (UOZZW) [169], która dotyczy jedynie zbiorowego zaopatrzenia ludności w wodę, realizowanego w ramach zadań własnych gminy;
- rozporządzeniem Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (RMZ) [128], będącym aktem wykonawczym do powyższej ustawy, który dodatkowo nakłada obowiązki na podmioty nieobjęte ustawą oraz określa inne, nieobjęte ustawą obowiązki.

Powyższe przepisy stanowią implementację Dyrektywy 98/83/WE i Dyrektywy 2015/1787 zmieniającej załączniki II oraz III do dyrektywy Rady 98/83/WE w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [28].

Ustawy PW i UOZZW definiują pojęcie wody do spożycia jako:

- a) wodę w stanie pierwotnym lub po uzdatnieniu, przeznaczoną do picia, przygotowania żywności lub innych celów domowych, niezależnie od jej pochodzenia i od tego, czy jest dostarczana z sieci dystrybucyjnej, cystern, w butelkach lub pojemnikach,
- b) wodę wykorzystywaną przez przedsiębiorstwo produkcji żywności do wytworzenia, przetworzenia, konserwowania lub wprowadzania do obrotu produktów albo substancji przeznaczonych do spożycia przez ludzi.

Zapisy UOZZW określają zbiorowe zaopatrzenie w wodę jako zadanie własne gminy. Zapis ten obliguje władze gminne do kompleksowego podejścia do zagadnień związanych z bezpieczeństwem wody, w tym do działań zmierzające do ochrony wody w środowisku naturalnym, wykorzystywanej jako źródło do zaopatrzenia ludności

w wodę do picia. W ustawie nie zostały zdefiniowane warunki, czy ramy współpracy w tym zakresie z innymi jednostkami jak PGW WP, ponadto brak jest również wskazania źródeł finansowania czy decyzyjności. Ustawa nie określa obowiązku budowy strategii realizacji zadania zaopatrzenia w wodę na wszystkich poziomach, począwszy od lokalnego (gminy, powiat), poprzez regionalny (województwo), a skończywszy na krajowym. Istniejący stan prawny skutkuje rozdrobnieniem dostawców wody, co przekłada się na mniejsze możliwości ekonomiczne inwestycji w „środowisko”, czy infrastrukturę wodociągową. Ustawa UOZZW określa obowiązki przedsiębiorstw wodociągowych, podmiotów prowadzących w imieniu gminy zbiorowe zaopatrzenie w wodę, w tym:

- obowiązek zapewnienia zdolności posiadanych urządzeń wodociągowych i kanalizacyjnych do realizacji dostaw wody w wymaganej ilości i pod odpowiednim ciśnieniem oraz dostaw wody i odprowadzania ścieków w sposób ciągły i niezawodny,
- zapewnienia należytej jakości dostarczanej wody i jakości odprowadzanych ścieków,
- prowadzenia kontroli wewnętrznej jakości wody.

Podkreślenia wymaga fakt, iż UOZZW nie obejmuje regulacją prawną innych podmiotów, w tym realizujących hurtowe dostawy wody do lokalnych przedsiębiorstw wodociągowych, czy dostaw wody na własne potrzeby właścicieli ujęć (np. szpitale, hotele). Podmioty takie nie realizują tych usług w imieniu gminy, co skutkuje, iż nie prowadzą zbiorowego zaopatrzenia. Efektem tych zapisów był np. jest brak możliwości skorzystania z tzw. tarczy energetycznej, która ustalała maksymalne ceny energii elektrycznej dla podmiotów realizujących zadania własne gminy, co przełożyło się pośrednio na ceny wody dla konsumenta końcowego.

Ustawa UOZZW ponadto:

- przekazuje obowiązek prowadzenia nadzoru nad jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi na organy Państwowej Inspekcji Sanitarnej,
- określa warunki dla materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z wodą oraz technologii stosowanych do uzdatniania wody,
- określa warunki badania pobranych próbek wody,
- określa warunki informowania mieszkańców o jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

W UOZZW zawarta jest delegacja, na podstawie której Minister Zdrowia, w porozumieniu z ministrem właściwym do spraw gospodarki wodnej określił w drodze rozporządzenia [128]:

- 1) wymagania dotyczące jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, w tym wymagania bakteriologiczne, fizykochemiczne, organoleptyczne,
- 2) sposób oceny przydatności wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi,
- 3) minimalną częstotliwość i miejsca pobierania do badania próbek wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi,
- 4) zakres badania wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi,
- 5) program monitoringu jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi;
- 6) sposób nadzoru nad materiałami i wyrobami stosowanymi w procesach uzdatniania i dystrybucji wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi,
- 7) sposób nadzoru nad laboratoriami wykonującymi badania jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi,
- 8) sposób informowania konsumentów o jakości wody przeznaczonej do spożycia,
- 9) sposób postępowania przed organami Państwowej Inspekcji Sanitarnej w przypadku, gdy woda przeznaczona do spożycia przez ludzi nie spełnia wymagań jakościowych – biorąc pod uwagę bezpieczeństwo i zdrowie konsumenta.

Kontrola jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, zgodnie z zapisami ww. aktów prawnych jest prowadzona w ramach kontroli urzędowej przez organy PIS, w ramach kontroli wewnętrznej przez przedsiębiorstwa wodociągowe oraz podmioty dostarczające lub wykorzystujące wodę pochodzącą z indywidualnego ujęcia w ramach działalności gospodarczej lub w budynkach użyteczności publicznej, budynkach zamieszkania zbiorowego, jak również w podmiotach działających na rynku spożywczym wykorzystujących wodę. Kontrola wewnętrznej jakości wody przeznaczonej do spożycia stanowi podstawowe narzędzie potwierdzające, iż woda dostarczana konsumentom jest bezpieczna dla zdrowia. Zgodnie z nową DWD poza kontrolą jakości wody w punktach zgodności (tzw. monitoring zgodności), dostawcy wody realizują badania jakości wody w ramach monitoringu operacyjnego, który służy weryfikacji prawidłowości prowadzenia eksploatacji SZW. Kontrola urzędowa jak i kontrola wewnętrzna stanowią źródło informacji, w oparciu o które wydawane się okresowe i obszarowe oceny jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. W przypadku stwierdzenia sytuacji wystąpienia niezgodności jakości wody z wartościami parametrycznymi określonymi w RMZ [128], identyfikacja przyczyn czy uzgadnianie z PIS działań naprawczych,

umożliwia prowadzenie nadzoru nad zagrożeniami dotyczącymi zdrowia publicznego, w tym identyfikację etiologii chorób wodopochodnych, jak również pozwala na minimalizację ryzyka spożycia wody o niepewnej jakości. Informacje o jakości wody powinny wskazywać kierunki rozwoju infrastruktury wodociągowej obejmujące, m. in. zmianę technologii uzdatniania wody, modernizację systemu dystrybucji wody, czy uruchomienie dodatkowych punktów dochlorowania, mających na celu zapewnienia stabilności mikrobiologicznej wody. Wyniki z kontroli wewnętrznej powinny stanowić także wytyczne dla decydentów o konieczności podjęcia działań, takich jak: ochrona ujęć wód zawartych w planach zagospodarowania przestrzennego, czy konieczność likwidacji zidentyfikowanych źródeł zanieczyszczenia zasobów wodnych. Zgodnie z zapisami RMZ [128] wewnętrzna kontrola jakości wody realizowana przez przedsiębiorstwa wodociągowe oraz podmioty dostarczające lub wykorzystujące wodę pochodzącą z indywidualnego ujęcia w ramach działalności gospodarczej lub w budynkach użyteczności obejmuje:

- wykonywanie badań jakości wody w urządzeniach wodociągowych w wyznaczonym zakresie i częstotliwości, oraz każdorazowo po wystąpieniu okoliczności mogących spowodować pogorszenie jakości wody w następstwie wystąpienia zdarzeń niepożądanych tj. awarii sieci wodociągowej, awarii systemu uzdatniania wody, oddania do użytku nowego odcinka sieci wodociągowej, powodzi, intensywnych opadów, czy suszy,
- informowanie właściwy organ PIS oraz władz lokalnych o przekroczeniach wartości parametrycznych, jak i o sposobie ustalenia miejsca i przyczyny niezgodności z wymaganiami oraz sposobie prowadzonych działań naprawczych, np.: zwiększenie dawki dezynfektanta, płukanie sieci,
- ustalenie harmonogramu pobierania próbek wody w SZW do badań jakości wody.

W podsystemie produkcji wody kontrola wewnętrzna powinna obejmować jakość wody ujmowanej ze środowiska, wody w ciągu technologicznym na stacji uzdatniania oraz w miejscu jej wtłoczenia do sieci. Kontrola jakości wody w tych punktach jest wykorzystywana do weryfikacji efektywności eksploatacji SUW. Miejsca pobierania do badań próbek wody powinny być rozmieszczone równomiernie w całym SZW, co gwarantuje skuteczną kontrolę potencjalnego jej wtórnego zanieczyszczenia. Natomiast zgodnie z RMZ [128] miejsca pobierania do badań próbek wody, poza siecią wodociągową, pozwalające na ocenę jakości wody w wewnętrznej instalacji wodociągowej muszą być zlokalizowane są w punktach czerpalnych, stanowiących

zawory zwykle używane do pobierania wody, które są zainstalowane najbliżej i najdalej wodomierza głównego, lub przyłącza wodociągowego łączącego sieć z wewnętrzną instalacją wodociągową. Ponadto badania jakości wody dokonywane są w wybranych punktach pośrednich, których liczba zależy od wielkości instalacji wewnętrznej. Nieco odmiennie punkty poboru wody do badań jej jakości definiowane są w Dyrektywie 2020/2184. Zgodnie z dyrektywą dla wody przeznaczonej do spożycia dostarczanej z sieci dystrybucyjnej, w obiektach lub w terenie, lub w miejscu świadczenia usługi punktem zgodności jest kran, z którego zwykle wypływa woda przeznaczona do spożycia przez ludzi. Zatem, nie może to być jakikolwiek punkt czerpalny wody, ale musi on spełniać określone warunki. Załącznik II część D dyrektywa 2020/2184 stwierdza ponadto, że w przypadku sieci dystrybucji państwo członkowskie może pobrać próbki w strefie zaopatrzenia lub w SUW dla określonych parametrów jakości wody, jeśli można wykazać, że nie będzie niekorzystnej zmiany jakości wody transportowanej do odbiorcy. Badania jakości wody w podsystemie dystrybucji powinny weryfikować również prawidłową pracę SUW, np. poprzez kontrolę stężeń ubocznych produktów dezynfekcji wody. Podwyższone stężenia trihalometanów (THM) w punktach zgodności może świadczyć o niewystarczającym poziomie usunięcia materii organicznej. Ponadto badania w podsystemie dystrybucji wody umożliwiają identyfikację powstania wtórnego zanieczyszczenia wody i są podstawą do prowadzenia działań naprawczych oraz wskazują ewentualny kierunek inwestycji.

Polskie regulacje prawne dotyczące bezpieczeństwa wody, definiują także obowiązki i odpowiedzialności dla organów kontroli. Do realizacji zadań z zakresu zdrowia publicznego, zgodnie z ustawą [166] jest jednostka administracji państwowej - Państwowa Inspekcja Sanitarna (PIS). Na szczeblu krajowym PIS kieruje Główny Inspektor Sanitarny, który jest powoływany przez Ministra Zdrowia. Na szczeblu wojewódzkim nadzór sprawuje właściwy państwowy wojewódzki inspektor sanitarny (PWIS), na szczeblu lokalnym, tj. na poziomie gminy, miasta na prawach powiatu bezpośredni nadzór sprawuje właściwy państwowy powiatowy inspektor sanitarny (PPIS) oraz w zakresie przejść granicznych właściwy państwowy graniczny inspektor sanitarny (PGIS). Do zadań PPIS jak i PGIS w zakresie nadzoru nad jakością wody przeznaczoną do spożycia należy:

- uzgadnianie harmonogramów kontroli jakości wody oraz ich zakresów wykonywanych przez dostawców wody wraz z kontrolą terminowości przekazywania raportów z badań wody,

- weryfikacja poprawności realizacji przez podmioty dostarczające wodę obowiązków wynikających z udzielonej zgody na odstępstwo, celem zapewnienia utrzymania zatwierdzonej jakości dostarczanej wody oraz wywiązywania się z realizacji harmonogramu działań naprawczych,
- zatwierdzanie, na wniosek dostawców wody oceny ryzyka wraz z przedłożonym wnioskiem o zmniejszenie lub zwiększenie częstotliwości badań i ich zakresu, a następnie informowanie właściwego PWIS o akceptacji przedmiotowej oceny oraz o wprowadzeniu elastycznego systemu monitorowania jakości wody,
- analiza przekazanych przez dostawców sprawozdań z badań jakości wody, a także gromadzenie, weryfikacja, analiza i ocena danych uzyskanych w wyniku prowadzonego monitoringu jakości wody oraz ich przekazywanie do PWIS,
- informowanie właściwego wójta, burmistrza, lub prezydenta miasta o jakości wody na nadzorowanym obszarze,
- ocena ryzyka zdrowotnego konsumentów,
- pobieranie i badania jakości wody zgodnie z ustalonym przez organy PIS planem działania na dany rok,
- kontrolne badania jakości wody po zakończeniu działań naprawczych wykonanych przez dostawców wody, mające na celu sprawdzenie, czy woda spełnia wymagania;
- prowadzenie wykazów przedsiębiorstw wodociągowych realizujących zbiorowe zaopatrzenia w wodę oraz podmioty dostarczających lub wykorzystujących wodę pochodzącą z indywidualnego ujęcia w ramach działalności gospodarczej lub w budynkach użyteczności.

Natomiast do PWIS, organu nadrzędnego nad PPIS i PGIS, należy realizacja zadań tj.:

- weryfikacja wykonywania przez dostawców wody badań jakości wody zgodnie z harmonogramem, ustalonym z PPIS czy PGIS,
- gromadzenie, analiza i ocena danych z monitoringu jakości wody i przekazywanie ich do Głównego Inspektora Sanitarnego,
- prowadzenie nadzoru nad PPIS oraz PGIS.

Na podstawie badań własnych oraz sprawozdań przekazanych przez dostawców wody właściwe organy PIS, posiadający wyłączną kompetencję do oceny jakości wody, wydają decyzje o jakości wody. RMZ [128] w zależności od składu wody definiuje możliwość wydania czterech decyzji o przydatności wody (tabela 2.9). Organ PIS na podstawie danych dotyczących jakości wody, analizy skuteczności działań naprawczych wydaje okresowe oceny o stanie jakości wody. Oceny te zawierają informacje o jakości wody,

w tym o przekroczeniach oraz ocenę ryzyka zdrowotnego konsumentów w danej strefie zaopatrzenia. Oceny te nie mogą być wydawane rzadziej niż raz na rok. Ponadto organy PIS na podstawie tych ocen dokonują obszarowych ocen jakości wody i szacowania ryzyka zdrowotnego. W ocenie obszarowej, poza jakością wody, zamieszczane są informacje o: wielkości produkcji wody oraz sposobu jej uzdatniania, liczbie zaopatrywanej ludności, liczbie przekroczeń wartości parametrycznych wraz ze wskazaniem ich wpływu na zdrowie konsumentów, a także informacje o zgłoszonych niepożądanych konsekwencjach związanych ze spożyciem wody oraz prowadzonych przez dostawców wody działaniach naprawczych.

Tabela 2.9. Przydatności wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi wydawane przez organy PIS

Decyzja - ocena	Warunek dot. stanu jakości wody
przydatność wody do spożycia	wódka spełnia wymagania określone w RMZ.
przydatność wody do spożycia na warunkach przyznanego odstępstwa	jakość wody nie spełnia wymagań parametrów chemicznych (z wyłączeniem bromianów i ołowiu) i nie jest możliwe przywrócenie jej jakości do wymagań RMZ w terminie do 30 dni oraz jeżeli nie stanowi potencjalnego zagrożenia dla zdrowia ludzkiego, a zaopatrzenie nie może być realizowane niezwłocznie za pomocą innych środków.
warunkowa przydatność wody do spożycia	Jakość wody nie spełnia wymagań parametrów chemicznych RMZ (z wyłączeniem bromianów i ołowiu), a podjęte działania naprawcze są wystarczające do przywrócenia jej jakości do wymagań w terminie do 30 dni oraz jeżeli nie stanowi potencjalnego zagrożenia dla zdrowia ludzkiego. Stan taki może być stwierdzony w przypadku przekroczenia wartości parametrycznych dla parametrów mikrobiologicznych, organoleptycznych, fizykochemiczne i dodatkowych wymagań chemicznych oraz parametrów wyznaczonych w oparciu o analizę ryzyka i ocenę zdrowia ludzkiego, jeżeli woda nie stanowi zagrożenia dla zdrowia.
nieprzydatność wody do spożycia	Brak przydatności wody do spożycia w przypadku przekroczenia parametrów mikrobiologicznych RMZ oraz w sytuacji, gdy jej jakość zagraża zdrowiu konsumentów, jednocześnie po przeprowadzeniu oceny bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów PPIS czy PGIS stwierdza czy woda może być wykorzystywana do innych celów niż do spożycia.

Rozporządzenie Ministra Zdrowia [...] określa także wymagania dotyczące jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, w tym wymagania bakteriologiczne, fizykochemiczne oraz organoleptyczne. W załączniku I przedmiotowego rozporządzenia określono parametry istotne dla zdrowia ludzkiego wraz z ich wartościami parametrycznymi, jakim powinna odpowiadać woda. W części A załącznika I, w tabeli 1 określono wymagania mikrobiologiczne dla wody dostarczanej konsumentom z sieci wodociągowej, natomiast w części B parametry chemiczne, podczas gdy w części C

zdefiniowano parametry wskaźnikowe, których wartości ustala się wyłącznie do celów monitorowania efektywności eksploatacji SZW.

Obecnie wartości parametryczne traktowane są przez organy PIS jako najwyższe dopuszczalne stężenia. Taka interpretacja skutkuje koniecznością podejmowania natychmiastowych działań naprawczych, każdorazowo w przypadku jakiegokolwiek ich przekroczenia. Transpozycja Dyrektywy 2020/2184 do prawa polskiego powinna zmienić to podejście, gdyż dyrektywa tytułuje załącznik I jako „*Minimalne wymogi dotyczące wartości parametrycznych wykorzystywanych do oceny jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi*”. Oznacza to, że wartości określone w załączniku mają służyć jedynie ocenie jakości wody i podejmowaniu działań naprawczych zgodnie z art. 14 DWD, który stwierdza m.in.:

1. Państwa członkowskie zapewniają, aby każdy przypadek niezgodności z wartościami parametrycznymi (...) był niezwłocznie badany w celu określenia jego przyczyny,
2. (...) zainteresowane państwo członkowskie, mając na uwadze między innymi poziom przekroczenia odpowiedniej wartości parametrycznej i związane z tym potencjalne niebezpieczeństwo dla zdrowia ludzkiego, zapewnia jak najszybsze podjęcie niezbędnych działań naprawczych w celu przywrócenia jakości takiej wody oraz przyznaje pierwszeństwo ich egzekwowaniu;
3. (...) państwa członkowskie uznają dany przypadek niezgodności z minimalnymi wymogami dotyczącymi wartości parametrycznych określonych w załączniku I części A i B za potencjalne niebezpieczeństwo dla zdrowia ludzkiego, z wyjątkiem przypadków, w których właściwy organ uznaje daną niezgodność z wartościami parametrycznymi za nieistotną.

Zapisy Dyrektywy 2020/2184 w artykule 14 ust. 4 podkreślają także, iż w przypadku gdy niezgodność z wartościami parametrycznymi stanowi potencjalne niebezpieczeństwo dla zdrowia ludzkiego, państwa członkowskie jak najszybciej stosują wszystkie środki ostrożności. Środki te obejmują działania oparte na powiadomieniu wszystkich narażonych konsumentów o zaistniałym przekroczeniu, jak i wynikającym z tego faktu potencjalnym niebezpieczeństwie dla ich zdrowia, określeniu przyczyny tego przekroczenia, informowaniu o podjętych działaniach naprawczych, w tym również o wprowadzonym zakazie lub ograniczeniu korzystania z wody. Ponadto do obowiązków państw członkowskich w sytuacji wystąpienia zagrożenia wynikającego z przekroczenia wartości parametrycznych nałożonych artkułem 14 DWD należy przekazywanie regularnie aktualizowanych niezbędnych porad dla konsumentów dotyczące warunków

konsumpcji i korzystania z wody ze szczególnym uwzględnieniem grup populacji o podwyższonym ryzyku dla zdrowia wiążącym się z wodą oraz informowanie konsumentów, że świadczenie usługi dostaw wody po incydencie wróciło do normy. Zatem nowe podejścia do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczona do spożycia oparte na zarządzaniu ryzykiem, które zostało ujęte w ramy prawne UE Dyrektywą 2020/2184 oparte jest na konieczności ciągłego analizowania, czy w sytuacji wystąpienia zdarzeń niebezpiecznego zaistniałe przekroczenie jakiegokolwiek wartości parametrycznej wody stanowi potencjalne niebezpieczeństwo dla zdrowia ludzkiego, podejmowaniu działań naprawczych oraz o powiadamianiu konsumentów i udzielaniu porad. A zatem, w przypadku zanieczyszczenia mikrobiologicznego wody, zgodnie z wytycznymi WHO, należy najpierw wydać zalecenie o gotowaniu wody, a po zidentyfikowaniu miejsca i przyczyny zanieczyszczenia wprowadzić lub zwiększyć poziom dezynfekcji.

Jedną z najważniejszych zmian jaką wprowadza dyrektywa 2020/2184 jest obowiązkowe podejście do bezpieczeństwa wody oparte na ryzyku. Artykuł 7 nakłada na wszystkich interesariuszy zaopatrzenia w wodę, w całym łańcuchu jej dostaw od obszaru zasilania do punktu poboru wody u konsumenta, obowiązek stosowania podejścia opartego na ryzyku. W zarządzaniu tym wydzielone zostały trzy współzależne obszary zaopatrzenia w wodę obejmujące obszar zasilania dla ujęć wody będący w gestii administrowania przez organy państw członkowskich, obiekty techniczne systemu zaopatrzenia w wodę eksploatowane przez dostawców wody (ujęcia, SUW, pompownie, sieć dystrybucji, zbiorniki magazynujące wodę) oraz elementy wewnętrznych systemów wodociągowych, będących w gestii utrzymania i obsługi właściciela lub administratora obiektu budowlanego. Podejście oparte na wdrażaniu w codzienne praktyki procesu zarządzania ryzykiem ma nie tylko minimalizować ryzyko dla bezpieczeństwa wody, w tym zapewnić lepszą ochronę zdrowia publicznego, ale także ma wpływać pozytywnie na poprawę efektywności zaopatrzenia w wodę oraz optymalizację kosztów, gwarantować lepszą organizację przedsiębiorstw, szybszą reakcję na incydenty i zdarzenia kryzysowe, wprowadzanie innowacyjnych rozwiązań, jak również zapewniać systematyczne podnoszenie wiedzy pracowników i interesariuszy.

3. TEZA, CEL I ZAKRES PRACY

Dokonany przegląd literatury, w tym dotyczącej systemów zarządzania ryzykiem w SZW oraz legislacji na poziomie europejskim jak i krajowym, wskazuje na zasadność wprowadzenia obowiązku budowy i wdrażania systemów zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostawo wody od ujęcia do kranu u konsumenta. Nadrzędnym zadaniem, niezbędnym dla skutecznej ochrony zdrowia publicznego, jest stałe dążenie do minimalizowania wszelakiego ryzyka. Dostawcy wody powinni realizować to zadanie z uwzględnieniem uwarunkowań środowiskowych, ekonomicznych i organizacyjnych funkcjonowania SZW. Wymaga to podjęcia działań nie tylko wewnątrz organizacji, ale także stałej i skutecznej współpracy z zewnętrznymi interesariuszami dostaw wody, w tym z organami rządowymi, samorządowymi, podmiotami prowadzącymi działalność przemysłową lub rolniczą, których aktywność może mieć wpływ na jakość wody. Jest to szczególnie istotne w kontekście ochrony infrastruktury krytycznej zaopatrującej w wodę różne jednostki osadnicze, w tym duże aglomeracje miejsko-przemysłowe.

Obecnie trwa złożony, przedłużający się proces implementacji DWD do prawa polskiego. Dla bezpieczeństwa wody i jej konsumentów istotne jest jak najszybsze wdrożenie w Polsce Dyrektywy 2020/2184 z uwzględnieniem sprawiedliwego podziału obowiązków i odpowiedzialność na wszystkich interesariuszy. Procedury zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody powinny być realizowane przez wszystkie podmioty odpowiedzialne za poszczególne etapy zaopatrzenia w wodę. W przypadku Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów S.A. (GPW) jest to infrastruktura wodociągowa obejmująca pobór, uzdatnianie, magazynowanie i dystrybucję wody do punktów jej hurtowej sprzedaży. System zarządzania ryzykiem oparty na Planach Bezpieczeństwa Wody, rekomendowany przez WHO, IWA [175,176], jak i normę PN-EN 15 975 [92] nie zawiera szczegółowych reguł czy gotowych instrukcji postępowania w eksploatacji SZW, jednak stanowią ogólne wytyczne, zgodnie z którymi należy system zarządzania ryzykiem zbudować dostosowując go do indywidualnych cech SZW.

Uwzględniając powyższe, sformułowano poniższą tezę rozprawy:

dostępne narzędzia informatyczne, uporządkowane bazy danych operacyjnych i środowiskowych pozyskane z różnych portali bazodanowych, jak i parametry techniczne oraz technologiczne eksploatacji poszczególnych elementów infrastruktury wodociągowej pozwalają na budowę wielokryterialnego narzędzia opartego na ocenie

ryzyka służącego do wyznaczania priorytetów w podnoszeniu efektywności operacyjnej eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę.

Osiągnięcie zdefiniowanego celu głównego prac badawczych obejmuje realizację celów szczegółowych:

- określenie kluczowych modułów analizy stanowiących determinanty w podnoszeniu efektywności eksploatacji SZW z uwzględnieniem czynników wewnętrznych i zewnętrznych funkcjonowania dostaw bezpiecznej wody do konsumenta,
- zdefiniowanie autonomicznych deskryptorów oceny ryzyka w poszczególnych modułach badawczych z wykorzystaniem metody matrycowej,
- opracowanie metodyki systemu rekomendacji dla kadry zarządczej najwyższego szczebla do podjęcia decyzji i wyznaczenia kierunku priorytetowości obszarów funkcjonowania przedsiębiorstwa.

Realizacja celu głównego wraz z celami szczegółowymi stanowi element wsparcie w podejmowanie decyzji strategicznych funkcjonowania całego przedsiębiorstwa.

4. Metodyka badawcza

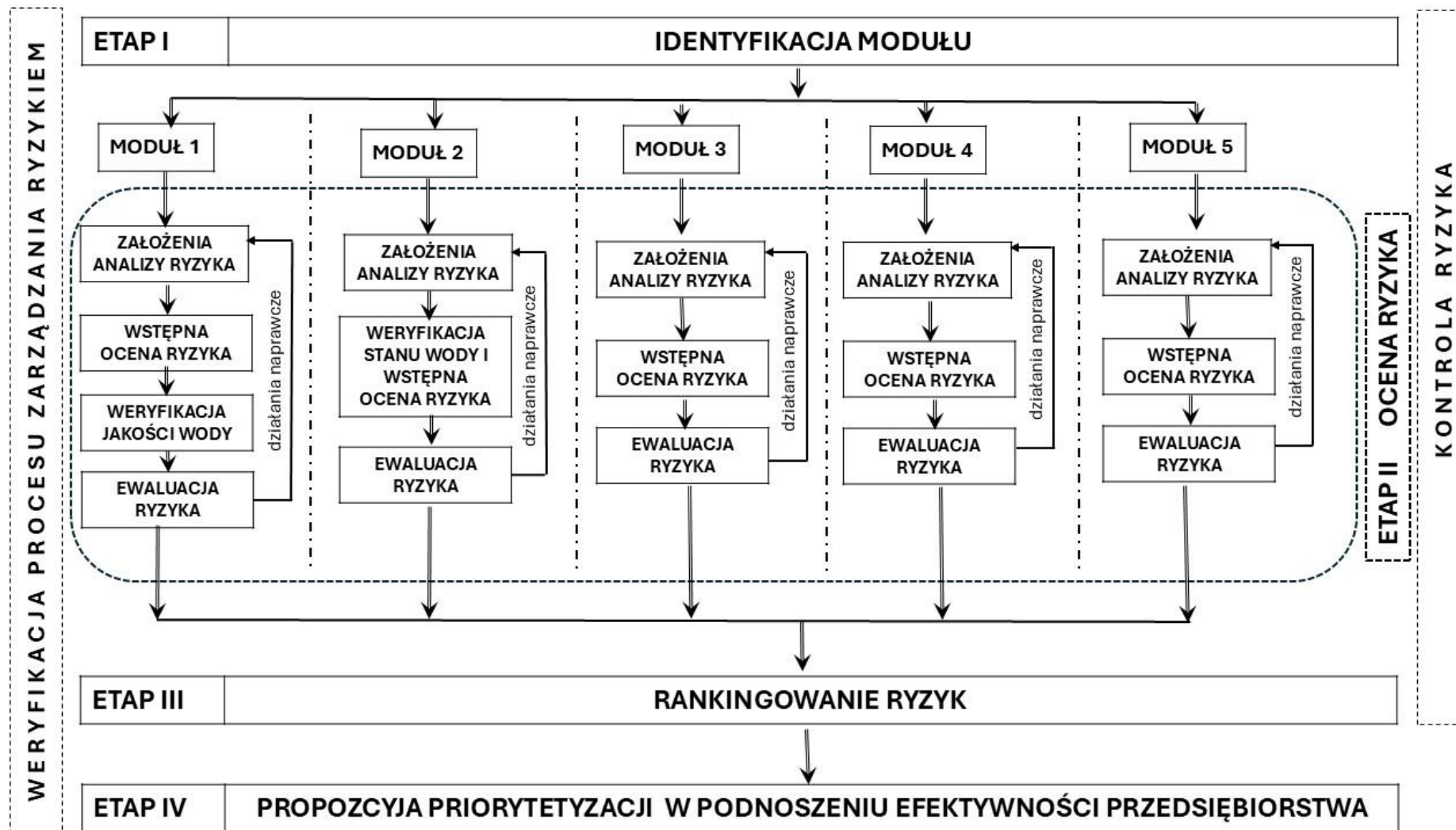
4.1. Algorytm zarządzania ryzykiem w podnoszeniu efektywności operacyjnej funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę

Budowa i wdrożenie systemu zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody ma na celu zapewnienie dostaw bezpiecznej wody do konsumenta w stopniu tak dużym jak to tylko możliwe, jednocześnie z zachowaniem odpowiedniej dystrybucji i optymalizacji zasobów będących w gestii dostawców wody. System zarządzania ryzykiem determinuje podejście, które w sposób kompleksowy, systemowy i systematyczny umożliwia identyfikować i oceniać ryzyko w różnych aspektach i obszarach działania organizacji, jak również podejmować świadome i racjonalne decyzje o postępowaniu z ryzykiem. Stanowi też podstawę do zwiększenia efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa. Zdobyta wiedza o naturze ryzyka w zakresie działalności dostawcy wody, tj. eksploatacji podsystemów ujmowania, uzdatniania oraz dystrybucji wody przeznaczonej do spożycia umożliwia zdefiniowanie potrzeb w toku budowy środków kontroli, barier, których stosowanie w konsekwencji minimalizuje prawdopodobieństwo i/lub skutki wystąpienia zagrożenia będącego efektem zdarzenie niepożądanego w realizowanych poszczególnych procesach funkcjonowania SZW czy utraty integralności systemu zaopatrzenia w wodę. Ryzyko jest funkcją prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenie niepożądanego oraz skutków jego wystąpienia, dlatego nie jest możliwa całkowita eliminacja lub pełne zabezpieczenia się przed zagrożeniem. System zarządzania ryzykiem dostaw wody musi być dostosowany do indywidualnej specyfikacji SZW. Dostawcy wody eksploatują SZW o różnej wielkości, począwszy od SZW o produkcji dobowej kilku – kilkunastu m³/dobę, do dużych rozległych SZW produkujących i dystrybuujących kilkaset tysięcy m³/dobę, zaopatrujących kilka milionów konsumentów na dużych obszarach, w których woda transportowana jest przez kilkadziesiąt a nawet kilkaset kilometrów i przebywa w systemie czasami nawet ponad 100 godzin. Dla małych SZW w procedurach zarządzania ryzykiem wystarczające jest wyznaczenie kompleksowego ryzyka dla bezpieczeństwa wody. Proponowany model badawczy dedykowany jest SZW zaopatrującym co najmniej 5 000 ludzi lub dystrybuującą w ciągu doby powyżej 1 000 m³/dobę wody. Systemy te, stanowią reprezentatywny obiekt badań, pozwalający na zgromadzenie niezbędnego zestawu informacji w postaci baz danych, m.in. z wynikami badań jakości wody wykonanych w ramach prowadzenia kontroli wewnętrznej. Dla „małego” SZW kontrola jakości wody ma charakter jednostkowy,

w konsekwencji czego jest generowana niewielka ilość danych o jakości wody. Również ze względu na niewielką ilość wykonanych badań jakości wody, nie można zbudować modelu analitycznego reprezentującego potencjalną zmienność jakości dostarczanej wody do konsumenta w ciągu roku, determinowaną, m.in. zmianami sezonowymi jakości wody w ujęciu, warunkami eksploatacyjnymi, czy też incydentami występującymi w procesach eksploatacji SZW. Wyznaczenie wartości i klasy ryzyka dla zdarzenia a następnie rankingowanie ryzyk SZW stanowi podstawę do zdefiniowania priorytetowości działań, w tym podjęcia decyzji o inwestycji, np.: modernizacji infrastruktury czy wzmocnienia środków kontroli. Jednocześnie system zarządzania ryzykiem dostaw wody umożliwia stosowanie elastycznych zasad monitoringu, co predestynuje alokację środków finansowych do obszarów wrażliwych na utratę bezpieczeństwa dostaw wody.

W niniejszej dysertacji zaproponowano algorytm zarządzania ryzykiem (rys 4.1), który wraz z elementem DSS stanowi wsparcie dla kadry zarządczej w wyznaczaniu kierunków działalności Spółki mających na celu podnoszenia efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa wodociągowego.

Opracowany algorytm zarządzania ryzykiem oparto o założenia normy PN-EN 15975-2 [92], Wytyczne WHO [175], Podręcznik do budowy PBW IWA [176], które to w schemacie procesu zarządzania ryzykiem wyróżniają następujące elementy składowe: opis systemu zaopatrzenia w wodę do spożycia (wydzielonych jednostkowych elementów poddanych badaniu), identyfikację zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych, analizę a następnie ewaluację ryzyka z uwzględnieniem procesów kontroli ryzyka i weryfikacji procesu zarządzania ryzykiem. Dyrektywa 2020/2184 wskazuje 3 obszary oceny i zarządzania ryzykiem dostawy wody – obszar zasilania punktu poboru wody, system zaopatrzenia w wodę oraz wewnętrzny system wodociągowy (przyłącza i instalacje wodociągowe będące w gestii właściciela obiektu). Uwzględnienie wszystkich tych elementów umożliwia wdrożenie kompletnego systemu zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody.



Rys 4.1. Algorytm zarządzania ryzykiem dostaw wody

W proponowanym algorytmie zarządzania ryzykiem zaprojektowano 4 etapy systemu zarządzania ryzykiem wraz z dwoma procesami zarządczymi tj.: kontrola ryzyka oraz weryfikacja procesu zarządzania ryzykiem, wspierającymi podejmowanie decyzji przez kadrę zarządzającą najwyższego szczebla. W toku badań zaprojektowano 5 modułów, w których elementy oceny ryzyka są integrowane celem zwiększenia efektywności wdrażania systemu zarządzania ryzykiem dostaw wody, co jest szczególnie istotne w przypadku SZW o dużej wydajności. Komplementarnym elementem jest weryfikacja procesu zarządzania ryzykiem oparta na kontroli ryzyka.

W algorytmie modelu badawczego wydzielono 4 etapy (rys 4.1):

Etap I: Identyfikacja modułu

Etap ten obejmuje identyfikację zakresu funkcjonowania wyodrębnionego elementu SZW, zdefiniowanie zmiennych losowych i zbudowanie baz danych celem przeprowadzenia procesu ewaluacji ryzyka w normalnych warunkach eksploatacyjnych SZW.

Z uwagi na konstrukcję badanych wyodrębnionych elementów SZW zaproponowano budowę 5 następujących modułów:

- moduł 1 - analiza zagrożeń i zdarzeń PsUjW. Do budowy tego modułu zdefiniowany zakres danych obejmuje: wyniki badań jakości wody: w punkcie poboru wody ze środowiska, w punkcie wtłoczenia wody do sieci, w punktach reprezentatywnych podsystemu dystrybucji wody; identyfikacja potencjalnych i faktycznych punktowych i obszarowych źródeł zanieczyszczenia pochodzenia naturalnego i antropogenicznego mających wpływ na jakość i stan (ograniczenie dostępności lub brak) ujmowanej wody; ewidencja wystąpienia zdarzeń niepożądanych w obszarze zasilania punktu poboru wody ze środowiska;
- moduł 2 - analiza stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody. Do budowy tego modułu zdefiniowany zakres danych obejmuje: wyniki badań jakości wody z punktów reprezentatywnych podsystemu dystrybucji wody, wiek wody w węzłach SZW, udział hurtowych odbiorców w zasilaniu przez dostawcę wody, lokalizacja punktów kontroli jakości wody, lokalizacji punktów wyznaczających wiek wody, obszar dostaw wody dla poszczególnych hurtowych odbiorców;
- moduł 3 - uszkodzalność przewodu wodociągowego. Do budowy tego modułu zdefiniowany zakres danych badanego przewodu wodociągowego obejmuje: liczbę uszkodzeń, jego długość, średnicę oraz funkcję, stosowane zabezpieczenia, obszar terenów zurbanizowanych;

- moduł 4 – analiza zagrożeń w następstwie zdarzenia awaria przewodu wodociągowego. Do budowy tego modułu zdefiniowany zakres danych badanego przewodu wodociągowego obejmuje: liczbę uszkodzeń, długość, stan techniczny, wyniki badań jakości wody, czas usuwania awarii, wyznaczone obszary występowania szkód górniczych;
- moduł 5 - zarządzanie SZW w sytuacji ingerencji osób trzecich. Do budowy tego modułu zdefiniowany zakres danych obejmuje: identyfikację środków ochrony, wiek wody w podsystemie dystrybucji wody, ilość dystrybuowanej wody, udział hurtowych odbiorców w zasilaniu przez dostawcę wody (dywersyfikacja dostaw).

Etap II: Ocena ryzyka

Etap ten jest realizowany indywidualnie dla każdego modułu. Pierwszym elementem jest zdefiniowanie założeń analizy ryzyka. Zagregowane dane w bazach danych są poddawane badaniom statystycznym, analizom celem zdefiniowania i kwantyfikacji zmiennych w procedurze budowy matryc. Wyznaczane są progi graniczne badanych elementów celem podziału zbiorów danych na klasy ważności oraz przyporządkowanie każdej klasie ważności wartości wagi. Kolejno, metodą matrycową, wyznaczana jest wartość ryzyka pierwotnego zdarzenia niepożądanego. Na podstawie rozkładu wartości ryzyka dokonywana jest wstępna ocena ryzyka pierwotnego i przyporządkowana jest jego klasa. W dysertacji zastosowano podział ryzyka na 3 klasy: ryzyko tolerowane, ryzyko kontrolowane oraz ryzyko nieakceptowalne. Wyznaczenie wartości i klasy ryzyka wskazuje zasadność podjęcia działań naprawczych, których skuteczność jest weryfikowana w procesach kontroli ryzyka oraz weryfikacji zarządzania ryzykiem. Po wdrożeniu działań naprawczych, o ile jest to uzasadnione, przeprowadzana jest ponowna ocena ryzyka i weryfikowana jest skuteczność wprowadzonych działań.

Etap III: Rankingowanie ryzyk

W toku tego etapu następuje integracja ocen ryzyka zidentyfikowanych zdarzeń w badanych modułach. Rankingowanie ryzyk następuje w oparciu o trzy identyfikatory obejmujące: wartość oszacowanego ryzyka, liczbę modułów identyfikujących zdarzenie niebezpieczne stanowiących bariery bezpieczeństwa, oraz liczbę generowanych zagrożeń. Celem ewaluacji ryzyka jest porównanie różnych poziomów ryzyka i ustalenie dla nich priorytetów w zależności od szacowanego wpływu jaki dany rodzaj ryzyka może wywrzeć na: integralność systemu zaopatrzenia w wodę, wpływu na zdrowie publiczne

czy relacje z klientami. Na podstawie katalogu zrankingowanych ryzyk generowana jest propozycja priorytetowości kierunków działań, np. inwestycyjnych, wzmocnienia monitorowania dla wyznaczonych elementów SZW, która jest raportowana kadrze zarządczej najwyższego szczebla.

Etap IV: Propozycja priorytetyzacji w podnoszeniu efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa

Decydentom, kadrze zarządzającej najwyższego szczebla, zostaje dostarczona informacja i wiedza, w tym katalog rankingowanych ryzyk, celem wykorzystania przy podejmowaniu decyzji dotyczącej ustalenia priorytetowości kierunków działań przedsiębiorstwa celem zwiększenia efektywności jego funkcjonowania.

Procesy zarządzania ryzykiem

Kontrola ryzyka

Po etapie IV przeprowadzany jest proces kontroli ryzyka. Kontrola ryzyka to system nadzoru nad funkcjonującymi, stosowanymi oraz potencjalnymi środkami kontroli, barierami, których zadaniem jest zapewnienie integralności wszystkich eksploatowanych elementów SZW. W toku ewaluacji oceny ryzyka i rankingowania ryzyk należy zidentyfikować istniejące środki bezpieczeństwa i przeprowadzić analizę skuteczności ich działania. W stosowanych procesach eksploatacji wyróżnia się dwie kategorie, tj. środki zapobiegawcze oraz naprawcze. Obydwie te kategorie mają na celu redukcję poziomów ryzyka. Dla przypadku wykazania w procesie walidacji niskiej skuteczności stosowanych barier eksploatacyjnych jest zobowiązany do budowy planu ulepszeń obejmujących modernizację lub nowe inwestycje. Elementem procesu kontroli ryzyka jest monitoring operacyjny, który obejmuje pomiar parametrów eksploatacyjnych, np. czas przyrostu oporów hydraulicznych na złożu filtracyjnym, badania jakości wody oraz obserwacje warunków funkcjonowania elementów SZW celem oceny poprawności i skuteczności funkcjonowania środków kontroli. Zasadne jest zdefiniowanie wartości granicznych stosowanych środków kontroli, co umożliwi ich precyzyjną kontrolę. Stosowanie procesu kontroli ryzyka umożliwia: identyfikację ryzyk, rankingowanie ryzyk, identyfikację wszystkich środków bezpieczeństwa w SZW oraz walidację ich skuteczności wraz z oceną wpływu na bezpieczeństwo dostaw wody.

Weryfikacja procesu zarządzania ryzykiem

Poza procesem kontroli ryzyka, niezbędne jest kompleksowe weryfikowanie procesu zarządzania ryzykiem dostaw wody w eksploatowanym SZW. Celem tego procesu jest weryfikacja i potwierdzenie, iż wdrożony PBW funkcjonuje poprawnie gwarantując integralność wszystkich elementów SZW, zapewniając w sposób niezawodny dostawy bezpiecznej wody do konsumenta. Weryfikacja jakości wody jest prowadzona w ramach monitoringu zgodności i obejmuje: mikrobiologiczną jakość wody w kierunku wskaźników zanieczyszczenia kałowego wody, chemiczną jakość wody w kierunku zgodności z wymaganiami legislacyjnymi w zakresie parametrów mających bezpośredni wpływ na zdrowie publiczne oraz parametrów weryfikujących poprawność procesów eksploatacji SZW. Głównym celem procesu weryfikacji zarządzania ryzykiem jest dostarczenie dowodów potwierdzających skuteczność, efektywność wdrożonych środków kontroli lub istniejącego stanu. Uzupełniającym komponentem weryfikacji procesu zarządzania ryzykiem dostaw wody jest audyt celem oceny dokumentacji tego systemu z uwzględnieniem skarg odbiorców na dostarczany produkt.

Zweryfikowany poprawnie proces zarządzania ryzykiem dostaw wody potwierdza i dostarcza dowodów, iż PBW jest dostosowany do eksploatowanego SZW oraz dowodzi integralności jego eksploatacji oraz potwierdza realizację dostaw wody, która nie stanowi zagrożenia dla zdrowia publicznego. Wykonana ewaluacja ryzyka umożliwia wyznaczenie priorytetowości w podnoszeniu efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa, m.in. wskazuje sposobność alokacji zasobów dostawców wody i przekierowanie ich do obszarów wrażliwych na utratę bezpieczeństwa dostaw wody.

Stosowanie zaproponowanego algorytmu nie ogranicza do stosowania 5 modułów. Zdefiniowane narzędzia analizy i ewaluacji ryzyka elementów SZW stanowią wartość dodaną w procesach kontroli ryzyka oraz dostarczają dowodów na skuteczność prowadzonych dostaw wody.

4.2.Charakterystyka i postępowanie z danymi

Zidentyfikowane zbiory danych, celem prowadzenia badań w analizie ryzyka zostały zagregowane w bazach danych. Zbudowanie struktur tych jest krokiem niezbędnym, który umożliwia prowadzenia operacji na zweryfikowanych, zestrukturyzowanych zestawach danych. W systemach baz danych wyróżniono dwa rodzaje danych – dane opisowe, które opisują, charakteryzują dane zjawisko, wielkość, miarę, natężenie cechy

np.: ilości próbek wody, ilości zdarzeń, testy statystyczne, wartości wag, wynik badań, etc, oraz dane przestrzenne, które identyfikują rozmieszczenie przestrzenne obiektów, np.: lokalizacja punktu próbkobiorczego, lokalizacja przewodów wodociągowych w przestrzeni, obszary szkód górniczych, wykorzystanie terenu. Obydwa te typy danych wzajemnie się przenikają i są wykorzystywane przez przedsiębiorstwa wodociągowe w codziennej pracy. Przykładem bezpośredniej takiej integracji jest model hydrauliczny. Daną przestrzenną – GIS jest lokalizacja rurociągów, rzędna ukształtowania terenu. Natomiast danymi opisowymi będą, np.: średnica, materiał, chropowatość przewodów wodociągowych. Kompleksowe wykorzystanie obydwu systemów danych umożliwia budowę i prawidłową kalibrację modelu hydraulicznego.

4.2.1 Charakterystyka i procedury postępowania z danymi przestrzennymi

Dane przestrzenne agregowane są w systemach gis'owych i dzieli się na dwie kategorie: wektor oraz rastrowe. Dane wektorowe stanowią zbiór współrzędnych, które są skalowalne. Dane te są agregowane i przedstawiane w zbiorach tzw. warstwach. Wymogiem jest możliwość budowy jednej warstwy wyłącznie z jednym typem geometrii, tj. punkt, linia oraz polygon. Model wektorowy nie zachowuje przestrzennej ciągłości pokrycia, a ewentualna zmiana wartości prezentowanej cechy ma charakter skokowy. W rastrowym modelu danych, raster interpretowany jest jako przestrzeń siatki komórek równo rozmieszczonych w rzędach jak i kolumnach. W zaproponowanych modułach przeprowadzono operacje na danych przestrzennych. Celem interpolacji natężenia / wartości cechy do punktu reprezentatywnego, np. punkt próbkobiorczy i przyporządkowania tej właściwością danemu obszarowi, zastosowano algorytm podziału obszaru badawczego *polygony Thiessena*. Proces ten w modelu badawczym realizowany jest zgodnie z wzorem (4.1):

$$V(p)=\{x \in E|\forall q \in S, d(x, p) \leq d(x, q)\} \quad (4.1)$$

gdzie:

p, x, q – punkty, lokalizacja przestrzenna punktu poddanego analizie,

E – przestrzeń Euklidesowa,

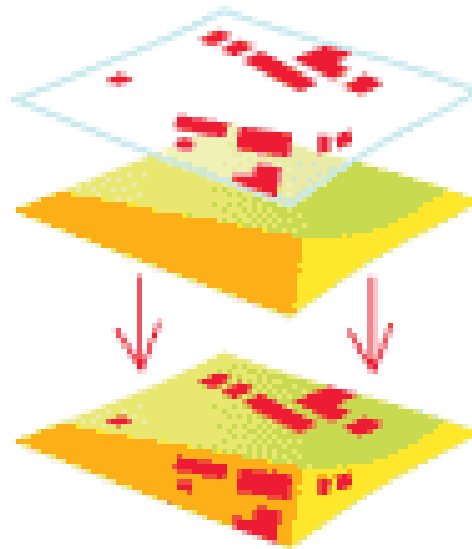
$V(p)$ – obszar Voronoi lub *polygon Thiessena*,

S – skończony zbiór n punktów należących do przestrzeni euklidesowej E ,

d – Euklidesowa odległość.

Granice wydzielonego jednostkowego obszaru są styczne do obszarów przyległych, w sposób uniemożliwiający powstanie obszarów nierepresentowanych (nieprzyporządkowanych do żadnego punktu), zachowując jednocześnie formę ciągłą opisu przestrzeni). Zgodnie z powyższą formułą, dla zmiennej dwuwymiarowej opisującej przestrzeń zbioru N zawierającego n punktów, dzieli się płaszczyznę na N obszarów, w taki sposób, że każdy punkt n_i w dowolnym obszarze znajduje się bliżej określonego punktu n_{i+1} ze zbioru N niż od pozostałych $n-2$ punktów. Należy uwzględnić, iż wartości cechy w niepróbkowanych lokalizacjach są równe wartościom dla najbliższego położonego punktu pomiarowego.

Kolejnym wykorzystywanym narzędziem analizy danych przestrzennych jest operacja przecięcia przestrzennego, która wykonywana jest wyłącznie na danych wektorowych. Jest to topologiczna integracja dwóch zestawów danych przestrzennych, która zachowuje obiekty znajdujące się wewnątrz części wspólnej wejściowych zbiorów danych. Oznacza to, iż informacje opisowe zawarte w dwóch warstwach, zostaną połączone w warstwie wynikowej z zachowaniem układu przestrzennego (rys 4.2).



Rys 4.2. Operacja przecięcia przestrzennego

Analizy i operacji przestrzenne prowadzono w programie QGIS, który jest oprogramowaniem typu open source dostępnym na warunkach licencji GNU General Public License.

4.2.2 Zastosowanie analiz statystycznych w procedurach kwantyfikacji zbiorów

W toku analizy ryzyka konieczne jest prowadzenie analiz statystycznych wyników obserwacji, które są danymi liczbowymi. W analizach tych cech wykorzystywane są testy statystyczne do weryfikacji hipotez. W niniejszej dysertacji procedurach tych, podstawowym stosowanym narzędziem analizy statystycznej jest testowanie hipotezy o rozkładzie prawdopodobieństwa zmiennych losowych. W badaniach testowano rozkłady gamma, Weibulla, Erlanga, Poissona i normalny, z których do dalszych analiz przyjęto rozkład normalny. Do sprawdzania poprawności postawionych hipotez H_0 zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem teoretycznym stosowano testy Kołmogorowa-Smirnowa (K-S). Sam proces testowania prowadzi się etapowo. Uzyskany zbiór zmiennych losowych poddaje się analizie statystycznej. Do przeprowadzenia wnioskowania statystycznego przyjęto standardowe poziomy istotności statystycznej ($\alpha=0,01$ lub $\alpha=0,05$), które należy traktować jako akceptowalne prawdopodobieństwo popełnienia błędu, polegającego na uznaniu uzyskanego wyniku testu za prawdziwy. W opracowanych analizach przyjęto poziom istotności $\alpha=0,01$ dla testu zgodności K-S. Wartość statystyk λ dla testu K-S wyznaczano poniższą formułą (4.2)

$$\lambda = D_n \cdot \sqrt{n} \quad (4.2)$$

gdzie:

λ – wartość statystyki zbioru testowanego,

n – liczebność badanego zbioru,

D_n – wyliczona statystyka testu K-S: $D_n = \sup |F_n(x) - F_0(x)|$,

$F_n(x)$ – dystrybuanta empiryczna zmiennej losowej,

$F_0(x)$ – dystrybuanta teoretyczna zmiennej losowej.

Dla danej liczebności zbioru z tablic wartości krytycznych testu K-S odczytuje się wartość λ_α . W przypadku spełnienia warunku $\lambda < \lambda_\alpha$ brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy H_0 , iż rozkład wartości cechy ma charakter normalny dla poziomu istotności $\alpha=0,01$. Analizy statystyczne prowadzono w programie *Statistica 12*. Kolejnym elementem modelu badawczego jest kategoryzacja danych oraz podział i przyporządkowanie wag poszczególnym zakresom wartości cechy zmiennych.

4.2. Moduł 1. Analiza zagrożeń i zdarzeń w PsUjW

Zapisy DWD umożliwiają na podstawie wykonanej analizy i oceny ryzyka wprowadzenie elastycznego systemu monitorowania jakości wody, tj. umożliwiają zmniejszenia minimalnej częstotliwości pobierania próbek parametru na podstawie

wyników uzyskanych z badań próbek pobieranych w regularnych odstępach czasu przez okres co najmniej trzech lat w punktach pobierania próbek reprezentatywnych dla całej strefy zaopatrzenia, które wynoszą mniej niż 60 % wartości parametrycznej. Stosowanie elastycznego systemu monitorowania umożliwia usunięcie parametru z wykazu parametrów, które mają być monitorowane w oparciu o wyniki uzyskane z próbek pobieranych w regularnych odstępach czasu przez okres co najmniej trzech lat w punktach pobierania próbek reprezentatywnych dla całej strefy zaopatrzenia, które wynoszą mniej niż 30 % wartości parametrycznej. Decyzja ta opiera się na rezultacie oceny ryzyka, która uwzględnia wyniki monitorowania źródeł wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi i potwierdza, że zdrowie ludzi jest chronione przed niekorzystnym wpływem jakiegokolwiek zanieczyszczenia wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

W pierwszym module zaproponowano procedurę postępowania obejmującą identyfikację zagrożeń i wstępną ocenę ryzyka, w obszarze zasilania punktu poboru wody ze środowiska. Dodatkowo zaproponowano procedurę weryfikacji stanu jakości wody, której efektem będzie rekomendacja do racjonalizacji i dostosowania zakresu i częstotliwości badań parametrów fizykochemicznych w SZW. Proponowany moduł nie uwzględnia „parametrów podstawowych” tj. *Escherichia coli* i enterokoków jelitowych oraz wskaźnikowych parametrów mikrobiologicznych, tj.: bakterie grupy coli, *Clostridium perfringens* (łącznie ze sporami), ogólna liczba mikroorganizmów w 22^oC. DWD w sposób jednoznaczny nie umożliwia stosowania monitorowania elastycznego dla parametrów podstawowych mikrobiologicznych. Jednocześnie parametry wskaźnikowe, tj.: bakterie grupy coli, *Clostridium perfringens* (łącznie ze sporami) mają być nieobecne w badanych próbkach wody. Dla parametru ogólna liczba mikroorganizmów w 22^oC wskazano wartość „bez nieprawidłowych zmian”. Nie jest zatem możliwe wskazanie stanów poniżej progów wartości 30% czy 60% wartości parametrycznej. Stwierdzenie obecności tych parametrów w wodzie do spożycia wskazuje na utratę integralności elementów SZW i utratę bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody. Przyczyną obecności tych mikroorganizmów może być nieefektywne prowadzenie procesów uzdatniania czy dezynfekcji wody lub / oraz wtórne mikrobiologiczne zanieczyszczenie wody. W tych przypadkach eksploatacja jest zobowiązany do weryfikacji stanu jakości wody oraz podjęcia działań naprawczych celem przywrócenia integralności SZW.

Pierwszym krokiem w proponowanym module jest analiza ryzyka w obszarach zasilania dla punktów poboru wody ze środowiska z uwzględnieniem zaleceń Dyrektywy 2000/60/WE, która została implementowana do prawa krajowego ustawą Prawo Wodne. Zgodnie z tą ustawą właściciele ujęć mieli obowiązek, do 31.12.2022 r. wykonać opracowanie 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. Całość dokumentacji należało przedłożyć do właściwego miejscowo urzędu wojewódzkiego. Na podstawie tej analizy weryfikowano zasadność lub jej brak dotyczący ustanowienia pośredniej strefy ochronnej ujęcia. Ponadto, ocena ryzyka w obszarze zasilania dla punktów poboru wody jest elementem niezbędnym dla właściwej oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem w SZW. W artykule 8 Dyrektywy 2020/2184 [28] wskazano elementy, które powinny zostać uwzględnione w ocenie ryzyka obszaru zasilania punktu poboru wody ze środowiska:

- charakterystyka obszarów zasilania dla punktów poboru wody, która obejmuje identyfikację tych obszarów, mapowanie stref ochronny oraz opis wykorzystywania gruntów, spływu wody i procesów odnawiania w tych obszarach,
- identyfikację zdarzeń niebezpiecznych w obszarach zasilania dla punktów poboru wody oraz ocenę ryzyka jakie mogłyby one stwarzać dla jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi,
- odpowiednie monitorowanie jakości wody surowej.

W ocenie ryzyka należy również uwzględnić, zagrożenia, które wynikają z presji antropogenicznej. Mogą one obejmować zarówno istniejące jak i potencjalne ogniska zanieczyszczeń czy ograniczenia zasobów wód.

W obowiązującej obecnie legislacji krajowej w Rozporządzeniu Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej [126] określono wymagania jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia. Akt ten określa kategorie jakości wody wyłącznie pod kątem stosowania określonych procesów uzdatniania wody. Ponadto określa ono minimalny zakres i częstotliwość pobierania próbek wody w oparciu o ilość produkowanej wody oraz jej kategorie. Zapisy tego Rozporządzenia są sprzeczne z duchem DWD, tj. prowadzeniem eksploatacji zarządzania ryzykiem dostaw wody w całym łańcuchu dostaw wody. Akt ten

zupelnie pomija, m.in. wpływ: sezonowej zmienności warunków środowiskowych, m.in. suszy, czy zmian antropopresji na jakość wody (poza wymieniony w PW rodzajami działalności). Nie uwzględnia wystąpienia potencjalnych zdarzeń / zagrożeń w obszarze zasilania punktu poboru wody ze środowiska. Stosując wyłączenie zapisy tego Rozporządzenia, brak jest podstaw do wprowadzenia racjonalizacji systemu kontroli jakości wody. Dla wód podziemnych, wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę do picia, brak jest krajowych aktów prawnych, które definiowałyby jakiegokolwiek obowiązki dostawców wody w zakresie badań jakości wody ujmowanej do środowiska. Celem przeprowadzenia procedury analizy ryzyka oraz wyznaczenie jego poziomu, zaproponowano zbudowanie dwuparametrycznej macierzy wyznaczania ryzyka $R(OZ)$ wystąpienia *z-tego* zdarzenia w obszarze zasilania punktu poboru wody ze środowiska w kombinacji prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia oraz skutków tego zdarzenia, zgodnie ze wzorem (4.3)

$$R(OZ)_z = P(OZ)_z * C(OZ)_z \quad (4.3)$$

gdzie.:

$R(OZ)_z$ – ryzyko *z-tego* zdarzenia w obszarze zasilania punktu poboru wody ze środowiska,

$P(OZ)_z$ – prawdopodobieństwo wystąpienia *z-tego* zdarzenia w obszarze zasilania punktu poboru wody ze środowiska,

$C(OZ)_z$ – skutki wystąpienia *z-tego* zdarzenia w obszarze zasilania punktu poboru wody ze środowiska.

Do wyznaczania wartości ryzyka identyfikacja wystąpienia zdarzenia niepożądanego, zaproponowano, w metodzie macrycowej, warunki kwantyfikacji prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia oraz skutków jego wystąpienia wraz z przyporządkowaniem, wartości wagi, które zostały przedstawiono w tabelach 4.1 i 4.2.

Tabela 4.1. Warunki kategoryzacji prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenie niepożądanego w PsUjW wraz z przyporządkowaniem wartości wagi

nazwa	warunek	wartość wagi $W(P(OZ)_z)$
niskie	zdarzenie nie wystąpiło w ogóle ale nie można go wykluczyć lub występuje sporadycznie nie częściej niż raz trzy lata	1
średnie	zdarzenie na pewno wystąpi lub występuje sporadycznie i może się powtarzać, jednak nie częściej niż raz na rok	2
wysokie	zdarzenie na pewno występuje, może się powtarzać cyklicznie, występuje kilkakrotnie w ciągu roku	3

Tabela 4.2. Warunki kategoryzacji skutków wystąpienia zdarzenie niepożądanego w PsUjW wraz z przyporządkowaniem wartości wagi

nazwa	warunek	wartość wagi $W(C(OZ)_z)$
niskie	bez wpływu na zdrowie publiczne, brak zagrożeń zdrowotnych	1
średnie	Możliwy wpływ na zdrowie publiczne, okresowo jakość wody może się pogorszać, możliwe wystąpienie krótkotrwałe wystąpienie zagrożeń dla zdrowia – bez długiego narażenia	2
wysokie	Wpływ na zdrowie publiczne, częste pogarszanie jakości wody, może występować ostre oraz długotrwała narażenia dla zdrowia	3

Każde zdarzenie niepożądane należy scharakteryzować i opisać parametrami jakości wody, których zawartość w wodzie może ulec zwiększeniu w przypadku wystąpienia zdarzenia niepożądanego. Do wyznaczania wartości ryzyka oraz wstępnej oceny ryzyka, zgodnie ze wzorem 4.1., zbudowano dwuparametryczną macierz (tab. 4.3).

Tabela 4.3. Dwuparametryczna macierz wyznaczania wartości ryzyka zdarzenia niepożądanego PsUjW

$W(C(OZ)_z)$ \ $W(P(OZ)_z)$	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9

Na podstawie wyznaczonych wartości ryzyka dokonano podziału na trzy klasy ryzyka oraz określono postępowanie w racjonalizacji systemu badań jakości wody.

Tabela 4.4. Wstępna ocena ryzyka PsUjW wraz z rekomendacją dotyczącą kierunku racjonalizacji system badań i ewaluacji ryzyka

wartość $R(OZ_z)$	wstępna ocena ryzyka	wnioski do ewaluacji ryzyka	kierunek racjonalizacji systemu badań
1-2	ryzyko akceptowalne	brak konieczności wdrożenia działań naprawczych	minimalizacja zakresu i częstotliwości badań
3-4	ryzyko akceptowalne	możliwość wdrożenia działań naprawczych	dostosowanie systemu badań do zagrożeń
6-9	ryzyko nieakceptowalne	konieczne wdrożenie działań naprawczych	wzmocnienie monitorowania jakości wody

Powyższy wstępna ocena ryzyka wraz z przyporządkowaniem wartości ryzyka zostanie zastosowany do weryfikacji jakości wody w punkcie jej ujmowania ze środowiska. Jednocześnie zdefiniowana klasa ryzyka będzie rankingowana celem zdefiniowania działań priorytetowych w procesie zarządzania ryzykiem. Weryfikacja jakości wody stanowi potwierdzenie zasadności wyznaczonej strefy ochrony pośredniej w obszarze zasilania punktu poboru wody ze środowiska.

W kolejnym kroku zaproponowano procedurę analizy wyników badań jakości wody etapów produkcji wody: podsystemu ujmowania wody reprezentowanego w punkcie poboru wody ze środowiska (PsUjW), podsystemu uzdatniania wody reprezentowanego po procesach uzdatniania tj. w punkcie wtłoczenia wody do sieci (PsUzW) oraz podsystemie dystrybucji wody tj. punktach monitoringowych w strefie zasilania (PsDyW), będących reprezentatywnie dla całej strefy. Poziomy wartości parametrów dla SZW analizowano względem wartości RMZ. Natomiast klasyfikację do stanów S_i wykonano w oparciu o zdefiniowane w DWD warunki. Na tej podstawie wyznaczono 3 stany jakości wody ($S_i = 1, 2, 3$). Warunki klasyfikacji przedstawiono w tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Klasyfikacja stanów jakości wody badań parametrów jakości wody

Stan wody S_i	Kryterium klasyfikacji stanu wody	Opis kryterium klasyfikacji
S1	$MV_i < 0,3PV_i$	Wartość badania <i>j-tego</i> parametru jest niższa niż 30% wartości parametrycznej
S2	$0,3PV_i \leq MV_i < 0,6PV_i$	Wartość badania <i>j-tego</i> parametru jest wyższa lub równa 30 % wartości parametrycznej oraz niższa niż 60% wartości parametrycznej
S3	$MV_i \geq 0,6PV_i$	Wartość badania <i>j-tego</i> parametru jest wyższa lub równa 60% wartości parametrycznej

MV mierzona wartość parametru jakości wody; PV wartość parametryczna

Zgodnie z powyższymi założeniami, wynik każdego badania jakości wody został poddany weryfikacji oraz przyporządkowano mu dany stan S_i .

Dla PsUjW; PsUdW, wyznaczono, dla każdego parametru, prawdopodobieństwo wystąpienia S_i , zgodnie ze wzorem 4.4

$$P(\text{PsUjW}; \text{PsUdW}) S_{i,j} = \frac{PPS_{i,j}}{PPC_{i,j}}$$

(4.4)

gdzie:

$P_{i,j}(\text{PsUjW}; \text{PsUdW}) S_{i,j}$ – prawdopodobieństwo wystąpienia S_i *i-tego* stanu *j-tego* parametru punkcie monitoringowym, odpowiednio dla PsUjW; PsUdW

$PPS_{i,j}$ - ilość badań próbek wody *i-tego* stanu *S2* *j-tego* parametru, w punkcie monitoringowym, odpowiednio dla PsUjW i PsUdW

$PPC_{i,j}$ - łączna ilość badań próbek wody *j-tego* parametru w punkcie monitoringowym, odpowiednio dla PsUjW i PsUdW

Dla PsDyW, przyjęto, iż stan wody jest wyznaczany łącznie przez wszystkie punkty kontroli jakości wody, które zostały ujęte w ramach planowej wewnętrznej kontroli jakości wody. Badania jakości wody z tych punktów przyjęto jako jeden zbiór wyników i są reprezentatywne dla całej strefy zasilania. Wyznaczono prawdopodobieństwo stanu S_i wg wzoru 4.5.

$$P(\text{PsDyW})S_i = \frac{\sum_{t=1}^{t=T} t(S_{i \rightarrow I}^{\Delta})}{T} \quad (4.5.)$$

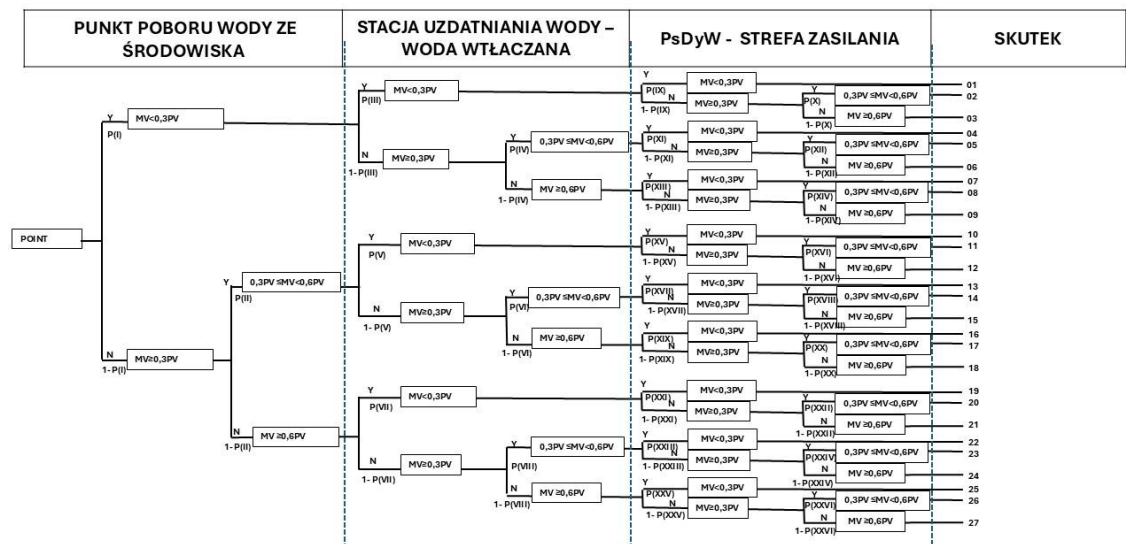
gdzie:

$P_{i,j}$ – prawdopodobieństwo wystąpienia *i-tego* stanu S_i *j-tego* parametru w punkcie monitoringowym, dla podsystemu PsDyW,,

$\sum_{t=1}^{t=T} t(S_{i \rightarrow I}^{\Delta})$ – łączny czas (np.: wyrażony dniami) stanu jakości wody S_i *j-tego* parametru w strefie zasilania,

T- czas horyzontu badawczego (np.: wyrażony w dniach).

W kolejnym kroku zaproponowano budowę procedury analiza drzewa zdarzeń do kompleksowej weryfikacji stanów wody w SZW (ryc. 4.3). W budowie ETA wydzielono trzy badane podsystemy. W procedurze analizy ETA wyznaczane jest prawdopodobieństwo oraz jest definiowany skutek / rekomendacja w ramach racjonalizacji środka kontroli WSP jakim jest system monitoringu jakości wody w całym łańcuchu dostaw wody.



Ryc. 4.3. Analiza drzewa zdarzeń

MV – mierzona wartość, PV – wartość parametryczna.

Zastosowanie proponowanego ETA umożliwi kompleksowe określenie ścieżek zmian jakości wody w SZW, identyfikację krytycznych punktów pogorszenia jakości wody, kwantyfikacja skutków, wyznaczenie obszarów wymagających podjęcia działań celem zwiększenia bezpieczeństwa wody dystrybuowanej przez dostawcę. W tabeli 4.6. przedstawiono proponowany tryb postępowanie racjonalizacji monitorowania jakości wody dla prowadzonych ścieżek ETA (rys. 4.3)

Tabela 4.6. Proponowane działania przyporządkowane do ścieżki ETA dla PsUjW PsUzW i PsDyW

Skutek	PsUjW	PsUzW	PsDyW
1.	minimalizacja np. 1x3 lata	minimalizacja nr 1x3 lata	Minimalizacja nr 1x3 lata
2.	minimalizacja np. 1x3 lata	minimalizacja nr 1x3 lata	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał
3.	minimalizacja np. 1x3 lata	minimalizacja nr 1x3 lata	Monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu
4.	minimalizacja np. 1x3 lata	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc	Minimalizacja nr 1x3 lata
5.	minimalizacja np. 1x3 lata	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc
6.	minimalizacja np. 1x3 lata	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc	Monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu
7.	minimalizacja np. 1x3 lata	Zwiększenie częstotliwości, np. 1x miesiąc / 1 x tydzień	Minimalizacja nr 1x3 lata
8.	minimalizacja np. 1x3 lata	Zwiększenie częstotliwości, np. 1x miesiąc / 1 x tydzień	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc
9.	minimalizacja np. 1x3 lata	Zwiększenie częstotliwości, np. 1x miesiąc / 1 x tydzień	Monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu
10.	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x rok / 1 x kwartał	minimalizacja nr 1x rok	Minimalizacja nr 1x rok
11.	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x rok / 1 x kwartał	minimalizacja nr 1x rok	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał
12.	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x rok / 1 x kwartał	minimalizacja nr 1x rok	Monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu
13.	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x rok / 1 x kwartał	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc	Minimalizacja nr 2x rok
14.	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x rok / 1 x kwartał	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc	Zmniejszenie częstotliwości np. 2 x kwartał
15.	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x rok / 1 x kwartał	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc	Monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu
16.	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x rok / 1 x kwartał	Zwiększenie częstotliwości, np. 1x miesiąc / 1 x tydzień	Minimalizacja nr 1 x kwartał

17.	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x rok / 1 x kwartał	Zwiększenie częstotliwości, np. 1x miesiąc / 1 x tydzień	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x miesiąc
18.	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x rok / 1 x kwartał	Zwiększenie częstotliwości, np. 1x miesiąc / 1 x tydzień	Monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu
19.	Zwiększenie częstotliwości monitorowania np. 1x kwartał	minimalizacja nr 1x kwartał	Minimalizacja nr 2x rok
20.	Zwiększenie częstotliwości monitorowania	minimalizacja nr 1x kwartał	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc
21.	Zwiększenie częstotliwości monitorowania	minimalizacja nr 1x kwartał	Monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu
22.	Zwiększenie częstotliwości monitorowania	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc	Minimalizacja nr 2x rok / 1 x kwartał
23.	Zwiększenie częstotliwości monitorowania	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc
24.	Zwiększenie częstotliwości monitorowania	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc	Monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu
25.	Zwiększenie częstotliwości monitorowania	Zwiększenie częstotliwości, np. 1x miesiąc / 1 x tydzień	Minimalizacja nr 2x rok / 1 x kwartał
26.	Zwiększenie częstotliwości monitorowania	Zwiększenie częstotliwości, np. 1x miesiąc / 1 x tydzień	Zmniejszenie częstotliwości np. 1 x kwartał / 1 x miesiąc
27.	Zwiększenie częstotliwości monitorowania	Zwiększenie częstotliwości, np. 1x miesiąc / 1 x tydzień	Monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu

W tabeli tej zestawiono propozycje, rekomendacje do racjonalizacji systemu badań jakości wody. Niezbędne jest dostosowanie systemu monitorowania (częstotliwość) do indywidualnych cech SZW, w tym źródła wody. Wody powierzchniowe charakteryzują się mniejszą stabilnością jakości wody w porównaniu do wód podziemnych. Opracowując program monitorowania - częstotliwość i zakres badań jakości wody należy bezwzględnie go dostosować do ilości produkowanej czy dystrybuowanej wody oraz liczebności zaopatrywanej populacji. Należy również rozważyć kwestie związane z dostawą wody do obiektów priorytetowych, np. obiekty opieki zdrowotnej, żłobki.

W przypadku parametrów, które nie są badane w PsUjW, a są stosowane w środkach do uzdatniania wody, np. glin oraz są generowane w procesach uzdatniania wody, np.: uboczne produkty dezynfekcji, np. chloroform, suma THM (tabela 4.7.), stosować można dziewięć ścieżek ETA, pomijając PsUjW.

Tabela 4.7. Proponowane działania przyporządkowane do ścieżki ETA dla PsUzW i PsDyW

Skutek	PsUzW	PsDyW
1.	minimalizacja, np. 1 x rok	minimalizacja, np. 1 x rok
2.	minimalizacja, np. 1 x rok	ograniczenie, np. 1 x kwartał
3.	minimalizacja, np. 1 x rok	monitorowanie zgodnie z DWD/ intensyfikacją monitoringu
4.	ograniczenie, np. 1 x kwartał	minimalizacja, np. 1 x kwartał
5.	ograniczenie, np. 1 x kwartał	ograniczenie, np. 1 x miesiąc
6.	ograniczenie, np. 1 x kwartał	monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu
7.	zwiększenie częstotliwości monitorowania	minimalizacja, np. 1 x miesiąc
8.	zwiększenie częstotliwości monitorowania	ograniczenie, np. 1 x tydzień
9.	zwiększenie częstotliwości monitorowania	monitorowanie zgodnie z DWD / intensyfikacją monitoringu

Następnie celem wygenerowanie zbioru P(ETA) przeprowadzono analizy zgodnie z rys 4.3. dla badanych SZW parametrów jakości wody.

W kolejnym kroku poddano zbiór wyznaczonych wartości P(ETA) analizie statystycznej celem weryfikacji hipotezy H_0 o zgodności rozkładu wartości P(ETA) z rozkładem normalnym. Do sprawdzania poprawności postawionej hipotez H_0 zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem teoretycznym stosowano testy Kołmogorowa-Smirnowa (K-S). Do przeprowadzenia wnioskowania statystycznego przyjęto standardowy poziom istotności statystycznej na poziomie $\alpha=0,01$, które należy traktować jako akceptowalne prawdopodobieństwo popełnienia błędu, polegającego na uznaniu uzyskanego wyniku testu za prawdziwy. Zaproponowano aby progi P(ETA) były wyznaczone dla rozkładu normalnego wartością średniej μ oraz sumy średniej i odchylenia standardowego $\mu + \delta$, a w przypadku rozkładu, który nie ma charakteru rozkładu normalnego, przez medianą Me oraz kwartył III rzędu Q_3 . W tabeli 4.8. zestawiono wartości wagi parametru P(ETA) wyznaczone przez progi wartości w zależności od charakteru rozkładu tej zmiennej.

Tabela 4.8. Klasyfikacja stopnia akceptacji P(ETA)

Parametr P(ETA)		Ocena stopnia akceptacji ścieżki ETA
przyjęcie hipotezy H_0	odrzućcie hipotezy H_0	
$P(ETA) < \mu$	$P(ETA) < M_e$	niski stopień / brak akceptacji ścieżki ETA
$\mu \leq P(ETA) < \mu + \delta$	$M_e \leq P(ETA) < Q_3$	średni stopień akceptacji ścieżki ETA
$P(ETA) \geq \mu + \delta$	$P(ETA) \geq Q_3$	wysoki poziom akceptacji ścieżki ETA -

Zastosowanie baz danych i kompleksowych metody obliczeniowych prawdopodobieństwa wystąpienia stanu S_i jakości wody w poszczególnych podsystemach SZW oraz wykorzystanie algorytmu analizy drzewa zdarzeń, umożliwia badanie różnych scenariuszy racjonalizacji systemu badań wody. Jakość wody w PsDyW stanowi element procesu weryfikacji oceny ryzyka PsUjW, PsUzW. Ponadto kontrolowane są skutki dozowania stosowanych środków do uzdatniania wody, potencjał

generowania ubocznych produktów dezynfekcji oraz wtórne chemiczne zanieczyszczenia wody.

Rozkład ryzyk dla obszaru zasilania punktu poboru wody ze środowiska stanowi element wejściowy do rankingowania ryzyk dla wszystkich modułów. Jednocześnie analiza stężeń parametrów w procedurze ETA, szczególnie na etapie PsUjW stanowi weryfikację analizy ryzyka dla obszaru zasilania punktu poboru wody ze środowiska. Analiza kolejnych etapów ETA jest wykorzystywana w procesie kontroli ryzyka jako weryfikacja stanu jakości wody. Proponowany algorytm ETA stanowi wsparcie w projektowanie środka kontroli jakim jest system badań jakości wody. Po przeprowadzeniu oceny ryzyka PsUjW weryfikowana jest priorytetowość podjęcia działań zaradczych / naprawczych celem minimalizacji ryzyka.

4.3 Moduł 2. Analiza ryzyka w interpretacji bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody

Dostawca wody ma obowiązek zapewnić dostawy wody w odpowiedniej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem i odpowiedniej jakości. Środki kontroli obejmujące weryfikację poprawności pracy PsDyW, powinny uwzględniać odporność systemu na różnego rodzaju zdarzenia, które mogą wystąpić, np. awarie, czy atak terrorystyczny. Zapewnienie bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody w PsDyW wymaga prawidłowego i efektywnego prowadzenie procesów uzdatniania wody w podsystemie produkcji oraz obecności dezynfektanta w PsDyW, celem zapewnienia stabilności mikrobiologicznej dystrybuowanej wody. Przewymiarowanie przewodów wodociągowych skutkuje niskimi prędkościami przepływu wody, co wydłuża czas jej transportu do końcowego odbiorcy oraz wpływa na stopniowe zmniejszanie się stężenia dezynfektanta. Charakter wody z jednej strony może sprzyjać działaniu korozyjnemu wody, a z drugiej odkładaniu się osadów i powstawaniu biofilmu. Szeroki zakres czynników wpływających na zachwianie tej stabilności powoduje, iż utrzymanie równowagi tych procesów jest wymagającym zadaniem. Do obowiązków eksploatatora SZW należy utrzymanie stabilności biologicznej wody, interpretowanej jako brak występowania parametrów wskaźnikowych w wodzie oraz utrzymanie składu wody, który nie sprzyja ich rozwojowi. W rozległych PsDyW dostawca wody ma ograniczone możliwości techniczne, organizacyjne, finansowych prowadzenia badań jakości wody, które musiała by być wykonywane miesięcznie w kilkuset punktach. W związku

z powyższym zaproponowano model weryfikacji integralności PsDyW utraty bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody, który uwzględnia: stężenie dezynfektanta, wiek wody oraz stan jakości wody określany obecnością lub jej brakiem parametru wskaźnikowego jakim są bakterie grupy coli, które zgodnie z zaleceniami WHO powinny być wykorzystywane jako wskaźnik czystości i integralności podsystemów dystrybucji. W proponowanym algorytmie zarządzania ryzykiem zaproponowano budowę narzędzia do oceny ryzyka narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości. W module 2 zaproponowano algorytm rozkładu przestrzennego stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego $(SBM_i)_p$ ($i=1,2,3$) wody podczas jej transportu do odbiorców w p -tym poligonie, stanowiącym przestrzenną interpolację punktu planowanej kontroli jakości wody. Składowe modułu są analizowane w zdefiniowanym horyzoncie czasowym. W proponowanym modelu przyjęto jako podstawy okres badawczy jeden rok kalendarzowy. Za przyjęciem zadeklarowanego podstawowego okresu badawczego przemawia obowiązek raportowania informacji do organów urzędowej kontroli jakości, tj. Państwowej Inspekcji Sanitarnej, Inspekcji Ochrony Środowiska czy Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie.

W kroku pierwszym należy dokonać podziału obszaru funkcjonowania PsDyW w gis'owym systemie, celem prezentacji rozkładu przestrzennego wyznaczonego stanu. Podziału obszaru badawczego dokonano zgodnie procedurą *polygony Thiessena* opisaną wzorem 4.1. Wynikiem wykonanie tej operacji w systemie gis'owym jest wygenerowana warstwa wektorowa, w którym p -ty poligon jest interpolacją przestrzenną p -tego punktu kontroli wewnętrznej jakości wody.

W kolejnym kroku proponowanego modułu zbudowano trzy zmienne zdefiniowane w i -tych klasach, tj. :

- wskaźnik zabezpieczenia mikrobiologicznego wody $W(ZM_i)$ przed wtórnym zanieczyszczeniem wody w zdefiniowanych stanach stężenia chloru wolnego,
- wskaźnik oceny globalnego wieku wody $W(GWW_i)$,
- wskaźnik walidacji stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody $W(WSBMW_i)$ wyznaczany jako obecność lub brak bakterii grupy coli w zdefiniowanych trzech stanach stężenia chloru wolnego. W oparciu o powyższe wskaźniki zbudowano indeks stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody SI_{BMW} .

Do wyznaczenie wskaźnika zabezpieczenia mikrobiologicznego $W(ZM_i)$ należy poddać analizie stężenia chloru wolnego w wodzie w PsDyW. Do wyznaczenie powyższego

zdefiniowano kategorie rozkładu wartości stężeń chloru wolnego PsDyW. Progi wartości wyznaczono w oparciu o dolną granicę oznaczalności urządzeń pomiarowych, tj. 0,05 mg/l C_{Cl_2} ; oraz potrojoną wartość tej granicy, tj. 0,15 mg/l C_{Cl_2} . Na podstawie tak wyznaczonych progów wartości stężenia chloru wolnego zdefiniowano trzy kategorie C_{Cl_2} K_i dla i -tego stwierdzonego stężenia chloru wolnego oraz każdej kategorii przyporządkowano wartość wagi w budowie systemu oceny ryzyka (tabela 4.9).

Tabela 4.9 Rozkład wartości stężenia chloru wolnego jednostkowego pomiaru wraz przyporządkowaną wartością wagi

Stężenie chloru wolnego C_{Cl_2} [mg/l]	Kategoria stężeń C_{Cl_2} K_i
$C_{Cl_2} \geq 0,15$	1
$0,05 \leq C_{Cl_2} < 0,15$	2
$C_{Cl_2} < 0,05$	3

W zaproponowanym modelu uwzględniono wymagania określone w RMZ dotyczące obowiązku wykonywania minimalnej ilości badań. W tym celu dokonano kwantyfikacji prawdopodobieństwa $P_p(K_i)$ wystąpienia i -tej kategorii K_i stężenia chloru wolnego ($i=1,2,3$) w p -tym punkcie kontroli wewnętrznej jakości wody wzór (4.6)

$$P_p(K_i) = \frac{L_p(K_i)}{\sum_{i=1}^3 L_p(K_i)} \quad (4.6)$$

gdzie:

$P_p(K_i)$ – prawdopodobieństwo wystąpienia i -tej kategorii stężenia chloru Cl_2 [mg/l] w p -tym punkcie monitoringu,

$L_p(K_i)$ – liczba badań zaklasyfikowanych do i -tej kategorii stężenia chloru Cl_2 [mg/l], w p -tym punkcie monitoringu,

i – i -ta kategoria stężenia chloru Cl_2 [mg/l], dla $I - \sum_{i=1}^3 L_p(K_i)$ - liczba wszystkich badań stężenia chloru w danym p -tym punkcie monitoringu.

W oparciu o tak wyznaczone prawdopodobieństwo wystąpienia i -tej kategorii K_i stężenia chloru wolnego w p -tym punkcie monitoringowym, zdefiniowano trzy stany zabezpieczenia mikrobiologicznego przed wtórnym zanieczyszczeniem mikrobiologicznym wody w czasie jej transportu, wraz z przyporządkowanymi wartościami wagi (tabela 4.10).

Tabela 4.10. Klasyfikacja ZM_i wraz z przyporządkowaniem wagi $W(ZM_i)_p$ w p -tym punkcie monitoringowym

i -ty stan ZM_i	Waga $W(ZM_i)_p$	Warunek klasyfikacji dla i -tego stanu $W(ZM_i)_p$
ZM_1	1	$P_p(K_1)$ na poziomie co najmniej 0,9 wystąpienia kategorii K_1 oraz co najwyżej 0,1 kategorii K_2 stężenia chloru wolnego w wodzie

ZM ₂	2	$P_p(K_i)$ na poziomie 0,75 wystąpienia łącznie stanów stężenia chloru K ₁ oraz K ₂ oraz co najwyżej 0,25 kategorii K ₃
ZM ₃	3	pozostałe przypadki nie spełniające ww. wymagań dla stanów ZM ₁ i ZM ₂

W metodyce badawczej, dla rozległych SZW, w których woda transportowana jest na znaczne odległości (kilkadziesiąt kilometrów), w czasie kilkudziesięciu, a nawet ponad stu godzin, punktom jakości wody zlokalizowanych w miejscach, w których prowadzone jest stałe dozowanie dezynfektanta, tj. na stacjach uzdatniania wody, zbiornikach wyrównawczych/przepompowniach czy dodatkowych punktach dozowania dezynfektanta do przewodów wodociągowych, przyporządkowano wartość wagi ZM_i na poziomie jeden. W przypadku stosowania metodyki dla mniejszych SZW należy zastosować wyznaczenia stanów $W(ZM_i)_p$ zgodnie z tabelą 4.10. Kolejno w systemie gis'owym każdemu *p-temu* polygonowi, przyporządkowano odpowiednią wartość $W(ZM_i)$.

Drugą zmienną jest wskaźnik globalnego wieku wody $W(GWW_i)_p$ w *p-tym* punkcie kontroli wewnętrznej jakości wody (polygon). Wiek wody (W_n), dla warunków średnich eksploatacji SZW, w poszczególnych *n-tych* węzłach modelu hydraulicznego wyznacza się na podstawie symulacji z wykorzystaniem tego modelu lub w oparciu o badania terenowe przepływu wody w sieci wodociągowej. Wyznaczony wiek wody przypisany jest do odpowiednich węzłów zintegrowanych w systemie telemetrii wraz z ich lokalizacją w przestrzeni. Każdemu z tych węzłów przypisana jest wartość wagi $W(W_n)$ w funkcji wieku wody zgodnie z kategoryzacją przedstawioną w tabeli 4.11.

Tabela 4.11. Kategoryzacja wieku wody W_n w punktach pomiarowych wraz z przyporządkowaniem wartości wagi $W(W_n)$

Kryterium wiek wody W_n [h]	Wartość wagi $W(W_n)$
$W_n < 48$	1
$48 \leq W_n < 120$	5
$W_n \geq 120$	7

Następnie w systemie gis'owym należy wygenerować warstwę wektorową z lokalizacją punktów pomiarowych, do których przyporządkowana jest wartość $W(W_n)$. Następnie przeprowadza się operację przecięcia przestrzennego warstwy wektorowej punktów pomiarowych z przyporządkowaną wartością $W(W_n)$ z warstwą polygonów Thiessena, wygenerowanych w oparciu o lokalizację punktów kontroli wewnętrznej jakości wody. Krok ten umożliwia przyporządkowanie przestrzenne każdego z wodomierzy do

właściwego polygonu. Następnie dla każdego p -tego polygonu wyznacza się globalną wartość wieku wody GWW_p jako średnią ważoną wieku wody według wzoru:

$$GWW_p = \frac{\sum_{n=1}^N W_n \cdot WW_n}{\sum_{n=1}^N WW_n} \quad (4.7.)$$

gdzie:

GWW_p – globalny wiek wody w p -tym polygonie (p -ty punkt zgodności),

W_n – wiek wody w n -tym wodomierzu,

WW_n – waga wieku wody w n -tym wodomierzu,

N -liczba wszystkich wodomierzy w p -tym polygonie.

Na podstawie wyznaczonej średniej ważonej globalnego wieku wody GWW_p każdy polygon opisany jest globalnym wskaźnikiem wieku wody $W(GWW_i)_p$, zgodnie z przedstawioną w tabeli 4.12. kategoryzacją.

Tabela 4.12. Wartość wskaźnika GWW_i dla podstawowego okresu badawczego wraz z przyporządkowaną wartością wagi $W(GWW_i)_p$

Kryterium wiek wody (GWW_i) [h]	Wartość wagi $W(GWW_i)_p$
$(GWW_i)_p < 48$	1
$48 \leq W(GWW_i)_p < 120$	2
$W(GWW_i)_p \geq 120$	3

Trzecią zaproponowaną zmienną jest walidacja stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody definiowana obecnością bakterii grupy coli lub jej brakiem w poszczególnych stanach zabezpieczenia mikrobiologicznego wody. Do tego celu zaproponowano budowę wskaźnika walidacji stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody $W(WSBMW_i)_p$ w p -tym polygonie PsDyW. Współczynnik ten jest zbudowany w funkcji stanu zabezpieczenia mikrobiologicznego ZM_i oraz stanami S_i jakości wody:

- S1 – brak obecności parametru wskaźnikowego bakterii grupy coli,
- S2 – obecność co najmniej 1 jtk/100ml lub $0 < NPL/100ml$ parametru wskaźnikowego bakterii grupy coli.

Wskaźnik walidacji stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody jest wyznaczany dla każdego p -tego polygonu. W oparciu o zdefiniowane stanu jakości wody S_i oraz wskaźnik $W(ZM_i)_p$, zdefiniowano 4 klasy walidacji $W(WSBMW_i)_p$ zgodnie z tabelą 4.13.

Tabela 4.13. Klasyfikacja stanów $W(WSBMW_i)_p$ w podstawowym okresie badawczym

Stan WSBMW _i	Stan ZM _i	S _i	Wartość wagi W(WSBMW _i) _p
1	ZM ₁	S ₁	1
2	ZM ₁	S ₂	3
3	ZM ₂	S ₂	5
4	ZM ₃	S ₂	7

W proponowanym algorytmie analizy rozkładu przestrzennego stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody WSMBW_(p) podczas jej transportu do odbiorców, każdy wygenerowany *p*-ty polygon w oparciu o lokalizację *p*-tego punktu planowanej kontroli wewnętrznej jakości wody, jest charakteryzowany trzema zmiennymi tj: wskaźnikiem stanu zabezpieczenia mikrobiologicznego wody W(ZM_i)_p, wskaźnikiem globalnego wieku wody G(WW_i)_p oraz wskaźnikiem stanu walidacji stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody W(WSBMW_i)_p. Wartość wskaźnika stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody $SI_{BMW(p)}$ wyznacza się zgodnie ze wzorem (4.8):

$$SI_{BMW(p)} = W(ZM_i)_p \cdot W(GWW_i)_p \cdot W(WSBMW_i)_p \quad (4.8)$$

gdzie:

$SI_{BMW(p)}$ – indeks stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody dla *p*-tego polygonu,

$W(ZM_i)_p$ – *i*-ta wartość wagi wskaźnika mikrobiologicznego zabezpieczenia wody ZM_i w *p*-tym poligonie

$W(GWW_i)_p$ - *i*-ta wartość wagi wskaźnika globalnego wieku wody w *p*-tym poligonie

$W(WSBMW_i)_p$ *i*-ta wartość wagi wskaźnika walidacji stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody w *p*-tym poligonie.

Wartości $SI_{BMW(p)}$ zostały wyznaczone zgodnie z trójparametryczną matrycą (tabela 4.14).

Tabela 4.14. Trójparametryczna matryca zmienności stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody $SI_{BMW(p)}$

$W(WSBMW)_p=1$			
$W(ZM_i)_p \backslash W(GWW_i)_p$	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9
$W(WSBMW)_p=3$			
$W(ZM_i)_p \backslash W(GWW_i)_p$	1	2	3
1	3	6	9
2	6	12	18
3	9	18	27
$W(WSBMW)_p=5$			

		$W(GWW_i)_p$		
		1	2	3
$W(ZM_i)_p$	1	5	10	15
	2	10	20	30
	3	15	30	45
$W(WSBMW)_p=7$				
		$W(WW_i)_p$		
		1	2	3
$W(ZM_i)_p$	1	7	14	21
	2	14	28	42
	3	21	42	63

Na podstawie zmienności $SI_{BMW(p)}$ przyjęto trójstopniową skalę punktową oceny stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody (tabela 4.15).

Tabela 4.15. Trójstopniowa klasyfikacja stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody

Stany bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody	wartość	$W(SI_{BMW(p)})$
Stan bezpieczny	1-6	1
Stan zagrożenia bezpieczeństwa	7-18	2
Stan utraty bezpieczeństwa	20-63	3

Wyznaczone stany bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody są przyporządkowywane dla p -tego polygonu warstwy wektorowej, celem generowania mapy rozkładu stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody.

Celem wyznaczenia wstępnej oceny ryzyka narażenia populacji na ryzyko dostaw wody o niepewnej mikrobiologicznie jakości zbudowano wskaźnik udziału dostaw wody $W(UD_{(p)})$ jako udział zasilania lokalnych systemów wodociągowych dostawcy wody w całkowitym zapotrzebowaniu na wodę danego regionu. W procesie wyznaczania progów podziału wskaźnika $W(UD)$ na klasy ważności skorzystano z testu Kołmogorowa-Smirnowa celem weryfikacji przyjętej hipotezy zero H_0 o zgodności rozkładu badanej cechy z rozkładem normalnym. W przypadku stwierdzenia zgodności analizowanego rozkładu wielkości udziałów dostaw wody z rozkładem normalnym zaproponowano do wyznaczania wartości progów średnią μ oraz sumę średniej i odchylenia standardowego $\mu + \delta$. Natomiast w przypadku rozkładu, który nie ma charakteru rozkładu normalnego, progi te definiowane są przez medianą Me oraz kwartył III rzędu Q_3 (Tabela 4.16).

Tabela. 4.16. Klasyfikacja $W(UPZ_{(p)})$ udziału procentowego zasilania lokalnych systemów wodociągowych przez dostawcę w całkowitym zapotrzebowaniu na wodę danego regionu wraz z przyporządkowaniem wagi

Parametr UPZ		Wartość wagi $W(UPZ_{(p)})$
Przyjęcie hipotezy H_0	Przyjęcie hipotezy H_0	
$UPZ \leq \mu$	$UPZ \leq M_e$	1
$\mu < UPZ \leq \mu + \delta$	$M_e < UPZ \leq Q_3$	2
$UPZ > \mu + \delta$	$UPZ > Q_3$	3

W ostatnim kroku wyznaczono dla każdego p -tego polygonu ryzyko narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnym bezpieczeństwie mikrobiologicznym - $PR_{UBMW_{(p)}}$ (ryzyko populacji narażonej na utratę bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody). Jest ono wyznaczane wg wzoru (4.9)

$$PR_{UBMW_{(p)}} = W(SI_{BMW_{(p)}}) \cdot W(UD_{(p)}) \quad (4.9)$$

gdzie:

$W(SI_{BMW_{(p)}})$ - waga wskaźnika stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody $PR_{UBMW_{(p)}}$ wyznaczona dla p -tego poligonu,

$W(UD_{(p)})$ – waga wskaźnika udziału dostawcy w dostawach wody do lokalnego odbiorcy w p -tym poligonie w całkowitym zapotrzebowaniu na wodę danego obszaru

Celem wyznaczenia wartości ryzyka i wstępnej oceny narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości mikrobiologicznie wodu $PR_{UBMW_{(p)}}$ w oparciu o formułę 5 zbudowano dwuparametryczną matrycę (tabela 4.17)

Tabela 4.17. Dwuparametryczna matryca $PR_{UBMW_{(p)}}$

$W(UD_{(p)}) \backslash W(SI_{BMW_{(p)}})$	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9

Na podstawie wyznaczonych wartości ryzyka populacji $PR_{UBMW_{(p)}}$, dokonano podziału na trzy klasy ryzyka wraz z wytycznymi w zakresie podjęcia działań naprawczych.

Tabela 4.18. Wstępna ocena ryzyka narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnej mikrobiologicznie jakości wody wraz z rekomendacją dotyczącą ewaluacji ryzyka

wartość $PR_{UBMW(p)}$	wstępna ocena ryzyka	wnioski do ewaluacji ryzyka
1-2	ryzyko akceptowalne	brak konieczności wdrożenia działań naprawczych
3-4	ryzyko akceptowalne	możliwość wdrożenia działań naprawczych
6-9	ryzyko nieakceptowalne	konieczne wdrożenie działań naprawczych

Rozkład wartości ryzyka oraz wstępna ocena ryzyka narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnym bezpieczeństwie mikrobiologicznym wody w eksploatowanym podsystemie dystrybucji wody stanowi element wejściowy ewaluacji ryzyka oraz do rankingowania ryzyk ze wszystkimi modułami. Zaproponowana metodyka oceny ryzyka (tab 4.18) w module drugim, obejmuje również weryfikację stanu bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody uwzględniając funkcjonujący system dozowania dezynfektanta w SZW na stacjach wodociągowych oraz w podsystemie dystrybucji wody – sieciowe zbiorniki wyrównawcze oraz dodatkowe punkty dochlorowania wody na sieci. Analiza rozkładu tego ryzyka stanowi weryfikację poprawności skuteczności uzdatniania wody oraz jej dystrybucji. Proponowany moduł może stanowić narzędzie wsparcia do efektywnego zarządzania ryzykiem utraty bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody poprzez wsparcie w procesie dostosowania systemu dozowania dezynfektanta w SZW.

4.4. Moduł 3. Uszkodzalność przewodów wodociągowych

Jednym z elementów eksploatacji SZW, niezbędnym do zapewnienia jego integralności jest odnowa/ modernizacja infrastruktury wszystkich jego elementów. Pozyskanie obiektywnej informacji o zdarzeniach utraty zawodności $PsDyW$ i ich skutków, powinno stanowić istotny element wsparcia w podejmowaniu decyzji przez kadrę zarządzającą dostawcy wody, celem wyznaczenia priorytetów odnowy i modernizacji infrastruktury. W niniejszym module przedstawiono procedurę analizy ryzyka zawodności przewodów wodociągowych. Zaproponowano wyznaczenie ryzyka $R(A)$ metodą matrycową w oparciu o prawdopodobieństwo wystąpienia awarii oraz skutków jej wystąpienia. Do budowy dwuparametrycznej matrycy ryzyka $R(A_r)$ awaryjności *r-tego* wydzielonego jednostkowego przewodu wodociągowego, w zastępstwie prawdopodobieństwa wystąpienia awarii, zaproponowano parametr skwantyfikowaną intensywność uszkodzeń λ_r . Parametr intensywności uszkodzeń wyznacza się zgodnie ze wzorem 4.10.

$$\lambda_r = \frac{N_r(\Delta t)}{L_r(\Delta t)} \quad (4.10)$$

gdzie:

$N_r(\Delta t)$ - liczba uszkodzeń *r-tego* wydzielonego jednostkowego rurociągu w przedziale czasu Δt ,

$L_r(\Delta t)$ - długość analizowanego *r-tego* wydzielonego jednostkowego rurociągu w przedziale czasu Δt ,

Δt - rozpatrywany przedział czasu.

W ramach projektowanego modułu analizy ryzyka awaryjności przewodów wodociągowych, za podstawową jednostkę czasu, przyjęto jeden rok kalendarzowy. Intensywność uszkodzeń charakteryzuje podatność na awaryjność przewodów wodociągowych, na którą mają wpływ: szkody górnicze, korozyjność gleby, rodzaj materiału przewodów wodociągowych. Wyznaczenie λ_r może zostać wykorzystane do zdefiniowania kierunków modernizacji sieci czy precyzyjnego oszacowanie potencjalnych strat wody. W kolejnym kroku zaproponowano podział λ_r na 3 klasy, dla których, w tabeli 4.19 przedstawiono progi graniczne podziału wskaźnika intensywności uszkodzeń oraz przyporządkowano wagi $W(\lambda_r)$.

Tabela 4.19. Podział λ_r na klasy wraz z przyporządkowaniem wartości wskaźnika $W(\lambda_r)$.

Warunki klasyfikacji λ_r	Wartość wagi $W(\lambda_r)$
$\lambda_r \leq 0,1$	1
$0,1 < \lambda_r \leq 0,5$	2
$0,5 > \lambda_r$	3

Drugą składową matrycy są skutki (C) wystąpienia awarii. W module 2 zaproponowano ocenę skutków wystąpienia awarii przewodu wodociągowego w funkcji wskaźników: wskaźnik zasięgu oddziaływania $W(ZO)$ zdefiniowanego wskaźnikiem średnicy przewodu wodociągowego $W(S)$ oraz wskaźnikiem jego funkcji $W(F)$, wskaźnikiem uciążliwości napraw (U) oraz wskaźnikiem oceny zabezpieczenia funkcjonowania rurociągu $W(Z)$. Każdy argument funkcji poddano kwantyfikacji na podstawie, której wyznaczono progi graniczne i dokonano podziału na klasy ważności oraz przyporządkowano klasom wartości wagi. Pierwszym argumentem funkcji oceny skutków wystąpienia awarii przewodu wodociągowego sieci jest zasięg oddziaływania. W proponowanej metodyce do oceny skutków zasięgu wystąpienia awarii zaproponowano budowę wskaźnika, opartego na skategoryzowanych wartościach

średnicy przewodu wodociągowego oraz realizowanej przez niego funkcji. Klasyfikacja średnic przewodów wodociągowych powinna być dostosowana do eksploatowanego PsDyW. SZW o wydajności, np. 1000m³/d będą eksploatowały rurociągi o mniejszej średnicy co wynika ze skali, zasięgu realizowanych dostaw wody w odniesieniu do SZW o Q>100 000 m³/d. SZW o mniejszej wydajności nie realizują przerzutów wody rurociągami magistralnymi a jedynie eksploatuje sieć rozdzielczą i przyłącza. Proponowana konstrukcja wskaźnika uwzględnia specyfikacją i indywidualne podejście do analizowanego SZW. W proponowanym module zaproponowano podział średnic przewodów wodociągowych na 5 klas ważności oraz przyporządkowano wartości wagi. Podział został przedstawiony w tabeli 4.20.

Tabela 4.20. Klasyfikacja wskaźnika W(S_r) wraz z przyporządkowaną wartością wagi.

Warunek klasyfikacji średnicy przewodu wodociągowego S _r	Wartość wagi W(S _r)
S _r <Ø400	1
Ø400 ≤ S _r <Ø700	2
Ø700 ≤ S _r <Ø1000	3
Ø1000 ≤ S _r <Ø1200	4
Ø1200 ≥ S _r	5

W tabeli 4.21 zdefiniowano warunki podziału W(F_r) przewodu wodociągowego W(F_r) na 3 klasy ważności realizowanej funkcji w dostawach wody, tj.: rurociągi magistralne, sieci rozdzielcze oraz przyłącza wodociągowe. Przedstawiony podział rurociągów uwzględnia zasięg skutków awarii przewodu wodociągowego, np. przerwę lub znaczne ograniczenie dostaw wody. Awaria rurociągu magistralnego będzie miała o większy zasięg oraz skutki oddziaływania na dostawy wody od przewodów realizujących pozostałe funkcje oraz jej usunięcie będzie zadaniem wymagającym większego zaangażowania po stronie przedsiębiorstwa.

Tabela 4.21. Klasyfikacja wskaźnika W(F_r) wraz z przyporządkowaną wartością wagi

funkcja rurociągu F _r	Wartość wagi W(F _r)
przyłącza / instalacje rozdzielcze	1
sieci rozdzielcze	2
sieci magistralne	3

W kolejnym kroku zbudowano macierz dwuparametryczną (tabela 4.22), zgodnie ze wzorem 4.11, z wykorzystaniem której wyznaczony zostanie klasa W(ZO_r) wraz z przyporządkowaną wartością wagi.

$$ZO_r = W(S_r) * W(F_r) \quad (4.11)$$

gdzie:

ZO_r – zasięg oddziaływania awarii na r -tym przewodzie wodociągowym,

$W(S_r)$ – waga wskaźnika średnicy r -tego przewodu wodociągowego,

$W(F_r)$ – waga wskaźnika funkcji r -tego przewodu wodociągowego.

Tabela 4.22. Dwuparametryczna matryca wyznaczenia ZO_r

$W(S_r) \backslash W(F_r)$	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9
4	4	8	12
5	5	10	15

W tabeli 4.23 przedstawiono podział na klasy argumentu $W(ZO_r)$ r -tego przewodu wodociągowego oraz przyporządkowano wartość wagi.

Tabela 4.23. Klasyfikacja $W(ZO_r)$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi

Warunki kwantyfikacji ZO_r	Wartość wagi $W(ZO_r)$
1-3	1
4-6	2
8-15	3

Drugim argumentem funkcji skutków wystąpienia awarii jest wskaźnik oceny związanej z uciążliwością wykonywania napraw r -tego wydzielonego przewodu wodociągowego. Składowa ta uwzględnia wpływ obszarów zurbanizowanych na trudności związane z usuwaniem awarii, np. kolizje infrastruktury wodociągowej z infrastrukturą drogową, elektryczną, teleinformatyczną, gazową czy drogową. W tabeli 4.24 zestawiono warunek klasyfikacji $W(U_r)$ wraz z wartością wagi

Tabela 4.24. Klasyfikacja $W(U_r)$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi

Warunek klasyfikacji U_r	Wartość wagi $W(U_r)$
Teren niezurbanizowany, łatwy dostęp	1
Teren zurbanizowany, mieszany, dostęp utrudniony, kolizja infrastruktury wodociągowej z inną techniczną	2

Trzecim argumentem budowanej funkcji skutków wystąpienia awarii jest wskaźnik zabezpieczenia $W(Z_r)$ funkcjonowania r -tego wydzielonego jednostkowego rurociągu.

W tym elemencie uwzględniono 3 stany, które opisano w tabeli 4.25 wraz z przyporządkowaną wartości wagi wskaźnika $W(Z_r)$.

Tabela 4.25. Klasyfikacja $W(Z_r)$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi

Warunek klasyfikacji Z_r	$W(Z_r)$
brak zabezpieczenia i monitoringu	1
zabezpieczenie standardowe i uproszczony monitoring	2
zabezpieczenia ponadstandardowe, pełny monitoring pracy sieci	3

Liczbowy poziom skutków $C(A_r)$ awaryjności wydzielonego jednostkowego fragmentu rurociągu jest wyznaczany wg wzoru 4.12:

$$C_r = \frac{W(ZO_r) \cdot W(U_r)}{W(Z_r)} \quad (4.12)$$

gdzie:

C_r – skutek wystąpienia awarii r -tego wydzielonego przewodu wodociągowego,

$W(ZO_r)$ - waga wskaźnika klasyfikacji r -tego wydzielonego przewodu wodociągowego,

$W(U_r)$ – waga wskaźnika uciążliwości usuwania awarii r -tego wydzielonego przewodu wodociągowego,

$W(Z_r)$ – waga wskaźnika zabezpieczenie r -tego wydzielonego jednostkowego rurociągu.

Zgodnie ze wzorem 4.12 zbudowano trójparametryczną macierz do wyznaczenia wartości skutków C_r wystąpienia awarii r -tego przewodu wodociągowego (tabela 4.26)

Tabela 4.26 Trójparametryczna macierz wyznaczenia wartości skutku wystąpienia awarii przewodu wodociągowego

$W(Z_r) = 1$		
$W(ZO_r)$	$W(U_r)$	
	1	2
1	1	2
2	2	4
3	3	6
$W(Z_r) = 2$		
$W(ZO_r)$	$W(U_r)$	
	1	2
1	0,5	1
2	1	2
3	1,5	3
$W(Z_r) = 3$		
$W(ZO_r)$	$W(U_r)$	
	1	2

$W(ZO_r)$		
1	0,33	0,66
2	0,66	1,33
3	1	2

Na podstawie tabeli 4.26 i rozkładu uzyskanych wartości elementów oceny skutków wystąpienia awarii r-tego przewodu wodociągowego przeprowadzono kwantyfikację uzyskanych wartości C_r celem wyznaczenia wartości skumulowanego wskaźnika skutków wystąpienia awarii przewodu wodociągowego (tab. 4.27).

Tabela 4.27. Kwantyfikacja $W(C_r)$ wraz z przyporządkowaniem wartości wagi

Warunki kwantyfikacji C_r	Wartość wagi $W(C_r)$
$0,33 \leq C_r < 1,0$	1
$1,33 \leq C_r < 2,0$	2
$3,0 \leq C_r < 6,0$	3

W oparciu o wyznaczone wartości wskaźników intensywności uszkodzeń $W(\lambda_r)$ oraz skutków wystąpienia awarii $W(C_r)$ wyznaczono wartości ryzyka wystąpienia awarii, zgodnie ze wzorem 4.13

$$R = W(\lambda_r) * W(C_r) \quad (4.13)$$

W oparciu o ww. wzór, zbudowano dwuparametryczną macierz ryzyka (tabela 4.28), wyznaczono wartości ryzyka oraz wykonano wstępną ocenę ryzyka.

Tabela 4.28. Dwuparametryczna macierz ryzyka awarii przewodu wodociągowego

$W(\lambda_r) \backslash W(C_r)$	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9

Na podstawie wyznaczonych wartości ryzyka awaryjności przewodu wodociągowego dokonano podziału na trzy klasy ryzyka:

Tabela 4.29. Wstępna ocena ryzyka uszkodzalności przewodu wodociągowego wraz z kierunkiem ewaluacji ryzyka

wartość $R(A_r)$	wstępna ocena ryzyka	wnioski do ewaluacji ryzyka
1-2	ryzyko akceptowalne	brak konieczności wdrożenia działań naprawczych
3-4	ryzyko akceptowalne	możliwość wdrożenia działań naprawczych
6-9	ryzyko nieakceptowalne	konieczne wdrożenie działań naprawczych

Przyporządkowana wstępna ocena ryzyka wraz z wartością ryzyka jest w etapie III rankingowana, zgodnie z algorytmem. Wstępna ocena ryzyka awaryjności przewodu wodociągowego może podlegać aktualizacji w toku ewaluacji corocznie lub po wykonaniu odnowy wyznaczonego przewodu wodociągowego.

4.6 Moduł 4. Analiza zagrożeń w następstwie zdarzenia awaria przewodu wodociągowego

W module 4 zaproponowano ocenę zagrożeń dla zdarzenia utrata zawodności przewodu wodociągowego. Zdarzenie to jest analizowane w trzech kontekstach:

- brak zaopatrzenia w wodę odbiorcy usług,
- utrata stabilności mikrobiologicznej podsystemu dystrybucji rozumiana jako obecność wskaźnikowych parametrów mikrobiologicznych,
- pogorszenie właściwości organoleptycznych wody (smak, zapach, barwa, mętność).

Model wstępnej oceny ryzyka $R(Z_{zuzpw})$ zagrożeń dla zdarzenia utrata zawodności przewodu wodociągowego został opracowany w oparciu o metodę matrycową wyznaczania ryzyka w funkcji: prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia oraz skutków wystąpienia zdarzenia identyfikowanych elementami: zawodność funkcjonowania rurociągów, dotkliwość związaną z możliwością pogorszenia jakości wody z uwzględnieniem braku dostaw wody, zasięg skutków awarii, czas usuwania awarii.

Do oceny prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia awarii zaproponowano zastosowanie równoważny elementu, tj. wskaźnika intensywności uszkodzeń – lambda wyznaczany jako ilość uszkodzeń *r-tego* jednostkowego odcinka rurociągu na 1 kilometr na jeden rok kalendarzowy (wzór 4.10) zgodnie z kwantyfikacją zdefiniowaną w module 3, tabela 4.19.

Drugim elementem matrycy wyznaczania ryzyka zdarzenia awarii sieci wodociągowej są skutki jego wystąpienia, wyznaczone w funkcji: $W(JW_r)$ wskaźnika pogorszenia jakości wody, $W(ZO_r)$ wskaźnika zasięgu oddziaływania, $W(T_r)$ wskaźnika czasu usuwania awarii oraz $W(ZT_r)$ wskaźnika zawodności technicznej.

Definiując podział na klasy oraz wyznaczając wartości wagi wskaźnika jakości wody zastosowano podejście priorytetowe w zapewnieniu zdrowia publicznego i zagrożeń zdrowotnych. Jest to podejście zgodne z wytycznymi WHO, Dyrektywą oraz RMZ. W tabeli 4.30 został przedstawiony podział parametrów jakości wody na klasy wraz z przyporządkowaniem wartości wagi $W(JW_r)$.

Tabela 4.30. Klasyfikacja wraz przyporządkowaniem wagi $W(JW_r)$.

Klasyfikacja JW	ocena	Wartości wagi $W(JW_r)$
Przekroczenia wartości parametrycznych parametrów fizyko-chemicznych zdefiniowanych w załączniku 1C RMZ lub brak przekroczeń RMZ	nieistotne	1
Nieznaczne przekroczenia wartości parametrycznej (do 10%) dla parametrów chemicznych – zał 1B RMZ i/lub znaczne przekroczenie (>60%) wartości parametrycznych parametrów fizyko-chemicznych zdefiniowanych w załączniku 1C RMZ	niewielkie	2
Utrzymujące się przekroczenia wartości parametrycznych parametrów chemicznych zał 1B ponad 30 dni i/lub obecność pojedynczych jtk/NPL parametrów wskaźnikowych wymagania mikrobiologiczne zał1C RMZ	umiarkowane	3
Przekroczenia wartości parametrycznych parametrów wskaźnikowych mikrobiologicznych >10 jtk/NPL i/lub niepotwierdzone pojedyncze jednostki wskazujące możliwość zanieczyszczenia kałowego	poważne	4
Potwierdzono skażenie/zanieczyszczenia kałowe lub brak dostaw wody	kryzysowe	5

Drugim argumentem funkcji jest wskaźnik zasięgu opisany średnicą rurociągu oraz jego funkcją $W(ZO_r)$. Do kwantyfikacji tego argumentu zastosowano procedurę opisaną w modelu 3 (tabele 4.20-4.23).

Trzecim argumentem jest wskaźnik czasu usuwania awarii. W tabeli 4.31 zaproponowano podział czasu usuwania awarii wraz z przyporządkowaniem wartości wagi $W(T_r)$.

Tabela 4.31. Kategoryzacja czasu usuwania awarii T_r wraz z wartością wagi $W(T_r)$.

Czas usuwania awarii T_r	Wartości wagi $W(T_r)$
$T < 5h$	1
$5h < T < 10h$	2
$10h < T < 24h$	3
$24h < T < 36h$	4
$36h < T$	5

Jako czwarty argument oceny skutków wystąpienia awarii przewodu wodociągowego zaproponowano budowę wskaźnika zawodność techniczna (ZT_r), który uwzględni zakres informacji mających bezpośredni wpływ na stan techniczny infrastruktury.

Wskaźnik zawodności technicznej sieci wodociągowej zbudowano w funkcji:

- wskaźnik wystąpienie zdarzenia w obszarze szkód górniczych $W(SG_r)$,
- wskaźnik oceny stanu technicznego przewodu wodociągowego $W(ST_r)$,
- wskaźnik potencjalnego wpływ zdarzenia na pogorszenie jakości wody $W(SJW_r)$.

W tabeli 4.32 zaproponowano podział elementów wskaźnika zawodności technicznej na klasy ważności oraz przyporządkowano wartości wag.

Tabela 4.32. Klasyfikacja elementów wskaźnika zawodności technicznej funkcji wyznaczania wskaźnika zawodności technicznej

opis	warunek / opis	waga wskaźników
awaria wystąpiła w rejonie szkód górniczych (SG_r)	tak	3
	nie	1
stan techniczny (ST_r)	dobry	1
	zły	2
potencjalny wpływ zdarzenia na jakość wody (SJW_r)	brak wpływu stanu technicznego na jakość wody	1
	niewielki wpływ stanu technicznego na jakość wody	2
	pewny wpływ stanu technicznego na jakość wody	3

Na podstawie zdefiniowanych wartości wag zbudowano trójparametryczną macierz (tabela 4.33) do wyznaczenia ZT_r zgodnie ze wzorem 4.14:

$$ZT_r = W(SG_r) * (ST_r) * (SJW_r) \quad (4.14)$$

Tabela 4.33. Trójparametryczna macierz wyznaczania wskaźnika zawodności technicznej

SG	SJW			
	ST	1	2	3
1	1	1	2	3
	2	2	4	6
3	1	3	6	9
	2	6	12	18

W tabeli 4.34 przedstawiono rozkład wartości ZT_r oraz wykonano podział na klasy wraz z przyporządkowaniem wartości wagi.

Tabela: 4.34. Klasyfikacja $W(ZT_r)$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi

ZT_r	$W(ZT_r)$
1-3	1
4-6	2

Na podstawie tak wyznaczonych wskaźników, zbudowano 4 parametryczną matrycę skumulowanej oceny skutków awarii (tabela 4.35) zgodnie ze wzorem

$$CA_r = W(JW_r) * W(SF_r) * W(T_r) * W(ZT_r) \quad (4.15)$$

Tabela 4.35. Czteroparametryczna matryca kwantyfikacji skutków wystąpienia awarii przewodu wodociągowego.

	W(ZT _r) = 1				W(ZT _r) = 2				W(ZT _r) = 3			
	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3
W (T _r) = 1	1	1	2	3	1	2	4	6	1	3	6	9
	2	2	4	6	2	4	8	12	2	6	12	18
	3	3	6	9	3	6	12	18	3	9	18	27
	4	4	8	12	4	8	16	24	4	12	24	36
	5	5	10	15	5	10	20	30	5	15	30	45
W (T _r) = 2	W(ZT _r) = 1				W(ZT _r) = 2				W(ZT _r) = 3			
	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3
	1	2	4	6	1	4	8	12	1	6	12	18
	2	4	8	12	2	8	16	24	2	12	24	36
	3	6	12	18	3	12	24	36	3	18	36	54
W (T _r) = 3	W(ZT _r) = 1				W(ZT _r) = 2				W(ZT _r) = 3			
	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3
	1	3	6	9	1	6	12	18	1	9	18	27
	2	6	12	18	2	12	24	36	2	18	36	54
	3	9	18	27	3	18	36	54	3	27	54	81
W (T _r) = 4	W(ZT _r) = 1				W(ZT _r) = 2				W(ZT _r) = 3			
	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3
	1	4	8	12	1	8	16	24	1	12	24	36
	2	8	16	24	2	16	32	48	2	24	48	72
	3	12	24	36	3	24	48	72	3	36	72	108
W (T _r) = 5	W(ZT _r) = 1				W(ZT _r) = 2				W(ZT _r) = 3			
	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3	W(JW _r) W(SF _r)	1	2	3
	1	5	10	15	1	10	20	30	1	15	30	45
	2	10	20	30	2	20	40	60	2	30	60	90
	3	15	30	45	3	30	60	90	3	45	90	135

Na podstawie rozkładu wartości czteroparametrycznej matrycy (tabela 4.33) przeprowadzono kwantyfikację skumulowanego wskaźnika oceny zagrożeń skutków

wystąpienia zdarzenia utraty zawadności przewodu wodociągowego oraz przyporządkowano wartości wag celem wyznaczanie klasy i wartości ryzyka (tabela 4.36),

Tabela 4.36. Kwantyfikacja $W(C_r)$ wraz z przyporządkowaniem wartości wagi

Wartość wagi $W(CA_r)$	Warunki kwantyfikacji CA_r
1	$1 \leq CA_r \leq 15$
2	$16 \leq CA_r \leq 36$
3	$40 \leq CA_r \leq 225$

W oparciu o wyznaczone wartości wskaźników intensywności uszkodzeń $W(\lambda_r)$ oraz skutków wystąpienia awarii $W(CA_r)$ wyznaczono ryzyko oceny wystąpienia zdarzenia utraty zawadności, zgodnie ze wzorem. Rozkład ryzyka przedstawiono w tabeli 4.37.

$$R(Z_{zuzpw}) = W(\lambda_r) * W(CA_r) \quad (4.15)$$

Tabela 4.37. Dwuparametryczna matryca ryzyka awarii przewodu wodociągowego

$W(\lambda_r) \backslash W(CA_r)$	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9

W tabeli 4.38 przedstawiono wstępną ocenę ryzyka wraz z kierunkami działań w ewaluacji ryzyka.

Tabela 4.38. Wstępna ocena ryzyka zagrożeń zdarzenia awaria przewodu wodociągowego wraz z kierunkiem działań ewaluacji ryzyka

wartość $R(Z_{zuzpw})$	wstępna ocena ryzyka	wnioski do ewaluacji ryzyka
1-2	ryzyko akceptowalne	brak konieczności wdrożenia działań naprawczych
3-4	ryzyko akceptowalne	możliwość wdrożenia działań naprawczych
6-9	ryzyko nieakceptowalne	konieczne wdrożenie działań naprawczych

Zdefiniowane poziomy wstępnej ryzyka oceny skutków wystąpienia utraty zawadności przewodu wodociągowego stanowią podstawę do ewentualnego podjęcia działań naprawczych w ewaluacji ryzyka oraz są rankingowane stanowiąc informację, która na

jest uwzględniana w procesach kontroli i zarządzania ryzykiem. Wnioskowanie może stanowić rekomendacje w wyznaczanie obszarów priorytetowych podnoszenia efektywności funkcjonowania dostawcy wody.

4.7. Moduł 5. Zarządzanie SZW w sytuacji ingerencji osób trzecich

Jednym ze zdarzeń niepożądanych w realizacji zadań dostaw wody są potencjalne i faktyczne skutki ingerencji osób trzecich na infrastrukturze krytycznej, których celem jest zaburzenie pracy systemu zaopatrzenia w wodę, czy wręcz uniemożliwienie realizacji zadania dostaw wody. W niniejszym module zaproponowano budowę procedury szacowania ryzyka narażenia populacji na dostawy wody o niepewnej jakości w następstwie ingerencji osób trzecich w podsystem produkcji wody.

Do oceny wrażliwości zaproponowano metodę matrycową analizy ryzyka $R(IZ)$ w funkcji: prawdopodobieństwa wystąpienia ingerencji zewnętrznej $P(IZ)$ oraz skutków $C(IZ)$ tego zdarzenia które uwzględnia: ilość dystrybuowanej wody w wydzielonym fragmencie strefy zaopatrzenia, udział dostawcy wody w dostawach wody do obszaru (populacji) oraz czas przepływu wody do punktu kontroli jakości wody.

W tabeli 4.39 zaproponowano kwantyfikację prawdopodobieństwa zdarzenia ingerencja osób trzecich na infrastrukturę SZW wraz z wartościami wagi oraz przedstawiono warunki tej klasyfikacji.

Tabela 4.39. Klasyfikacja prawdopodobieństwa wystąpienia *i-tego* zdarzenia ingerencji zewnętrznej w elemencie SZW

waga P_{iz}	klasyfikacja P_{iz}	Proponowane warunki klasyfikacji
1	niskie	Ochrona fizyczna SUW/ SZbW, monitoring on line, monitoring video; ochrona fizyczna, czujniki, np. wejścia na teren, regularne kontrole, monitorowanie elementów pracy infrastruktury
2	średnie	brak monitoring on-line, ograniczona kontrola on-line, monitorowanie fizyczne pracy systemów
3	wysokie	Brak , ograniczona ochrona, brak kontroli pracy, obiekt bezobsługowy

Drugim elementem analizy ryzyka narażenia na ingerencje zewnętrzną są skutki takiego zdarzenia. Do szacowania oceny skutków zdarzenia zaproponowano budowę matrycy trójparametrycznej, która uwzględnia:

- wskaźnik udziału wody dystrybuowanej wydzielonym jednostkowym fragmencie przewodu wodociągowego pomiędzy punktami wewnętrznej kontroli jakości w odniesieniu do łącznej ilości wody wtłaczanej $W(WD)$,
- wskaźnik udziału dostawcy wody w łącznych dostawach wody do strefy $W(UD)$,
- wskaźnik czasu przepływu wody do punktu kontroli $W(TD)$.

Celem wyznaczenia klas ważności dla powyższych składowych należało zdefiniować procedury ich wyznaczania. Pierwszą elementem jest wskaźnik ilość wody dystrybuowanej w strefie z uwzględnieniem łącznej ilości wody, która przepływa przez strefę, który jest wyznaczany wg wzoru 4.17

$$WD_j = \frac{WS_j}{WZ_j} \quad (4.17.)$$

gdzie:

WD_i – wskaźnik dystrybucji wody w j -tej strefie zasilania,

WS_j – ilość dostarczanej wody w studni wodomierzowej (wyrażona np.: średniodobowo) w j -tej strefie zasilania,

WZ_j – ilość wody (wyrażona np.: średniodobowo) zasilającą j -tą strefie zasilania

W kolejnym kroku poddano wartości WD_j analizie statystycznej celem weryfikacji hipotezy H_0 o zgodności rozkładu wartości WD_j z rozkładem normalnym. Do sprawdzania poprawności postawionej hipotez H_0 zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem teoretycznym stosowano testy Kołmogorowa-Smirnowa (K-S). Do przeprowadzenia wnioskowania statystycznego przyjęto standardowy poziom istotności statystycznej na poziomie $\alpha=0,01$, które należy traktować jako akceptowalne prawdopodobieństwo popełnienia błędu, polegającego na uznaniu uzyskanego wyniku testu za prawdziwy. Zaproponowano aby progi WD_j były wyznaczone dla rozkładu normalnego wartością średniej μ oraz sumy średniej i odchylenia standardowego $\mu + \delta$, a w przypadku rozkładu, który nie ma charakteru rozkładu normalnego, przez medianą Me oraz kwartył III rzędu Q_3 . W tabeli 4.40 zestawiono wartości wagi parametru $W(DW_i)$ wyznaczone przez progi wartości w zależności od charakteru rozkładu tej zmiennej.

Tabela. 4.40 Klasyfikacja WD_j wraz z przyporządkowaniem wagi $W(WD_j)$.

Parametr WD_j		Wartość wagi $W(WD_j)$
Przyjęcie hipotezy H_0	Przyjęcie hipotezy H_0	
$WD_j \leq \mu$	$WD_j \leq M_e$	1
$\mu < WD_j \leq \mu + \delta$	$M_e < WD_j \leq Q_3$	2
$WD_j > \mu + \delta$	$WD_j > Q_3$	3

Drugi element, tj. udział dostawy wody w realizowanych dostawach wody jest oparty na metodyce opisanej w module 2.

Trzecim argumentem jest skwantyfikowany czas detekcji zmian jakości wody będący efektem celowych działań zewnętrznych. Czas przepływu wody w PsDyW został wyznaczony w oparciu o model hydrauliczny. Zmiany jakości wody mogą być wykrywane za pomocą urządzeń pomiarowych wykonujących analizy w czasie rzeczywistym lub laboratoryjnych badań jakości wody.

W tabeli 4.41 zaproponowano podział na klasy ważności wyznaczają progi wartości oraz wartość wagi $W(TD_j)$.

Tabela 4.41. Klasyfikacja czasu detekcji wraz z przyporządkowaniem wartości wagi

czas reakcji [h]	Wartość wagi $W(TD_j)$
$WST1_{ij} \leq 4$	1
$4 < WST1_{ij} \leq 8$	2
$8 < WST1_{ij} \leq 16$	3
$16 < WST1_{ij} \leq 24$	4
$WST1_{ij} > 24$	5

W kolejnym etapie zaproponowano do wyznaczenia skumulowanej wartości oceny skutków ingerencji zewnętrznej budowę macierzy trójparametrycznej (tab 4.42) wg wzoru 4.19.

$$CIZ_j = W(WD_j) \cdot W(UD_j) \cdot W(TD_j) \quad (4.19)$$

gdzie:

$C(IZ_j)$ - skutek wystąpienia zdarzenia zewnętrznego

$W(WD_j)$ – waga wskaźnika WD_j

$W(UD_j)$ – waga wskaźnika UD_j

$W(TD_j)$ waga wskaźnika TD_j

W tabeli przedstawiono trójparametryczna macrycę skumulowanego skutku oceny wystąpienia celowego zdarzenia zewnętrznego.

Tabela 4.42. Trójparametryczna macryca oceny skutków wystąpienia zdarzenia ingerencji osób trzecich.

		W(TD)				
W(WD)	W(UD)	1	2	3	4	5
1	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
2	1	2	4	6	8	10
	2	4	8	12	16	20
	3	6	12	18	24	30
3	1	3	6	9	12	15
	2	6	12	18	24	30
	3	9	18	27	36	45

Na podstawie matrycy ryzyka (tabela 4.39) przyjęto trójstopniową skalę punktową skutków wystąpienia celowego zdarzenia zewnętrznego wraz z przyporządkowaniem wartości wagi (tab 4.43)

Tabela 4.43. Rozkład klas $W(CIZ_j)$ wraz z przyporządkowanymi wartościami wagi

Zakres CIZ_j	Wagi $W(CIZ_j)$
1-6	1
8-12	2
15-45	3

W oparciu o wyznaczone wartości wskaźników prawdopodobieństwa wystąpienia celowego zdarzenia ingerencji osób trzecich oraz wskaźnika skutków tego zdarzenia, celem wyznaczenia ryzyka zbudowano matrycę dwuparametryczną na podstawie wzoru:

$$R(IOT) = W(P_j) * W(CIZ_j) \quad (4.20)$$

W oparciu o wzór, zbudowano dwuparametryczną matrycę ryzyka (tabela 4.44).

Tabela 4.44. Dwuparametryczna matryca ryzyka ingerencji osób trzecich na ingerencje infrastruktury SZW

$W(CIZ_j) \backslash W(P_j)$	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9

W oparciu o dwuparametryczną matrycę (tab 4.44) wykonano wstępną ocenę ryzyka w sytuacji ingerencji osób trzecich. W tabeli 4.45 przedstawiono klasy oceny ryzyka wraz z kierunkami w ewaluacji ryzyka.

Tabela 4.45. Wstępna ocena ryzyka ingerencji osób trzecich wraz z kierunkiem działań ewaluacji ryzyka.

wartość R(IZ)	wstępna ocena ryzyka	wnioski do ewaluacji ryzyka
1-2	ryzyko akceptowalne	brak konieczności wdrożenia działań naprawczych
3-4	ryzyko akceptowalne	możliwość wdrożenia działań naprawczych
6-9	ryzyko nieakceptowalne	konieczne wdrożenie działań naprawczych

Efektem wykonania wstępnej oceny ryzyka jest zdefiniowanie dalszych kroków postępowania w ewaluacji ryzyka.

4.8. Rankingowanie ryzyk

W proponowanych modułach poddano analizie i wstępnej ocenie ryzyka elementy SZW. W tym etapie generowane jest zestawienie zdarzeń niepożądanych wraz z przyporządkowaną wartością i klasą ryzyka. Tak przygotowana informacja stanowi wsparcie wyznaczaniu priorytetowych kierunków funkcjonowania przedsiębiorstwa w procesach kontroli, monitorowania i weryfikacji zarządzania ryzykiem. W dysertacji zaproponowano rankingowanie ryzyk kolejno w oparciu o: klasę ryzyka, następnie wartość ryzyka. Trzecim warunkiem jest rodzaj zagrożenia generowanego wystąpieniem zdarzenia. Priorytetowo potraktowano stan wody rozumiany jako ograniczenie dostaw wody lub brak dostaw wody dla odbiorców końcowych (w najmniej korzystnej sytuacji). Ostatnim kryterium jest ilość modułów, których aplikacja do warunków rzeczywistych weryfikuje jakość wody. Zestawienie zrankingowanych w etapie III ryzyk analizowane z uwzględnieniem wpływu zdarzenia na cały SZW. Całość informacji wytworzona w toku algorytmu wraz z wnioskami i rekomendacjami jest wykorzystywana do wyznaczenia propozycji katalogu priorytetów w podnoszeniu efektywności przedsiębiorstwa. Efektem jest wytworzona informacja wraz z katalogiem propozycji, które są przedstawiane kadrze zarządczej najwyższego szczebla. Na tym etapie zarządzania przedsiębiorstwem zapada decyzja wyznaczająca kierunek i obszar działań przedsiębiorstwa.

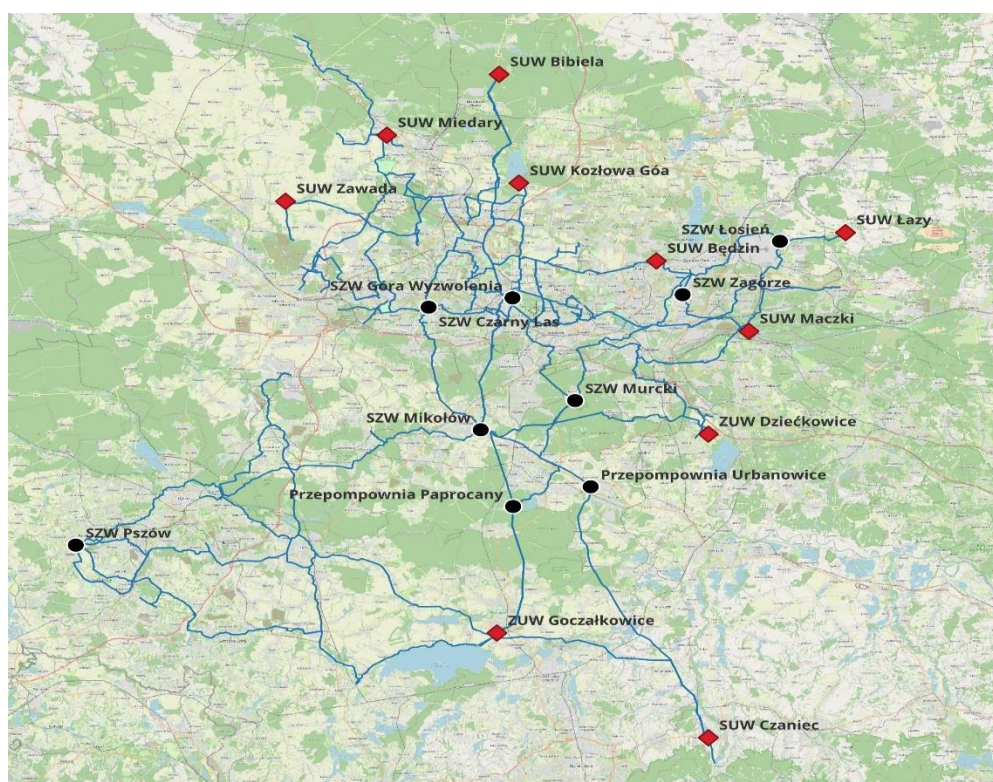
5. Przedmiot badań

Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. z siedzibą w Katowicach jest elementem łańcucha dostaw wody pitnej dla mieszkańców Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego i Rybnickiego Okręgu Węglowego (województwo śląskie) oraz części Małopolski. Dostawy wody do tych obszarów są realizowane przez największego w Polsce, jak i w Europie hurtowego dostawcę wody. Spółka realizując zadania ujmowania, uzdatniania oraz dystrybucji dostarcza wodę do swoich klientów - lokalnych podmiotów realizujących zbiorowe zaopatrzenie w wodę czy jednostek przemysłu. Obszar dostaw wody obejmuje ok 4300 km² na terenie 66 gmin województwa śląskiego i 3 gmin województwa małopolskiego i jest zamieszkiwany przez ok. 3,5 mln mieszkańców. Spółka prowadzi swą działalność na obszarze funkcjonowania trzynastu Państwowych Powiatowych Inspektorów Sanitarnych województwa śląskiego, dwóch Państwowych Powiatowych Inspektorów Sanitarnych województwa małopolskiego oraz Śląskiego Państwowego Wojewódzkiego Inspektora Sanitarnego i Małopolskiego Państwowego Wojewódzkiego Inspektora Sanitarnego.

Początki budowy obecnego systemu zaopatrzenia w wodę mieszkańców aglomeracji śląskiej przypadają na koniec XIX wieku, a strategia jego rozwoju była silnie determinowana uprzemysłowieniem regionu, w tym działalności wydobywczej i hutniczej. Dziś system zaopatrzenia w wodę jest zbudowany z 6 podsystemów ujmowania wody powierzchniowej – dla: SUW Czaniec, SUW Będzin, ZUW Goczałkowice, ZUW Dzieńkowice, SUW Kozłowa Góra i SUW Maczki podsystemów ujmowania wody podziemnej – dla: SUW Bibiela, SUW Miedary, SUW Łazy SUW

Zawada, z których woda jest uzdatniania w 10 podsystemach uzdatniania wody oraz dystrybuowana pierścieniowego podsystemu dystrybucji wody (ryc.5.1).

Zdecydowany udział w łącznej produkcji mają zasoby wód powierzchniowych (85-86%). Aktualna, średnio dobowa produkcja wody wynosi ok. 320 tys. m³/d. W tabeli 5.1. przedstawiono wielkości produkcji wody eksploatowanych podsystemów produkcji wody oraz udział poszczególnych jednostek dla całego SZW. Dane obejmują lata 2022-2023 oraz pierwsze półrocze 2024 roku.



Ryc. 5.1. Obszar funkcjonowania GPW S.A.

SUW/ZUW – stacje uzdatniania wody, SZW – sieciowe zbiorniki wyrównawcze

Tabela 5.1. Wielkość produkcji wody wraz z udziałem w SZW

SUW	rok 2022		rok 2023		I półrocze 2024 roku	
	produkcja [tys. m ³ / 24h]	udział	Produkcja [tys. m ³ / 24h]	udział	produkcja [tys. m ³ / 24h]	udział
ZUW Dzieńkówice	31,5	0,09	32,2	0,1	30,5	0,08
SUW Będzin	5,4	0,02	4,3	0,01	3,2	0,01
SUW Bibiela	23,2	0,07	20,6	0,06	24,8	0,08
ZUW Goczałkowice	167,5	0,50	169,4	0,52	170,7	0,53
SUW Łazy	4,2	0,01	4,1	0,01	3,4	0,01
SUW Maczki	20,2	0,06	21,8	0,07	18,7	0,06

SUW Miedary	13,8	0,04	12,8	0,04	13,5	0,04
SUW Zawada	6,3	0,02	5,6	0,02	5,8	0,02
SUW Czaniec	52,3	0,16	46,6	0,14	50,8	0,15
SUW Kozłowa Góra	8,4	0,03	7,7	0,03	7,2	0,02

Podsystem produkcji wody eksploatuje wysokosprawne ciągi technologiczne, obejmujące koagulacje, filtracje na filtrach pospiesznych antracytowo – piaskowych oraz złoża węgla aktywnego. Stosowane technologie gwarantują wysoką skuteczność uzdatniania wody, zapewniając jej stabilność chemiczną jak i mikrobiologiczną. Przedsiębiorstwo wodociągowe dostarcza wodę do gmin, na obszarze których brak jest innych źródeł wody, tj. Katowice, Ruda Śląska, czy Chorzów. Jednocześnie na obszarze Śląska są miasta, które tylko częściowo pokrywają zapotrzebowanie na wodę z ujęć GPW S.A., np.: Dąbrowa Górnicza, Jaworzno, Zabrze czy Gliwice. Można zatem przyjąć, że na obszarze funkcjonowania GPW S.A. aż 85% populacji zamieszkującej ten obszar korzysta z wody dostarczanej przez tą Spółkę. Do transportu produkowanej wody wykorzystywane jest 864,2 km sieci wyłącznie magistralnych. Jest to infrastruktura wodociągowa głównie dużych średnic 1800-500 mm, charakteryzująca się znacznym zróżnicowaniem materiałowym (tabela 5.2.).

Tabela 5.2. Struktura materiałowa sieci wodociągowej w latach 2022-2023 r.

materiał	udział [%]
Stal	62,4
Żeliwo szare	3,5
Żeliwo sferoidalne	10,2
Żelbet	4,3
GFK	0,1
PE	19,5

Podsystem dystrybucji wody, poza rurociągami jest zbudowany z 9 kompleksów sieciowych zbiorników wyrównawczych wraz z układami pompowymi (tabela 5.3), o łącznej pojemności 276 tys. m³.

Tabela 5.3. Wykaz Sieciowych Zbiorników Wyrównawczych eksploatowanych w SZW GPW S.A.

Lp	Nazwa	Maksymalna pojemność [tys m ³]	Wyływ wody
1	ŚZbW Czarny Las	38	grawitacyjny
2	ŚZbW – Góra Wyzwolenia	20	pompowy
3	ŚZbW Łosień	5	grawitacyjny
4	ŚZbW Mikołów	96	grawitacyjny – kierunek: Katowice, Chorzów;

			pompowy – kierunek: Wodzisław Śląski
5	ŚZbW Murcki	27	grawitacyjny
6	Przepompownia Paprocany	25	pompowy
7	ŚZbW Pszów	27	grawitacyjny
8	Przepompownia Urbanowice	18	grawitacyjny
9	ŚZbW Zagórze *	20	grawitacyjny

* czasowo wyłączony z eksploatacji

Pierścieniowy podsystem dystrybucji wody umożliwia Spółce, we współpracy z odbiorcami, zapewnić bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę regionu. Żadne lokalne przedsiębiorstwo wodociągowe nie jest w stanie podać w razie awarii lub klęski żywiołowej wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi na przeciwległy obszary Górnego Śląska.

Jakość dystrybuowanej wody do spożycia przez ludzi jest nadzorowana łącznie przez 15 jednostek lokalnych organów urzędowej kontroli jakości wody, tj. Państwowych Powiatowych Inspektorów Sanitarnych oraz 2 jednostki organizacji na poziomie wojewódzkim na obszarze dwóch województw: śląskiego i małopolskiego.

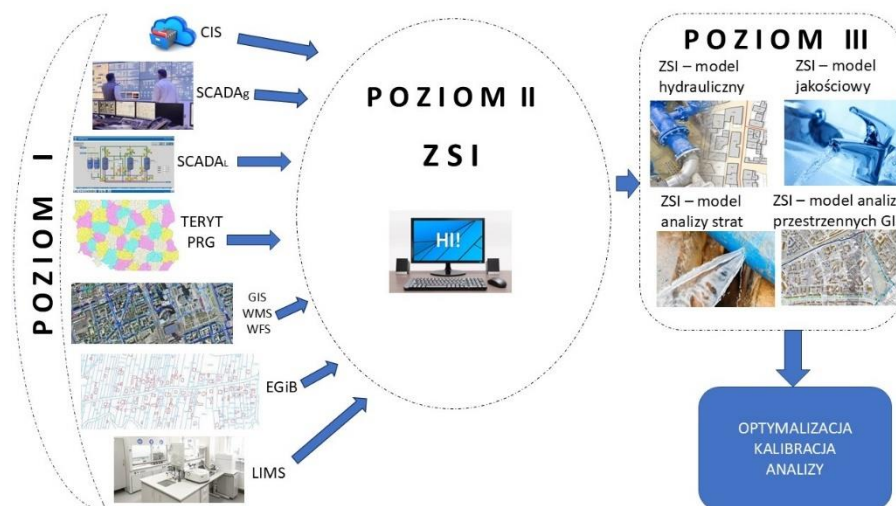
Górnośląskie Przedsiębiorstwo Wodociągów S.A. prowadzi, w uzgodnieniu z organami Państwowej Inspekcji Sanitarnej wewnętrzną kontrolę jakości wody przeznaczonej do spożycia obejmującą ok 110 punktów pomiarowych zlokalizowanych w podsystemie dystrybucji wody (sieci magistralne, zbiorniki wyrównawcze). Próbkę wody są pobierane i badane przez Wydział Badania Wody, która posiada akredytację PCA oraz zatwierdzenie laboratorium PPIS w Katowicach na wykonywanie poborów i badań próbek wody przeznaczonej do spożycia [98]. Planowana wewnętrzna kontrola uwzględnia pobory z każdego punktu jeden raz w miesiącu. Zdefiniowany zakres badań obejmuje parametry grupy B [98] jeden raz w roku z każdego punktu oraz co najmniej 11 razy w ciągu roku w zakresie parametrów grupy A [98]. Próbkobranie jest rozłożone równomiernie w czasie. Ponadto kontrola wewnętrzna obejmuje również kontrolę jakości wody w punktach wtłoczenia wody do sieci na stacjach uzdatniania wody oraz punktach poboru wody ze środowiska. Spółka regularnie przekazuje raporty z tych badań do właściwego organu PIS. Średnio w latach 2022-2023, rocznie pobrano ok 2300 próbek w zakresie parametrów grupy A oraz 150 próbek w zakresie parametrów grupy B. Prowadzone są również badania jakości wody w obszarze zasilania punktu poboru wody ze środowiska, w punktach poboru ze środowiska oraz w punktach kontrolnych na ciągach technologicznych. System tych badań jest dostosowany do: jakości i zmienności surowca, potrzeb technologicznych oraz ilości produkowanej wody. Ponadto

wykonywane są dodatkowe kontrole, które są realizowane na zgłoszenie klienta, weryfikację stanu jakości wody, w celu weryfikacji skuteczności prowadzonych działań naprawczych. Średnio rocznie Wydział Badania Wody pobiera ok 16 000 próbek wody i wykonuje ponad 186 000 oznaczeń. Dodatkowo na: SUW Kozłowa Góra, SUW Bibiela, SUW Czaniec, ZUW Dzieńkowice funkcjonują „laboratoria technologiczne”, w których wykonywana są dodatkowe badania w zakresie parametrów fizykochemicznych. Średnio rocznie pobierane jest przez te jednostki ok. 10 000 próbek, których wykonywane jest ok 80 000 badań.

Spółka wykorzystuje również pomiary prowadzone trybie czasu rzeczywistego. W punktach wtłoczenia wody do sieci oraz w wybranych punktach zbiorników wyrównawczych prowadzone są pomiary mętności oraz stężenie nadmiaru chloru czynnego. Tak zbudowany system monitoringu umożliwia stałą kontrolę jakości produkowanej i dystrybuowanej wody oraz detekcję potencjalnych zaburzeń prowadzonych procesów.

Z uwagi na charakter działalności, GPW S.A. zbiera i agreguje szeroki zakres informacji oraz danych dotyczących pracy systemu zaopatrzenia wodę w odniesieniu zarówno stanów eksploatacyjnych (stany normalnej pracy oraz incydenty), jaki i do parametrów hydraulicznych oraz parametrów jakości wody. W ramach zarządzania informacją, w Spółce funkcjonują (ryc. 5.2) systemy gromadzące dane, stanowiące kompleksową strukturę pozyskiwania i archiwizowania danych I-ego poziomu systemu IT, do których należą informacje wewnętrzne: system bilingowy CIS (Customer Information System), system telemetryczny SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) –obejmujące pomiary przepływu, ciśnienia, stężeń chloru wolnego i mętności, system GIS (Geographic Information System), w którym inwentaryzowane są dane przestrzenne wykorzystywane do identyfikacji infrastruktury SZW, tj. charakterystyki technicznej przewodów, zbiorników i pompowni, lokalizację studni wodomierzowych oraz urządzeń pomiarowych wraz z ich identyfikatorami, lokalizacje awarii. Ponadto stacje wodociągowe posiadają indywidualne lokalne podsystemy SCADA wykorzystywane do bieżącej eksploatacji SUW. Spółka wykorzystuje także system klasy LIMS (Laboratory Information Management System) do wspomaganie pracy laboratorium. Dodatkowo gromadzone są dane branżowe, np. wykaz przekroczeń wartości parametrycznych wody przeznaczonej do spożycia, rejestr awarii, rejestr ilości dozowanych środków chemicznych stosowanych do uzdatniania wody. Poziom I struktury systemu IT stosowany w Spółce do gromadzenia, zbiera także przekazy z wodomierzy i aparatury

pomiarowej zabudowanej na sieci, które gromadzone są w systemie baz danych. Do systemu informacji konsumenckiej CIS należy 739 wodomierzy, rejestrujących w określonych interwałach czasowych natężenia przepływu i wysokości ciśnień.

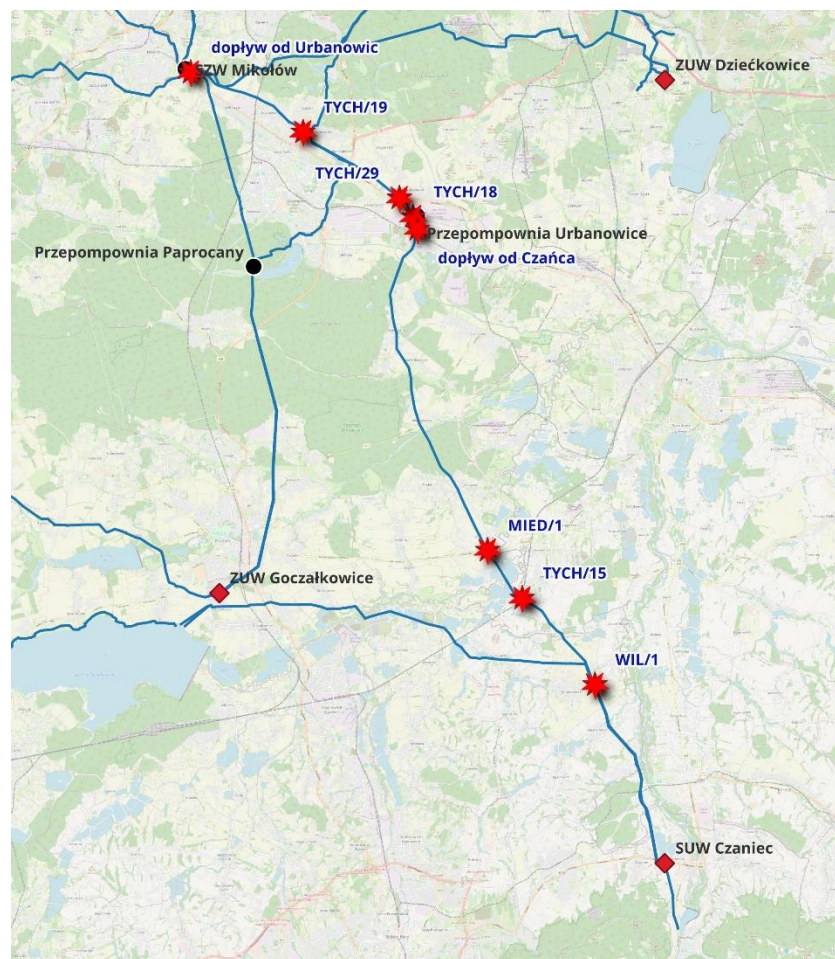


Ryc. 5.2. Struktura systemów IT w GPW S.A.

System główny SCADA składa się z 533 urządzeń rejestrujących przepływy, ciśnienia, poziomy wody w zbiornikach, stężenie chloru wolnego oraz mętność wody. Ponadto Spółka korzysta z danych zewnętrznych, np. baza danych adresowych TERYT (dane adresowe), EGiB (Ewidencja Gruntów i Budynków), PRG (Państwowy Rejestr Granic). Poziom II systemu IT obejmujący system ZSI (Zintegrowany System Informatyczny) służy do zarządzania danymi przestrzennymi i integracji danych wewnętrznych spółki oraz danych pozyskiwanych z zewnątrz. II poziom IT jest źródłem informacji dla III poziomu, obejmującego moduły analityczne tj. model hydrauliczny, model jakościowy, model analizy strat oraz model analizy przestrzennej. Natomiast zaimplementowany model hydrauliczny, będący komponentem III poziomu w systemie IT weryfikowany jest na bieżąco w oparciu o aktualne dane obejmujące, np. remonty na sieci czy zmianę strefowania podsystemu dystrybucji wody. III poziom IT służy do wykonywania symulacji zachowania systemu w różnych stanach operacyjnych z wykorzystaniem modelu hydraulicznego, modelu jakościowego oraz modelu analizy strat wody. Umożliwia on również przeprowadzanie analizy jakości wody (wiek wody, stężenie chloru). Pozyskane rezultaty analiz stanowią podstawę optymalizacji poszczególnych procesów eksploatacyjnych, np. wielkość dozowania dezynfektanta, poziom przepływów

wody wraz ze strefowaniem. Moduł optymalizacyjny wykonuje zadania w oparciu o dwa algorytmy optymalizacji wielokryterialnej: ewolucyjny i genetyczny. Wyniki przeprowadzonych analiz mogą być przedstawione w postaci tabelarycznej jak i w postaci wizualizacji przestrzennej (wiek wody, rozkład chloru, przepływy i ciśnienia), tworzonych, np.: metodą krigingu. Stosowany system IT wraz z modułem optymalizacji stanowi element DSS dla pionów technicznych.

Szczegółowym badaniom oraz aplikacji proponowanego algorytmu zarządzania ryzykiem poddano podsystem produkcji wody SUW Czaniec oraz strefę zasilania SUW Czaniec – ŚZbW Mikołów. Stacja Uzdatniania Wody Czaniec zlokalizowana jest w granicach administracyjnych gminy Porąbka. Woda dla SUW jest pobierana ze zbiornika Czanieckiego, który jest trzecim zbiornikiem w kaskadzie zbiorników Tresna-Porąbka-Czaniec na rzece Sole. Zbiornik ten ma pojemność użytkowej 1,3 mln m³ i jego zadaniem jest wyrównanie dobowe zrzutów wody w ilości 72 m³/s z hydroelektrowni w Porąbce. Dla punktu poboru wody ze środowiska została ustanowiona strefa ochrony pośredniej ujęcia [129].



Ryc. 5.3. Wydzielony jednostkowy obszar SZW – strefa SUW Czaniec – SZbW Mikołów

Pobrana woda ze zbiornika w Porąbce przepływa na teren SUW Czaniec stalowymi rurociągami lewarowo-grawitacyjnymi \varnothing 1500 mm i \varnothing 2000 mm o długości 2,9 km, gdzie rozdzielana jest na dwa tzw. „ciągi technologiczne” w następujących ilościach: 1,8 m³/s zasila układ technologiczny SUW Czaniec, a 2,2 m³/s przesyłane jest grawitacyjnie stalowym rurociągiem przerzutowym \varnothing 1800 mm do ZUW Goczałkowice. Pobrana woda na SUW Czaniec jest przepompowywana do 2 wieżowych zbiorników wstępnych o czasie zatrzymania 5-6 minut. Następuje tu odgazowanie wody oraz wytrącanie grubszej zawiesiny. Ze zbiorników wstępnych woda przepływa grawitacyjnie do filtrów kontaktowych podzielonych również na 4 segmenty. W ciągu technologicznych koagulacji kontaktowej stosowane są trzy rodzaje reagentów. Koagulant wstępnie zhydrolizowany, koagulant niezhydrolizowany - siarczan glinu i utleniacz - nadmanganian potasu są dozowane do rurociągów wody surowej w budynku filtrów kontaktowych. Woda przefiltrowana odpływa grawitacyjnie do 4 zbiorników wody o pojemności 2500 m³ każdy. Do zbiorników dozowany jest dezynfektant – woda chlorowa celem dezynfekcji oraz zabezpieczenia wody na czas jej transportu.

Średnio, z SUW Czaniec, wtłaczane jest do sieci ok 45 tys. m³ / dobę. Na trasie rurociągu do SZbW Mikołów zlokalizowanych jest 13 studni wodomierzowych, w których woda sprzedawana jest podmiotom, realizującym zbiorowe zaopatrzenie w wodę. Średniodobowo, w tej strefie zasilana dystrybuowana jest do klientów GPW S.A. ok. 19,5.tys m³/dobę. Zasilanie SZbW Mikołów jest realizowane na poziomie ok 25 tys. m³/dobę. Zatem tylko niecała połowa ilości wody wtłoczonej do sieci jest dystrybuowana (sprzedawana) podczas jej transportu.

Przewód magistralny w strefie zasilania SUW Czaniec – SZbW Mikołów, w systemie gis’owym został podzielony na dwie części, które są identyfikowane:

- RM_07 - rurociąg żelbetowy \varnothing 1500 mm o długości ok. 33 km na trasie SUW Czaniec – Przepompowania Urbanowice,
- RM_08 - rurociąg stalowy \varnothing 1400 mm o długości ok. 11,8 km na trasie Przepompowania Urbanowice - SZbW Mikołów.

Na przewodzie magistralnym RM_07 jest zlokalizowanych 8 studni wodomierzowych a na przewodzie RM_08 5 studni wodomierzowych. Przepompownia Urbanowice jest

zbudowana z 3 zbiorników wyrównawczych, zespołu pompowego, przelewu centralnego i chlorowni z dozowanym podchlorynem sodu. Woda z rurociągu RM_07 wpływa do zbiorników wyrównawczych, skąd jest pobierana i przetłaczana pompami wysokiego ciśnienia na wys. 125-130 m do przewodu magistralnego RM_08.

W oparciu o model hydrauliczny wyznaczono szacunkowy czas transportu wody SUW Czaniec – SZbW Mikołów i wynosi on 31:30 [HH:mm]. Funkcjonujący system telemetrii obejmuje:

- SUW Czaniec w punkcie wtłoczenia wody do sieci, pomiar: przepływu, ciśnienia, mętności, stężenia chloru wolnego,
- studnia wodomierzowa MIED/2 – pomiar ilości sprzedanej wody oraz przepływu,
- Przepompownia Urbanowice w punkcie wtłoczenia wody - pomiar przepływu ciśnienia, mętności, stężenia chloru wolnego,
- SZbW Mikołów w punkcie wejścia wody do obiektu pomiar: ilości wody, która przepłynęła przez wodomierz, aktualny przepływ, ciśnienie, mętności, stężenia chloru wolnego.

W planie kontroli wewnętrznej jakości wody w PsDyW obejmującym opisywaną strefę zasilania wytypowano 7 punktów kontrolnych:

- Wilamowice, hydrofornia studnia wodomierzowa WIL/1;
- Brzeszcze, studnia wodomierzowa TYCH/15;
- Góra Miedzna, studnia wodomierzowa MIED/1
- Przepompownia Urbanowice, odpływ kierunek Mikołów;
- Lędziny, studnia wodomierzowa TYCH/18;
- Jaroszowice, studnia wodomierzowa TYCH/29;
- Tychy, ul. Katowicka studnia wodomierzowa TYCH/19;
- Mikołów, ul. Filaretów 1; SZW Mikołów dopływ od Urbanowic.

Studnie wodomierzowe wytypowano ze względu na ich reprezentatywność, tj. ilość wody, która przepływa przez wodomierz i jest dostarczana do klienta, wiek wody, odległość pomiędzy studniami wodomierzowymi oraz by zapewnić równomierne rozmieszczenie tych punktów w strefie zasilana. Jakość wody jest ponadto monitorowana w miejscu wtłoczenia wody do sieci z Przepompowni Urbanowice oraz przed wpływem do SZbW Mikołów.

W tabeli 5.4 przedstawiono charakterystykę, w oparciu o którą wytypowano studni do badań monitoringowych.

Tabela 5.4. Charakterystyka punktów planowej kontroli jakości wody w strefie SUW Czaniec – SZbW Mikołów

Identyfikacja odcinka	Średniodobowa ilość sprzedawanej wody w odcinku [m ³]	Długość [km] pomiędzy punktami	Średni czas przepływu wody [HH:mm]
Czaniec – WIL/1	882	8,8	5:40
WIL/1-TYCH/15	2588	5,1	3:20
TYCH/15- MIED/1	1020	2,6	1:40
MIED/1-TYCH/18	7202	15,9	11:00
TYCH/18-TYCH/29	3776	1	0:40
TYCH/29-TYCH/19	2808	5,1	4:20
TYCH/19-SZbW Mikołów	1157	5,8	4:50

6. Aplikacja do warunków rzeczywistych

6. 1. Moduł 1

W niniejszej dysertacji wykorzystano dane pochodzące z analizy ryzyka wykonanej na podstawie zapisów ustawy PW [167], która została przekazana do Śląskiego Urzędu Wojewódzkiego. W wnioskach tego opracowania uwzględniono stan obowiązywania strefy ochrony pośredniej ujęcia na rzece Sole ustanowionej [129] W złożonej do Wojewody Śląskiego dokumentacji sformułowano następujące wnioski:

1. wyznaczone strefy ochronne w postaci terenu ochrony bezpośredniej oraz pośredniej zostały wyznaczone w sposób prawidłowy i doskonały sposób zabezpieczają przedmiotowe ujęcie wód powierzchniowych oraz jego obszar zasilania przed zagrożeniami jakościowymi i ilościowymi,
2. w trakcie eksploatacji ujęcia na przestrzeni ostatnich lat nie zaobserwowano pogorszenia się jakości wody,
3. zaleca się prowadzenie stałego monitoringu jakościowego ujmowanych wód zgodnie z harmonogramem, jak również w razie pogorszenia jakości wód wykonania kartowania sozologicznego umożliwiającego zdiagnozowanie potencjalnego źródła zanieczyszczeń,
4. z uwagi na dobry stan ilościowy oraz stały skład chemiczny pobieranych wód zaleca się utrzymanie ustanowionej strefy ochronnej – terenu ochrony pośredniej oraz bezpośredniej,
5. ewentualna zmiana sposobu zagospodarowania terenu (w przyszłości) w obszarze zasilania ujęcia lub wystąpienie awarii lub zdarzeń niepożądanych w przypadku potencjalnych ognisk zanieczyszczeń, czy zanieczyszczenie niezabezpieczonych studni kopanych lub nieprzestrzeganie zakazów, nakazów i ograniczeń jakie obowiązują w strefie ochronnej ujęcia składającej się z terenu ochrony bezpośredniej oraz pośredniej mogą skutkować wystąpieniem zagrożenia negatywnie wpływającego na środowisko i wody podziemne,

6. zaleca się prowadzić monitoring jakościowy rzeki Soła poprzez współpracę z IMGW lub/oraz WIOŚ które to organy okresowo monitorują stan jakościowy wód powierzchniowych w Polsce [22].

Tabela 6.1. Identyfikacja zdarzeń niepożądanych wraz wyznaczeniem klasy ryzyka

miejsce/obszar wystąpienia sytuacji lub zdarzenia niebezpiecznego	sytuacja lub zdarzenie niebezpieczne	zagrożenie	P	C	R	klasa ryzyka	wykaz parametrów
działalność przemysłowa - usługi tartaczne	odcieki w toku użytkowania maszyn, zanieczyszczenie wód pyłami	przekroczenie wartości parametrycznych parametrów chemicznych, w szczególności zanieczyszczenie wód metalami ciężkimi, WWA, substancjami ropopochodnymi	1	2	2	ryzyko tolerowane	WWA, benzen, benzo(a)piren, chrom, 1,2-dichloroetan, kadm, miedź, ołów, nikiel, rtęć selen
działalność przemysłowa - zakład produkcji doniczek	wycieków substancji chemicznych z maszyn i urządzeń	przekroczenie wartości parametrycznych parametrów chemicznych, w szczególności zanieczyszczenie wód metalami ciężkimi, WWA, substancjami ropopochodnymi	1	2	2	ryzyko tolerowane	WWA, benzen, benzo(a)piren, chrom, 1,2-dichloroetan, kadm, miedź, ołów, nikiel, rtęć selen
działalność przemysłowa - produkcja pieczywa	wycieków substancji chemicznych z maszyn i urządzeń	przekroczenie wartości parametrycznych parametrów chemicznych, w szczególności zanieczyszczenie wód metalami ciężkimi, WWA, substancjami ropopochodnymi	1	2	2	ryzyko tolerowane	Azotany, fluorki, pestycydy, WWA, benzen, benzo(a)piren, chrom, 1,2-dichloroetan, kadm, miedź, ołów, nikiel, rtęć selen
cmentarz	Odcieki cmentarz	zanieczyszczenie wód odciekami Przekroczenie wartości parametrycznych parametrów chemicznych	1	2	2	ryzyko tolerowane	Azotany, azotyny, fluorki, siarczany, chlorki WWA, benzen, benzo(a)piren, chrom, 1,2-dichloroetan, kadm, miedź, ołów, nikiel, rtęć selen
działalność przemysłowa - drukarnia	wycieków substancji chemicznych z maszyn i urządzeń	przekroczenie wartości parametrycznych parametrów chemicznych, w szczególności zanieczyszczenie wód metalami ciężkimi, WWA, substancjami ropopochodnymi	1	2	2	ryzyko tolerowane	WWA, benzen, benzo(a)piren, chrom, 1,2-dichloroetan, kadm, miedź, ołów, nikiel, rtęć selen
zdarzenie drogowe	Wyciek substancji chemicznej (wskaźniki monitorowane) w następstwie wypadku komunikacyjnego	przekroczenie wartości parametrycznych parametrów chemicznych,	1	2	2	ryzyko tolerowane	WWA, benzen, benzo(a)piren, chrom, 1,2-dichloroetan, kadm, miedź, ołów, nikiel, rtęć selen, sól, chlorki,
sabotaż	Wprowadzenie substancji niebezpiecznej – aktywnej chemicznie	obecność substancji chemicznych oddziałujących na zdrowie ludzi	1	2	2	ryzyko tolerowane	Cały zakres, dodatkowe parametry nie ujęte w planowanym monitorowaniu

Na podstawie tej analizy oraz w oparciu o dodatkowe dane i informacje będące w posiadaniu Spółki dotyczące rodzajów działalności prowadzonych w strefie zasilania punktu poboru wody ze środowiska, pokrycia i wykorzystania terenu, danych z instytucji zewnętrznych, np. WIOS, PGG Wody Polskie, zgodnie z proponowaną metodyką badawczą, przeprowadzono analizę i wyznaczono klasy ryzyka dla zidentyfikowanych potencjalnych zdarzeń niepożądanych w obszarze zasilania punktu poboru.

Tabela 6.2. Podział na klasy parametrów fizykochemicznych w punkcie poboru wody ze środowiska dla Stacji Uzdatniania Wody Czaniec w Kobiernicach

Lp	parametr	Liczba próbek	Liczba próbek w podziale na S_i		
			$MV < 0,3 PV$	$0,3PV \leq MV < 0,6PV$	$MV \geq 0,6 PV$
1.	antymon	6	6	0	0
2.	arsen	6	6	0	0
3.	azotany	18	18	0	0
4.	azotyny	-	-	-	-
5.	benzen	-	-	-	-
6.	benzo(a)piren	-	-	-	-
7.	bor	6	6	0	0
8.	bromiany	6	6	0	0
9.	chrom	6	6	0	0
10.	cyjanki	3	3	0	0
11.	1,2 – dichloroetan	6	6	0	0
12.	fluorki	3	3	0	0
13.	kadm	6	6	0	0
14.	miedź	6	6	0	0
15.	nikiel	6	6	0	0
16.	ołów	6	6	0	0
17.	ołów – DWD*	6	6	0	0
18.	\sum pestycydów	3	3	0	0
19.	Rtęć	6	6	0	0
20.	Selen	6	6	0	0
21.	\sum trichloroetenu i tetrachloroetenu	6	6	0	0
22.	\sum WWA	3	3	0	0
23.	\sum THM	-	-	-	-
24.	glin	-	-	-	-
25.	jon amonu	99	99	0	0
26.	mangan	80	4	23	53
27.	mętność**	80	0	0	80
28.	OWO***	89	0	56	33
29.	przewodność elektryczna	100	100	0	0
30.	siarczany	18	18	0	0
31.	chlorki	18	18	0	0
32.	żelazo	80	62	12	6
33.	sód	-	-	-	-
34.	bromodichlorometan****	-	-	-	-
35.	chlor wolny	-	-	-	-
36.	chloroform****	-	-	-	-
37.	\sum chloranów i chlorynów	-	-	-	-
38.	magnez	-	-	-	-
39.	srebro	6	6	0	0
40.	twardość	-	-	-	-

* wartość DWD 5 μ g/l; ** przyjęto wartość 1 NTU; *** przyjęto wartość 5 mg/l; **** przyjęto wartości, które w RMZ są wskazane w punkcie „kran u konsumenta”

Tabela 6.3 Podział na klasy parametrów fizykochemicznych w punkcie wtłoczenia wody do sieci ze Stacji Uzdatniania Wody Czaniec w Kobiernicach

lp	parametr	Liczba próbek	Liczba próbek w podziale na S_i		
			MV<0,3 PV	0,3PV≤MV<0,6PV	MV<0,3 PV
1.	antymon	12	12	0	0
2.	arsen	12	12	0	0
3.	azotany	12	12	0	0
4.	azotyny	12	12	0	0
5.	benzen	12	12	0	0
6.	benzo(a)piren	12	12	0	0
7.	bor	12	12	0	0
8.	bromiany	12	12	0	0
9.	chrom	12	12	0	0
10.	cyjanki	12	12	0	0
11.	1,2 – dichloroetan	12	12	0	0
12.	fluorki	12	12	0	0
13.	kadm	12	12	0	0
14.	miedź	12	12	0	0
15.	nikiel	12	12	0	0
16.	ołów	12	12	0	0
17.	ołów – DWD*	12	12	0	0
18.	∑ pestycydów				
19.	rtęć	12	12	0	0
20.	selen	12	12	0	0
21.	∑ trichloroetenu i tetrachloroetenu	12	12	0	0
22.	∑ WWA	12	12	0	0
23.	∑ THM	44	44	0	0
24.	glin	77	76	1	0
25.	jon amonu	12	12	0	0
26.	mangan	245	231	9	5
27.	mętność**	97	96	1	0
28.	OWO***	94	47	47	0
29.	przewodność elektryczna	248	248	0	0
30.	siarczany	12	12	0	0
31.	chlorki	12	12	0	0
32.	żelazo	245	245	0	0
33.	sód	12	12	0	0
34.	bromodichlorometan****	44	44	0	0
35.	chlor wolny	84	0	1	83
36.	chloroform****	44	15	18	11
37.	∑ chloranów i chlorynów	12	12	0	0
38.	magnez	12	12	0	0
39.	srebro	12	12	0	0
40.	twardość	77	77	0	0

* wartość DWD 5µg/l; ** przyjęto wartość 1 NTU; *** przyjęto wartość 5 mg/l; **** przyjęto wartości, które w RMZ są wskazane w punkcie „kran u konsumenta”

Tabela 6.4. Podział na klasy parametrów fizykochemicznych w strefie zasilania Stacji Uzdatniania Wody Czaniec w Kobiernicach

lp	parametr	Liczba próbek	Liczba próbek w podziale na S_i		
			MV<0,3 PV	0,3PV≤MV<0,6PV	≥ 0,6 WP
1.	antymon	8	8	0	0
2.	arsen	8	8	0	0
3.	azotany	8	8	0	0
4.	azotyny	8	8	0	0
5.	benzen	8	8	0	0
6.	benzo(a)piren	8	8	0	0
7.	bor	8	8	0	0
8.	bromiany	8	8	0	0
9.	chrom	8	8	0	0
10.	cyjanki	8	8	0	0
11.	1,2 – dichloroetan	8	8	0	0
12.	fluorki	8	8	0	0
13.	kadm	8	8	0	0
14.	miedź	8	8	0	0
15.	nikiel	8	8	0	0
16.	ołów	8	8	0	0
17.	ołów – DWD	8	8	0	0
18.	∑ pestycydów	8	8	0	0
19.	rteć	8	8	0	0
20.	selen	8	8	0	0
21.	∑ trichloroetenu i tetrachloroetenu	8	8	0	0
22.	∑ WWA	8	8	0	0
23.	∑ THM	121	93	28	0
24.	glin	177	170	5	2
25.	jon amonu	8	8	0	0
26.	mangan*	177	174	3	0
27.	mętność***	229	222	7	0
28.	OWO*	7	6	1	0
29.	przewodność elektryczna	8	8	0	0
30.	siarczany	8	8	0	0
31.	chlorki	8	8	0	0
32.	żelazo	177	176	1	0
33.	sód	8	8	0	0
34.	Bromodichlorometan****	121	103	18	0
35.	chlor wolny	231	23	64	144
36.	chloroform****	121	4	51	66
37.	∑ chloranów i chlorynów	8	8	0	0
38.	magnez	8	8	0	0
39.	srebro	8	8	0	0
40.	twardość	214	214	0	0

* wartość DWD 5µg/l; ** przyjęto wartość 1 NTU; *** przyjęto wartość 5 mg/l; **** przyjęto wartości, które w RMZ są wskazane w punkcie „kran u konsumenta”

Zakres badań wody powierzchniowej wykorzystywanej do zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia jest regulowany Rozporządzeniem Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej [126]. W tym Rozporządzeniu nie jest wymagane wykonywanie badań parametrów: azotyny, benzen, benzo(a)piren, glin, sód, magnez, twardość oraz ubocznych produktów dezynfekcji: chlor wolny ∑THM, chloroform,

bromodichlorometan, Σ chloranów i chlorynów. Analiza ETA dla tych parametrów nie obejmuje etapu punktu poboru wody ze środowiska.

Aktualnie w Polsce obowiązuje RMZ [128], które nie stanowi transpozycji DWD. Parametry fizykochemiczne w RMD i DWD są zagregowane pod kątem bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów. Parametry przyjęte z uwagi na ich znaczenie w ocenie bezpieczeństwa wody dla zdrowia oraz rolę, jaką odgrywają w zapewnieniu jakości produkcji, dystrybucji i kontroli jakości wody są ujęte w załączniku 1B RMZ. Zgodnie z wytycznymi WHO mogą one generować poważne problemy zdrowotne. Substancje te posiadają zdolność do kumulacji w organizmach co skutkuje szkodliwymi skutkami zdrowotnymi na skutek długotrwałego narażenia. Analiza poziomów obecności w wodzie tych parametrów musi być dla dostawcy wody priorytetem. Parametry te są wykazane w tabelach 6.2.-6.4. na pozycjach 1 – 22. Drugą grupą są parametry wskaźnikowe wykazane na pozycjach 24-37. Przekroczenie wartości parametrycznych tych parametrów wskaźnikowych w wodzie przeznaczony do spożycia przez ludzi może świadczyć o wtórnym zanieczyszczeniu wody, nieprawidłowościach w procesie uzdatniania wody (efektywność uzdatniania), nieprawidłowościach w instalacji wodnej. Pozycje 38-40 obejmują wyłącznie dodatkowe wymagania chemiczne. Przeprowadzona analiza wyników badań jakości wody w każdym z podsystemów wykazała, iż dla zakresu parametrów mających potencjalny, bezpośredni, negatywny wpływ na zdrowie publiczne, z wyjątkiem Σ THM, zmierzone poziomy wartości są poniżej 30% wartości parametrycznej wskazanej w RMZ. Zgodnie z ETA wartość prawdopodobieństw skutku dla parametrów: antymon, arsen, azotany, azotyny; benzen; benzo(a)piren; bor; bromiany; chrom; cyjanki; 1,2-dichloroetan; fluorki, kadm; miedź; nikiel, ołów, ołów - DWD, Σ pestycydów; rtęć; selen; Σ trichloroetenu i tetrachloroetenu; Σ WWA, przyjmuje wartość 1 i jest przyporządkowana do pozycji 1 ETA w skutkach.

Poziomy wartości parametrów: jon amonu; przewodność elektryczna; siarczany; chlorki; sól; Σ chloranów i chlorynów; magnez; srebro; twardość; dla wszystkich elementów SZW, klasyfikują je do stanu S₁ oraz prawdopodobieństwo końcowe ETA przyjmuje również wartość 1 w pozycji skutek 1. W tabeli 6.5. przedstawiono ścieżki analizy ETA dla ww. parametrów.

Tabela 6.5. Analiza ETA parametru dla parametrów, których wszystkie

Lp	Ścieżka	Skutek	Wartość P
1.	P(I)* P(III)* P(IX)	01	1

Pozostałe parametry poddane zostały szczegółowej analizie ze względu na przyporządkowanie do różnych stanów S_i (tabele 6.6 -6.13).

Tabela 6.6. Analiza ETA parametru żelazo

Lp	Ścieżka	Skutek	Wartość P
2.	P(I)* P(III)* P(IX)	01	0,772200
3.	P(I)* P(III)* 1-P(IX)*P(X)	02	0,007800
4.	1-P(I)*P(II)* P(V)*P(XV)	10	0,145926
5.	1-P(I)*P(II)* P(V)*1-P(XV)*P(XVI)	11	0,001474
6.	1-P(I)*1-P(II)* P(V)*P(XXI)	19	0,071874
7.	1-P(I)*1-P(II)* P(V)*1-P(XXI)*P(XXII)	20	0,000726

Tabela 6.7. Analiza ETA parametru mangan

Lp	Ścieżka	Skutek	Wartość P
1.	P(I)*P(III)* P(IX)	01	0,041873
2.	P(I)*P(III)* 1-P(IX)*P(X)	02	0,000855
3.	P(I)*1-P(III)*P(IV)*P(XI)	04	0,001711
4.	P(I)*1-P(III)*P(IV)*1-P(XI)*P(XII)	05	0,000035
5.	P(I)*1-P(III)*1-P(IV)*P(XIII)	07	0,000962
6.	P(I)*1-P(III)*1-P(IV)*1-P(XIII)*P(IV)	08	0,000020
7.	1-P(I)*P(II)*P(V)*P(XV)	10	0,238675
8.	1-P(I)*P(II)*P(V)*1-P(XV)*P(XVI)	11	0,014613
9.	1-P(I)*P(II)*1-P(V)*P(VI)*P(XVII)	13	0,097501
10.	1-P(I)*P(II)*1-P(V)*P(VI)*1-P(XVII)*P(XVIII)	14	0,000199
11.	1-P(I)*P(II)*1-P(V)*1-P(VI)*P(XIX)	16	0,005484
12.	1-P(I)*P(II)*1-P(V)*1-P(VI)*1-P(XIX)*P(XX)	17	0,000112
13.	1-P(I)*1-P(II)*P(VII)*P(XXI)	19	0,550323
14.	1-P(I)*1-P(II)*P(VII)*1-P(XXI)*P(XXII)	20	0,011365
15.	1-P(I)*1-P(II)*1-P(VII)*P(VIII)*P(XXIII)	22	0,022750
16.	1-P(I)*1-P(II)*1-P(VII)* P(VIII)*1-P(XXIII)*P(XXIV)	23	0,000464
17.	1-P(I)*1-P(II)*1-P(VII)*1-P(VIII)*P(XXV)	25	0,012797
18.	1-P(I)*1-P(II)*1-P(VII)* 1-P(VIII)*1-P(XXV)*P(XXVI)	26	0,000261

Tabela 6.8. Analiza ETA parametru OWO

Lp	Ścieżka	Skutek	Wartość P
1.	1-P(I)* P(II)* P(V)*P(XV)	10	0,315
2.	1-P(I)* P(II)*1-P(V)*P(VI)*P(XVII)	13	0,315
3.	1-P(I)* 1-P(II)*P(VII)*P(XXI)	19	0,185
4.	1-P(I)* 1-P(II)*1-P(VII)*P(VIII)*P(XXIII)	22	0,185

Tabela 6.9. Analiza ETA parametru glin – z wyłączeniem podsystemu ujmowania wody (wykonano dla ścieżek ETA 1-6)

Lp	Ścieżka	Skutek	Wartość P
1.	P(III)*P(IX)	01	0,931
2.	P(III)*1-P(IX)*P(X)	02	0,04753
3.	P(III)*1-P(IX)*1-P(X)	03	0,00147
4.	1- P(III)*P(IV)*P(XI)	04	0,019
5.	1- P(III)*P(IV)*1-P(XI)*P(XII)	05	0,00097
6.	1- P(III)*P(IV)*1-P(XI)*1-P(XII)	06	0,00003

Tabela 6.10. Analiza ETA parametru chloroform – z wyłączeniem podsystemu ujmowania wody (wykonano dla ścieżek ETA 1-6)

Lp	Ścieżka	Skutek	Wartość P
1.	P(III)*P(IX)	01	0,003400
2.	P(III)*1-P(IX)*P(X)	02	0,127908
3.	P(III)*1-P(IX)*1-P(X)	03	0,208692
4.	1- P(III)*P(IV)*P(XI)	04	0,004092
5.	1- P(III)*P(IV)*1-P(XI)*P(XII)	05	0,153942
6.	1- P(III)*P(IV)*1-P(XI)*1-P(XII)	06	0,252719
7.	1- P(III)*1-P(IV)*P(XIII)	07	0,000954
8.	1- P(III)*1-P(IV)*1-P(XIII)*P(XIV)	08	0,094351
9.	1- P(III)*1-P(IV)*1-P(XIII)*1-P(XIV)	09	0,153942

Tabela 6.11. Analiza ETA parametru bromodichlorometan – z wyłączeniem podsystemu ujmowania wody (dla ścieżek ETA 1-6)

Lp	Ścieżka	Skutek	Wartość P
1.	P(III)*P(IX)	01	0,85
2.	P(III)*1-P(IX)*P(X)	02	0,15

Tabela 6.12. Analiza ETA parametru \sum THM– z wyłączeniem podsystemu ujmowania wody (wykonano dla ścieżek ETA 1-6)

Lp	Ścieżka	Skutek	Wartość P
1.	P(III)*P(IX)	01	0,77
2.	P(III)*1-P(IX)*P(X)	02	0,23

Tabela 6.13. Analiza ETA parametru mętność

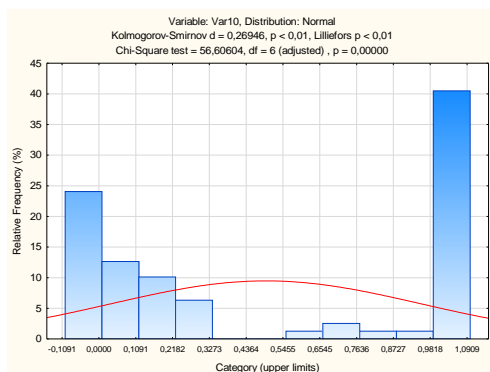
Lp	Ścieżka	Skutek	Wartość P
1.	1-P(I)*1-P(II)*P(VII)*P(XXI)	19	0,9504
2.	1-P(I)*1-P(II)*P(VII)*1-P(XXI)*P(XXII)	20	0,0396
3.	1-P(I)*1-P(II)*1-P(VII)**P(VIII)*P(XXIII)	21	0,0096
4.	1-P(I)*1-P(II)*1-P(VII)**P(VIII)*1-P(XXIII)*P(XXIV)	22	0,0004

W następstwie przeprowadzenia analizy ETA wyznaczono wartości prawdopodobieństwa skutków dla analizowanych parametrów. Zbiór ten poddano analizie statystycznej. W tabeli 6.14. przedstawiono wartości statystyk opisowych.

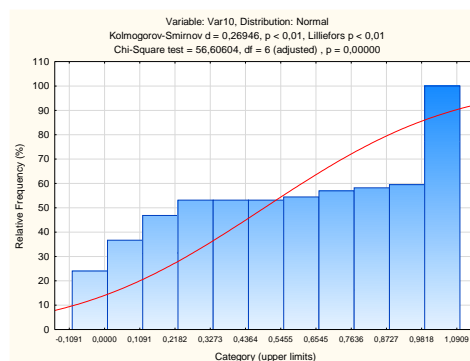
Tabela 6.14. Statystyka opisowa wartości prawdopodobieństwa efektu ścieżki ETA

n	minimum	maksimum	średnia	kwartył i	mediana	kwartył 3	odchylenie standardowe
79	0,000022	1	0,495009	0,012502	0,262542	1	0,458966

Na ryc. 6.1. i 6.2. przedstawiono rozkład P(ETA) oraz dystrybuantę tego rozkładu dla analizowanego horyzontu badawczego.



Ryc. 6.1. Rozkład P(ETA) w analizowanym horyzoncie czasowy



Ryc. 6.2. Dystrybuanta rozkład P(ETA) w analizowanym horyzoncie czasowym

Przeprowadzone testowanie statystyczne hipotezy H_0 o zgodności rozkładu wartości P(ETA) z rozkładem normalnym dla $\alpha=0,01$, wykluczyło zgodność tych rozkładów.

Tabela 6.15. Testowanie hipotezy H_0 zgodności rozkładu P(ETA) z rozkładem normalnym w analizowanym horyzoncie czasowym

n	d	λ (test K-S)	λ_α	Wniosek
77	0,278	2,395	1,63	odrzućenie H_0 na poziomie ufności 0,01

Do oceny zakresu wartości analizowanych parametrów jakości wody zastosowano dla analizowanych elementów SZW progi wartości P(ETA) wyznaczone przez medianę (Me) i kwartył III rzędu (Q_3).

Wyniki prowadzonej analizy P(ETA) oraz ścieżek ETA wskazują możliwość ograniczenia intensywności monitorowania parametrów: benzen; benzo(a)piren; bor; bromiany; chrom; cyjanki; 1,2-dichloroetan; fluorki, kadm; miedź; nikiel, ołów, ołów - DWD, Σ pestycydów; rtęć; selen; Σ trichloroetenu i tetrachloroetenu; Σ WWA, jon amonu; przewodność elektryczna; siarczany; chlorki; sól; Σ chloranów i chlorynów; magnez; srebro; twardość. Jednocześnie, z uwagi na charakter ujmowanej wody oraz stosowane procesy i środki uzdatniania wody model rekomenduje wzmocnienie monitorowania dla:

- mętności - w szczególności na etapie poboru wody ze środowiska oraz punktu włoczenia wody do sieci, zasadna jest integracja prowadzenie pomiarów on-line. Skuteczność redukcji mętności jest szczególnie istotna również z uwagi na skuteczność procesu dezynfekcji wody oraz zabezpieczenia jej bezpieczeństwa mikrobiologicznego na czas jej transportu na znaczne odległości do odbiorców

- Spółki. Wartość P(ETA) (tabela 6.13) dla pozycji skutku nr 19 potwierdza efektywność stosowanej technologii uzdatniania wody na SUW Czaniec,
- glinu – na etapie punktu wtłoczenia wody do sieci. Kontrola wartości tego parametru wskazuje na poprawność prowadzenia procesu koagulacji oraz filtracji. Wartość P(ETA) (tabela 6.9) dla pozycji skutku nr 1 potwierdza efektywność prowadzonego procesu uzdatniania wody,
 - żelaza i manganu w całym SZW z uwagi na charakter jakości wody na etapie jej ujmowania ze środowiska, efektywności procesów uzdatniania wody oraz potencjalnego występowania wtórnego zanieczyszczenia wody, np. na skutek wahań ciśnienia, uderzeń hydraulicznych, które mogą skutkować, m.in zerwanie osadów w przewodach magistralnych. Wartość P(ETA) żelaza (tabela 6.6) dla pozycji skutku nr 1 potwierdza efektywność prowadzonego procesu uzdatniania wody. W prowadzonych procesach uzdatniania wody mangan jest redukowany w dalszej kolejności w stosunku do żelaza. Ponadto wody w punkcie poboru ze środowiska zawiera większy ładunek manganu. Model potwierdza konieczność dostosowanie zakresu badań w systemie monitoringu do indywidualnych cech SZW,
 - OWO – w szczególności na etapie PsUjW i PsUzW. Kontrola wartości tego parametru stanowi wsparcie w ocenie generowanie ubocznych produktów dezynfekcji wody – THM. Wartość P(ETA) (tabela 6.8) dla pozycji skutku pozycja nr 10 oraz nr 13 potwierdzają stabilność prowadzonego procesu uzdatniania wody. Mimo stężeń OWO w wodzie surowej na poziomie: średnia wartość 2,8 mg/l; maksymalna wartość 4,75 mg/l; w wodzie wtłaczanej średnia wartość 1,7 mg/l; maksymalna wartość 2,7 mg/l oraz w podsystemie dystrybucji wody średnia wartość 1,33 mg/l; maksymalna wartość 1,53 mg/l woda w tej strefie zasilania ma potencjał generowania THM, głównie chloroformu,
 - Σ THM - w szczególności w podsystemie dystrybucji wody z uwagi na powstawanie w trakcie transportu wody. Analiza ETA wykluczyła stan S₂ i S₃ w punkcie wtłoczenia wody do sieci. Jest to jedyny parametr, który jest w wykazie parametrów mających bezpośredni wpływ na jakość wody. Stabilność jakości wody dla poziomu poniżej 0,3 wartości parametrycznej w strefie zasilania SUW Czaniec jest wykazana z prawdopodobieństwem na poziomie 0,77.
 - chloroformu oraz bromodichlorometanu (składowe THM), w szczególności w podsystemie dystrybucji wody z uwagi na generowanie w trakcie transportu wody,

tj. ubocznych produktów dezynfekcji. Potencjał generowania UPD dowodzi ograniczoną efektywność usuwania materii organicznej (prekursorów UPD). Z prawdopodobieństwem 0,85 stężenie bromodichlorometanu jest poniżej 0,3 wartości parametrycznej. Uzyskane wartości ubocznych produktów dezynfekcji wskazują, iż charakter matrycy organicznej w głównej części generuje powstawania właśnie chloroformu.

Analiza ryzyka obszaru zasilania punktów poboru wody ze środowiska wykazała, iż zidentyfikowane zdarzenia niepożądane zostały zaklasyfikowane do ryzyka tolerowanego. Środek kontroli ryzyka, tj. system badań jakości wody zweryfikował poprawności tej analizy. Przeprowadzona analiza ETA wykazała możliwość zastosowania elastycznych zasad monitorowania jakości wody.

6.2. Aplikacja modułu 2

Analizę rozkładu przestrzennego ryzyka populacji narażonej na utratę bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody wyznaczono dla wydzielonego fragmentu SZW w trasie od SUW Czaniec do Sieciowych Zbiorników Wyrównawczych w Mikołowie dla jednego okresu horyzontu badawczego. Podziału przestrzennego dokonano w oparciu o lokalizację 7 punktów planowanej kontroli wewnętrznej jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Z uwagi, iż dwa punkty były zlokalizowane w swoim bliskim sąsiedztwie do badań przyjęto je jako jeden punkt. Badania jakości wody w tych punktach, w tym oznaczania chloru wolnego były wykonywane co najmniej 12 razy w ciągu roku. W toku procedury każdy wydzielony polygon został opisany, zgodnie z metodyką badawczą: wagą wskaźnika klasyfikacji stanu zabezpieczenia mikrobiologicznego wody przed wtórnym jej zanieczyszczeniem, wagą wskaźnika kryterium globalnego wieku wody oraz wagą wskaźnika walidacji stanu mikrobiologicznego bezpieczeństwa wody.

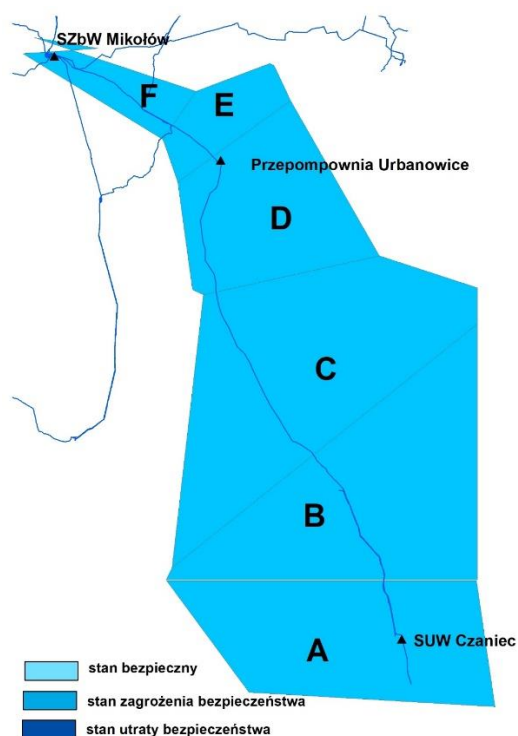
W tabeli 6.17. zestawiono wartości wagi wskaźników oraz klasyfikacje stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody dla PsDyW w strefie SUW Czaniec - SZbW Mikołów. Na ryc. 6.1. przedstawiono przestrzenny rozkład stanów bezpieczeństwa na podstawie wyznaczonych wartości wag analizowanych wskaźników. W tabeli 6.18. zestawiono klasyfikację rozkładu ryzyka narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnej mikrobiologicznie jakości. Na ryc. 6.3. przedstawiono przestrzenny rozkład ryzyka oraz na rys 6.4 dystrybuantę tego rozkładu

Tabela 6.17. Klasyfikacja stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody w strefie SUW Czaniec - SZbW Mikołów w analizowanym horyzoncie czasowym

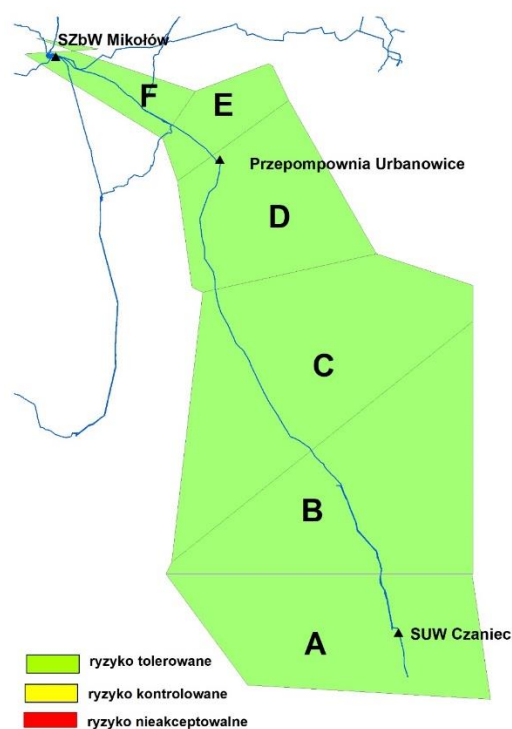
obszar	$W(ZM_i)_p$	$W(GWW_i)_p$	$W(WSBMW_i)_p$	$W(SI_{BMW(p)})$	Stan bezpieczeństwa wody
A	1	1	1	1	Stan bezpieczny
B	2	1	1	1	Stan bezpieczny
C	2	1	1	1	Stan bezpieczny
D	2	1	1	1	Stan bezpieczny
E	1	1	1	1	Stan bezpieczny
F	2	1	1	1	Stan bezpieczny

Tabela 6.18. Klasyfikacja ryzyka $PR_{UBMW(p)}$ w strefie SUW Czaniec - SZbW Mikołów w analizowanym horyzoncie czasowym

obszar	$W(SI_{BMW(p)})$	$W(UPZ(p))$	$PR_{UBMW(p)}$	wartość ryzyka	Klasyfikacja ryzyka
A	1	1	1	1	ryzyko tolerowane
B	1	1	1	1	ryzyko tolerowane
C	1	1	1	1	ryzyko tolerowane
D	1	1	1	1	ryzyko tolerowane
E	1	1	1	1	ryzyko tolerowane
F	1	1	1	1	ryzyko tolerowane



Rys 6.3. przestrzenny rozkład stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody w strefie SUW Czaniec - SZbW Mikołów



Rys 6.4. przestrzenny rozkład stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody w strefie SUW Czaniec - SZbW Mikołów

Przeprowadzono wstępna ocena ryzyka narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnym mikrobiologicznym bezpieczeństwie dla analizowanej strefy zasilania wykazała, iż wszystkim badanym obszarom przyporządkowano klasę ryzyka tolerowanego o wartości 1. Efektem zastosowanie powyższego modułu było w odniesieniu dla całego eksploatowanego SZW Spółki zmniejszenie przypadków stwierdzenia obecności grupy coli w próbce wody. Aplikacja modelu ukierunkowała dostosowanie lokalizacji i częstotliwości pomiarów stężenia dezynfektanta w podsystemie dystrybucji wody, co zwiększyło efektywność działań eksploatacyjnych, w tym dostosowanie dawek dozowanego podchlorynu sodu w odpowiedzi na zmieniające się warunki zewnętrzne, np. gwałtowny wzrost temperatury wody. Efektem oceny stanu jakości wody było zmniejszenie prawdopodobieństwa występowania bakterii grupy coli, co przełożyło się na minimalizację skarg/interwencji klientów i organów Państwowej Inspekcji Sanitarnej, obniżyło koszty podejmowanych działań naprawczych oraz wzmocniło zaufanie klientów i konsumentów do Spółki.

6.3. Aplikacja modułu 3

Analizie poddano awaryjność przewodów wodociągowych PsDyW, które są identyfikowany w Spółce jako RM_07 na odcinku SUW Czaniec – Przepompownia Urbanowice oraz RM_08 na odcinku Przepompownia Urbanowice – Sieciowy Zbiornik Wyrównawczy Mikołów. Są to przewody żelbetowe z elementami stalowymi – RM_07 oraz żelbetowe RM_08 z ciśnieniem roboczym odpowiednio RM_07 – 3,8-4,0 atm, RM_08 – 9,8 atm. Zawodność była poddana badaniom w horyzoncie czasowym 2022-2023 roku. Awarie te były usuwane pod ciśnieniem, bez przerw w dostawie wody. Przewody te pochodzą z lat 70-tych XX wieku, jednak nie stwierdza się nadmiernej ich korozji. Jednocześnie stwierdzono obecność osadów żelaza i manganu. W tabeli 6.19 zestawiono ilość awarii w horyzoncie czasowym 2022-2023 oraz klasyfikacje wskaźnika intensywności uszkodzeń. Pomimo braku wystąpienia zdarzenia utraty zawodności analizowanych przewodów wodociągowych w roku 2023 wyznaczono potencjalną klasę ryzyka.

Tabela 6.19. Ilość awarii w wydzielonym obszarze PsDyW w horyzoncie czasowym 2022-2023 wraz z wskaźnikiem intensywności uszkodzeń

Okres badań	Przewód wodociągowy	Ilość awarii	$W(\Delta_r)$
2022	RM_07	3	1
	RM_08	1	1
2023	RM_07	0	1
	RM_08	0	1

Komory nie posiadają włączów otwarcia, brak jest zaworów zwrotnych czy antyskażeniowych. W tabeli 6.20 zestawiono wartości wagi wskaźników do klasyfikacji ryzyka awarii sieci wodociągowej.

Tabela 6.20. Zestawienie skutków wystąpienia awarii przewodu wodociągowego w analizowanym horyzoncie czasowym

przewód wodociągowy	ZO_r			$W(U_r)$	$W(Z_r)$	$W(CA_r)$
	$W(S_r)$	$W(F_r)$	$W(ZO_r)$			
RM_07	5	3	3	1	2	2
RM_08	5	3	3	2	2	3

W toku aplikacja modułu 2 wyznaczono ryzyko dla zdarzenia utrata zawodności przewodów wodociągowych, które zestawiono w tabel 6.21

Tabela 6.21 Ocena ryzyka utraty zawodności przewodów wodociągowych w wydzielonego obszarze badawczym

przewód wodociągowy	ocena ryzyka	wartość ryzyka
RM_07	ryzyko tolerowane	2
RM_08	ryzyko kontrolowane	3

Wyznaczona wartości ryzyk oraz jego klasa, są rankingowane. Wstępna ocena ryzyk stanowi rekomendacje to podjęcia działań w ramach kontroli i zarządzania ryzykiem.

6.4. Aplikacja modułu 4

Aplikacja tego modułu została wykonana dla przewodów wodociągowych RM_07 i RM_08 dla okresu 2022-2023. W tabeli 4.22 scharakteryzowano zdarzenia utraty zawodności przewodów wodociągowych w roku 2022. Nie stwierdzono pogorszenia jakości wody będących skutkiem tych zdarzeń. Wartość wagi prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia przedstawiono w postaci intensywności uszkodzeń dla obydwu badanych przewodów wodociągowych została wyznaczony na poziomie $W(\Delta_r) = 1$.

Tabela 4.22 Charakterystyka zdarzeń utraty zawodności analizowanych przewodów wodociągowych w 2022 r.

identyfikator zdarzenia / przewód wodociągowy	Opis zdarzenia	Czas usuwania awarii	Występowania szkód górniczych	Stan techniczny przewodu w miejscu wystąpienia awarii	Wystąpienie pogorszenia jakości wody
A / RM_07	wyciek z magistrali \varnothing 1500; brak, zatrzymania dostaw wody	30	nie	Występowanie w stopniu nierównomiernym wżerów / osadów lub brak informacji	brak
B / RM_07	wyciek z połączenia kielichowego rur \varnothing 1500, brak zatrzymania dostaw wody	6			
C / RM_07	wyciek z magistrali \varnothing 1500, brak zatrzymania dostaw wody	4			
D / RM_08	wyciek z magistrali \varnothing 1400, brak zatrzymania dostaw wody	6			

W tabeli 4.23 zostały wskazane wartości wagi wskaźników: $W(JW_r)$, $W(T_r)$ $W(ZT_r)$ wraz z elementami oraz łączna kategoryzacja skutków zdarzenia określoną wartością wagi.

Tabela 4.23. Klasyfikacja skutków wystąpienia zdarzenia utraty zawodności przewodów wodociągowych.

Identyfikator zdarzenia	$W(JW_r)$	$W(T_r)$	zawodność techniczna ZT_r				$W(CZA_r)$
			(SG_r)	(ST_r)	(SJW_r)	$W(ZT_r)$	
A	1	4	1	2	1	1	1
B	1	2	1	2	1	1	1
C	1	1	1	2	1	1	1
D	1	2	1	2	1	1	1

W tabeli 4.24 przedstawiono oceny ryzyk dla badanych zdarzeń wraz z przyporządkowaną wartością ryzyka.

Tabela 4.24. Ocena ryzyka utraty zawodności badanych przewodów wodociągowych w analizowanym horyzoncie czasowym.

identyfikator zdarzenia	wartość ryzyka	klasa ryzyka
A	1	ryzyko tolerowane
B	1	ryzyko tolerowane
C	1	ryzyko tolerowane
D	1	ryzyko tolerowane

Wyznaczone wstępne oceny ryzyk stwierdzonych zdarzeń utraty zawodności technicznej przewodów wodociągowych stanowi informację wejściową procesów kontroli i zarządzania ryzykiem, zgodnie z proponowanym algorytmem.

6.5. Aplikacja modułu 5

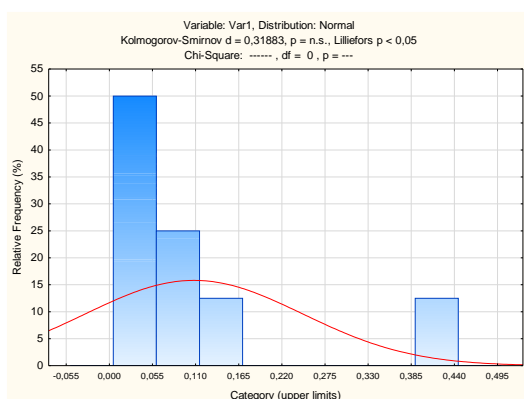
Procedura wyznaczania ryzyka populacji narażonej na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji osób trzecich na infrastrukturę PsDyW została aplikowana w strefie zasilania SUW Czaniec – SZbW Mikołów. Badanie zostało wykonane dla średnich warunków jednego roku kalendarzowego. Uwzględniono ilość wody dopływającej do SZbW Mikołów. Teren SUW Czaniec jest ogrodzony, zapewniona jest całodobowa obsługa, teren stacji jest monitorowany, zapewniona jest całodobowa ochrona fizyczna zewnętrznej firmy ochroniarskiej. Monitoring video ma stałe połączenie z dyspozytorem Spółki oraz centralną siedzibą Wydziału Ochrony. Zamontowane jest system detekcji ruchu. Na podstawie powyższego i braku wystąpienia próby ingerencji osób trzecich przyjęto wagę prawdopodobieństwa na poziomie 1.

Dane podane w tabeli 5.4 zostały poddane analizie statystycznej celem wyznaczenia progów wartości podziału na klasy ważności. W tabeli 6.25 przedstawiono statystyki opisowe wartość WD

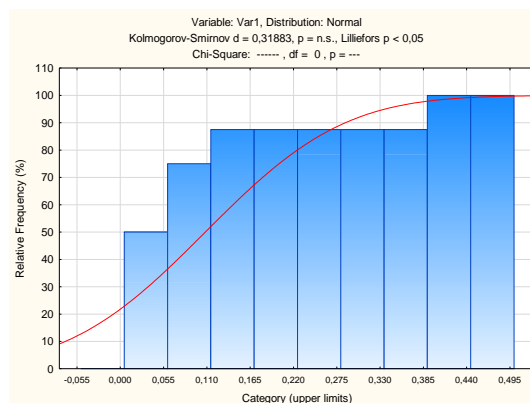
Tabela 6.25. Statystyki opisowe WD_j

n	min	maks	średnia	Q1	Me	Q3	odch_stand
8	0,0196	0,431844	0,107961	0,02419	0,0599	0,12197	0,138698

Następnie poddano analizę statystycznej testowanie zgodności rozkładu wartości WD z rozkładem normalnym Na ryc. 6.5 i 6.6 przedstawiono rozkład wartości WD oraz dystrybuantę tego rozkładu.



Ryc. 6.5. Rozkład wartości wskaźnika WD_j w analizowanym horyzoncie czasowym



Ryc. 6.6. Dystrybuanta rozkładu wartości wskaźnika WD_j w analizowanym horyzoncie czasowym

Analiza statystyczna testu K-S odrzuciła hipotezę H_0 zgodności rozkładu WD z rozkładem normalnym. Progi wartości podziału na klasy zostały wyznaczone w oparciu o medianę i kwartył III rzędu.

Tabela 6.26. Test K-S hipotezy H_0 zgodności rozkładu WD z rozkładem normalnym w analizowanym horyzoncie czasowym

n	d	λ (test K-S)	λ_α	Wniosek
8	0,31833	0,90	0,543	odrzućcie H_0 na poziomie ufności 0,01

W tabeli 6.27 zestawiono kategoryzację elementów skutku wystąpienia ingerencji zewnętrznej dotyczącej podsystemu produkcji wody.

Tabela 6.27. Kwantyfikacja skutków wystąpienia zdarzenia ingerencji zewnętrznej dotyczącej podsystemu produkcji wody

identyfikacja	W(WD)	W(UD)	W(T)	CIZ	W(CIZ)
Czaniec – WIL/1	1	1	2	2	1
WIL/1-TYCH/15	1	1	1	1	1
TYCH/15-MIED/1	1	1	1	1	1
MIED/1-TYCH/18*	3	1	3	9	2
TYCH/18-TYCH/29	2	1	1	2	1
TYCH/29-TYCH/19	2	1	1	2	1
TYCH/19-SZbW Mikołów	1	1	2	2	1
SZbW Mikołów	3	6	2	6	1

W tabeli 6.28 zestawiono wyznaczone ryzyko narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji zewnętrznej w podsystem produkcji wody.

Tabela 6.28 Klasyfikacja ryzyka i wartość ryzyka narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji zewnętrznej w podsystem produkcji wody

Nazwa odcinka	Wartość ryzyka	Klasyfikacja ryzyka
Czaniec – WIL/1	1	ryzyko tolerowane
WIL/1-TYCH/15	1	ryzyko tolerowane
TYCH/15- MIED/1	1	ryzyko tolerowane
MIED/1-TYCH/18*	2	ryzyko tolerowane
TYCH/18-TYCH/29	1	ryzyko tolerowane
TYCH/29-TYCH/19	1	ryzyko tolerowane
TYCH/19-SZbW Mikołów	1	ryzyko tolerowane
SZbW Mikołów	1	ryzyko tolerowane

6.6 Aplikacja rankingowania ryzyk

Zaproponowane w modułach procedury analityczne obejmowały identyfikacje słabych punktów SZW, wyznaczenie wartości ryzyk, klasyfikacje ryzyka do jednej z trzech klas. Jednocześnie w modułach tych uwzględniono elementy weryfikacji skuteczności środków kontroli oceniając bezpieczeństwo dostaw wody. Aplikacja modułów do warunków rzeczywistych pozwoliła na weryfikacje jakości wody potencjalnych faktycznych zdarzenia. W tabeli 6.29 przedstawiono zdarzenia w procesie rankingowania ryzyk zdefiniowanych w modułach 1-5. Żadne zidentyfikowane zdarzenie nie zostało zaklasyfikowane do klasy ryzyka nieakceptowalnego. Jedno zdarzenie - utrata zawodności przewodu wodociągowego RM_08 w roku 2022 zostało zaklasyfikowane do klasy ryzyka kontrolowanego. Czynnikiem determinującym była uciążliwość dokonywania napraw ponieważ przewód wodociągowy jest w obszarze zurbanizowanym i usuwanie awarii wymaga większego nakładu środków na przywrócenie stanu integralności.

W etapach I-II proponowanego algorytmu dla zdefiniowanych modułów zidentyfikowano zdarzenia, oceniono wstępne ryzyko oraz zweryfikowano stan bezpieczeństwa dostarczanej wody, tj.:

- w obszarze zasilania punktów poboru wody ze środowiska – weryfikacja jakości wody w podsystemach ujmowania, uzdatniania i dystrybucji wody,
- w podsystemie dystrybucji wody w zakresie oszacowania stopnia narażenia populacji na dostawy wody w przypadku utraty jej bezpieczeństwa mikrobiologicznego,
- w podsystemie dystrybucji wody w zakresie utraty zawodności przewodów wodociągowych oraz wpływu tego zdarzenia na brak lub ograniczenie dostaw wody oraz jej jakości,
- w podsystemie dystrybucji wody w przypadku ingerencji osób trzecich w podsystem produkcji wody w zakresie narażenia populacji na dostawy wody o niepewnej jakości.

Tabela 6.29 Rankingowanie ryzyk wyznaczonych w modułach 1-5

lp	element SZW	moduł	Zdarzenie	zagrożenie	ryzyko		Identyfikacja w module
					wartość	klasa	
1.	PsDyW RM_08	3	utrata zawodności	SW	3	kontrolowane	-
2.	PsDyW RM_07	3	utrata zawodności	SW	2	tolerowane	-
3.	PsUjW dla SUW Czaniec	1	działalność przemysłowa - usługi tartaczne	F, CH,	2	tolerowane	1
4.	PsUjW dla SUW Czaniec	1	działalność przemysłowa - zakład produkcji doniczek	F, CH,	2	tolerowane	1
5.	PsUjW dla SUW Czaniec	1	działalność przemysłowa - produkcja pieczywa	F, CH,	2	tolerowane	1
6.	PsUjW dla SUW Czaniec	1	cmentarz	F, CH,	2	tolerowane	1
7.	PsUjW dla SUW Czaniec	1	działalność przemysłowa - drukarnia	F, CH,	2	tolerowane	1
8.	PsUjW dla SUW Czaniec	1	zdarzenie drogowe	F, CH,	2	tolerowane	1
9.	PsUjW dla SUW Czaniec	1	sabotaż	F, CH,	2	tolerowane	1
10.	PsUzW MIED/1-TYCH/18	5	narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji osób trzecich	F, Ch, B, SW	2	tolerowane	1,2,4
11.	PsDyW zdarzenie B	4	Wpływ utraty zawodności na jakość dostarczanej wody	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,4
12.	PsDyW zdarzenie C	4	Wpływ utraty zawodności na jakość dostarczanej wody	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,4
13.	PsDyW zdarzenie D	4	Wpływ utraty zawodności na jakość dostarczanej wody	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,4
14.	PsDyW zdarzenie A	4	Wpływ utraty zawodności na jakość dostarczanej wody	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,4
15.	PsUzW Czaniec – WIL/1	4	narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji osób trzecich	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,2,4

16.	PsUzW WIL/1-TYCH/15	4	narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji osób trzecich	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,2,4
17.	PsUzW TYCH/15-MIED/1	5	narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji osób trzecich	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,2,4
18.	PsUzW TYCH/18-TYCH/29	5	narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji osób trzecich	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,2,4
19.	PsUzW TYCH/29-TYCH/19	5	narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji osób trzecich	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,2,4
20.	PsUzW TYCH/19-SZbW Mikołów	5	narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji osób trzecich	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,2,4
21.	PsUzW SZbW Mikołów	5	narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji osób trzecich	F, Ch, B, SW	1	tolerowane	1,2,4
22.	PsDyW obszar A	2	Narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnym mikrobiologicznie bezpieczeństwie	B	1	tolerowane	2,4
23.	PsDyW obszar B	2	Narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnym mikrobiologicznie bezpieczeństwie	B	1	tolerowane	2,4
24.	PsDyW obszar C	2	Narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnym mikrobiologicznie bezpieczeństwie	B	1	tolerowane	2,4
25.	PsDyW obszar D	2	Narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnym mikrobiologicznie bezpieczeństwie	B	1	tolerowane	2,4
26.	PsDyW obszar E	2	Narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnym mikrobiologicznie bezpieczeństwie	B	1	tolerowane	2,4
27.	PsDyW obszar F	2	Narażenie populacji na dostęp do wody o niepewnym mikrobiologicznie bezpieczeństwie	B	1	tolerowane	2,4

Całość badanej informacji wraz z generowanymi wnioskami wynikającymi z analizy, oceny ryzyka, wyznacza priorytet budowy środków kontroli barier a następnie ocenę ich skuteczności. Wyznaczona klasy ryzyka nie stanowią rekomendacji od pilnego podjęcia działań inwestycyjnych oraz szerokiego zakresu wzmocnienia środków kontroli.

W zakresie oceny narażenia populacji na dostawy wody o niepewnej jakości mikrobiologicznej wody, poddana badaniom strefa PsDyW została zweryfikowana. Wykonana analiza wyników badań jakości wody potwierdziła, iż procedury eksploatacyjne, system monitorowanie jakości wody dostarczają dowodów, iż SZW nie utracił stanu integralności w realizacji dostaw wody. Ponadto w zakresie parametrów fizykochemicznych, wynik badań jakości wody są rekomendacją ro racjonalizacji systemu badań.

Na etapie weryfikacji procesu zarządzania ryzykiem, na podstawie uzyskanych dowodów, tj. wyników badań jakości wody w punktach dostaw do klientów Spółki, które potwierdziły, iż dostarczana woda jest bezpieczna dla konsumentów i jednocześnie jest zgodna z aktualnymi przepisami, zostaje rekomendowana propozycja dotycząca podjęcia decyzji przez kadre zarządzającą najwyższego szczebla do wyznaczenie obszarów priorytetowych w podniesieniu efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa. W tabeli 6.29 zdarzeniu niepożądanemu wskazano moduł, w którym następuje weryfikacja jakości wody dostaw bezpiecznej wody w odpowiedniej ilości oraz pod odpowiednim ciśnieniem. Każda zmiana poziomu ryzyka w procesie jego kontroli będzie skutkować, dla nowego stanu, wykonaniem wszystkich etapów proponowanego algorytmu.

Aplikacja modułów do warunków rzeczywistych oraz weryfikacja procesu zarządzania ryzykiem proponowanego algorytmu stanowi wsparcie w podjęciu decyzji dotyczących zwiększenie efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwo. Ocenie i wnioskowaniu podlegają dowody wskazujące obszar działalności:

- racjonalizacja i dostosowanie zakresu i częstotliwości badań w SZW,
- efektywność prowadzenie dezynfekcji wody w podsystemach produkcji i dystrybucji, celem zapewnienie stabilnej mikrobiologicznie jakości wody,
- brak interwencji klientów, organów urzędowych z zakresu zdrowia publicznego dotyczących jakości wody ograniczenia lub braku dostaw wody,
- przygotowanie pracowników do skrócenia czasu przywracania niezawodności przewodów wodociągowych,

- opracowanie informacji do opracowania scenariuszy zabezpieczenia dostaw wody do odbiorców w przypadku ingerencji osób trzecich w infrastrukturę SZW,
- ograniczenie skutków strat utraty zawodności,
- zwiększenie zaufania do Spółki jako partnera biznesowego.

Wszystkie informacje, dowody wygenerowane w weryfikacji procesy zarządzania ryzykiem są wykorzystywane do zwiększenia niezawodności dostaw bezpiecznej wody oraz wskazują możliwość alokacji zasobów przedsiębiorstwa, w tym finansowych, kadrowych do obszarów wrażliwych na utratę tego bezpieczeństwa. Odpowiednia dystrybucja zasobów zwiększa efektywność funkcjonowania przedsiębiorstwa.

7. Dyskusja

Uchwalona DWD [28] wprowadziła postulowany obowiązek stosowania zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody od ujęcia (obszar zasilania punktu poboru wody ze środowiska) do kranu u konsumenta. Dostawy wody mają być bezpieczne jak to tylko możliwe. DWD nie narzuca sposobu organizacji ani zapisów prawnych dotyczących realizacji obowiązków zaopatrzenia w wodę państwowym członkowskim. W zapewnieniu dostaw bezpiecznej wody uczestniczyć powinni wszyscy interesariusze, począwszy od władz samorządowych – odpowiedzialnych za realizację zbiorowego zaopatrzenia w wodę, poprzez instytucje rządowe, tj. organy kontroli środowiska, planowania i zarządzania gospodarką wodną, zdrowia publicznego oraz jednostki, przedsiębiorstwa inne podmioty, które realizują bezpośrednio dostawy wody we wszystkich etapach jej ujmowania, uzdatniania i dystrybucji. Jednym z efektów wykonania stosowania systemu zarządzania ryzykiem dostaw wody jest zwiększenie efektywności wykonywanych badań, co skutkuje racjonalizacją wydatkowania środków ekonomicznych oraz definiuje podstawy do ich alokacji do wrażliwych obszarów eksploatacji SZW, zwiększają efektywność funkcjonowania przedsiębiorstwa wodociągowego. Wprowadzenie eksploatacji SZW opartej na zarządzaniu ryzykiem stwarza możliwość stosowania elastycznego systemu monitorowania. Na podstawie pozyskanej informacji oraz przeprowadzonego wnioskowania przedsiębiorstwa wodociągowe mogą na nowo zdefiniować potrzeby badawcze a zaoszczędzone środki finansowe mogą być przeznaczone na inne potrzeby, np. odnowienie infrastruktury wodociągowej.

Moduł 1. Dla obszaru zasilania SUW Czaniec została opracowana analiza ryzyka, zgodnie z wymogami Prawa Wodnego [167], która potwierdziła zasadność utworzenia strefy pośredniej ochronnej ujęcia. Jednocześnie, przy uwzględnieniu informacji obejmujących charakterystykę pokrycia i wykorzystania terenu zasilania punktów poboru wody ze środowiska, presji antropogenicznej analiza ryzyka nie wskazała innych zagrożeń dla jakości czy stanu wody. Wykonana analiza wyników badań w punkcie poboru wody ze środowiska, punkcie wtłoczenia wody do sieci oraz w punktach reprezentatywnych zlokalizowanych w wydzielonej strefie zasilania SUW Czaniec PsDyW Spółki, stanowi weryfikację analizy i oceny ryzyka.

Moduł 2. Nadrzędnym obowiązkiem dostawcy wody jest zapewnienie dostaw bezpiecznej wody. Jest to szczególnie ważne dla zapewnienia bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody, szczególnie w aspekcie możliwości wystąpienia wtórnego zanieczyszczenia wody. Zaproponowany model badawczy oceny bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody uwzględnia: zabezpieczenie wody na czas jej transportu, poprzez ocenę stężenia dezynfektanta; wiek transportowanej wody, co w rozległych podsystemach dystrybucji wody jest istotne na możliwość wystąpienia wtórnego zanieczyszczenia mikrobiologicznego wody; oraz weryfikację możliwości wystąpienia stanu wtórnego zanieczyszczenia mikrobiologicznego wody. Moduł ten dowodzi zasadności a nawet konieczności stosowanie pośrednich punktów dochlorowania wody na sieci. Ponadto przestrzenne analiza ryzyka wskazuje w badanym PsDyW brak obszarów wrażliwych na utratę bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody. Jednocześnie stanowi potwierdzenie efektywności monitorowania operacyjnego stężenia dezynfektanta oraz sterowanie dozowania dezynfektanta w pośrednich punktach PsDyW. Ponadto wykorzystanie modelu hydraulicznego umożliwia testowanie scenariuszy pracy hydraulicznej podsystemu dystrybucji wody czy zaniku dezynfektanta, np. zmiany kierunków przepływu wody, wymuszenia zmian prędkości, itp. w powiązaniu z zarządzaniem dozowania dezynfektanta do sieci w stacjach wodociągowych oraz punktach dochlorowania wody na sieci.

Moduł 3. Brak dostaw wody szczególnie w perspektywie dłuższej przerwy może powodować stan zagrożenia epidemicznego. Zaproponowany moduł może być stosowany do oceny zawodności sieci wodociągowej uwzględnieniem zasięgu wystąpienia awarii, stopnia komplikacji usuwania awarii, np. kolizja z inną infrastrukturą techniczną (sieci gazowe, elektryczne) czy stopniem ochrony, np. monitorowanie przepływów, ciśnienia. Procedura wstępnej oceny ryzyka w tym module może stanowić rekomendację do planowania odnowy infrastruktury w wieloletnim planie finansowym.

Moduł 4. Integralność systemu zaopatrzenia w wodę umożliwia realizację zadania dostawy wody pod odpowiednim ciśnieniem w odpowiedniej ilości oraz jakości. Przedstawiona moduł badawczy oceny narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości stanowi bezpośrednią informację dla eksploatatora SZW. W przypadku wyznaczenia obszarów przyporządkowanych do klasy ryzyka nieakceptowalnego, generowana jest rekomendacja do podjęcia decyzji w kierunku modernizacji, odnowie infrastruktury.

Moduł 5. Zabezpieczenie infrastruktury krytycznej jakim jest infrastruktura krytyczna jest szczególnie ważne z powodu coraz większego zagrożenia terroryzmem. Wprowadzenie substancji szkodliwej do rurociągów wpływa na dużą populację i poza stosowaniem zabezpieczeń fizycznego dostępu do tej infrastruktury zasadne a wręcz konieczne jest instalowanie czujników pomiarów parametrów jakości wody, np. pomiar pH, potencjału redox, które w trybie pracy czasu rzeczywistego mogą sygnalizować istotną zmianę charakteru, składu wody sygnalizując możliwość jej celowego zanieczyszczenia. Nie jest możliwe stałe monitorowanie fizyczne całego systemu zaopatrzenia w wodę, w szczególności tak rozległego jaki eksploatuje GPW S.A. Proponowany model stanowi wstęp do prowadzenia dalszych badań w tym poszerzenia o kolejne elementy. Z wykorzystaniem modelu hydraulicznego możliwa jest propagacja rozprzyszczenia czynnika reaktywnego oraz testowanie scenariuszy działań zaradczych dostawcy wody czy procedur postępowania w toku zarządzania kryzysowego w integracji z innymi służbami, np. gminnymi, powiatowymi, wojewódzkimi sztabami zarządzania kryzysowego, strażą pożarną, zakładami opieki zdrowotnej. Zaproponowany model badawczy wskazuje obszary narażone na potencjalne zagrożenia dla populacji. Pozyskana informacja wskazuje obszary funkcjonowania dostawcy wody, które wymagają szczególnego nadzoru i wdrożenia środków zapobiegawczych, które utrudnią ingerencje. Zminimalizowanie możliwości ingerencji w infrastrukturę krytyczną nie powinno być wyłącznie zadaniem eksploatatora SZW.

Klasyfikacja i rozkład wartości i poziomów ryzyka stanowi podstawę do określenia priorytetów budowy środków kontroli a następnie ich weryfikacji. Postępowanie z ryzykiem może obejmować działania inwestycyjne lub zwiększające intensywność środków kontroli, z uwzględnieniem zasady ALARP. Celem jest minimalizacja prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia lub minimalizacja skutków jego wystąpienia. Efektywność i skuteczność procesu zarządzania ryzykiem jest weryfikowana na podstawie dostarczonych dowodów, potwierdzających integralność SZW oraz dostawy bezpiecznej wody. Zarządzanie zasobami przedsiębiorstwa oparte na dowodach procesu weryfikacji zarządzania ryzykiem dostaw wody jednoznacznie wskazuje zwiększenie efektywności jego funkcjonowania w tym zwiększenie bezpieczeństwa dostaw wody.

Etap rankingowania ryzyk generuje katalog priorytetowości działań mających na celu minimalizację ryzyka. Proces identyfikacji środków kontroli następuje po ustaleniu priorytetów dla każdego z zidentyfikowanych rodzajów ryzyka. Zdarzenie, dla których

wyznaczone są najwyższe wartości ryzyka powinny być w pierwszej kolejności objęte procedurami działań korygujących lub zapobiegawczych, m.in. obejmujących procesy inwestycyjne i/lub wzmocnienie monitorowania. Wystąpienie zdarzeń niepożądanych może powodować utratę integralności SZW czego potencjalnym efektem są zaburzenia jakości i dostaw wody. Stan taki wiąże się z konieczności ponoszenia dodatkowych, nieplanowanych kosztów przez dostawców wody ale wpływa również na utratę zaufanie do dostawcy wody oraz może narażać dostawcę wody na sankcje administracyjne organów z zakresu nadzoru nad zdrowiem publicznym. Uwzględnione są już istniejące środki bezpieczeństwa oraz oceniana jest ich skuteczność. Na tej podstawie opracowywane są propozycje kierunków i katalogu działań, które są przedstawiana kadrze zarządczej do podjęcia decyzji, m.in. zmiana organizacyjnych, długofalowych działaniach inwestycyjnych.

8. Podsumowanie i wnioski

Zaproponowany w niniejszej dysertacji algorytm zarządzania ryzykiem w podnoszenie efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa wraz z aplikacją na danych rzeczywistych Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów S.A stanowi autorski model koncepcji zwiększenie efektywności operacyjnej Spółki.

Na podstawie wykonanych badań i wykonanych prac sformułowano wnioski wskazujące na prawidłowość przedstawionej w pracy tezy:

- zastosowane narzędzia informatyczne, uporządkowane bazy danych operacyjnych i środowiskowych pozyskane z różnych portali bazodanowych, jak i parametry techniczne oraz technologiczne eksploatacji poszczególnych elementów infrastruktury wodociągowej pozwalają na budowę wielokryterialnego narzędzia opartego na ocenie ryzyka służącego do wyznaczania priorytetów w podnoszeniu efektywności operacji eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę.

Podczas budowy algorytmu zarządzania ryzykiem w priorytetyzacji podnoszenie efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa wodociągowego zrealizowano cele pośrednie:

- zdefiniowano moduły kluczowe analizy stanowiące determinanty w podnoszenie efektywności eksploatacji SZW z uwzględnienie czynników wewnętrznych i zewnętrznych funkcjonowania dostaw wody do klienta,
- zdefiniowano autonomiczne deskryptory oceny ryzyka w poszczególnych modułach badawczych z wykorzystaniem metody matrycowej,
- opracowano metodykę systemu rekomendacji dla kadry zarządczej najwyższego szczebla do podjęcia decyzji i wyznaczenie priorytetowości kierunków obszarów funkcjonowania przedsiębiorstwa.

Zaproponowany algorytm zarządzania ryzykiem, w tym zbudowane moduły wraz z etapem rankingowania ryzyk są koncepcją otwartą, nie ograniczają się do zaproponowanych zakresów i może być zasilany dodatkowymi danymi, analizami, procedurami etc. Zaproponowany model badawczy uwzględnia kompleksowe podejście do zarządzania systemu ryzykiem w podnoszeniu efektywności funkcjonowania Spółki.

9. Kierunki badań

Dyrektywa w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [28] wprowadziła oczekiwany przez branżę wodociągową obligatoryjny obowiązek stosowania analizy ryzyka dostaw wody w całym łańcuchu dostaw wody od ujęcia do kranu u konsumenta. Podstawy budowy tego systemu są zdefiniowane przez WHO [175,176], czy w normie PN-EN 15975-2 [92]. Pozycje te nie wskazują szczegółów czy zawartości tego systemu. Poza zapewnieniem wysokiego stopnia niezawodności dostaw bezpiecznej wody, systemy zarządzania ryzykiem można zastosować do zwiększenia efektywności funkcjonowania. Jest to możliwe poprzez implementacje technik zarządzania ale również i metod, modeli matematycznych czy nowoczesnych technik przetwarzania danych. Nie bez znaczenie jest też wzrost świadomości kompetencji pracowników. W wielu przypadkach „badanie próbek wody” zastępowało procedury eksploatacyjne. Wdrożenie do stosowania dodatkowej wiedzy pozyskanej podczas budowanie systemów zarządzania ryzykiem dostaw wody samo w sobie już powinno skutkować podniesieniem efektywności w obszarze podstawowej działalności dostawcy wody.

Budując system zarządzania ryzykiem należy uwzględnić wszystkie możliwe etapy ujmowania, uzdatniania i dystrybucji wody oraz każdy proces. Prawidłowo zdefiniowane potrzeb, środków kontroli oraz pełna analiza posiadanej informacji umożliwiają skuteczniejsze zarządzanie. Stosowanie modeli, algorytmów, umożliwia testowanie scenariuszy zdarzeń, skuteczności i weryfikacji procedur postępowania oraz oceny skutków decyzji na każdym poziomie zarządzania.

Jednym z głównych kierunków badań w szeroko rozumianej dziedzinie niezawodności dostaw bezpiecznej wody od ujęcia do konsumenta jest budowa środków kontroli, barier dotyczących oporności SZW na ingerencje zewnętrzne, w szczególności pod kątem identyfikacji lokalizacji miejsc szczególnie narażonych na taką ingerencje wraz z analizą i oceną jej skutków. Zasadne a wręcz konieczne jest wprowadzenie intensyfikacji badań w zakresie identyfikacji / wykrycia wystąpienia zdarzenia ingerencji oraz opracowywania w tym zakresie środków kontroli, barier. Zakres badań powinien obejmować poziom techniczny eksploatacji SZW, nadzoru jak i procedur zarządzania ryzykiem w powiązaniu z podmiotami administracji rządowej, samorządowej, na szczeblu wojewódzkim, powiatowym i gminnym, szczególnie w ujęciu zarządzania kryzysowego.

10. Bibliografia

1. Abuzerr S., Hadi M., Zinszer K., Nasser S., Yunesian M., Mahvi A. M., Nabizadeh R., Mohammed S.H. Comprehensive Risk Assessment of Health-Related Hazardous Events in the Drinking Water Supply System from Source to Tap in Gaza Strip, Palestine. *Journal of Environmental and Public Health*, Volume 2020, Article ID 7194780, <https://doi.org/10.1155/2020/7194780>
2. Anderson D.R., Sweeney D.J., Williams T.A.: *Introduction to statistics: concepts and applications*. West Publication Company, St. Paul 1991
3. Balcerzak W. Zmiany jakości wody w systemie jej dystrybucji. *Mat. konf. Zaopatrzenie w wodę i jakość wód*. Wyd. PZITS O/Wielkopolski, Poznań 2002, 815-823
4. Bergel T., Ostrowska A.M. Wróblewski Z.K., *Możliwość wykorzystania danych o awariach sieci wodociągowej w procesie planowania jej remontu*. *Infrastruktura i Ekologia* 2015, nr 3
5. Bergel T.: *Awaryjność sieci wodociągowych małych wodociągów grupowych w Polsce*. *Gaz, woda i technika sanitarna*. 2012, 12, 536–538
6. Bernard A., de Burbure C. *CHEMICAL TERRORISM: THREATS TO WATER SUPPLIES*, Part of the NATO Security through Science Series book series (NASTC). https://doi.org/10.1007/1-4020-4800-9_18
7. Bernatik A., Senovsky P., Senovsky M., Rehak D.; *Territorial risk analysis and mapping*; *Chemical Engineering Transactions* 2013 vol 31 79-84
8. Bessner M-C., Gauthier V., Barbeau B., Millette R., Chapleau R., Prevost M. *Understanding distribution systems water quality*. *JAWWA*, 2001, 93 (7), 101-114
9. Bichai F., Patrick W.M., Smeets H. *Using QMRA-based regulation as a water quality management tool in the water security challenge Experience from the Netherlands and Australia water research* 47 (2013) <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.09.062>
10. Biedroń I., Trusz-Zdybek A., Traczewska T., Piekarska K. *Zastosowanie pomiaru impedancji do oceny rozwoju biofilmu w systemach wodociągowych*. *Instal*, 2013, 5, 37-42
11. Borek P., *Woda jako przyczyna konfliktów zbrojnych w XXI wieku*. *Rozprawy Społeczne*, 12(2), 32-37. <https://doi.org/10.29316/rs.2018.11>
12. Boryczko K. Rak J. *Bezpieczeństwo systemów wodociągowych, Dywersyfikacja zasobów Wody* Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej ISBN 978-83-7934-204-4 Rzeszów 2017

13. Boulou P.F., Lansey K.E., Karney B.W.: *Comprehensive Water Distribution System Analysis Handbook For Engineers and Planners*. MWH Soft, Inc., Pasadena 2004
14. Brodziak R., Brodziak A., Zarządzanie i monitoring systemu zaopatrzenia w wodę w inteligentnym mieście, *Gaz Woda i Technika Sanitarna*. 2019 Nr 5 s. 165-171; DOI 10.15199/17.2019.5.4
15. Chon, J.-W., Koo, R., Song, K.-Y., Kang, I.-B., Kim, D.-H., Bae, D., Kim, H., Kim, S.-H. and Seo, K.-H. (2021), Strategies for expanding HACCP certification rate using an awareness survey of dairy farmers. *Int. J. Dairy Technol.*, 74: 453-461. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12786>
16. Chou S., Spoo W.: *Toxicological profile for chloroform*. U.S. Department of Health and Human Service, Public Health Service, Agency for Toxic Substance and Disease Registry, Atlanta Georgia 1997
17. Chudzicki J., Kwietniewski M., Iwanek M., Suchorab P. Secondary contamination in Polish drinking water. *WIT Transactions on the Built Environment*. 2014, 139. 15-26. 10.2495/UW140021
18. Chudzicki J., Sosnowski S., *Instalacje wodociągowe, projektowanie, wykonanie, eksploatacja*. Wydanie 3, Sidel o Przywecki Warszawa 2011
19. Copeland C., *Terrorism and Security Issues Facing the Water Infrastructure Sector*, CRS Report for Congress. 17 november 2008 r. Order Code RL32189
20. Craig S.T. Daughtry, E. Raymond Hunt, Peter C. Beeson, Sushil Milak, Megan W. Lang, Guy Serbin, Joseph G. Alfieri, Gregory W. McCarty, Ali M. Sadeghi, Chapter 22 - Remote Sensing of Soil Carbon and Greenhouse Gas Dynamics across Agricultural Landscapes, Editor(s): Mark A. Liebig, Alan J. Franzluebbbers, Ronald F. Follett, *Managing Agricultural Greenhouse Gases*, Academic Press, 2012, Pages 385-408, ISBN 9780123868978, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386897-8.00022-X>
21. Cuihua Li., Guanye Wang. Analysis of the water quality deterioration in the secondary water supply systems. *Internations Conference oc Computer Science and Electronic Technology (ICCSET 2014)*
22. Dane GPW S.A.
23. Delpla I, Monteith DT, Freeman C, Haftka J, Hermens J, Jones TG, Baurès E, Jung AV, Thomas O. A decision support system for drinking water production integrating health risks assessment. *Int J Environ Res Public Health*. 2014 Jul 18;11(7):7354-75. doi: 10.3390/ijerph110707354. PMID: 25046634; PMCID: PMC4113881
24. Denczew S., Królikowski A. *Podstawy nowoczesnej eksploatacji układów wodociągowych i kanalizacyjnych*. ISBN 83-213-4266-3, Arkady 2002
25. Denczew S.: Wpływ systemu sprawnego usuwania uszkodzeń sieci wodociągowej na jej niezawodność. „Ochrona Środowiska” 2000, nr 2, s. 21-24
26. Diao K., Sweetapple C., Farmani R., Fu G, Ward S., Butler D., *Global resilience analysis of water distribution systems*, *Water Research*, Volume 106, 2016, Pages 383-393, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.10.011>.

27. Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23.10.2000r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej – Ramowa Dyrektywa Wodna
28. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi
29. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2557 z dnia 14.12.2022 r. w sprawie odporności podmiotów krytycznych i uchylająca dyrektywę Rady 200/114/WE
30. Dyrektywa Rady 98/83/WE z dnia 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi
31. Fewartall J., Bartram J., Water: Quality Guidelines Standards and Health Assessment of Risk and Risk Management for Water Related Infection Disease IWA Publishing London 2001
32. Gale P., Using risk assessment to identify future research requirements. Journal AWWA 2002 vol 94, no 9, pp. 30-38
33. Gniedienko B.W., Bielajew J.K., Sołowiew A.D.: Metody matematyczne w teorii niezawodności. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1968
34. Grabińska-Łoniewska A., Siński E. Mikroorganizmy chorobotwórcze i potencjalnie chorobotwórcze w ekosystemach wodnych i sieciach wodociągowych. Warszawa: Wydawnictwo Seidel-Przywecki, 2010
35. Hidiyeh M., Albatayneh A., Tarawneh R., Suleiman S., Juaidi A., Abdallah R., Jellali S., Jeguirim M. Preparedness Plan for the Water Supply Infrastructure during Water Terrorism—A Case Study from Irbid, Jordan (This article belongs to the Special Issue Wastewater Treatment, Valorization and Reuse II) Water 2021, 13(20), 2887. <https://doi.org/10.3390/w13202887>
36. Hindiyeh, M., Albatayneh, A., Tarawneh, R., Suleiman, S., Juaidi, A., Abdallah, R., Jellali, S., Jeguirim, M. Preparedness Plan for the Water Supply Infrastructure during Water Terrorism—A Case Study from Irbid, Jordan. Water 2021, 13, 2887. <https://doi.org/10.3390/w13202887>
37. Hoffman B., Oblicza terroryzmu, Grupa Wydawnicza Bertelsmann Media, Fakty, Warszawa 2001, s. 116
38. Hoover J. E. , Water Supply Facilities and National Defense, Journal of the American Water Works Association, vol. 33, no. 11 (1941), 1861
39. Hołtoś H., Ilościowa ocena wpływu wybranych czynników na parametry i koszty eksploatacyjne sieci wodociągowej. Monografia, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej 84/49; Oficyny Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej , Wrocław 2007
40. <http://konwentkjkwp.pl/pliki/13022020/prezentacja.pdf> (1.05.2021)
41. <https://archives.fbi.gov/archives/news/testimony/terrorism-are-americas-water-resources-and-environment-at-risk>
42. <https://europa.eu/citizens-initiative-forum/sites/default/files/2021-03/Right2Water%20PL.pdf>

43. <https://hydroinformatics.byu.edu/hydrodesktop> (stan ma 5.06.2024 r.)
44. https://mfiles.pl/pl/index.php/Analiza_ryzyka (1.06.2021)
45. https://poland.representation.ec.europa.eu/news/right2water-z-inicjatywy-obywateli-2018-02-01_pl
46. <https://portalkomunalny.pl/bezpieczenstwo-wody-a-terroryzm-359893/> (Stan na 20.02.2024 r._
47. <https://smart-flow.eu/> (stan 20.02.2024)
48. <https://wsportal.org/wp-content/uploads/sites/3/2016/04/TT-515-12-Guidelines-for-using-the-web-enabled-Wat.pdf-1-april-2012.pdf> (1.08.2021)
49. <https://www.apgw.gov.pl/pl/news/show/492>
50. <https://www.deltares.nl/en/software-and-data/products/delft-fews-platform> (stan ma 5.06.2024 r.)
51. <https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mike-she> (stan ma 5.06.2024 r.)
52. <https://www.epa.gov/watershedacademy/introduction-soil-and-water-assessment-tool-swat> (stan na 1.07.2024 r.)
53. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiZ0cPdwJGEAxWFR_EDHReEBxsQFnoECBAQAQ&url=https%3A%2F%2Fwis.pwr.edu.pl%2Fdownload%2FrcNHQkFCFXSjY7cSk2aGY1DVo2MRwPPz0hPCtgX2cZPBM2aSgTNG8XWQ1eLgg3M2w7fyIhExwDcQwvDTtsNiIUTQ0-ZQoxbg%2C5AcSpiWmNiSzFOLmVPaGRqYjNjdV9Za305LgMkamdwa0t0InxbZCxZMA40bAMvJXc4cSk%2Fwodociagi_i_kanalizacja_-_wyklad_1_8.pdf&usg=AOvVaw2nQ3PRe5IHs1fjPm15eLaE&opi=89978449 (na stan 2.02.2024 r.)
54. <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/przyjeto-program-inwestycyjny-w-zakresie-poprawy-jakosci-i-ograniczenia-strat-wody-przeznaczonej-do-spozycia-przez-ludzi> stan na 2.02.2024 r
55. <https://www.gov.pl/web/psse-piotrkow-trybunalski/system-haccp--podstawowe-informacje-podstawy-prawne> (stan 8.09.2023 r.)
56. <https://www.weap21.org/> (stan ma 5.06.2024 r.)
57. Józwiak J., Podgórski J.: Statystyk od podstaw. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2006
58. Kędzia W., Analiza przyczyn awaryjności przewodów wodociągowych na przykładzie wybranych przedsiębiorstw wod-kan województwa śląskiego., Rynek Instalacyjny 9/2017 r
59. Khan S., Shahnaz M., Jehan N., Rehman S., Shah M. T., Din II; Drinking water quality and human health risk in Charsadda district, Pakistan; Journal of Cleaner Production (2012) 1-9
60. Kho J. S., Jeong J., HACCP-based Cooperative Model for Smart Factory in South Korea, Procedia Comput Science. 2020;175:778-783. doi: 10.1016/j.procs.2020.07.116. Epub 2020 Aug 6
61. Kłós M., Zimoch I. Wykorzystanie analizy jakości wody do oceny pracy sieci wodociągowej. Ochrona Środowiska 2005 NR 4 s. 27-30

62. Koelmans A.A. , Nor N. H. M. , Hermsen E., Kooi M. , Mintenig S. M., , De France J., Microplastics in freshwaters and drinking water: Critical review and assessment of data quality, *Water Research*, Volume 155, 2019, Pages 410-422, ISSN 0043-1354, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054>.
63. Kołwzan B. Analiza zjawiska biofilmu – warunki jego powstawania i funkcjonowanie, *Ochrona Środowiska*, 33 (4), 2011
64. Koronacki J., Mielniczuk J.: Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne , Warszawa 2004
65. Kowal A.L., Świdorska-Bróz M., *Oczyszczanie wody*. Wydanie V, PWN 2007
66. Krauz A., Nowe wydanie terroryzmu z wykorzystaniem broni CBRN we współczesnej cywilizacji śmierci. 2014. *Edukacja - Technika - Informatyka* 5/1, 285-293
67. Kuliczkowski A., Lichosik D., Akty terrorystyczne na systemy wodociągowe na przykładzie Afryki i krajów Bliskiego Wschodu. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*. Marzec - Kwiecień 2016
68. Kutylowska M., Metody regresyjne i klasyfikacyjne w analizie i ocenie poziomu awaryjności przewodów wodociągowych., monografia ISSN 2657-5035, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2019
69. Kwietniewski M., Awaryjność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce w świetle badań eksploatacyjnych, In: *Awarie budowlane: zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje / Kaszyńska M. (eds.)*, vol. I, 2011, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, ISBN 978-83-7663-076-2, pp. 127-140
70. Kwietniewski M., Rak J.: *Niezawodność infrastruktury wodociągowej i kanalizacyjnej w Polsce*. Monografie KILiW PAN, Warszawa 2009
71. Kwietniewski M., Roman M., Kłoss-Trębaczkiwicz H.: *Niezawodność wodociągów i kanalizacji*. Arkady, Warszawa 1993
72. Kwietniewski M., Sudoł M.: Wskaźniki niezawodności dystrybucji wody o wymaganej jakości. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, t. 1, PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 581-590
73. Kwietniewski M.: *Metody badań eksploatacji sieci wodociągowych pod kątem niezawodności dostawy wody do odbiorcy*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999
74. Lancaster-Brooks R. *Water Terrorism: An Overview of Water & Wastewater Security Problems and Solutions*
75. Lehtola M.J., Miettinen I.T., Keinänen M.M., Kekkiä T.K., Laine O., Hirvonenc A., Vartiainen T., Martikainen P.J. Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes. *Water Research*, 2004, 38, 3769-3779

76. Lethola M.J., Miettinen I.T., Lampola T., Hirvonen A., Vartiainen T., Martikainen P.J. Pipeline materials modify the effectiveness of disinfectants in drinking water distribution systems. *Water Research*, 2005, 39, 1962-1971
77. Lidzbarski M., Analiza ryzyka w procesie ustanawiania strefy ochronnej ujęć wód podziemnych „Osowa” i „Dolina Radości” w Gdańsku. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 475: 125-132 2019 r doi: 10.7306/bpig.15
78. Łachowski P. *Wodociągi i kanalizacji w Głogowie na przestrzeni wieków*, Drukarnia Wydawnictwo Druk-Ar, Głogów. (2009)
79. Łebkowska M., Pajor E., Rutkowska-Narożniak A., Kwietniewski M., Wąsowski J., Kowalski D. Badania nad rozwojem mikroorganizmów w przewodach wodociągowych z żeliwa sferoidalnego z wykładziną cementową. *Ochrona Środowiska*, 2011, 33 (3), 9-13
80. Łuczak J. Metody szacowania ryzyka – kluczowy element systemu zarządzania bezpieczeństwem informacji ISO/IEC 27001 *Zeszyty Naukowe Akademia Morska w Szczecinie* 2009, 19(91) s. 63–70
81. Malinowska A., Hejmanowski R., Szadziul M., Analiza awaryjności sieci wodociągowej w świetle rozkładu ciągłych deformacji powierzchni terenu w czasie *Biblioteka Nauki* 2014, nr 2 (262)
82. Mkrtchyan L., Podofillini L. , Dang V.N., Methods for building Conditional Probability Tables of Bayesian Belief Networks from limited judgment: An evaluation for Human Reliability Application, *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 151, 2016, Pages 93-112, ISSN 0951-8320, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.01.004>
83. Mudau L. S., Mukhola M. S. , Hunter P. R. ; Systematic risk management approach of household drinking water from the source to point of use. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development* 1 June 2017; 7 (2): 290–299. doi: <https://doi.org/10.2166/washdev.2017.029>
84. Nawrocki J.: Uboczne produkty utleniania i dezynfekcji wody doświadczenia ostatnich 30 lat. „*Ochrona Środowiska*” 2005, vol. 27, nr 4, s. 3-12
85. Niedziółek M., Zimoch I., Dąbrowski W., Żaba T., McGarity M., Wpływ wysadzinowości gruntów na awaryjność przewodów wodociągowych. *Środowiska Czasopismo Techniczne Politechniki Krakowskiej 1-S/* 2011. zeszyt 1. 2011
86. Nogueira Vilanova M. R., Filho P. M., Perrella Balestieri J. A. Performance measurement and indicators for water supply management: Review and international cases. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 43, March 2015, Pages 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.043>
87. Norma PN-77/N-04005 – Niezawodność w technice. Wskaźniki niezawodności. Nazwy, określenia i symbole
88. Norma PN-77/N-04010 – Niezawodność w technice. Wybór wskaźników niezawodności
89. Norma PN-79/N-04005 – Estymacja wskaźników niezawodności

90. Norma PN-B-01706:1992 Instalacje wodociągowe -- Wymagania w projektowaniu
91. Norma PN-EN 15975-1+A1 Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 1 Zarządzania kryzysowe
92. Norma PN-EN 15975-2 Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 2: Zarządzanie Ryzykiem
93. Norma PN-EN 1717:2003, Ochrona przed wtórnym zanieczyszczeniem wody w instalacjach wodociągowych i ogólne wymagania dotyczące urządzeń zapobiegających zanieczyszczeniu przez przepływ zwrotny
94. Norma PN-EN 805:2002 Zaopatrzenie w wodę; Wymagania dotyczące systemów zewnętrznych i ich części składowych
95. Norma PN-EN ISO 9001:2009 – System zarządzania jakością. Wymagania.
96. Nowacka A., Włodarczyk-Makula M., Tchorzewska-Cieslak B., Rak J. The ability to remove the priority PAHs from water during coagulation process including risk assessment. *Desalination Water Treatment*, 2016, 57, 1297-1309
97. Obwieszczenia Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z 8 października 2020 r, w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o bezpieczeństwie żywności i żywienia.(Dz. U z 2020 poz. 2021)
98. Ozdemir O.N., Ger A.M: Realistic numerical simulation of chlorine decay in pipes. „Water Research” 1998, vol. 32, no. 11, p. 3307-3312
99. Piechurski F., Awarie w systemie dystrybucji wody - cz. I, *Inżynier Budownictwa*, 1/2014, http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materialy_i_technologie,artykul,awarie_w_systemie_dystrybucji_wody_-_cz_i,7109. (stan na 12.01.2024r.)
100. Piedgoń I., Tchorzewska-Cieślak B., Możliwość wykorzystania danych o awariach sieci wodociągowej w procesie planowania jej remontu. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska I Architektury*. JCEEA, t. XXXIV, z. 64 (4/II/17), październik-grudzień 2017, s. 199-210, DOI:10.7862/rb.2017.240
101. Pierścieniak M., Trzcńska N., Słomczyńska T., Wąsowski J., Problemy wtórnego zanieczyszczenia wody wodociągowej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* nr 39, 2009 r, 28-40
102. Pollard S.J.T., Riska management for water and wasterwater utilities, IWA 2008
103. Praca zbiorowa pod red. Kosieradzka A. Zawila-Niedźwiecki J. Zaawansowana metodyka oceny ryzyka w publicznym zarządzaniu kryzysowym. Edu Libri Kraków. ISBN 978-83-63804-78-7 2016
104. Praca zbiorowa pod red. Michalski R., Bezpieczeństwo Wody; Problemy i wyzwania. Wydawnictwo Elamed Media Group Katowice 2019 r
105. Quitana G., Molinos-Senante M., Chamorro A., Resilience of critical infrastructure to natural hazards: A review focused on drinking water systems,

International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 48, 2020, 101575, ISSN 2212-4209, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101575>

106. Rak J. Problematyk ryzyka w wodociągach Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej ISBN 978-83-7199-939-9 Rzeszów 2014
107. Rak J. Bezpieczna woda wodociągowa. Zarządzania ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów 2009
108. Rak J. Istota ryzyka w funkcjonowaniu systemu zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów 2004
109. Rak J. Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Komitet Inżynierii Środowiska PAN, Lublin 2005
110. Rak J. Wybrane aspekty bezpieczeństwa systemów wodociągowych Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej ISBN 978-83-7934-031-6 Rzeszów 2015
111. Rak J. Wybrane zagadnienia niezawodności i bezpieczeństwa w zaopatrzeniu w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów 2008
112. Rak J., A study of the qualitative methods for irks assessment in water supply systems Environment Protection Engineering, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej z 3-4, 2003
113. Rak J., Tchórzewska Cieślak B. Czynniki ryzyka w eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów 2007
114. Rak J., Tchórzewska Cieślak B. Five – parametric matrix to estimate the riska connected with water supply system operation. Environment Protection Engineering 2006, 2 37-46
115. Rak J., Tchórzewska Cieślak B. Matrycowe metody analizy ryzyka awarii infrastruktury komunalnej. Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska I Architektury. z. 61 (1/14), styczeń-marzec 2014, s. 233-244
116. Rak J., Tchórzewska Cieślak B. Metody analizy i oceny ryzyka w eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów 2005
117. Rak J., Tchórzewska Cieślak B., Analiza zagrożeń i ryzyka w łańcuchu wodociągowym., Technologia Wody. 2013, Nr 2 (22), s. 14-18
118. Rak J., Tchórzewska Cieślak B., Pietrucha K. Zagrożenia i ryzyko w systemie zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Inżynieria Ekologiczna Nr 26, 2011. S 37-47
119. Rak J., Tchórzewska Cieślak B., Ryzyko w eksploatacji systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę, Sidel Przywecki, 2013
120. Rak J.: Awaryjność sieci wodociągowych w miastach polskich. Wodociągi Polskie, Biuletyn Informacyjny IG „Wodociągi Polskie”, nr 3, 2003, s. 11-14
121. Rak J.: Niezawodność systemu uzdatniania wód powierzchniowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 20, Rzeszów 1993

122. Rak. J., Tchórzewska Cieślak B., Studziński Jan, Bezpieczeństwo Systemów Zbiorowego Zaopatrzenia w Wodę. PAN Instytut Badań Systemowych Warszawa 2013 ISBN 83-894-7549-9
123. Raport - Stan Sanitarny Kraju za 2022 r. <https://www.gov.pl/web/gis/raport--stan-sanitarny-kraju> ; stan na 2.02.2024 r
124. Rimantho D., Hatta M., risk analysis of drinking water process in drinking water treatment using fuzzy FMEA approach. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. VOL. 13, NO. 8, APRIL 2018
125. Rozporządzenia (WE) nr 852/2004 PEiR z dnia 29.04.2004r. W sprawie higieny środków spożywczych. (Dz. Urz. UE L 139 z 30.04.2004 str. 1 z późn. zm.)
126. Rozporządzenie Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 29 sierpnia 2019 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi (Dz. U. 1747)
127. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 4 listopada 2022 r. w sprawie Planu gospodarowania wodami na obszarze dorzecza Wisły (Dz. U. 2023, poz. 300)
128. Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2017, poz. 2294)
129. Rozporządzeniem Nr 1/2014 Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie z dnia 15 stycznia 2014 r. w sprawie ustanowienia strefy ochronnej dla ujęcia wody powierzchniowej z rzeki Soły dla Stacji Uzdatniania Wody „Czaniec” w Kobiernicach na potrzeby Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów S.A. w Katowicach (Dz. Urz. Woj. Śląskiego z 2014 r. poz. 370) zmienione rozporządzeniem Dyrektora Regionalnego Zarządu Gospodarki Wodnej w Krakowie z dnia 10 października 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie ustanowienia strefy ochronnej dla ujęcia wody powierzchniowej z rzeki Soły dla Stacji Uzdatniania Wody „Czaniec” w Kobiernicach na potrzeby Górnośląskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów S.A. w Katowicach (Dz. Urz. Woj. Śląskiego z 2017 r., poz. 5501)
130. Rus P. Skorut P., Woda od egzystencjalnego bezpieczeństwa do klęski żywiołu. Wstęp do analizy zagadnienia na wybranych przykładach bezpieczeństwa wewnętrznego III RP. Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis. Studia de Securitate 8 (2018) ISSN 2082-0917 DOI 10.24917/20820917.8.9
131. Samanipour S., Kaserzon S., Vijayasathya S., Jiang H., Choi P, Reid M.J., Mueller J. F. , Thomas K.V. Machine learning combined with non-targeted LC-HRMS analysis for a risk warning system of chemical hazards in drinking water: A proof of concept. Talanta, Volume 195, 2019, Pages 426-432, ISSN 0039-9140, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.11.039>
132. Santos, J.R., Pagsuyoin, S.T., Herrera, L.C. et al. Analysis of drought risk management strategies using dynamic inoperability input–output modeling and event tree analysis. Environ Syst Decis 34, 492–506 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10669-014-9514-5>

133. Shores, A., Laituri, M. & Butters, G. Produced Water Surface Spills and the Risk for BTEX and Naphthalene Groundwater Contamination. *Water Air Soil Pollut* 228, 435 (2017). <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3618-8>
134. Smigielska K., Plan Bezpieczeństwa Wodnego Hygeia Public Health 2010, 45(2): 123-126
135. Sobczyk M.: Statystyka. PWN, Warszawa 1999
136. Suligowski Z., Fudała Książek S., Zaopatrzenie w wodę. Seidel-Przywecki 2014
137. Szkutnik W., Wolny A., Jakościowe szacowanie pewnych zagrożeń generujących ryzyko ubezpieczeniowe, [w:] Szymańska A. (red.), Ubezpieczenia i finanse. Rozwój i perspektywy, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2017, s. [157]-174, doi: 10.18778/8088-628-5.12
138. Szopa T., Bezpieczeństwo i Niezawodność. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej 2016. ISBN 978-83-7814-555-4
139. Szopa T.: Bezpieczeństwo a niezawodność systemu, *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*, PAN, 3, 4 (71, 72), 1987, s. 297-308
140. Szpak D., Tchórzewska-Cieślak B., Analiza awaryjności sieci wodociągowej w aspekcie funkcjonowania infrastruktury technicznej. *Chemik* 2014, 68, 10 862-867
141. Świdarska-Bróż M., Wolska M. Ocena wtórnego zanieczyszczenia niestabilnej chemicznie wody w systemie dystrybucji. *Ochrona Środowiska*, 2005, 4, 35-38
142. Świdarska-Bróż M., Wolska M., Główne przyczyny wtórnego zanieczyszczenia wody w systemie dystrybucji wody. *Ochrona Środowiska* 2006, nr 29-34
143. Taheriyoun, M., Moradinejad, S. Reliability analysis of a wastewater treatment plant using fault tree analysis and Monte Carlo simulation. *Environ Monit Assess* 187, 4186 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4186-7>
144. Tchórzewska – Cieśla B., Papciak D., Pietrucha – Urbanik K., Pietrzyk A., Metoda analizy i oceny ryzyka braku stabilności biologicznej wody wodociągowej. *Aktualne zagadnienia w produkcji i dystrybucji wody*, ISBN978-83-947793-0-6; 2017, vol 6. S. 224-240
145. Tchórzewska Cieślak B., Boryczko K., Piedgoń I. Niekonwencjonalne metody analizy ryzyka awarii w systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę. *Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska I Architektury. JCEEA*, t. XXXII, z. 62 (1/15), styczeń-marzec 2015, s. 393-408. DOI: 10.7862/rb.2015.28
146. Tchórzewska Cieślak B., Method for identification of area of risk of failure in water pipe-network, *Polish Journal of Environmental Studies* 2007, 16 s. 770-774
147. Tchórzewska Cieślak B., Papciak D., Pietrucha – Urbanik K. Szacowanie ryzyka zmian jakości wody w sieciach wodociągowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej ISBN 978-83-7934-207-5 Rzeszów 2017

148. Tchórzewska-Cieslak B. Metody analizy i oceny ryzyka podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej Rzeszów 2012
149. Tchórzewska-Cieslak B., Rak J. Method of identification of operational states of water supply system, in: Environmental Engineering III, Edited by: Pawlowski, L., Dudzinska, M.R. & Pawlowski, A. (Eds.). Boca Raton: CRC Press-Taylor & Francis Group, 2010
150. Tchórzewska-Cieslak B., Szpak D. Propozycja metody analizy i oceny bezpieczeństwa dostawy. Ochrona Środowiska, 2015, 37(3), 43-47
151. Tchórzewska-Cieślak B. Bayesowski model ryzyka awarii sieci wodociągowej. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 2009 nr 9, s. 54-56
152. Tchórzewska-Cieślak B. Ochrona konsumentów wody przed skutkami zawodności dostawy wody do spożycia, Mat. konf. „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej 2009. Gliwice, s. 369-380
153. Tchórzewska-Cieślak B. Wieloaspektowa analiza bezpieczeństwa w eksploatacji systemów wodociągowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2018
154. Tchórzewska-Cieślak B. Zarządzanie bezpieczeństwem dostaw wody. Journal of KONBiN, 2017, 41, 171–188
155. Tchórzewska-Cieślak B. Zarządzanie ryzykiem w ramach planów bezpieczeństwa wody. Ochrona Środowiska, 2009, 31, 4: s. 57–60
156. Tchórzewska-Cieślak B., Rak J.: Modele niezawodności bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę z wykorzystaniem procesów Markowa. Monografie IiŚ PAN, vol. 32, t. I, Lublin 2005, s. 519-528
157. Tchórzewska-Cieślak B., Wybraniec A.: Metody wyznaczania obszarów ryzyka awarii w podsystemie dystrybucji. Instal” 2008, nr 10 (288), s. 99-105
158. Tchórzewska-Cieślak Barbara. Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej. Rzeszów 2011
159. Toczyłowska B. Monitorowanie jakości wody wodociągowej pod kątem określania przyczyn jej wtórnego zanieczyszczenia w sieciach i instalacjach wodociągowych. Mat. konf. Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody. Szczyrk: Wyd. Politechniki Śląskiej, 2003, 369-379
160. Toczyłowska B. Rola biofilmu w zapobieganiu i zwalczaniu bakterii Legionella w instalacjach wodociągowych. Technologia Wody, 2016, 1 (45), 22-30
161. Totczyk G., Pasela G. Struktura i awaryjność systemu dystrybucji wody wodociągowej w Bydgoszczy., Logistyka 4/2015, s 6236-6244
162. Traczewska T.M., Sitarska M. Materiały syntetyczne podłożem dla rozwoju biofilmu w systemach dystrybucji wody. Ekotoksykologia w ochronie środowiska: praca zbiorowa pod red. Kołwzan, B. Grabasa, K. Wrocław: Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych. Oddział Dolnośląski, 2008, 443-450

163. Traczewska T.M., Sitarska M. Wpływ struktury fizycznej podłoża na rozwój błony biologicznej. *Ochrona przed korozją*, 2012, 55 (1), 8-14
164. Traczewska T.M., Sitarska M., Biedroń I. *Ekologiczne i techniczne aspekty powstawania biofilmu w wodzie*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2014
165. Trafiałek J, Lehrke M, Lücke F-K., Kołożyn-Krajewska D., Janssen J., HACCP-based procedures in Germany and Poland, *Food Control*, Volume 55, 2015, Pages 66-74, ISSN 0956-7135, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.01.031>
166. Ustawa z dnia 14 marca 1985 r. o Państwowej Inspekcji Sanitarnej (Dz. U. z 2021 r poz. 195)
167. Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo Wodne (Dz. U. z 2021 poz. 624 z późn zm.)
168. Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (t.j. Dz. U. z 2023 r. poz. 122, z 2024 r. poz. 834.)
169. Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków (Dz U. z 2020 r. poz. 2028)
170. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. (t.j. Dz. U. z 2024 r. poz. 725,834).
171. Ustawa z dnia 8 marca 1990 r. o samorządzie gminnym (t.j. Dz. U. z 2024 poz. 609, 721)
172. Vieira J.M.P., Water Safety Plans: Methodologies for risk assessment and risk management in drinking water systems: In: *Water in Celtic Countries: Quantity, Quality, and Climate Variability*, Ferreira J.P.L. & Vieira, IAHS, Publ 2007-57-67
173. Water Distribution System Challenges And Solutions, [O. Oyedele Adeosun, Obafemi Awolowo University](https://www.wateronline.com/doc/water-distribution-system-challenges-and-solutions-0001) (https://www.wateronline.com/doc/water-distribution-system-challenges-and-solutions-0001 : na stan 2.02.2024 r.)
174. Westphal K. S., Vogel R. M., Kirshen P., Chapra S. C. Decision Support System for Adaptive Water Supply Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Volume 129, Issue 3. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2003\)129:3\(165\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2003)129:3(165))
175. WHO, IWA Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers, second edition. ISBN 978-92-4-006770-7 (print version) 2023
176. WHO, Wytyczne WHO dotyczące wody do picia. Wydanie IV, Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie 2011
177. Wicaksono A., Karnaningroem N., Minimizing failure risk of refill drinking water production in Rungkut district Surabaya using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *2019 IOP Conf. Ser.: Earth Environmental . Science*. **259** 012013
178. Wieczysty A. i inni: *Metody oceny i podnoszenia niezawodności działania komunalnych systemów zaopatrzenia w wodę*. Monografie KIS PAN, vol. 2, Kraków 2001. 237

179. Wingender J., Flemming H.C. Biofilms in drinking water and their role as reservoir for pathogens *International Journal Of Hygiene And Environmental Health*, 2011, 214 (6), 417-423. DOI: 10.1016/j.ijheh.2011.05.009
180. Wolska M. Usuwanie substancji biogenych w technologii oczyszczania wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2015
181. Wróblewski Z.K., Kwietniewski M., Ostrowska A.M. Analiza uszkodzeń przewodów sieci wodociągowej na obszarze miasta Częstochowy -, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2012, nr 12
182. Zimoch I. Bezpieczeństwo działania systemu zaopatrzenia w wodę w warunkach zmian jakości wody w sieci wodociągowej. *Ochrona Środowiska* 42009 vol 31 nr 3, s. 51-55
183. Zimoch I. Kusnierski A. Wykorzystanie drzewa niezdatności w ocenie zagrożeń pochodzenia rolniczego na jakość zasobów wód podziemnych. -*Gaz Woda i Technika Sanitarna* 2017 t. 91 nr 4, s. 201-204
184. Zimoch I. Metoda analizy i oceny ryzyka eksploatacji systemów wodociągowych na terenach użytkowanych rolniczo. *Ochrona Środowiska*. 2016 vol. 38 nr 4, s. 33-38
185. Zimoch I. Operational Safety of the Water Supply System Under Conditions of Water Quality Variations in the Water-pipe Network. *Ochrona Srodowiska*, 2009, 31 (3), 51-55
186. Zimoch I., Bezpieczeństwo działania systemu zaopatrzenia w wodę w warunkach zmian jakości wody w sieci wodociągowej. *Ochrona Środowiska* 2009 vol 31
187. Zimoch I., Binda B.: Eksploatacja wodociągu wrocławskiego w aspekcie niezawodności zakładów uzdatniania wody. „*Ochrona Środowiska*” 2003, vol. 25, nr 3, s. 35-39
188. Zimoch I., Czopik Ł., Analiza awaryjności sieci wodociągowej jako element zarządzania ryzykiem w przedsiębiorstwie wodociągowym., *Instal*, 2018, nr 5, 49-53
189. Zimoch I., Czopik Ł., Koncepcja zarządzania bezpieczeństwem dostaw wody w Górnośląskim Przedsiębiorstwie Wodociągów SA w Katowicach z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi informatycznych., *Gaz Woda*, 2018 t. 92 nr 3, s. 111-115; DOI: 10.15199/17.2018.3.7
190. Zimoch I., Kulejewska B., Oczekiwane korzyści z wdrażania Planów Bezpieczeństwa Wody dla przedsiębiorstw, klienta i środowiska. *Technologia Wody*, 2020, T2 (7), s.38-43
191. Zimoch I., Lobos E., Zaba T. Drinking water quality aspect in ensuring the safety of water supply systems. in: *Safety and Reliability: Methodology and Applications* (Nowakowski, T. Mlynczak, M. JodejkoPietruczuk, A. WerbinskaWojciechowska, S. Eds.). Boca Raton: CRC Press-Taylor & Francis Group, 2015, 717-726
192. Zimoch I., Łobos E., 2015, Evaluation of health risk caused by chloroform in drinking water, *Desalination and Water Treatment*, DOI:10.1080/19443394.2015.1033134

193. Zimoch I., Mulik B., Główne kierunki i potrzeby wdrażania systemów zarządzania bezpieczeństwem wody, Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych Oddział Wielkopolski. SBN 978-83-64959-45-5. Poznań 2016 r
194. Zimoch I., Plany Bezpieczeństwa Wody, ich wdrażanie i weryfikacja. PAN Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej Warszawa 2019 r. ISBN 987-83-939534-7-9
195. Zimoch I., Szymura E., 2013, Klasyfikacja stref systemu dystrybucji wody według wskaźników strat wody i awaryjności sieci, INSTAL, 7-8(342), 64-68
196. Zimoch I., Szymura E., 2015, Ocena ryzyka zdrowotnego w efekcie zmian stabilności mikrobiologicznej wody w systemie dystrybucji, Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 1, 19-23
197. Zimoch I., Wieczysty A.: Analiza porównawcza metod określania niezawodności , stacji uzdatniania wody na przykładzie Dobczyc. Monografie KIS PAN, vol. 2, Kraków 2001, s. 259-282
198. Zimoch I., Zintegrowana metoda analizy niezawodności funkcjonowania i bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. Politechnika Śląska, 2011
199. Zimoch I., Żaba T.: Metody oceny niezawodności funkcjonowania dystrybucji wody. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód”, t. II, PZiTS o/Wielkopolski, Poznań 2004, s. 763-776
200. Zimoch I.: Ocena niezawodności technologicznej funkcjonowania zakładu uzdatniania wody w Dobczycach. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” PZiTS o/Wielkopolski, Gdańsk 2002, s. 545-556
201. Zimoch I.: Ocena niezawodności technologicznej funkcjonowania zakładu uzdatniania wody w Dobczycach. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód” PZiTS o/Wielkopolski, Gdańsk 2002, s. 545-556
202. Zimoch I.: The water distribution subsystem failures affects on Krakow's Water Supply System. Proceedings 9th International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering. Ottenstein 2005, p. 351-360
203. Zimoch I.: Zmiany wybranych wskaźników jakości wody w systemie dystrybucji Krakowa., Materiały Ogólnopolskiej Konferencji. Naukowo-Technicznej „Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody”, Wydawnictwo Politechnika Śląska, Szczyrk 2005, s. 423 – 436
204. Zimoch I: Sprawozdanie z Projektu Badawczego Nr 5 T07E 044 25, Opracowanie modelu niezawodności funkcjonowania systemu zaopatrzenia w wodę (SZW) w aspekcie wtórnego zanieczyszczenia wody w sieci wodociągowej. Gliwice 2007
205. Zuber T., Obrona przed bronią masowego rażenia w aspekcie zagrożenia superterroryzmem, w: Katastrofy naturalne i cywilizacyjne. Zagrożenia Początku XXI w. Wrocław 2007. ISBN 978-83-87384-04-3

11. Spis tabel

1. Tabela 2.1. Podstawowe parametry niezawodności eksploatacji SZW
2. Tabela 2.2 Klasyfikacja intensywności uszkodzeń przewodów wodociągowych
3. Tabela 2.3. Przykładowe ataki terrorystyczne
4. Tabela 2.4. Dwuparametryczna macryca ryzyka
5. Tabela 2.5. Trójparametryczna macryca ryzyka
6. Tabela 2.6. Kategoryzacja ryzyka w skali pięciostopniowej
7. Tabela 2.7. Kategoryzacja ryzyka dla czteroparametrycznej macrycy uwzględniającej system barier ochronnych
8. Tabela 2.8. Zestawienie korzyści z wdrażania systemów zarządzania ryzykiem w SZW
9. Tabela 2.9. Przydatności wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi wydawane przez organy PIS
10. Tabela 4.1. Warunki kategoryzacji prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenie niepożądanego PsUjW wraz z przyporządkowaniem wartości wagi
11. Tabela 4.2. Warunki kategoryzacji skutków wystąpienia zdarzenie niepożądanego w PsUjW wraz z przyporządkowaniem wartości wagi
12. Tabela 4.3. Dwuparametryczna macryca wyznaczania wartości ryzyka zdarzenie niepożądanego w PsUjW
13. Tabela 4.4. Wstępna ocena ryzyka PsUjW wraz z rekomendacją dotyczącą kierunku racjonalizacji system badań i ewaluacji ryzyka
14. Tabela 4.5. Klasyfikacja stanów jakości wody badań parametrów jakości wody
15. Tabela 4.6. Proponowane działania przyporządkowane do ścieżki ETA dla PsUjW PsUzW i PsDyW
16. Tabela 4.7. Proponowane działania przyporządkowane do ścieżki ETA dla PsUzW i PsDyW
17. Tabela 4.8. Klasyfikacja stopnia akceptacji P(ETA)
18. Tabela 4.9 Rozkład wartości stężenia chloru wolnego jednostkowego pomiaru wraz z przyporządkowaną wartością wagi
19. Tabela 4.10. Klasyfikacja ZM_i wraz z przyporządkowaniem wagi $W(ZM_i)_p$ w p -tym punkcie monitoringowym
20. Tabela 4.11. Kategoryzacja wieku wody W_n w punktach pomiarowych wraz z przyporządkowaniem wartości wagi $W(W_n)$
21. Tabela 4.12. Wartość wskaźnika GWW_i dla podstawowego okresu badawczego wraz z przyporządkowaną wartością wagi $W(GWW_i)_p$
22. Tabela 4.13. Klasyfikacja stanów $W(WSBMW_i)_p$ w podstawowym okresie badawczym
23. Tabela 4.14. Trójparametryczna macryca zmienności stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody $SI_{BMW(p)}$
24. Tabela 4.15. Trójstopniowa klasyfikacja stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody
25. Tabela 4.16. Klasyfikacja $W(UPZ(p))$ udziału procentowego zasilania lokalnych systemów wodociągowych przez dostawcę w całkowitym zapotrzebowaniu na wodę danego regionu wraz z przyporządkowaniem wagi
26. Tabela 4.17. Dwuparametryczna macryca $PR_{UBMW(p)}$
27. Tabela 4.18. Wstępna ocena ryzyka narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnej mikrobiologicznie jakości wody wraz z rekomendacją dotyczącą ewaluacji ryzyka

28. Tabela 4.19. Podział Δ_r na klasy wraz z przyporządkowaniem wartości wskaźnika $W(\Delta_r)$.
29. Tabela 4.20. Klasyfikacja wskaźnika $W(S_r)$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi.
30. Tabela 4.21. Klasyfikacja wskaźnika $W(F_r)$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi
31. Tabela 4.22. Dwuparametryczna matryca wyznaczenia ZO_r
32. Tabela 4.23. Klasyfikacja wskaźnika $W(ZO_r)$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi
33. Tabela 4.24. Klasyfikacja wskaźnika $W(U_r)$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi
34. Tabela 4.25. Klasyfikacja wskaźnika $W(Z_{(r)})$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi.
35. Tabela 4.26 Trójparametryczna matryca wyznaczenia wartości skutku wystąpienia awarii przewodu wodociągowego
36. Tabela 4.27. Kwantyfikacja $W(C_r)$ wraz z przyporządkowaniem wartości wagi
37. Tabela 4.28. Dwuparametryczna matryca ryzyka awarii przewodu wodociągowego
38. Tabela 4.29. Wstępna ocena ryzyka uszkodzalności przewodu wodociągowego wraz z kierunkiem ewaluacji ryzyka
39. Tabela 4.30. Klasyfikacja wraz przyporządkowaniem wagi $W(JW_r)$.
40. Tabela 4.31. Kategoryzacja czasu usuwania awarii T_r wraz z wartością wagi $W(T_r)$.
41. Tabela 4.32. Klasyfikacja elementów wskaźnika zawodności technicznej funkcji wyznaczania wskaźnika zawodności technicznej
42. Tabela: 4.34. Klasyfikacja $W(ZT_r)$ wraz z przyporządkowaną wartością wagi
43. Tabela 4.35. Czteroparametryczna matryca kwantyfikacji skutków wystąpienia awarii przewodu wodociągowego.
44. Tabela 4.36. Kwantyfikacja $W(C_r)$ wraz z przyporządkowaniem wartości wagi
45. Tabela 4.37. Dwuparametryczna matryca ryzyka awarii przewodu wodociągowego
46. Tabela 4.38. Wstępna ocena ryzyka zagrożeń zdarzenia awaria przewodu wodociągowego wraz z kierunkiem działań ewaluacji ryzyka
47. Tabela 4.39. Klasyfikacja prawdopodobieństwa wystąpienia *i-tego* zdarzenia ingerencji zewnętrznej w elemencie SZW
48. Tabela. 4.40 Klasyfikacja WD_j wraz z przyporządkowaniem wagi $W(WD_j)$.
49. Tabela 4.41. Klasyfikacja czasu detekcji wraz z przyporządkowaniem wartości wagi
50. Tabela 4.42. Trójparametryczna matryca oceny skutków wystąpienia zdarzenia ingerencji osób trzecich.
51. Tabela 4.43. Rozkład klas $W(CIZ_j)$ wraz z przyporządkowanymi wartościami wagi
52. Tabela 4.44. Dwuparametryczna matryca ryzyka ingerencji osób trzecich na ingerencje infrastruktury SZW
53. Tabela 4.45. Wstępna ocena ryzyka ingerencji osób trzecich wraz z kierunkiem działań ewaluacji ryzyka.
54. Tabela 5.1. Wielkość produkcji wody wraz z udziałem w SZW
55. Tabela 5.2. Struktura materiałowa sieci wodociągowej w latach 2022-2023 r.
56. Tabela 5.3. Wykaz Sieciowych Zbiorników Wyrównawczych eksploatowanych w SZW GPW S.A.

57. Tabela 5.4. Charakterystyka punktów planowej kontroli jakości wody w strefie SUW Czaniec – SZbW Mikołów
58. Tabela 6.1. Identyfikacja zdarzeń niepożądanych wraz wyznaczeniem klasy ryzyka
59. Tabela 6.2. Podział na klasy parametrów fizykochemicznych w punkcie poboru wody ze środowiska dla Stacji Uzdatniania Wody Czaniec w Kobiernicach
60. Tabela 6.3 Podział na klasy parametrów fizykochemicznych w punkcie wtłoczenia wody do sieci ze Stacji Uzdatniania Wody Czaniec w Kobiernicach
61. Tabela 6.4. Podział na klasy parametrów fizykochemicznych w strefie zasilania Stacji Uzdatniania Wody Czaniec w Kobiernicach
62. Tabela 6.5. Analiza ETA parametru dla parametrów, których wszystkie
63. Tabela 6.6. Analiza ETA parametru żelazo
64. Tabela 6.7. Analiza ETA parametru mangan
65. Tabela 6.8. Analiza ETA parametru OWO
66. Tabela 6.9. Analiza ETA parametru glin – z wyłączeniem podsystemu ujmowania wody (wykonano dla ścieżek ETA 1-6)
67. Tabela 6.10. Analiza ETA parametru chloroform – z wyłączeniem podsystemu ujmowania wody (wykonano dla ścieżek ETA 1-6)
68. Tabela 6.11. Analiza ETA parametru bromodichlorometan – z wyłączeniem podsystemu ujmowania wody (dla ścieżek ETA 1-6)
69. Tabela 6.12. Analiza ETA parametru \sum THM– z wyłączeniem podsystemu ujmowania wody (wykonano dla ścieżek ETA 1-6)
70. Tabela 6.14. Analiza ETA parametru mętność
71. Tabela 6.15. Statystyka opisowa wartości prawdopodobieństwa efektu ścieżki ETA
72. Tabela 6.16. Testowanie hipotezy H_0 zgodności rozkładu $P(ETA)$ z rozkładem normalnym w analizowanym horyzoncie czasowym
73. Tabela 6.17. Klasyfikacja stanów bezpieczeństwa mikrobiologicznego wody w strefie SUW Czaniec - SZbW Mikołów w analizowanym horyzoncie czasowym
74. Tabela 6.18. Klasyfikacja ryzyka $PR_{UBMW(p)}$ w strefie SUW Czaniec - SZbW Mikołów w analizowanym horyzoncie czasowym
75. Tabela 6.19. Ilość awarii w wydzielonym obszarze PsDyW w horyzoncie czasowym 2022-2023 wraz z wskaźnikiem intensywności uszkodzeń
76. Tabela 6.20. Zestawienie skutków wystąpienia awarii przewodu wodociągowego w analizowanym horyzoncie czasowym
77. Tabela 6.21 Ocena ryzyka utraty zawodności przewodów wodociągowych w wydzielonego obszarze badawczym
78. Tabela 4.22 Charakterystyka zdarzeń utraty zawodności analizowanych przewodów wodociągowych w 2022 r.
79. Tabela 4.23. Klasyfikacja skutków wystąpienia zdarzenia utraty zawodności przewodów wodociągowych.
80. Tabela 4.24. Ocena ryzyka utraty zawodności badanych przewodów wodociągowych w analizowanym horyzoncie czasowym.
81. Tabela 6.25. Statystyki opisowe WD_j
82. Tabela 6.26. Test K-S hipotezy H_0 zgodności rozkładu $P(ETA)$ z rozkładem normalnym w analizowanym horyzoncie czasowym
83. Tabela 6.27. Kwantyfikacja skutków wystąpienia zdarzenia ingerencji zewnętrznej dotyczącej podsystemu produkcji wody

84. Tabela 6.28 Klasyfikacja ryzyka i wartość ryzyka narażenia populacji na dostęp do wody o niepewnej jakości na skutek ingerencji zewnętrznej w podsystem produkcji wody
85. Tabela 6.29 Rankingowanie ryzyk wyznaczonych w modułach 1-5

12. Spis rycin

1. Rys. 2.1. Struktura integralności komponentów systemu zaopatrzenia w wodę
2. Rys. 2.2. Struktura wodociągów w 2022 r.
3. Rys. 2.3. Rozkład ryzyk w odniesieniu dla zasady ALARP
4. Rys.2.4. Schemat procesu zarządzania ryzykiem w SZW
5. Rys 4.1. Algorytm zarządzania ryzykiem dostaw wody
6. Rys 4.2. Operacja przecięcia przestrzennego
7. Ryc. 4.3. Analiza drzewa zdarzeń
8. Ryc. 5.1. Obszar funkcjonowania GPW S.A.
9. Ryc. 5.2. Struktura systemów IT w GPW S.A.
10. Ryc. 5.3. Wydzielony jednostkowy obszar SZW – strefa SUW Czaniec – SZbW Mikołów
11. Ryc. 6.1. Rozkład P(ETA) w analizowanym horyzoncie czasowy
12. Ryc. 6.2. Dystrybuanta rozkład P(ETA) w analizowanym horyzoncie czasowy
13. Rys 6.3. przestrzenny rozkład stanów bezpieczeństwo mikrobiologicznego wody w strefie SUW Czaniec - SZbW Mikołów
14. Rys 6.4. przestrzenny rozkład stanów bezpieczeństwo mikrobiologicznego wody w strefie SUW Czaniec - SZbW Mikołów
15. Ryc. 6.5. Rozkład wartości wskaźnika WDJ w analizowanym horyzoncie czasowym
16. Ryc. 6.6. Dystrybuanta rozkładu wartości wskaźnika WDJ w analizowanym horyzoncie czasowym

13. Streszczenie w języku polskim

Zadaniem dostawcy jest dostawa wody w odpowiedniej ilości, pod odpowiednim ciśnieniem oraz odpowiedniej jakości. Dyrektywa 2020/2184 wprowadziła obowiązek zarządzania ryzykiem dostaw wody w cały łańcuchu dostaw od obszaru zasilania punktu poboru wody ze środowiska do kranu u konsumenta. Dostarczana woda ma być tak bezpieczna jak to tylko możliwe. Ocena stanu bezpieczeństwa wody jest kluczowym elementem i powinna być oparta na szerokim zakresie informacji a nie tylko badaniach jakości wody. Podejmowane dotychczas badania oceną stanu bezpieczeństwa wody nie uwzględniają wieloaspektowości zagadnienia. Stan taki stworzył możliwości proponowania nowych metodyk badawczych wspomagających wykonanie oceny bezpieczeństwa wody.

W pracy badawczej zaproponowano algorytm zarządzania ryzykiem dostaw wody w podnoszenie efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa wodociągowego. Budowa procedur i modułów w dysertacji obejmowała wykorzystanie różnych źródeł danych, narzędzi statystycznych oraz geograficznych systemów informacyjnych do budowy proponowanych modułów oceny ryzyka. Proponowany model badawczy może być wykorzystywany w stosowanych planach bezpieczeństwa wody jako element związany z oceną ryzyka, kontrolą ryzyka oraz weryfikacją procesu zarządzania ryzykiem dostaw wody. Wynikiem proponowanego modelu badawczego jest propozycja priorytetyzacji kierunków funkcjonowania przedsiębiorstwa wodociągowego. Proponowana metodyka została zweryfikowana dla rzeczywistych warunków eksploatacji systemu zaopatrzenia.

14. Streszczenie w języku angielskim

The water supplier's task is to deliver water in the appropriate quantity, at the correct pressure, and of the proper quality. Directive 2020/2184 introduced the obligation to manage water supply risks throughout the entire supply chain, from the area of the water supply point from the environment, all the way to the consumer's tap. The water supplied must be as safe as possible. Assessing the safety of water is a key element and should be based on a broad range of information, not just water quality tests. The research undertaken so far to assess the state of water safety does not consider the multi-aspect nature of the issue. This situation has created opportunities to propose new research methodologies supporting the assessment of water safety.

The research work proposes an algorithm for managing water supply risk in improving the efficiency of the water supply company. The construction of procedures and modules in the dissertation included the use of various data sources, statistical tools and geographic information systems to build the proposed risk assessment modules. The proposed research model can be used in applied water safety plans as an element related to risk assessment, risk control and verification of the water supply risk management process. The result of the proposed research model is a proposal for prioritization of the directions of operation of a water supply company. The proposed methodology has been verified for the actual operating conditions of the supply system.