

Strefy ochronne ujęć wód podziemnych – analiza ryzyka i projektowanie

PORADNIK METODYCZNY

CZĘŚĆ 1

**Analiza ryzyka dla ustanowienia
stref ochronnych ujęć wód podziemnych**



Strefy ochronne ujęć wód podziemnych – analiza ryzyka i projektowanie

PORADNIK METODYCZNY

CZĘŚĆ 1

**Analiza ryzyka dla ustanowienia
stref ochronnych ujęć wód podziemnych**



**Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy**

Warszawa 2022

Redakcja naukowa:

Mirosław LIDZBARSKI

Zespół autorski:

Mariusz CZOP¹, Piotr HERBICH², Rafał JANICA², Mirosław LIDZBARSKI²,
Barbara MULIK, Grzegorz NIKIEL, Jan PRAŻAK², Andrzej RODZUCH,
Stanisław STAŚKO³, Małgorzata WOŹNICKA², Izabela ZIMUCH⁴

¹ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

² Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

³ Uniwersytet Wrocławski

⁴ Politechnika Śląska

Projekt okładki: Łukasz BORKOWSKI

Zdjęcie na okładce: Wirestock (www.freepik.com)

Redakcja i opracowanie typograficzne:

Agnieszka BYLINIAK, Ewelina LEŚNIAK

Akceptował do druku dnia 14.12.2022 r.

Dyrektor Państwowego Instytutu Geologicznego

– Państwowego Instytutu Badawczego

dr inż. Mateusz DAMRAT

ISBN 978-83-67567-31-2

© Copyright by Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2022

Adres redakcji:

Dział Wydawnictw

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; tel. 48 22 459 2480

Nakład: 400 egz.

Druk i oprawa: Drukarnia Braci Grodzickich S.J., ul. Geodetów 47a, 05-500 Piaseczno

SPIS TREŚCI

1. Informacje wstępne, cel pracy (<i>M. Woźnicka, M. Lidzbarski</i>)	5
2. Podstawy formalne i prawne wykonywania analizy ryzyka	8
2.1. Ocena i zarządzanie ryzykiem w przepisach UE dotyczących zaopatrzenia w wodę (<i>B. Mulik, I. Zimoch</i>)	8
2.2. Rola analizy ryzyka w procesie wyznaczania i ustanawiania stref ochronnych ujęć wód podziemnych w Polsce (<i>A. Rodzoch</i>)	11
2.3. Ocena zagrożeń zdrowotnych z uwzględnieniem czynników negatywnie wpływających na jakość ujmowanej wody (<i>B. Mulik, I. Zimoch</i>)	15
3. Metody wykonywania analizy ryzyka oraz etapy prac	16
3.1. Przegląd metod i technik wykonywania analizy ryzyka (<i>M. Lidzbarski</i>)	16
3.2. Terminy związane z oceną i analizą ryzyka (<i>M. Lidzbarski</i>)	19
3.3. Etapy prac w procesie zarządzania ryzykiem (<i>M. Lidzbarski, J. Prażak</i>)	20
3.4. Opis ujęcia wód podziemnych oraz warunków hydrogeologicznych (<i>M. Lidzbarski, J. Prażak</i>)	20
3.5. Identyfikacja zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych (<i>M. Lidzbarski, J. Prażak</i>)	22
3.6. Analiza ryzyka na podstawie matrycy trójparymetrycznej (<i>M. Lidzbarski, G. Nikiel, A. Rodzoch</i>)	24
3.6.1. Szacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia (<i>P</i>) – częstotliwość	29
3.6.2. Ocena dotkliwości następstw zagrożeń (<i>D</i>)	30
3.6.3. Ocena podatności wód podziemnych na zagrożenie wyrażone czasem dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do studni ujęcia wody (<i>V</i>)	35
3.7. Metody modelowania numerycznego w analizie ryzyka dla ujęć wód podziemnych (<i>M. Czop</i>)	42
4. Ewaluacja ryzyka (<i>M. Lidzbarski</i>)	47
5. Ocena końcowa, postępowanie z ryzykiem, wnioski i zalecenia (<i>A. Rodzoch, M. Lidzbarski</i>)	48
6. Zawartość opracowania, załączniki tekstowe i graficzne (<i>A. Rodzoch, M. Lidzbarski, G. Nikiel</i>)	50
7. Procedury postępowania przy wykonywaniu analizy ryzyka (<i>M. Lidzbarski</i>)	54
8. Przykład analizy ryzyka z zastosowaniem matrycy trójparymetrycznej (<i>M. Lidzbarski, R. Janica, J. Prażak</i>)	56

9. Wskazania dotyczące uwzględnienia specyfiki ujęć w procedurze opracowania analizy ryzyka	64
9.1. Ujęcia źródeł i źródlisk (<i>S. Staśko</i>)	64
9.2. Ujęcia galeriowe, kopalnianie i sztolnie (<i>S. Staśko</i>)	65
9.3. Ujęcia drenażowe (<i>M. Lidzbarski</i>)	66
9.4. Ujęcia infiltracyjne i brzegowe (<i>M. Lidzbarski</i>)	67
9.5. Wskazania do oceny ilości wód powierzchniowych <i>IP</i> infiltrujących do warstwy wodonośnej na obszarze spływu wód podziemnych do ujęcia oraz ich udziału <i>ipq</i> w poborze wód <i>QU</i> (<i>P. Herbich</i>)	68
9.6. Ujęcia o sezonowo zmiennym poborze wód (<i>P. Herbich</i>)	70
9.7. Ujęcia zagrożone skutkami powodzi oraz zmianami klimatu (<i>M. Lidzbarski</i>)	70
9.8. Ujęcia zagrożone ingresją wód morskich lub ascenzją wód zmineralizowanych (<i>M. Lidzbarski</i>)	71
9.9. Wskazania do oceny wpływu porowatości aktywnej i rodzaju wodoprzepuszczalności utworów ujętego poziomu wodonośnego ze szczególnym uwzględnieniem skał szczelinowych (<i>P. Herbich</i>)	71
10. Podsumowanie (<i>M. Woźnicka, M. Lidzbarski</i>)	73
Literatura	74
Wykaz rysunków i tabel	80
Wykaz skrótów i oznaczeń parametrów stosowanych w poradniku	82

1. INFORMACJE WSTĘPNE, CEL PRACY

Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (PW) (Dz.U. 2017 poz. 1566) wprowadziła nie tylko nowe uregulowania w zakresie ustanawiania stref ochronnych ujęć wód, lecz także nałożyła m.in. obowiązek wykonania analizy ryzyka (AR) dla ujęć wód podziemnych i powierzchniowych oraz przekazania jej do właściwego wojewody. Dotyczy to zarówno właścicieli ujęć wody realizujących zadania w zakresie zbiorowego zaopatrzenia w wodę, jak i właścicieli indywidualnych, jeżeli woda dostarczana jest jako woda przeznaczona do spożycia przez ludzi w ramach działalności handlowej, usługowej, przemysłowej albo do budynków użyteczności publicznej. Analiza ryzyka powinna być dołączana do wniosku właściciela ujęcia o ustanowienie strefy ochronnej. Może ona także stanowić podstawę do podjęcia decyzji o ustanowieniu strefy ochronnej ujęcia z urzędu przez wojewodę, przy czym w takim przypadku konieczne jest dołączenie dokumentacji hydrogeologicznej, w której na podstawie kryteriów hydrogeologicznych wyznaczono teren ochrony pośredniej (TOP), zgodnie z §6 ust. 2 i 4 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033).

Analiza ryzyka ma uzasadniać ewentualną potrzebę ustanowienia TOP, o zasięgu ustalonym w zależności od warunków hydrogeologicznych i panujących na obszarze spływu wód podziemnych do ujęcia. Zgodnie z art. 551 ustawy PW oraz Ustawy z dnia 14 maja 2020 r. o zmianie niektórych ustaw w zakresie działań osłonowych w związku z rozprzestrzenianiem się wirusa SARS-CoV-2 (Dz.U. 2020 poz. 875) na właścicielu ujęcia spoczywa konieczność przeprowadzenia takiej analizy dla ujęcia wody w terminie do 1 stycznia 2023 r. Wyznaczenie natomiast terenu ochrony bezpośredniej (TOB) ustawodawca powierzył właściwym terytorialnie organom Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie (PGWWP).

Unormowania wynikające z ustawy PW, dotyczące analizy ryzyka oraz ustanawiania stref ochronnych ujęć wód podziemnych, charakteryzują się wysokim stopniem ogólności. Brak precyzyjnych uregulowań prawnych, zwłaszcza dotyczących roli i znaczenia analizy ryzyka w procedurze wyznaczania i ustanawiania stref ochronnych ujęć wody, utrudnia właściwą wykładnię przepisów ustawy. Różna jest interpretacja roli analizy ryzyka w procedurze ustanawiania stref ochronnych oraz jej pozycji i znaczenia w stosunku do dokumentacji hydrogeologicznej, ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia. Stosuje się różnorodne założenia metodyczne, nie zawsze adekwatne do rozpatrywanych zagadnień. Czasami pojawiają się oczekiwania, żeby w ramach analizy ryzyka była wyznaczona strefa ochronna. Zgodnie jednak z obowiązującym prawem może być ona wyznaczona tylko w ramach dokumentacji hydrogeologicznej przygotowanej zgodnie z wymaganiami ww. rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. (Dz.U. 2016 poz. 2033).

Institucje odpowiedzialne za eksploatację ujęć, jak również organy odpowiedzialne za ustanawianie stref ochronnych (województwie), niejednokrotnie wskazywały na konieczność opracowania jednolitych i powszechnie obowiązujących wytycznych do wykonywania

oraz opiniowania analiz ryzyka dla ujęć wód podziemnych. Wychodząc naprzeciw tym oczekiwaniom, PGWPP powierzyło państwowej służbie hydrogeologicznej opracowanie poradnika metodycznego pt. „Strefy ochronne ujęć wód podziemnych – analiza ryzyka i projektowanie”:

- cz. 1 – „Analiza ryzyka dla ustanowienia stref ochronnych ujęć wód podziemnych”;
- cz. 2 – „Metodyka wyznaczania stref ochronnych ujęć wód podziemnych”.

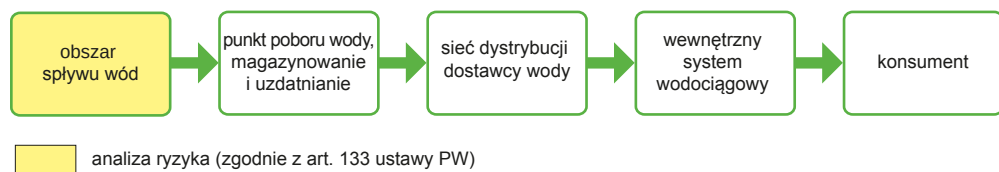
Głównym celem pierwszej części poradnika jest podanie wytycznych do wykonania analizy ryzyka, obejmującej ocenę zagrożeń dla jakości wód podziemnych ujmowanych w celu zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia i zaopatrzenia zakładów wymagających wody wysokiej jakości. Poradnik jest adresowany zarówno do właścicieli ujęć wód podziemnych, jak też do hydrogeologów sporządzających analizę ryzyka oraz projekty stref ochronnych ujęcia położonego w różnych regionach hydrogeologicznych i jednostkach administracyjnych. Powinien być także pomocny organom właściwym do przyjmowania i zatwierdzania dokumentów oraz wydającym decyzje w procesie ustanawiania stref ochronnych ujęć (województwa).

Podczas realizacji poradnika autorzy korzystali zarówno z własnej wiedzy i doświadczeń, jak i liczego grona współpracowników, którzy w ostatnim czasie wykonywali analizę ryzyka, a w niektórych przypadkach także na tej podstawie projektowali lub weryfikowali strefy ochronne ujęć wód podziemnych.

Analiza ryzyka stanowi wstępne opracowanie w procesie wyznaczania i ustanawiania strefy ochronnej dla ujęcia. Obejmuje ocenę zagrożeń istniejących lub potencjalnych, zidentyfikowanych na obszarze spływu wody do ujęcia (OSW). Jest zatem pierwszym elementem w łańcuchu dostaw wody do spożycia od ujęcia do konsumenta (rys. 1).

Skutkiem wykonania analizy ryzyka jest wykazanie konieczności lub braku potrzeby wyznaczenia TOP. W pierwszym przypadku należy wskazać najistotniejsze zdarzenia niebezpieczne i związane z nimi zagrożenia oraz określić odpowiednie środki bezpieczeństwa (kontroli), w tym zalecenia dotyczące monitoringu wód. Zalecenie o potrzebie wyznaczenia TOP należy zrealizować wyłącznie w ramach dokumentacji hydrogeologicznej, mimo niespójności legislacyjnej między PW (art. 133.3 – *strefę ochronną obejmującą teren ochrony bezpośredniej i teren ochrony pośredniej ustanawia się na podstawie analizy ryzyka*) a Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033, § 6.1. *Część opisowa dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych zawiera... 10) analizę potrzeby ustanowienia strefy ochronnej ujęcia wód podziemnych oraz szczegółowe zalecenia i zasady opracowania dokumentacji hydrogeologicznej wskazane w § 6.2 i § 6.4*).

Analiza ryzyka jest powiązana z oceną ryzyka w systemach zaopatrzenia w wodę oraz nawiązuje do Planów Bezpieczeństwa Wody (PBW), o których mówi Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spo-



Rys. 1. Przebieg procesu dostawy i dystrybucji wody do konsumentów

życia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294). Na zależność tych procesów wskazują autorzy opracowania „Woda przeznaczona do spożycia przez ludzi. Kompendium” (Kamińska, Strzemieczna, 2018): *Mając na uwadze fakt, iż wskazana powyżej norma PN-EN 15975-2 odnosi się do procesów zarządzania ryzykiem, które koncentrują się na wszystkich elementach łańcucha dostaw wody (ochrona źródeł wody, pobór wody, jej uzdatnianie, magazynowanie, dystrybucja), zasadnym jest w pierwszej kolejności pozyskanie wyników analizy ryzyka, odnoszących się do konieczności ustanawiania stref ochronnych obejmujących teren ochrony pośredniej ujęć wody. Realizacja tego obowiązku będzie stanowiła bez wątpienia duży merytoryczny wkład dla późniejszej finalizacji wdrożenia normy PN-EN 15975-2.* W takim rozumieniu analiza ryzyka powinna być wykorzystywana do oceny zagrożeń, które wynikają z presji antropogenicznych na obszarze TOP. Mogą one obejmować istniejące i potencjalne ogniska zanieczyszczeń (zagrożenia jakości) oraz zubożenia zasobów wód podziemnych (zagrożenia ilości).

Wyniki AR powinny także ułatwić wprowadzenie efektywnych i adekwatnych do zagrożenia działań w celu ograniczenia antropopresji na jakość eksploatowanych wód oraz stanowić podstawę do racjonalnej eksploatacji ujęcia i prowadzenia monitoringu.

Ważną rolę, jaką odgrywa ocena ryzyka i zarządzanie ryzykiem w procesie zapewnienia bezpieczeństwa wody, podkreśla Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U.UE L z dnia 23 grudnia 2020 r.). Szczególną uwagę zwraca na zagrożenia i źródła zanieczyszczeń, które mogą obniżyć jakość wód ujmowanych na ujęciu oraz na prowadzenie monitoringu. Wskazuje niezbędne elementy, które powinna zawierać analiza ryzyka.

Poradnik „Analiza ryzyka dla ustanowienia stref ochronnych ujęć wód podziemnych” jest podzielony na trzy części. W pierwszej zaprezentowano zagadnienia metodyczne i praktyczne, istotne przy wykonywaniu AR. Przedstawiono podstawy formalne i merytoryczne związane z AR. Scharakteryzowano regulacje europejskie i krajowe w tym zakresie. Omówiono zagrożenia zdrowotne z uwzględnieniem czynników negatywnie wpływających na jakość ujmowanej wody. W drugiej, zasadniczej części zaproponowano etapy prac oraz zarekomendowano metody przydatne podczas ustalania poziomu ryzyka. Scharakteryzowano sposób ewaluacji ryzyka oraz sformułowania końcowej oceny zagrożeń i konieczności wyznaczenia TOP. Zaproponowano spis treści typowego opracowania AR oraz procedury postępowania przy jej wykonywaniu. Na wybranym przykładzie opisano sposób wykonania AR wraz z ewaluacją i oceną końcową. Trzecia część poradnika zawiera natomiast wskazania dotyczące uwzględnienia specyfiki ujęć w procedurze analizowania i oceny ryzyka.

Do opracowania dołączono dwa wykazy:

- 1) rysunków i tabel (str. 80);
- 2) skrótów i oznaczeń parametrów stosowanych w poradniku (str. 82).

Zestawiono także literaturę.

Poradnik należy traktować jako źródło informacji oraz propozycji metodycznych, które mogą być przydatne podczas wykonywania AR. Należy przy tym uwzględnić warunki hydrogeologiczne, stopień ich rozpoznania oraz specyfikę ujęcia i rodzaj zagrożeń.

2. PODSTAWY FORMALNE I PRAWNE WYKONYWANIA ANALIZY RYZYKA

2.1. Ocena i zarządzanie ryzykiem w przepisach UE dotyczących zaopatrzenia w wodę

Analiza ryzyka, która jest wymagana przez PW, wpisuje się w politykę europejską w zakresie ochrony zasobów wodnych przeznaczonych do zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia. Aspekty związane z oceną ryzyka i zarządzaniem ryzykiem Komisja Europejska ujęła w dyrektywie nr 2015/1787, zmieniając dyrektywę 98/83/WE (zwaną w skrócie DWD – *Drinking Water Directive*). W preambule znalazły się punkty, określające zakres proponowanych zmian:

(4) Od 2004 r. Światowa Organizacja Zdrowia wdraża podejście polegające na opracowaniu planu bezpieczeństwa dostaw wody i oparte na zasadach oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem, określonych w Wytycznych na temat jakości wody pitnej. Te wytyczne, wraz z normą EN 15975-2 dotyczącą ochrony dostaw wody pitnej, stanowią uznane na poziomie międzynarodowym zasady, na których opierają się produkcja, dystrybucja, monitorowanie i analiza parametrów wody pitnej.

(5) Aby kontrolować ryzyko dla zdrowia człowieka, programy monitorowania powinny zapewniać odpowiednie środki w całym łańcuchu dostaw wody i uwzględniać informacje z części wód wykorzystywanych do poboru wody pitnej. Ogólne obowiązki w zakresie programów monitorowania powinny wypełniać lukę między poborem wody a jej dostawami. Na podstawie art. 6 dyrektywy 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady (3) państwa członkowskie muszą zapewnić utworzenie rejestru lub rejestrów obszarów chronionych. Tego typu obszary chronione obejmują wszystkie części wód wykorzystywane do poboru wody pitnej lub przewidziane do takich celów na mocy art. 7 ust. 1 tej dyrektywy. Wyniki monitorowania tych części wód zgodnie z art. 7 ust. 1 akapit drugi i art. 8 tej dyrektywy powinny być stosowane w celu określenia potencjalnego ryzyka dla wody pitnej przed uzdatnianiem i po nim do celów dyrektywy 98/83/WE.

Zmianie uległ także załącznik II ww. dyrektywy, zawierający zapisy istotne z punktu widzenia zarządzania ryzykiem w zaopatrzeniu w wodę. Wynika z nich, że konieczne jest przeprowadzenie oceny ryzyka w odniesieniu do poszczególnych parametrów biologicznych, chemicznych, fizycznych, radiologicznych i stanu wody, także w wodzie pobieranej na cele zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia, jako pierwszego i kluczowego ogniw w pełnym łańcuchu dostaw wody. Przeprowadzając taką ocenę, należy uwzględnić nie tylko aktualny stan, lecz także określić tendencje i przewidzieć, co może wydarzyć się w przyszłości (przyczynić się do degradacji zasobów wód naturalnych). Fakt, że zawartość określonych substancji chemicznych obecnie kształtuje się poniżej wartości parametrycznej, nie oznacza przecież, że przy stałej tendencji wzrostowej lub w szczególnych uwarunkowaniach nie pojawią się w przyszłości problemy wymagające określonych działań naprawczych (likwidacja ujęcia, dostosowanie technologii uzdatniania) lub kontrolnych (częstsze monitorowanie określonych parametrów). Tam, gdzie takie ryzyko istnieje, konieczne może być przyjęcie określonych środków bezpieczeństwa, np. wyznaczenie strefy ochronnej, w tym TOP (Parafińska i in., 2015).

Dużo dalej idące zmiany wprowadza dyrektywa z 2020 r. Rewizja dotyczy nie tylko dostosowania jej do najnowszej wiedzy naukowej z zakresu środowiskowych zagrożeń zdrowia, lecz także wprowadzenia jako obowiązkowego, prewencyjnego systemu opartego na ocenie

ryzyka w zaopatrzeniu w wodę i zarządzaniu nim. Szczególnie istotne są te fragmenty, które wprost nawiązują do podejścia bazującego na ocenie (analizie) ryzyka. Poniżej przytacza się najważniejsze zapisy w całości, ponieważ mają ważne znaczenie dla zakresu wykonywania analizy ryzyka, zgodnie z PW.

Artykuł 7

Podejście do bezpieczeństwa wody oparte na ryzyku

1. Państwa członkowskie zapewniają, aby wobec zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi, jej uzdatniania i dystrybucji stosowano podejście oparte na ryzyku obejmujące cały łańcuch dostaw w obszarze zasilania, poboru, uzdatniania, magazynowania i dystrybucji wody do punktu zgodności określonego w art. 6.

Podejście oparte na ryzyku obejmuje następujące elementy:

- a) ocena ryzyka i zarządzanie ryzykiem w obszarze zasilania dla punktów poboru wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi zgodnie z art. 8;
- b) ocena ryzyka i zarządzanie ryzykiem w każdym systemie zaopatrzenia w wodę obejmujące pobór, uzdatnianie, magazynowanie i dystrybucję wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi do punktu dostawy, przeprowadzane przez dostawców wody zgodnie z art. 9; oraz
- c) ocena ryzyka w wewnętrznych systemach wodociągowych zgodnie z art. 10.

...

Artykuł 8

Ocena ryzyka i zarządzanie ryzykiem w obszarach zasilania dla punktów poboru wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi

1. Bez uszczerbku dla art. 4–8 dyrektywy 2000/60/WE, państwa członkowskie zapewniają, aby przeprowadzane były ocena ryzyka i zarządzanie ryzykiem w obszarach zasilania dla punktów poboru wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

2. Państwa członkowskie zapewniają, aby ocena ryzyka obejmowała następujące elementy:

- a) charakterystyka obszarów zasilania dla punktów poboru wody obejmująca:
 - i) oznaczenie i identyfikację obszarów zasilania dla punktów poboru wody;
 - ii) mapowanie stref ochronnych, w przypadkach gdy strefy te zostały ustanowione zgodnie z art. 7 ust. 3 dyrektywy 2000/60/WE;
 - iii) współrzędne geograficzne wszystkich punktów poboru wody w obszarach zasilania; ...
 - iv) opis wykorzystywania gruntów, spływu wody i procesów odnawiania w obszarach zasilania dla punktów poboru wody;
- b) identyfikacja zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych w obszarach zasilania dla punktów poboru wody oraz ocena ryzyka, jakie mogłyby one stwarzać dla jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi; w tej ocenie analizuje się potencjalne ryzyko, które mogłoby spowodować pogorszenie jakości wody w takim stopniu, że mogłaby ona stwarzać potencjalne ryzyko dla zdrowia ludzkiego;
- c) odpowiednie monitorowanie w wodach powierzchniowych lub podziemnych, lub obu, w obszarach zasilania dla punktów poboru wody, lub w wodzie surowej, odpowiednich parametrów, substancji lub substancji szkodliwych...

...

3. Na podstawie wyników oceny ryzyka przeprowadzonej zgodnie z ust. 2 państwa członkowskie zapewniają, aby – w stosownych przypadkach – zastosowane zostały następujące środki zarządzania ryzykiem w celu zapobiegania zidentyfikowanemu ryzyku lub w celu jego kontroli, począwszy od środków zapobiegawczych:

- a) zdefiniowanie i wdrożenie w obszarach zasilania dla punktów poboru środków zapobiegawczych w uzupełnieniu środków przewidzianych lub zastosowanych zgodnie z art. 11 ust. 3 lit. d) dyrektywy 2000/60/WE [...]
- b) zdefiniowanie i wdrożenie w obszarach zasilania dla punktów poboru środków łagodzących w uzupełnieniu środków przewidzianych lub zastosowanych zgodnie z art. 11 ust. 3 lit. d) dyrektywy 2000/60/WE [...]
- c) zapewnianie odpowiedniego monitorowania - w wodach powierzchniowych lub podziemnych, lub w obu, w obszarach zasilania dla punktów poboru lub w wodzie surowej – parametrów, substancji lub substancji szkodliwych ...
- d) ocena potrzeby ustanowienia lub dostosowania stref ochronnych dla wód podziemnych lub powierzchniowych, o których mowa w art. 7 ust. 3 dyrektywy 2000/60/WE, oraz wszelkich innych odpowiednich stref.

Państwa członkowskie zapewniają, aby z odpowiednią częstotliwością przeprowadzano ocenę skuteczności wszelkich środków, o których mowa w niniejszym ustępie.

Wdrożenie tej dyrektywy przyniesie wiele korzyści. Zapewni spójną ochronę zasobów wody oraz efektywne zarządzanie zasobami wodnymi przeznaczonymi na cele zaopatrzenia ludności. Z punktu widzenia PBW ochrona wód podziemnych na obszarach zasilania stanowi pierwszy ważny element działań, mających na celu zapewnienie dobrego stanu wód ujmowanych na ujęciu. Zmniejszenie zanieczyszczenia wody ogranicza liczbę procesów koniecznych do jej uzdatnienia. Może to z kolei zmniejszyć liczbę produktów ubocznych uzdatniania wody i ograniczyć koszty eksploatacyjne systemów wodociągowych (Zimoch, 2008a,b,c, 2019; Zimoch, Kuśnierski, 2016a, b, 2017; Zimoch, Paciej, 2019).

Zapewnienie właściwej ochrony wodom podziemnym na obszarach zasilania jest zbieżne z art. 7 Ramowej Dyrektywy Wodnej (RDW), który w ust. 3 stwierdza: *Państwa Członkowskie zapewniają konieczną ochronę części wód wyznaczonych w celu uniknięcia pogorszenia ich jakości, dla zredukowania poziomu uzdatniania wymaganego przy produkcji wody do spożycia. Państwa Członkowskie mogą ustalić strefy ochronne dla tych części wód.* W rozumieniu PBW strefy ochronne są środkiem bezpieczeństwa, a zakazy i nakazy powinny być uzależnione od przeprowadzonej analizy ryzyka oraz powinny uwzględniać nie tylko aspekty zdrowotne i środowiskowe, lecz także, co podkreślają wytyczne Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, 2014), aspekty ekonomiczne, czy też zrównoważonego rozwoju gospodarczego. W pierwszej kolejności należy zapobiegać zanieczyszczeniom. W szczególnych przypadkach, pomimo istnienia ryzyka pogorszenia jakości ujmowanej wody, WHO dopuszcza ze względu na specjalne potrzeby społeczeństwa (np. ochrona miejsc zatrudnienia), że TOP nie zostanie ustanowiony, a działania naprawcze dotyczące bezpieczeństwa wody ograniczą się jedynie do dostosowania technologii uzdatniania do istniejących lub potencjalnych zagrożeń.

W świetle przepisów zawartych w DWD z 2020 r. należy przyjąć następujący ciąg postępowań w procesie oceny ryzyka:

- zidentyfikowanie naturalnych oraz antropogenicznych (punktowych i obszarowych) źródeł zanieczyszczeń oraz sytuacji i zdarzeń niebezpiecznych;
- ustalenie zagrożeń (czynników lub stanu wody) i podatności wód na ich wystąpienie (obejmujące ich transport w czasie i przestrzeni);
- analizę ryzyka, czyli oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia każdego zdarzenia niebezpiecznego i dotkliwość następstw wynikających z zagrożeń, oraz ewaluacja, mająca na celu przypisanie każdemu zidentyfikowanemu ryzyku wartości umożliwiającej jego kategoryzację wraz z nadaniem odpowiedniego priorytetu.

2.2. Rola analizy ryzyka w procesie wyznaczania i ustanawiania stref ochronnych ujęć wód podziemnych w Polsce

Analiza ryzyka jest nowym i bardzo istotnym elementem w procedurze wyznaczania i ustanawiania stref ochronnych ujęć wód, wprowadzonym przepisami ustawy PW (Dz.U. 2017 poz. 1566). Jej wykonanie jest niezbędne do podjęcia decyzji o ustanowieniu TOP lub rezygnacji z niego (art. 133). Ponieważ opracowaniu temu przypisano tak duże znaczenie, niezwykle ważne jest precyzyjne zrozumienie roli tego opracowania oraz ustalenie czemu ma ono służyć i jak powinno być przygotowywane.

Analizę ryzyka wykonuje się w ramach działań mających na celu identyfikację i ocenę zagrożenia dla bezpieczeństwa zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia. Za potrzebą jej wykonania w ramach procedury wyznaczania i ustanawiania stref ochronnych przemawiają następujące argumenty:

- w warunkach wzrastającej antropopresji nie słabnie zagrożenie dla stanu ilościowego i jakościowego wód podziemnych;
- proces degradacji wód podziemnych jest z reguły długotrwały i często słabo zauważalny. Zanieczyszczone wody bardzo trudno jest przywrócić do stanu naturalnego (sprzed zanieczyszczenia), a podejmowane działania interwencyjne są z reguły mało skuteczne. Znacznie lepiej jest podjąć odpowiednio wcześnie działania eliminujące lub znacząco ograniczające możliwość zanieczyszczenia wód (działania prewencyjne);
- planowanie przestrzenne w niewystarczającym stopniu uwzględnia potrzebę ochrony zasobów wód podziemnych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia. W pierwszej kolejności uwaga samorządów, na których spoczywa odpowiedzialność w tym zakresie, powinna być nakierowana na prewencyjną ochronę obszarów zasilania ujęć wód zbiorowego zaopatrzenia ludności, czemu służy ustanawianie stref ochronnych dla ujęć wody. Brak właściwego uwzględnienia potrzeby ochrony wód podziemnych w planowaniu przestrzennym może prowadzić do wyłączenia z użytkowania zasobów wodnych o szczególnych walorach użytkowych dla zaopatrzenia ludności i do stopniowej degradacji tych wód;
- antropopresja i związane z nią niekorzystne oddziaływanie na stan wód podziemnych ze strony różnych ognisk zanieczyszczenia cechuje powolność procesu zanieczyszczenia oraz brak właściwej kontroli zagrożenia. W celu poprawnej oceny możliwych zagrożeń, na ujęciu należy prowadzić stały monitoring eksploatowanych wód (wewnętrzny i osłonowy) oraz wykonywać cykliczne oceny ryzyka zdrowotnego zgodnie z zaleceniami rozporządzenia Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia.

Zaletą sporządzenia analizy ryzyka dla ujęcia jest konieczność jej okresowej aktualizacji (czego nie ma w odniesieniu do dokumentacji hydrogeologicznej), co pozwala na podjęcie niezbędnych działań w przypadku np. planowanej zmiany sposobu zagospodarowania terenu w zasięgu OSW.

Biorąc pod uwagę charakter i cel opracowania analizy ryzyka, wymaganej ustawą PW, jako podstawę jej przygotowania należy przyjąć następujące akty prawne:

- **Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne** (t.j. Dz.U. 2018 poz. 2268 z późn. zm.).

Ustawa stanowi, że analiza ryzyka powinna 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 (art. 133 ust. 3). Z tak sformułowanego zapisu wynika, że z punktu widzenia ustawy PW, ocena zagrożeń zdrowotnych jest najważniejszym elementem opracowania analizy ryzyka.

Komentarza wymagają także dwa zapisy art. 133:

- ust. 2. *Strefę ochronną obejmującą teren ochrony bezpośredniej i teren ochrony pośredniej ustanawia się:*
 - 2) z urzędu, jeżeli właściciel ujęcia wody nie złożył wniosku, o którym mowa w pkt 1, a z przeprowadzonej analizy ryzyka, o której mowa w ust. 3, wynika potrzeba jej ustanowienia;
- ust. 3. *Strefę ochronną obejmującą teren ochrony bezpośredniej i teren ochrony pośredniej ustanawia się na podstawie analizy ryzyka.*

Oba zapisy mogą być błędnie rozumiane przez przypisanie opracowaniu analizy ryzyka roli dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych w zakresie wyznaczania strefy ochronnej. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich (Dz.U. 2016 poz. 2033), które określa dość szczegółowo zasady dotyczące wyznaczania stref ochronnych ujęć wód podziemnych (§ 6 i § 7), oraz w świetle art. 123 ustawy PW, który stanowi, że teren ochrony pośredniej ujęcia wód podziemnych wyznacza się na podstawie ustaleń zawartych w dokumentacji hydrogeologicznej tego ujęcia, wyżej przytoczone zapisy art. 133 ustawy PW należy rozumieć tak, że do ustanowienia łącznie TOP i TOB dla ujęcia wody zawsze najpierw potrzebne jest opracowanie analizy ryzyka, jako wstępnego opracowania w całej procedurze wyznaczania i ustanawiania strefy ochronnej. Podstawowym zadaniem tego opracowania jest jednoznaczne stwierdzenie, czy ustanowienie TOP dla ujęcia jest potrzebne czy też można z niego zrezygnować. W drugiej kolejności, w przypadku potrzeby ustanowienia TOP, konieczne jest wykonanie dodatku do dokumentacji hydrogeologicznej, jako właściwego opracowania ustalającego zasady i zakres wprowadzanej ochrony wód. Jeśli istniejąca dokumentacja hydrogeologiczna zawiera już zapisy dotyczące konieczności ustanowienia TOP, jego granic oraz proponowanych zasad ochrony wód, to nie ma potrzeby wykonania dodatku.

• **Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi** (Dz.U. 2017 poz. 2294)

Chociaż żaden przepis tego nie reguluje, użyte w ustawie PW terminy sugerują, że przygotowując opracowanie analizy ryzyka dla ujęcia wody powinno się wykorzystywać do tego metodologię stosowaną w analizach ryzyka i ocenach zagrożeń zdrowotnych wykonywanych w ramach przygotowywania PBW dla przedsiębiorstw wodociągowych, o których mówi ww. rozporządzenie Ministra Zdrowia. Zgodnie z zapisami tego rozporządzenia (§ 12. ust. 1), przedsiębiorstwa wodociągowo-kanalizacyjne oraz inne podmioty dostarczające lub wykorzystujące wodę pochodzącą z indywidualnego ujęcia w ramach działalności gospodarczej lub w budynkach użyteczności publicznej, budynkach zamieszkania zbiorowego lub w podmiotach działających na rynku spożywczym, wykorzystujących wodę dla mniej niż 50 osób lub mniej niż średnio 10 m³ wody na dobę, mogą przeprowadzić ocenę ryzyka. Według definicji zamieszczonej w rozporządzeniu (§ 2. ust. 8) *ocena ryzyka to proces polegający na identyfikacji zagrożeń i analizy ryzyka przeprowadzony na podstawie obowiązującej w czasie dokonywania tej oceny normy PN-EN 15975-2 „Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia – Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka – Część 2: Zarządzanie ryzykiem”*; przy opracowaniu oceny ryzyka uwzględnia się czynniki określone dla obszaru zaopatrzenia w wodę, o których mowa w § 11 pkt 1, 2 i 4–9.

To fakultatywne podejście do oceny ryzyka będzie musiało być jednak zmienione na obowiązkowe. Wynika to z konieczności wdrożenia nowelizacji dyrektywy w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (DWPS) z 2020 r.

Norma PN-EN 15975-2 jest polskim tłumaczeniem normy europejskiej EN 15975-2:2013, opracowanej w celu przygotowania i wdrażania PBW w przedsiębiorstwach wodociągowych. Posiadanie PBW nie jest w tej chwili obligatoryjne, lecz jest zalecane przez WHO, RDW, a także rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Uzupełnieniem powyższej normy jest „Podręcznik opracowania planów bezpieczeństwa wodnego. Zarządzanie ryzykiem krok po kroku – instrukcja dla dostawców wody do spożycia”, opracowany w 2009 r. przez WHO, przetłumaczony i opublikowany przez Głównego Inspektora Sanitarnego w 2012 r. (WHO, 2009). Powyższa norma definiuje system zarządzania ryzykiem, jako proces obejmujący identyfikację zagrożeń i możliwych zdarzeń niebezpiecznych oraz ocenę i kontrolę ryzyka, które może wystąpić w całym łańcuchu dostaw wody do spożycia od ujęcia do konsumenta. Ocena ryzyka obejmuje proces analizy i ewaluacji ryzyka, polegający na oszacowaniu prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niebezpiecznych i dotkliwości następstw w przypadku ich wystąpienia. Chociaż norma ta dotyczy zarządzania ryzykiem w całym łańcuchu dostawy wody do spożycia i nie jest formalnie wymagana do stosowania w analizie ryzyka wykonywanej zgodnie z wymaganiami obowiązującej ustawy PW (art. 133. ust. 3), zalecaną w niej metodologię opartą na wykorzystaniu matrycy oceny ryzyka można wykorzystać także do tego celu.

Należy podkreślić, że analiza ryzyka, przygotowywana według wymagań ustawy PW, nie jest oceną ryzyka w rozumieniu Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, którą sporządza się w ramach przygotowywania PBW dla przedsiębiorstw wodociągowych. Przygotowywana jako wstępne opracowanie w procesie wyznaczania i ustanawiania strefy ochronnej dla ujęcia, obejmuje tylko ocenę zagrożeń istniejących lub potencjalnych, zidentyfikowanych w OSW. W tym sensie może ona stanowić element oceny ryzyka wykonywanej według zaleceń wyżej wymienionego rozporządzenia Ministra Zdrowia, ale nie może być z nią utożsamiana. Ocena ryzyka wykonywana zgodnie z tym rozporządzeniem ma inny cel (służy zarządzaniu ryzykiem w całym łańcuchu dostaw wody) i podlega odrębnej procedurze administracyjnej.

- **Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej** (Dz.U. 2016 poz. 2033)

Zgodnie z art. 123. ust. 1. obowiązującej ustawy PW, teren ochrony pośredniej ujęcia wód podziemnych wyznacza się na podstawie ustaleń zawartych w dokumentacji hydrogeologicznej tego ujęcia lub dodatku do dokumentacji, w zakresie wyznaczenia TOP ujęcia wody. Dodatek podlega zatwierdzeniu przez właściwy organ administracji geologicznej. Należy go wykonać i przekazać do wojewody w przypadku, gdy z analizy ryzyka wynika konieczność ustanowienia TOP, a istniejąca dokumentacja hydrogeologiczna nie uwzględnia zapisów § 6 ust. 2 i 4 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033). Wynika z tego jednoznacznie, że dokumentacja hydrogeologiczna, ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych w zakresie wyznaczenia TOP, nie może być przygotowana w ramach sporządzania analizy ryzyka, ponieważ są to dwa odrębne opracowania.

Chociaż w AR nie wyznacza się TOP dla ujęcia, to przygotowując ją, należy jednak uwzględnić dostępne analizy i opracowania hydrogeologiczne (zgodnie z art. 133 ust. 3 ustawy PW) oraz wymagania dotyczące wyznaczania TOP ujęcia zawarte w ww. rozporządzeniu,

w tym w szczególności konieczność uwzględnienia podatności wód podziemnych ujmowanej warstwy wodonośnej na zanieczyszczenie oraz zasady metodyczne wyznaczania 25-letniego czasu dopływu wody do ujęcia, jako podstawy wyznaczenia zasięgu TOP dla ujęcia.

Zgodnie z aktualnym stanem prawnym procedura wyznaczania strefy ochronnej dla ujęcia wody podziemnej, obejmującej TOP, składa się z kilku etapów (rys. 2).

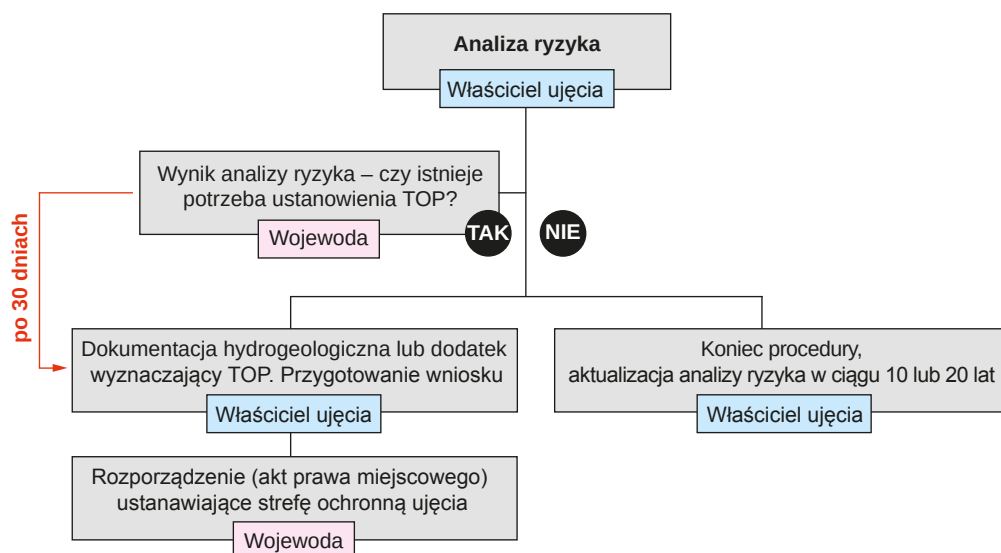
Etap I – wykonanie dla dokumentowanego ujęcia wody opracowania AR i przekazanie do właściwego terytorialnie wojewody. Opracowanie jest tylko rejestrowane i nie podlega procedurze zatwierdzania.

Etap II – opracowanie dokumentacji ustalającej TOP dla ujęcia wody. W przypadku ujęcia wód podziemnych jest to istniejąca dokumentacja hydrogeologiczna ustalająca zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych lub, jeżeli nie spełnia ona wymagań zawartych w § 6 ust. 2 i 4 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033), dodatek do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne wód podziemnych ujęcia, w zakresie ustanowienia dla niego TOP. Opracowanie to ma charakter dokumentacji hydrogeologicznej i stąd też powinno podlegać zatwierdzeniu przez właściwy organ administracji geologicznej. Jest podstawowym i najważniejszym opracowaniem w całej procedurze ustanawiania strefy ochronnej. Przygotowuje się je m.in. w przypadku, gdy z analizy ryzyka wynika konieczność wyznaczenia i ustanowienia TOP.

Etap III – przygotowanie przez właściciela ujęcia wniosku o ustanowienie strefy ochronnej dla ujęcia (łącznie TOB i TOP) i złożenie go do wojewody wraz z zatwierdzoną dokumentacją hydrogeologiczną, określającą zasięg strefy ochronnej (dodatkiem do dokumentacji).

Etap IV – ustanowienie strefy ochronnej ujęcia wód poprzez rozporządzenie wojewody (akt prawa miejscowego), w którym wskazane są nakazy lub ograniczenia w użytkowaniu terenu i wód w zasięgu wyznaczonej strefy.

Istnieje konieczność obowiązkowej aktualizacji wykonania analizy ryzyka: 10 lat dla ujęć dużych, a 20 lat dla ujęć małych, o wydajnościach mniejszych niż 1000 m³/d.



Rys. 2. Procedura ustanawiania strefy ochronnej ujęcia wód podziemnych

2.3. Ocena zagrożeń zdrowotnych z uwzględnieniem czynników negatywnie wpływających na jakość ujmowanej wody

Zgodnie z art. 133 ustawy PW analiza ryzyka powinna zawierać *ocenę zagrożeń zdrowotnych z uwzględnieniem czynników negatywnie wpływających na jakość ujmowanej wody*. Z treści ustawy nie wynika, jak należy rozumieć ocenę zagrożeń zdrowotnych. Można odnieść się do zadań Państwowej Inspekcji Sanitarnej, które mają na celu ochronę zdrowia publicznego przed niekorzystnym wpływem szkodliwości i uciążliwości środowiskowych, zapobiegania powstawaniu chorób, w tym chorób zakaźnych oraz zawodowych. Zanieczyszczenia przenoszone drogą wodną stanowią zagrożenie epidemiczne dla całej populacji. Zgodnie z art. 5. ustawy o Państwowej Inspekcji Sanitarnej (Dz.U. 2017 poz. 1261): *Do zakresu działania Państwowej Inspekcji Sanitarnej w dziedzinie zapobiegania i zwalczania chorób, (...) należy: 1) dokonywanie analiz i ocen epidemiologicznych*. Natomiast podstawowym zadaniem przedsiębiorstw wodociągowych jest dostarczanie wody w sposób ciągły, pod odpowiednim ciśnieniem i o odpowiedniej jakości.

W związku z powyższym przyjmuje się, że głównym celem oceny zagrożeń zdrowotnych, jako elementu analizy ryzyka dla ujęcia wody, będzie identyfikacja zagrożeń, mogących negatywnie oddziaływać na jakość wód podziemnych i tym samym na zdrowie publiczne na obszarze spływu wód. Ocena zagrożeń powinna obejmować czynniki chemiczne, fizyczne, biologiczne i radiologiczne, które w przyszłości mogą się znaleźć w ujmowanej wodzie. Dlatego też w zakresie analizy ryzyka nie ma potrzeby szczegółowego rozpatrywania, jak zawartość poszczególnych oznaczeń może wpływać na stan zdrowia określonych grup konsumentów (dzieci, kobiety ciężarne, osoby o osłabionym układzie odpornościowym itp.). Tego typu analizy przeprowadza organ nadzorujący zdrowie publiczne, w odniesieniu do wody przeznaczonej do spożycia.

Zrozumienie aktualnie istniejących i prognozowanych przyczyn zmian jakości wody jest bardzo istotne, ponieważ wpływa na związane z tym zagrożenia dla zdrowia konsumentów. Na jakość wody podziemnej mają wpływ zarówno czynniki naturalne, jak i działalność człowieka. Znacznie więcej informacji w tym zakresie zawarto w rozdziale 3.4.

Wiele mikrobiologicznych i chemicznych składników wody do picia może potencjalnie wywoływać szkodliwe skutki dla zdrowia ludzkiego. Wykrywanie składników, zarówno w wodzie surowej, jak i dostarczanej do konsumentów, jest często powolne, złożone i kosztowne, co ogranicza możliwości wczesnego ostrzegania. Poleganie wyłącznie na określeniu jakości wody jest niewystarczające dla ochrony zdrowia publicznego. Dlatego też istotną rolę w tym zakresie może spełniać TOP oraz monitoring wód podziemnych.

W przypadku wody pobieranej na cele zaopatrzenia ludności w wodę do spożycia kluczowe parametry jakości wód należy zidentyfikować oraz brać pod uwagę w analizie ryzyka, przeprowadzonej w odniesieniu do całego obszaru zasobowego ujęcia. Środki bezpieczeństwa powinny uwzględniać przede wszystkim uwarunkowania hydrogeologiczne, ale także skutki zdrowotne zidentyfikowanych zagrożeń.

Strefy ochronne są tylko jednym z możliwych środków bezpieczeństwa. Ich wyznaczenie, prócz funkcji prewencyjnej, służy ograniczeniu negatywnych skutków wystąpienia sytuacji lub zdarzeń niepożądanych.

Po przeprowadzonej analizie ryzyka, uwzględniającej sytuację i zdarzenia niebezpieczne oraz związane z nimi zagrożenia zdrowotne, na podstawie wieloletnich badań jakości wody należy także dokonać oceny, czy dane zagrożenie wystąpiło kiedykolwiek wcześniej lub czy występują tendencje wzrostowe (okresowe, wieloletnie itp.). Ocena ułatwi określenie praw-

dopodobieństwa wystąpienia tych zdarzeń w przyszłości. Jeżeli zachodzą niekorzystne zmiany, należy ustalić przyczyny i powiązać je z ogniskami zanieczyszczeń lub innymi niekorzystnymi zdarzeniami. Na etapie wyznaczania TOP pozwoli to lepiej określić ograniczenia i zakazy oraz podjąć działania naprawcze.

3. METODY WYKONYWANIA ANALIZY RYZYKA ORAZ ETAPY PRAC

3.1. Przegląd metod i technik wykonywania analizy ryzyka

Kwestie związane z analizą oraz zarządzaniem ryzykiem w ogólnie rozumianej organizacji były podejmowane w polskiej literaturze wielokrotnie, np. przez Szlachcica (2014) w artykule „Analiza ryzyka i zarządzania ryzykiem jako element systemu zarządzania kryzysowego w organizacji”, Czernyszewicz (2018) „Aspekty, podejścia, narzędzia i techniki stosowane w ocenie ryzyka” oraz w pracy pod redakcją Wróblewskiego (2018) „Zarządzanie ryzykiem. Przegląd wybranych metodyk”. W opracowaniach zostały omówione dokumenty formalno-prawne oraz zasady identyfikacji, oceny i zarządzania ryzykiem. Szczegółowo scharakteryzowano metody i techniki przydatne do oceny ryzyka oraz problemy związane z praktyczną realizacją.

W sposób formalny zasady i wytyczne zarządzania ryzykiem są zawarte w wielu normach, np. PN-ISO 31000:2012 („Zarządzanie ryzykiem – Zasady i wytyczne”), PN-EN 31010:2010 („Techniki zarządzania ryzykiem – Techniki oceny ryzyka”). W ostatniej normie są zawarte propozycje stosowania technik oceny ryzyka.

Pełny przegląd metod oceny ryzyka zawiera norma ISO/IEC 31010 “Risk Management – Risk Assessment Techniques”. Charakteryzuje kilkadziesiąt metod wraz z oceną ich przydatności na poszczególnych etapach procesu zarządzania ryzykiem. Podczas analizowania i oceny ryzyka (Czernyszewicz, 2018; Wróblewski, 2018) zastosowanie mogą mieć m.in. następujące metody:

- burza mózgów – głównie przydaje się na etapie identyfikacji ryzyka, wymaga zaangażowania zespołu ludzi, posiadających wiedzę o systemie i procesach, w których mogą wystąpić zagrożenia. Wynikiem metody będzie lista zagrożeń, nie zapewnia oceny ilościowej ryzyka;
- metoda delficka – ma podobne cechy jak metoda burzy mózgów, wymaga zespołu ekspertów, którzy w końcowej opinii powinni być zbieżni. Nie zapewnia oceny ilościowej ryzyka;
- lista kontrolna – podobna do ww. metod, konieczne są wcześniej przygotowane informacje i ekspertyzy, mogą one ulec zmianie lub uzupełnieniu. Nie zapewnia oceny ilościowej ryzyka;
- analiza zagrożeń i krytyczny punkt kontrolny HACCP – głównie przydaje się na etapie identyfikacji ryzyka, można określić skutek (dotkliwość następstw) niebezpiecznych zdarzeń, pomaga przy ewaluacji. Do jej stosowania konieczne są wstępne informacje o ryzykach. Pozwala na określenie sposobu ich kontrolowania. Za pomocą arkuszy przygotowanych dla każdego etapu procesu zarządzania ryzykiem można kontrolować i monitorować ryzyko. Nie daje w pełni ilościowej oceny poziomu ryzyka;
- analiza przyczyn i skutków wad FEMA, analiza zagrożeń i zdolności operacyjnych HAZOP – dwie podobne metody, wymagają pełnej informacji o elementach i procesach systemu, które mogą mieć negatywny wpływ na jego działanie. Konieczna jest

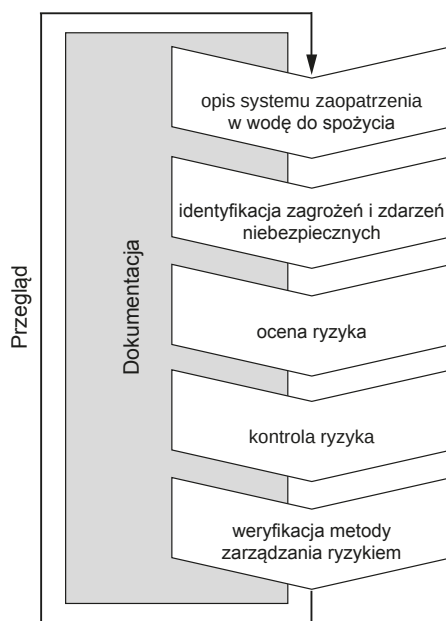
- zatem znajomość procesów, co wymaga przygotowania odpowiedniej dokumentacji. Efektem metody jest lista zagrożeń, procesów, które mogą do nich doprowadzić, prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia. Metody pozwalają na ocenę poziomu ryzyka;
- analiza drzewa błędów FTA – wymaga pełnej znajomości działania systemu i przyczyn możliwych zagrożeń, pozwala na określenie prawdopodobieństwa zaistnienia stanu zagrożenia. Wskazuje jakie błędy do tych zdarzeń mogą doprowadzić. Metoda pozwala na ocenę poziomu ryzyka;
 - matryca skutek/prawdopodobieństwo – metoda uwzględnia wagi dostosowane do konsekwencji i prawdopodobieństwa oraz posługuje się matrycą, która łączy w sobie oba te elementy; może być metodą jakościową i ilościową. Zaletą metody jest zdefiniowana ocena każdego ryzyka lub uszeregowany wykaz ryzyk z poziomem istotności.

Najlepszą do stosowania przy analizowaniu ryzyka dla ujęć wód podziemnych proponuje się metodę matryca skutek/prawdopodobieństwo. Jest ona szczegółowo opisana w normie PN-EN 15975-2 („Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część 2: Zarządzanie ryzykiem”). Od 2015 r. jest ona przywołana w DWD („Załącznik II. Część C. Ocena ryzyka”), a od 2017 r. w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, jako możliwa do przeprowadzenia oceny ryzyka w systemach zaopatrzenia w wodę do picia.

Norma PN-EN 15975-2 wskazuje, że proces zarządzania ryzykiem koncentruje się na wszystkich elementach łańcucha dostaw wody do spożycia: źródło wody, pobór wody, jej transport, uzdatnianie, magazynowanie i dystrybucja. Określa zasady dotyczące procesu zarządzania ryzykiem, które zmierzają do poprawy integralności systemu zaopatrzenia w wodę do spożycia. Szczegółowo opisuje etapy tego procesu i podaje związane z nim terminy wraz z definicjami.

Zgodnie z normą proces zarządzania ryzykiem ma na celu identyfikację zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych oraz ocenę i kontrolę wynikającego ryzyka, które może wystąpić w łańcuchu dostaw wody do spożycia od ujęcia do konsumenta (rys. 3). Najważniejszym etapem jest ocena ryzyka, która obejmuje jego analizę i ewaluację. Norma zaleca oszacować poziom ryzyka, wynikający z powstałego zagrożenia lub zdarzenia niebezpiecznego, z uwzględnieniem prawdopodobieństwa i dotkliwości następstw. W tym celu rekomenduje także do stosowania metodę matrycy oceny ryzyka, która zakłada przemnożenie tych parametrów oddzielnie dla każdego rodzaju ryzyka (tab. 1).

Matryca skutek/prawdopodobieństwo jest metodą ilościową, co pozwala na klasyfikację ryzyka i wskazanie zdarzeń, które przyjmują wartości nieakceptowalne. Metoda jest elastyczna, ponieważ poszczególne kategorie prawdopodobieństwa, dotkliwość następstw zagrożeń oraz poziomu ryzyka można stosować w różnej



Rys. 3. Schemat procesu zarządzania ryzykiem (PN-EN 15975-2)

skali, np. 3×3 lub 5×5 . Jest stosunkowo łatwa w użyciu, należy jednak zachować ostrożność, ponieważ pomimo występowania niepewności, ich precyzyjne wartości mogą dawać fałszywe poczucie dokładności rezultatów. Norma zaleca, żeby każda niepewność, dotycząca wyboru odpowiedniej skali prawdopodobieństwa i dotkliwości następstw, skutkowałą przyjęciem wyższego wskaźnika ryzyka do czasu, w którym niepewność będzie można usunąć lub zredukować. Metodę matrycy skutek/prawdopodobieństwo można także stosować do ocen jakościowych (tab. 2).

Nie dla wszystkich procesów można jednak stosować miarę ilościową, dlatego przyjmuje się analizę półilościową lub jakościową (tab. 2).

Dopuszcza się także stosowanie metod eksperckich, korzystających z metody oceny podatności (wrażliwości) warstwy wodonośnej na zanieczyszczenie – dostosowanej do specyfiki oceny zagrożeń dla wód podziemnych, w największym stopniu uwzględniająca uwarunkowania geologiczne i hydrogeologiczne.

Tabela 1

Przykład matrycy oceny ryzyka 5×5 (PN-EN 15975-2)

		Ocena	Dotkliwość następstw zagrożeń				
			nieistotna	niewielka	umiarkowana	poważna	katastrofalna
			1	2	3	4	5
Prawdopodobieństwo wystąpienia następstw zagrożeń	niespotykane	1	1	2	3	4	5
	mało prawdopodobne	2	2	4	6	8	10
	umiarkowanie prawdopodobne	3	3	6	9	12	15
	prawdopodobne	4	4	8	12	16	20
	niemal pewne	5	5	10	15	20	25

Tabela 2

Przykład matrycy oceny ryzyka 3×3 (PN-EN 15975-2)

		Dotkliwość następstw zagrożeń		
		niskie	średnie	wysokie
Prawdopodobieństwo wystąpienia następstw zagrożeń	niskie	niskie ryzyko	niskie ryzyko	wysokie ryzyko
	średnie	niskie ryzyko	średnie ryzyko	wysokie ryzyko
	wysokie	średnie ryzyko	wysokie ryzyko	wysokie ryzyko

3.2. Terminy związane z oceną i analizą ryzyka

Koncepcja ochrony wód oparta na ocenie ryzyka wymaga stosowania odpowiednich metod, narzędzi i terminologii. Najważniejsze terminy zostały zdefiniowane m.in. w przewodniku „Zarządzanie ryzykiem – Terminologia” (PKN-ISO Guide 73:2012), normie PN-EN 15975-2 oraz Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi:

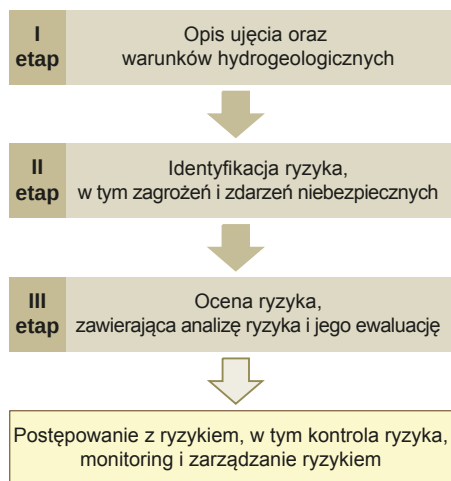
- **ryzyko** oznacza kombinację prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego oraz jego skutków, które powstają w następstwie wystąpienia zdarzenia niebezpiecznego, generującego zagrożenia dla jakości wody;
- **identyfikacja ryzyka** to proces wyszukiwania, rozpoznania i opisywania ryzyka, który obejmuje rozpoznanie źródła ryzyka, zdarzeń, ich przyczyn i potencjalnych następstw. Może ona obejmować dane historyczne, analizy teoretyczne, pozyskane opinie, opinie ekspertów oraz potrzeby interesariuszy;
- **analiza ryzyka** to proces dążący do poznania charakteru ryzyka oraz określenia poziomu ryzyka będącego miarą wielkości ryzyka lub kombinacji ryzyk, wyrażonej w postaci kombinacji następstw (konsekwencji) oraz ich prawdopodobieństwa. Analiza ryzyka stanowi podstawę do ewaluacji oraz podejmowania decyzji w zakresie postępowania z ryzykiem;
- **ocena ryzyka** to całościowy proces identyfikacji ryzyka, jego analizy oraz ewaluacji;
- **ewaluacja ryzyka** to proces porównywania wyników z kryteriami w celu stwierdzenia, czy ryzyko i/lub jego wielkość są akceptowalne lub kontrolowane. Wspomaga ona podejmowanie decyzji w zakresie postępowania z ryzykiem;
- **zagrożenie** oznacza czynnik biologiczny, chemiczny, fizyczny lub radiologiczny w wodzie lub ilościowy stan wody, mogący wykazywać potencjalnie szkodliwy wpływ na zdrowie publiczne;
- **zdarzenie niebezpieczne** oznacza sytuację, która wprowadza zagrożenie do systemu zaopatrzenia w wodę pitną (w tym wody podziemne na obszarze zasilania) lub uniemożliwia wyeliminowanie tego zagrożenia z danego systemu;
- **wartość parametryczna** w odniesieniu do wody pitnej oznacza zawartość substancji promieniotwórczych, innych substancji chemicznych lub liczby mikroorganizmów w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, powyżej której właściwy państwowy inspektor sanitarny ocenia, czy ich obecność stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi, które wymaga podjęcia działań oraz w razie konieczności podejmuje działania w celu poprawy jakości wody, do poziomu zgodnego z wymogami dotyczącymi ochrony zdrowia ludzi;
- **środek bezpieczeństwa** oznacza wszelkie działania i aktywności podejmowane w celu przeciwdziałania lub wyeliminowania zagrożenia lub jego zredukowania do akceptowalnego poziomu;
- **działanie korygujące** oznacza czynności podjęte w celu wyeliminowania przyczyny niezgodności (brak osiągnięcia celu operacyjnego, np. obniżenia poziomu zagrożenia) oraz zapobiegania nawrotom.

3.3. Etapy prac w procesie zarządzania ryzykiem

Zagadnienie analizy ryzyka w odniesieniu do systemów wodociągowych były wielokrotnie przedmiotem licznych opracowań naukowych (np. Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2006; Rak, 2009a,b; Tchórzewska-Cieślak, 2009, 2011, 2017; Zimoch, 2012, 2019; Mulik i in., 2015; Parafińska i in., 2015, 2016; Zimoch i in., 2015; Zimoch, Mulik, 2016; Zimoch, Paciej, 2017).

W ostatnim czasie pojawiły się także publikacje dotyczące analizy ryzyka dla ujęć wód podziemnych (Witczak i in., 2018; Rubin i in., 2019; Lidzbarski, 2019; Rodzoch, 2020).

Na podstawie publikacji normatywnych oraz naukowych w procesie analizy ryzyka na potrzeby ujęć wód podziemnych proponuje się etapy prac przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Etapy prac w procesie zarządzania ryzykiem – procedury postępowania

3.4. Opis ujęcia wód podziemnych oraz warunków hydrogeologicznych

W pierwszym etapie prac konieczne jest zebranie najważniejszych informacji o ujęciu wód podziemnych oraz zapoznanie się ze specyfiką budowy geologicznej i warunków hydrogeologicznych na obszarze zasilania lub spływu wód do ujęcia. Kluczowa jest dokumentacja hydrogeologiczna (zasobowa), pozwolenie wodnoprawne oraz inne opracowania wykonane na potrzeby ujęcia, w tym: dodatki do dokumentacji, projekt strefy ochronnej (o ile był wykonywany), operaty wodnoprawne, ekspertyzy itp. Zebrane informacje powinny umożliwić charakterystykę warunków hydrogeologicznych i sozologicznych.

Niezbędne będzie zgromadzenie informacji z całego obszaru spływu wód do studni ujęcia, który może wykraczać poza obszar zasobowy. Niektóre informacje mogą być zawarte w innych opracowaniach hydrogeologicznych lub sozologicznych, które były wykonywane w formie ekspertyz, opinii, sprawozdań. Konieczne będzie zebranie danych o opadach atmosferycznych.

Istotne są materiały kartograficzne, zwłaszcza mapy geologiczne i hydrogeologiczne, mapy jakości i wrażliwości wód podziemnych na zanieczyszczenie, przekroje geologiczne i hydrogeologiczne. Zgromadzenie ww. informacji ułatwiają elektroniczne źródła danych, które można pozyskać w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB):

- karty otworów zawarte w Centralnym Banku Danych Hydrogeologicznych (CBDH);
- baza danych GIS Mapy Hydrogeologicznej Polski w skali 1:50 000:
 - główny użytkowy poziom wodonośny (GUPW);
 - pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika (PPW-WH);
 - wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód (PPW-WJ);
- arkusze mapy geologiczno-gospodarczej i geosrodowiskowej w skali 1:50 000;
- granice jednolitych części wód podziemnych (JCWPd);
- punkty sieci monitoringu wód podziemnych wraz z wynikami obserwacji i badań.

Przydatne będą podręczniki, także dostępne w formie elektronicznej, np.:

- „Hydrogeologia regionalna Polski. Tom I. Wody słodkie” (Paczyński, Sadurski, 2007);
- „Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych – poradnik metodyczny” (Dąbrowski i in., 2004);
- „Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych – poradnik metodyczny” (Dąbrowski i in., 2011);
- „Słownik hydrogeologiczny” (Dowgiałło i in., 2002);
- „Metodyka wyboru optymalnej metody wyznaczania zasięgu stref ochronnych ujęć zwykłych wód podziemnych z uwzględnieniem warunków hydrogeologicznych obszaru RZGW w Krakowie” (Duda i in., 2013).

Szczególną uwagę należy zwrócić na dokumentację hydrogeologiczną określającą warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych zbiorników wód podziemnych. W dalszej części opracowania ww. dokumentacja jest określana jako dokumentacja hydrogeologiczna obszarów ochronnych Głównych Zbiorników Wód Podziemnych (GZWP). Opracowania te zawierają wiele cennych informacji, przydatnych na etapie wykonywania analizy ryzyka.

Zakres potrzebnych informacji oraz sposób ich przedstawienia powinien być podobny jak w przypadku dokumentacji hydrogeologicznej.

Jednym z ważniejszych zagadnień, które powinno być rozstrzygnięte na tym etapie prac, jest prawidłowe ustalenie granic w obrębie obszaru, dla którego będzie wykonywana analiza ryzyka. Dotyczyć to będzie każdego ujęcia wód podziemnych, niezależnie czy ostatecznie zostanie sformułowany wniosek o ustanowienie strefy ochronnej ujęcia, obejmującej także TOP, czy też ustanowienie strefy ochronnej nie będzie konieczne. W obu przypadkach analiza ryzyka powinna obejmować co najmniej obszar OSW ograniczony izochroną 25 lat przepływu poziomego w warstwie wodonośnej. Należy mieć na uwadze, że w niektórych przypadkach granica OSW może być bliżej ujęcia niż odległość wyznaczona izochroną 25 lat, np. wododział, granica litologiczna, uskoki itp.

Co do zasady, analizę ryzyka powinno się wykonywać dla obszaru spływu wody do ujęcia ograniczonego izochroną przepływu wody 25 lat w ujmowanej warstwie wodonośnej. W wielu przypadkach obszar ten jest wyznaczony w dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne dla ujęcia lub w dodatkach do niej. Czasem jest wyznaczony w opracowaniu projektu strefy ochronnej, mającego charakter dodatku do dokumentacji podstawowej. Dokumentacja hydrogeologiczna wraz z późniejszymi dodatkami powinna być podstawowym źródłem informacji o obszarze spływu wód do ujęcia i jego obszarze zasobowym.

Jeżeli obszar wykonywania analizy ryzyka wynika z dokumentacji hydrogeologicznej, to należy każdorazowo dokonać krytycznej analizy jej treści, ponieważ na omawianym terenie mogły nastąpić istotne zmiany warunków hydrodynamicznych, np. związane z budową nowych studni na analizowanym ujęciu, prowadzeniem odwodnień górniczych, wykonaniem melioracji gruntów, regulacji rzek, skutków zmian klimatycznych. Wyznaczony w dokumentacji obszar spływu wód do ujęcia można wykorzystać tylko w sytuacji, gdy bazuje on na wiarygodnych danych hydrodynamicznych, których potencjalna zmiana ma charakter wyłącznie naturalny i jest stosunkowo niewielka, a dodatkowo został wyznaczony na podstawie wiarygodnej metody analitycznej lub na drodze modelowania numerycznego.

Jeżeli jednak w istniejącej dokumentacji nie został określony OSW lub wymaga on rewizji, konieczne jest jego wyznaczenie w dodatku do dokumentacji zgodnie z Rozporządzeniem Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji

hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033). Na potrzeby analizy ryzyka tak wyznaczony OSW będzie ograniczony zasięgiem izochrony 25 lat.

Dodatek do dokumentacji musi więc poprzedzać analizę ryzyka. Oba opracowania mogą być także wykonywane jednocześnie. Należy przy tym uwzględnić zapis art. 123 ustawy PW, który określa, że *jeżeli czas przepływu wód od granicy obszaru zasilania do ujęcia jest dłuższy od 25 lat, teren ochrony pośredniej ujęcia wód podziemnych wyznacza się z uwzględnieniem obszaru wyznaczonego 25-letnim czasem wymiany wód w warstwie wodonośnej*.

Szczegółowe zasady wyznaczania OSW określono w drugiej części poradnika (Lidzbarski i in., 2023).

3.5. Identyfikacja zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych

Identyfikacja zagrożeń, które najczęściej będą wynikać ze sposobu zagospodarowania terenu, oraz zdarzeń niebezpiecznych ma na celu zdefiniowanie i ocenienie ryzyka.

Na konieczność identyfikacji zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych na obszarze zlewni, gdzie kształtują się zasoby ujęcia, wskazuje także Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U.UE L z dnia 23 grudnia 2020 r.), a także Dyrektywa 2006/118/WE w sprawie ochrony wód podziemnych.

Istotne będzie przeanalizowanie trwałości zasobów wód podziemnych, trendów i zmian stanu chemicznego oraz zagrożeń antropogenicznych i geogenicznych. Konieczna będzie szczegółowa analiza zagospodarowania lub użytkowania terenu. Podstawą tych prac jest miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego, studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego oraz inne źródła danych, np. mapa topograficzna, baza Corine, Geoportal, zdjęcia lotnicze. Niezbędna będzie wizja terenu, a w uzasadnionych przypadkach, kartowanie sozologiczne. Na tej podstawie zostaną zidentyfikowane rzeczywiste i potencjalne ogniska zanieczyszczeń (punktowe, liniowe, obszarowe). Pozwoli to ocenić wpływ zagospodarowania oraz funkcji terenu na jakość i zasoby eksploatacyjne ujęcia. Prawie każda działalność człowieka związana z zagospodarowaniem i korzystaniem ze środowiska wpływa na stan chemiczny wód podziemnych (Witczak i in., 2013). Pomocą przy identyfikacji zagrożeń mogą być liczne publikacje, prezentujące katalogi aktywności gospodarczej, które kształtują stan środowiska gruntowo-wodnego (np. Macioszczyk, 1987, 2006; Foster i in., 2002; Macioszczyk, Dobrzyński, 2007; Zimoch, Paciej, 2014; Zimoch i in., 2015; Parańska i in., 2016; Zimoch, 2016; Zimoch, Kuśnierski, 2016b; Zimoch, Mulik, 2019). Najważniejsze z nich zostały przedstawione w tabeli 3.

Szczegółowy wykaz potencjalnych ognisk zanieczyszczeń oraz przedsięwzięć, które mogą niekorzystnie oddziaływać na wody podziemne, zawiera Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz.U. 2019 poz. 1839).

Przydatnym opracowaniem do identyfikacji rzeczywistych i potencjalnych ognisk zanieczyszczeń są dokumentacje hydrogeologiczne obszarów ochronnych GZWP. Należy jednak mieć na uwadze, że niektóre z dokumentacji zostały wykonane przed wielu laty i katalog obiektów zagrażających wodom podziemnym może wymagać aktualizacji.

Wskazanych zagrożeń nie można traktować jako katalogu zamkniętego, mogą bowiem pojawić się w wodzie pobieranej na cele zaopatrzenia ludności substancje chemiczne, dla których nie określono dotychczas w przepisach krajowych i UE wartości parametrycznych. Przykładem są związki perfluorowane, bisfenol A, ftalany, polichlorowane bifenyle, dioksyny,

Tabela 3

Katalog wybranych potencjalnych ognisk zanieczyszczeń, które mogą niekorzystnie oddziaływać na wody podziemne (Lidzbarski i in., 2023)

Obszary działalności	Potencjalne ogniska zanieczyszczeń
Rolnictwo i hodowla	– tereny rolne, ogrodnicze i warzywnicze, na których stosuje się intensywne nawożenie i środki ochrony roślin, rolnictwo wielkoobszarowe, melioracje łąk – ферmy przemysłowej hodowli zwierząt i drobiu oraz chów i hodowla ryb w stawach – silosy kiszonkowe i gnojowniki urządzone na nieuszczelnionym podłożu – nawozy mineralne magazynowane na nieuszczelnionym podłożu – obejścia gospodarskie, a w tym: obory, chlewy, stajnie, kurniki, szamba, gnojowniki, doły kloaczne, śmietniki – systemy melioracyjne w zasięgu oddziaływania ujęć wód podziemnych
Przemysł	– zakłady przemysłu wydobywczego, chemicznego, paliwowego, farmaceutycznego – elektrownie, elektrociepłownie lub inne instalacje do spalania paliw – zakłady przemysłu metalurgicznego, elektromaszynowego, mineralnego – zakłady przemysłu drzewno-papierniczego, spożywczego i budowlanego – wysypiska, zwałowiska, hałdy odpadów stałych – stawy ściekowe i osadniki – magazynowane bez zabezpieczeń surowce, półprodukty i wyroby finalne – wycieki z nieuszczelnionych urządzeń technologicznych oraz oczyszczających ścieki – wody powierzchniowe, do których zrzucane są słone wody pompowane z kopalń – zatopione kopalnie głębinowe – zbiorniki końcowe po eksploatacji surowców metodą odkrywkową – emisje pyłowo-gazowe
Gospodarka komunalna	– istniejące i zrekultywowane obiekty gospodarki odpadami zarówno komunalnymi, jak i przemysłowymi, w tym składowiska odpadów i odpadów niebezpiecznych, zakłady związane z przetwarzaniem odpadów i odpadów niebezpiecznych – obiekty gospodarki ściekowej, w tym sieci kanalizacyjne, oczyszczalnie ścieków komunalnych i przemysłowych, dawne wylewiska ścieków oraz dawne pola filtracyjne ścieków – rowy i małe cieki, do których zrzucane są nieoczyszczone i oczyszczone ścieki – indywidualne systemy oczyszczania ścieków z drenażem rozsączającym – kompostownie – cmentarze – ogrody zoologiczne – nieskanalizowane tereny osadnictwa
Transport i inne usługi	– drogi intensywnego ruchu pojazdów – zbiorniki wód opadowych zmywanych z tras intensywnego ruchu – środki zimowego utrzymania dróg magazynowane na nieuszczelnionym podłożu – bazy transportu samochodowego – garaże, parkingi samochodowe – lotniska, porty, linie kolejowe – infrastruktura związana z magazynowaniem oraz przesyłem i dystrybucją gazu, ropy naftowej, produktów naftowych, gazów łatwopalnych (w tym dwutlenku węgla), kopalnych surowców energetycznych – zakłady napraw pojazdów – obiekty naftowe, a w tym: bazy paliw, stacje dystrybucji paliw
Inne	– dawne gazownie – tartaki i inne zakłady stosujące impregnacje drewna – zakłady produkcyjne masy bitumicznej – mogilniki istniejące i zlikwidowane – poligony wojskowe oraz magazyny materiałów pędnych i smarów (MPS-y) na terenie obiektów wojskowych – obiekty gospodarki wodnej

pozostałości farmaceutyków czy mikroplastik. W chwili obecnej prawdopodobieństwo ich wykrycia, zwłaszcza w wodach podziemnych, jest niewielkie, jednak w niektórych przypadkach można rozważyć te ryzyka.

Ponadto szczególną uwagę należy zwrócić na zagrożenia związane z:

- urządzeniami melioracyjnymi i zbiornikami retencyjnymi;
- aktualnym i prognozowanym stanem chemicznym wód powierzchniowych, występujących w rejonie ujęcia i na obszarze spływu wód, zwłaszcza w przypadku prognozowania zmian jakości wód na niższą klasę;
- zrzutami wód opadowych (zwłaszcza z terenów komunikacyjnych, parkingów oraz innych uszczelnionych powierzchni). Bardzo niebezpieczne dla ujęć są zrzuty wód z powierzchni dróg. Jak pokazują doświadczenia mogą one zanieczyszczać wody podziemne wysoką koncentracją chlorków, pochodzących ze stosowania soli w trakcie sezonu zimowego;
- katastrofami komunikacyjnymi, innymi awariami;
- skutkami prognozowanych i zachodzących zmian klimatu, deszczy nawalnych, głębokich niżówek hydrogeologicznych, powodzi odlądowych i odmorskich;
- innymi zdarzeniami, które mogą mieć niekorzystny wpływ na ujęcie.

Szczególnym rodzajem zagrożeń dla wód podziemnych mogą być zanieczyszczenia geogeniczne oraz pobór wód na innych ujęciach, które mogą zubożyć dostępne zasoby.

Niezależnie od zagrożeń stanu chemicznego i jakości wód podziemnych konieczne jest zidentyfikowanie zagrożeń stanu ilościowego zasobów wodnych. Należy sprawdzić, czy w obszarze zasobowym ujęcia lub OSW są zlokalizowane inne ujęcia, których eksploatacja mogłaby mieć negatywny wpływ na stan ilościowy wód. Uwzględnić przy tym trzeba wielkość zasobów eksploatacyjnych, dopuszczalnego poboru określonego pozwoleniem wodnoprawnym oraz aktualny i prognozowany pobór. Nie można wykluczyć, że w przypadku dużych ujęć lub współdziałających, ocenę zagrożeń będą musiały wspomagać badania modelowe.

Na stan ilościowy mogą mieć wpływ także zmiany hydrodynamiczne wynikające z działalności gospodarczej na terenie OSW, np. eksploatacja surowców spod wody lub wymagająca odwodnień, melioracje, odwodnienia budowlane.

Przy ocenie zagrożeń stanu ilościowego należy uwzględnić skutki zmian klimatycznych, zwłaszcza obniżanie zwierciadła wody. Może to być istotne dla ujęć, które ujmują płytkie wody, a warstwa wodonośna ma niewielką miąższość. Negatywny wpływ na jakość wód podziemnych mogą mieć także intensywne opady i powodzie, sprzyjające szybszemu przenikaniu zanieczyszczeń. Zagrożenie mogą stanowić nieczynne i niezlikwidowane studnie pozostające bez odpowiedniego nadzoru.

3.6. Analiza ryzyka na podstawie matrycy trójparametrycznej

Uwzględniając dotychczasowe opracowania i normy prawne, należy przyjąć, że najważniejszym etapem procesu zarządzania ryzykiem jest analiza ryzyka, która służy jego szczegółowemu zrozumieniu (etap III). Powinna się ona skupiać na ustaleniu następstw dotkliwości (zdarzeń niebezpiecznych) oraz prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Przyjęto, że miarą ryzyka jest jego poziom rozumiany jako kombinacja prawdopodobieństwa (P) i następstw (D), zgodnie z matrycą ryzyka proponowaną przez normę PN-EN 15975-2 (tab. 1, 2). Na potrzeby analizy ryzyka dla ujęć wód podziemnych uwzględniono trójparametryczną matrycę ryzyka zaproponowaną przez Tchórzewską-Cieślak (2017), która wprowadziła trzeci parametr – podatność na zagrożenie (V). Skorzystano przy tym z propozycji Witczaka i in. (2018), żeby

podatność na zagrożenie była wyrażona czasem dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do studni ujęcia wody.

Parametrami matrycy ryzyka są zatem:

P – prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia (częstotliwość),

D – dotkliwość następstw zagrożeń,

V – podatność wód podziemnych na zagrożenie, wyrażone czasem dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do studni ujęcia wody (w dalszej części opracowania parametr ten jest określany w skróconej formie jako podatność na zagrożenie).

Dla tak określonej matrycy ryzyko R oblicza się z formuły:

$$R = P \times D \times V \quad [1]$$

Kategoryzację poszczególnych parametrów ryzyka przedstawiono w tabelach 4–8.

Dotkliwość następstw można także różnicować, posługując się klasyfikacją jakości wód podziemnych zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki Morskiej i Żeglugi Śródlądowej z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. 2019 poz. 2148). Dotkliwość następstw w kategorii poważnej i katastrofalnej dotyczy wód zanieczyszczonych, których element fizykochemiczny w ww. rozporządzeniu został wskazany oznaczeniem „H”.

Wskazana klasyfikacja służy realizacji Dyrektywy o ochronie wód podziemnych (GWD – *Groundwater Directive*) i działań ochronnych dążących do utrzymania dobrego stanu chemicznego i ilościowego wód podziemnych. Stan chemiczny wód podziemnych jest oceniany przez PIG-PIB w 6-letnich cyklach badawczych.

Tabela 4

**Kategoryzacja parametru prawdopodobieństwa P
dla stanu ilościowego i jakościowego zasobów wodnych ujęcia
(wg Tchórzewskiej-Cieślak, 2017; Witczaka i in., 2018; zmienione)**

Prawdopodobieństwo	Opis prawdopodobieństwa	Częstotliwość wystąpienia zagrożenia (zdarzenie / czas)	Pkt
Bardzo mało prawdopodobne	zdarzenie nie miało miejsca w przeszłości i jest wysoce nieprawdopodobne, że się wydarzy w przyszłości	<1 / 10 lat	1
Mało prawdopodobne	zdarzenie wystąpiło w przeszłości, dlatego jest możliwe ponowne jego wystąpienie, zatem nie można go całkowicie wyeliminować	1–2 / 10 lat	2
Średnio prawdopodobne	zdarzenie wystąpiło w przeszłości, jest możliwe, że w pewnych okolicznościach ponownie może wystąpić w przyszłości	2–5 / 10 lat	3
Umiarkowanie prawdopodobne	zdarzenie miało kilkakrotnie miejsce w przeszłości, dlatego może się powtórzyć w przyszłości	5–120 / 10 lat	4
Bardzo prawdopodobne	zdarzenie miało miejsce w przeszłości, jest ciągłym problemem, zatem jest bardzo prawdopodobne, że może wystąpić w przyszłości	>120 / 10 lat	5

Tabela 5

**Kategoryzacja parametru dotkliwość następstw zagrożeń D
dla stanu jakościowego zasobów wodnych ujęcia
(wg Tchórzewskiej-Cieślak, 2017; Witczaka i in., 2018; zmienione)**

Dotkliwość następstw	Opis dotkliwości	Pkt
Nieistotna	Straty bardzo małe, lokalne pogorszenie parametrów jakości wody przy nieprzekraczaniu wartości granicznych. Woda bezpieczna, pełnowartościowa, brak wpływu na zdrowie publiczne	1
Niewielka	Straty małe, nieznaczne zmiany organoleptyczne wody (zapach, zmieniona barwa i mętność, smak), generujące niewielkie koszty działań naprawczych. Możliwe pogorszenie efektywności uzdatniania wody. Krótkoterminowe dotkliwości, mające niewielki wpływ na parametry wody, niestanowiące zagrożenia zdrowotnego dla odbiorców	2
Umiarkowana	Straty średnie, znaczna i długoterminowa uciążliwość organoleptyczna (odór, zmieniona barwa i mętność), istotne przekroczenie parametrów wskaźnikowych, w tym zanieczyszczenie bakteriami autochtonicznymi (załącznik 1C Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [Dz.U. 2017 poz. 2294])). Pogorszenie efektywności uzdatniania wody. Możliwość wystąpienia szkodliwego oddziaływania na zdrowie odbiorców	3
Poważna	Straty duże, możliwość narażenia licznej grupy konsumentów na spożycie wody o pogorszonej jakości, przesłanki do eskalacji zdarzenia, powstania tzw. efektu domina. Zanieczyszczenia mikrobiologiczne mogące wskazywać na zanieczyszczenie warstwy wodonośnej skutkujące możliwością wystąpienia chorób. Istotne przekroczenie parametrów chemicznych mogących mieć wpływ na zdrowie (załącznik 1B Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [Dz.U. 2017 poz. 2294])). Trwałe pogorszenie efektywności uzdatniania wymagające wprowadzenia działań naprawczych lub dodatkowych barier ochronnych. Zakłócenia w dostawie wody odczuwalne przez odbiorców. Mogą wystąpić wysokie koszty działań naprawczych. Wystąpienie potencjalnych długoterminowych skutków zdrowotnych wskutek spożycia zanieczyszczonej wody np. metalami ciężkimi, związkami azotu lub skażenia mikrobiologicznego. Znaczne ograniczenie w wykorzystaniu zasobów wodnych	4
Katastrofalna	Straty bardzo duże, możliwość narażenia licznej grupy konsumentów na spożycie wody o pogorszonej jakości, wyniki badań ujawniające wysoki poziom substancji toksycznych, konieczność podjęcia leczenia szpitalnego osób narażonych. Obecność w wodzie mikroorganizmów pochodzenia kałowego, pasożytów lub substancji będących bezpośrednim zagrożeniem dla zdrowia publicznego (np. <i>E. coli</i> , <i>Cryptosporidium</i>). Występowanie chorób (zagrożenie zdrowia i życia). Istotne przekroczenie parametrów chemicznych mogących mieć wpływ na zdrowie (załącznik 1B Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [Dz.U. 2017 poz. 2294])). Bardzo duże ograniczenia w dostawach wody – konieczne wprowadzenie alternatywnych źródeł wody do spożycia	5

Tabela 6

**Kategoryzacja parametru dotkliwość następstw zagrożeń D
dla stanu jakościowego zasobów wodnych ujęcia (Lidzbarski, 2019)**

Dotkliwość następstw	Opis dotkliwości	Pkt
Nieistotna	zagrożenie nie wpłynie negatywnie na jakość wód podziemnych ujmowanych na terenie ujęcia oraz na pracę ujęcia	1
Niewielka	zagrożenie bardzo słabo wpłynie negatywnie na jakość wód podziemnych; wody występują w I i II klasie jakości, chociaż mogą być przejściowo obniżone do klasy III; wody nadają się do picia, nie ma zagrożeń zdrowotnych	2
Umiarkowana	zagrożenie wpłynie negatywnie na jakość wód podziemnych (III klasa), wody nadal zdadne są do picia; jakość wód może się pogarszać w latach następnych i zagrozić bezpieczeństwu zdrowotnemu	3
Poważna	zagrożenie wpłynie negatywnie na wody podziemne (III klasa, przejściowo IV); część studni może być czasowo wyłączona z eksploatacji; jakość wód podziemnych w strefie dopływu może być zagrożona pogorszeniem stanu do V klasy	4
Katastrofalna	wody podziemne na terenie ujęcia ulegają degradacji, wody plasują się w IV i V klasie jakości, studnie muszą być wyłączone z eksploatacji	5

Tabela 7

**Kategoryzacja parametru dotkliwość następstw zagrożeń D
dla stanu ilościowego zasobów wodnych ujęcia**

Dotkliwość następstw	Opis dotkliwości	Pkt
Nieistotna	straty bardzo małe, nie ograniczają aktualnej eksploatacji na ujęciu	1
Niewielka	straty małe, obecnie nie ograniczają aktualnej eksploatacji na ujęciu; istnieje możliwość zwiększenia poboru wód do wysokości zasobów eksploatacyjnych; nie ma możliwości zwiększenia zasobów eksploatacyjnych w przyszłości	2
Umiarkowana	straty stosunkowo nieduże, obecnie nie ograniczają aktualnej eksploatacji na ujęciu; istnieje możliwość zwiększenia poboru wód do wysokości pozwolenia wodnoprawnego; wielkość zasobów eksploatacyjnych może być ograniczona; warunki hydrodynamiczne w OSW ulegną zmianie	3
Poważna	straty duże, nie można zwiększyć aktualnej eksploatacji zasobów wodnych; kierunki i/lub prędkość przepływu wód oraz na OSW ulegną zmianie	4
Katastrofalna	straty bardzo duże, wielkość aktualnej eksploatacji zasobów musi być ograniczona; kierunki i/lub prędkość przepływu wód oraz w OSW uległy zmianie; konieczność zweryfikowania pozwolenia wodnoprawnego oraz zasobów eksploatacyjnych i/lub obszaru zasobowego	5

Tabela 8

Kategoryzacja podatności na zagrożenia V
(wg Tchórzewskiej-Cieślak, 2017, zmienione
przez Witczaka i in., 2018)

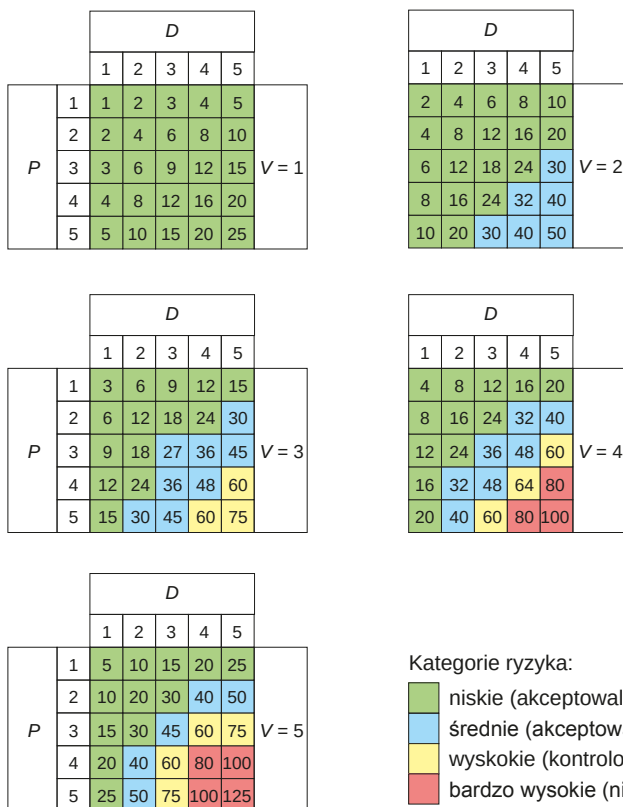
Podatność na zagrożenie	Sumaryczny czas dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do ujęcia [lata]	Pkt
Bardzo mała	>25	1
Mała	15–25	2
Średnia	5–15	3
Duża	1–5	4
Bardzo duża	<1	5

Należy jednak pamiętać, że klasyfikacja, oprócz tła i wartości progowych, bierze również pod uwagę możliwość uzdatniania wód.

Obliczenia z zastosowaniem wzoru [1] wykazały, że wskaźnik ryzyka R mieści się w przedziale 1–125 pkt. Zgodnie z zaproponowaną klasyfikacją otrzymana wartość wskaźnika R określa ryzyko dla analizowanego zagrożenia jako:

- niskie (akceptowalne) 1–25 pkt;
- średnie (akceptowalne) 26–50 pkt;
- wysokie (kontrolowane) 51–75 pkt;
- bardzo wysokie (nieakceptowalne) >75 pkt.

Kategorie ryzyka można także zilustrować, posługując się zmodyfikowanymi macierzami (rys. 5).



Rys. 5. Matryca ryzyka 5 × 5 z uwzględnieniem podatności na zagrożenia

3.6.1. Szacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia (*P*) – częstotliwość

Zgodnie z normą ISO Guide 73:2009, prawdopodobieństwo określa się jako możliwość wystąpienia zdarzenia. W poradniku przyjęto, że prawdopodobieństwo będzie wyrażone za pomocą częstotliwości (częstości) wystąpienia zagrożenia, przyjmując: od >1 zagrożenia w miesiącu do 1 zagrożenia co >10 lat.

Prawdopodobieństwo może być szacowane obiektywnie, przy dostępie do znacznej ilości danych opisujących zagrożenie, lub subiektywnie na podstawie wiedzy i doświadczenia autora/autorów, gdy nie dysponujemy odpowiednimi informacjami statystycznymi. Należy uwzględnić, że nie zawsze istnieje możliwość oparcia się na wnioskach z przeszłości, ponieważ panujące warunki mogły ulec zmianie.

Szacowanie prawdopodobieństwa jest związane z kategorią zagrożenia (zdarzenia niebezpiecznego), które podlega ocenie (tab. 4).

W niektórych przypadkach istnieją dokładne dane o częstości (prawdopodobieństwie) wystąpienia zagrożenia, np.:

- mapy ryzyka powodziowego dostarczają informacji o prawdopodobieństwie wystąpienia powodzi, która może być destrukcyjna dla ujęcia wody zlokalizowanego w zasięgu terenu zalanego;
- informacje Krajowej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad mogą być przydatne przy szacowaniu prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku drogowego, w trakcie którego może dojść do wycieku ropopochodnych lub innych przewożonych substancji niebezpiecznych;
- dane Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW) pozwalają na określenie częstotliwości wystąpienia deszczy nawalnych, które mogą w określonych sytuacjach zagrozić pracy ujęcia. Ponadto można określić z jaką częstotliwością będą występowały okresy o ujemnych temperaturach, co będzie wymuszać stosowanie zimowych środków utrzymania dróg (wpływ NaCl, tzw. soli drogowej, na wody podziemne);
- dane o wystąpieniu awarii w niektórych obiektach przemysłowych, magazynowych, rurociągach przesyłowych, kolektorach ściekowych, podczas których dochodziło do niekontrolowanych wycieków substancji niebezpiecznych. Informacje posiadają użytkownicy tych obiektów, Regionalne Dyrekcje Ochrony Środowiska;
- niektóre rodzaje zagrożeń występują cyklicznie, np. na terenach intensywnych upraw rolnych co roku są stosowane nawozy lub pestycydy.

W odniesieniu do niektórych obiektów i zagrożeń konieczne będzie oszacowanie prawdopodobieństwa na podstawie doświadczenia i wiedzy autora analizy ryzyka lub specjalistów wspomagających. Trzeba przy tym brać pod uwagę także charakter zagrożenia, np. stara instalacja lub magazyn bez odpowiednich zabezpieczeń będą znacznie bardziej podatne na awarię, tym samym prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia należy zwiększyć. W niektórych sytuacjach można się wspomagać analogicznymi zdarzeniami i ocenami w odniesieniu do podobnych obiektów, zlokalizowanych gdzie indziej. Przy ocenie prawdopodobieństwa (Witczak i in., 2018) można również wykorzystać czas migracji zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni terenu do poziomu wodonośnego (składowa pionowa) oraz czas dopływu wód podziemnych do ujęcia w warstwie wodonośnej (składowa pozioma) – wzór [4] (patrz str. 36).

3.6.2. Ocena dotkliwości następstw zagrożeń (D)

Na podstawie zidentyfikowanych zagrożeń (istniejących i potencjalnych) należy określić, jakie substancje lub związki będą wprowadzane do środowiska. W wielu przypadkach nie będzie to trudne, gdyż substancje związane z konkretnym zagrożeniem są jasno określone, np.:

- środki zimowego utrzymania dróg – NaCl;
- nawozy sztuczne zawierają informacje o związkach chemicznych, np. polifoska 8 – NH_4 , P_2O_5 , K_2O i SO_3 ;
- pestycydy – podobnie jak nawozy sztuczne, zawierają pełną informację o zawartości;
- stacje paliw i magazyny substancji ropopochodnych – benzyna, olej napędowy (węglowodory alifatyczne).

Przy identyfikacji substancji pochodzących z innych zagrożeń (ognisk zanieczyszczeń) przydatne mogą być informacje zawarte w publikacjach, w których znajdują się odpowiednie zestawienia i charakterystyki tych związków (np. Macioszczyk, 1987, 2006; Foster i in., 2002; Macioszczyk, Dobrzyński, 2007; Witczak i in., 2013).

Zanieczyszczenia wprowadzane do środowiska gruntowo-wodnego na OSW migrują razem z wodami podziemnymi w kierunku ujęcia. W wyniku tego, jakość wód ujmowanych na ujęciu może zostać obniżona. Aby właściwie ocenić dotkliwości następstw zagrożeń, konieczne jest uwzględnienie następujących założeń i parametrów:

- rodzaju zagrożenia (substancji);
- ładunku wprowadzanych zanieczyszczeń;
- czasu migracji przez strefę aeracji (składowa pionowa) i saturacji (składowa pozioma);
- procesów, które wpływają na tempo migracji i koncentrację zanieczyszczeń;
- rodzaju gruntu i parametrów odpowiedzialnych za prędkość przepływu wód podziemnych i transport zanieczyszczeń (migracji) w warstwie wodonośnej;
- natężenie przepływu wód podziemnych.

Zanieczyszczenia, które przemieszczają się w wodach podziemnych, podczas migracji podlegają wielorakim czynnikom i procesom (Witczak i in., 2013):

- konwekcyjnemu (adwekcyjnemu) przenoszeniu wraz z wodą podziemną, zgodnie z przeciętną szybkością (tzw. wypieranie „tłokowe”);
- gradientowi gęstościowemu (wody zanieczyszczone o większej mineralizacji, a więc gęstości mają tendencję do przenikania do głębszych stref strumienia wód podziemnych);
- dyfuzji molekularnej w kierunku zgodnym z gradientem stężeń;
- dyspersji hydrodynamicznej, czyli rozproszeniu substancji na skutek zróżnicowanych prędkości poszczególnych strug wody;
- sorpcji substancji z roztworu na fazie stałej (materiał warstwy wodonośnej) lub późniejszej desorpcji po usunięciu wód zanieczyszczonych.

Uwzględnienie wszystkich założeń do oceny dotkliwości następstw zagrożeń wymagałoby zaawansowanych metod opierających się na modelowaniu matematycznym, pod warunkiem, że dostępne będą niezbędne dane i parametry. Jednak na potrzeby wykonywania analizy ryzyka standardowych ujęć wód podziemnych proponuje się uproszczone metody: ekspercką i analityczną.

Metodę ekspercką proponuje się do stosowania przy braku danych o ładunku wprowadzonych zanieczyszczeń, braku informacji o warunkach hydrogeologicznych w rejonie ogniska zanieczyszczeń lub strefie przepływu wód do ujęcia. Zakłada się migrację zanieczyszczeń konserwatywnych, niezależnie od ich charakteru i składu chemicznego. Takie podejście zapewnia zachowanie znacznego marginesu bezpieczeństwa przy ocenie ryzyka. Przyjmuje się

więc, że skażenie wprowadzone do wód podziemnych przez ognisko zanieczyszczeń będzie migrowało w kierunku ujęcia. Metodą analogii i koniecznych uproszczeń autor opracowania oceni, w jakim stopniu skażenie może wpłynąć na jakość ujmowanych wód. Istotne będzie przy tym ustalenie, czy zagrożenie może obniżyć jakość wód poniżej klasy III lub wartości parametrycznych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294). Trzeba także mieć na uwadze, że wartości parametryczne w rozporządzeniu Ministra Zdrowia odnoszą się do wody w kranie konsumenta, a nie wody surowej. Klasyfikacja oprócz tła i wartości progowych bierze więc pod uwagę możliwość uzdatniania wód.

W miarę możliwości powinny zostać uwzględnione parametry hydrogeologiczne systemu wodonośnego oraz charakter substancji zanieczyszczającej.

Sposób takiej oceny został przeanalizowany na podstawie przykładów.

Przykład 1. W pobliżu ujęcia (100–500 m) znajduje się obszar zabudowy jednorodzinnej, na którym ścieki bytowe są odprowadzane do szamb. Ujęta warstwa wodonośna jest nieizolowana od powierzchni terenu. Przyjmujemy, że obszar nieskanalizowany stanowi potencjalne zagrożenie dla wód podziemnych, z uwagi na nieszczelne w pełni niektóre szamba. Dotkliwość następstw tego zagrożenia oceniamy na:

- umiarkowaną, jeżeli w ujmowanych wodach nie odnotowano do tej pory podwyższonych wskaźników (związki azotowe, chlorki);
- poważną, jeżeli w wodach ww. wskaźniki są podwyższone i obserwuje się tendencję wzrostową.

Jeżeli podobne zagrożenie (w tym kolektory ściekowe) znajduje się w większej odległości od ujęcia lub warstwa wodonośna jest izolowana osadami słaboprzepuszczalnymi, to dotkliwość następstw tych zagrożeń można ocenić jako nieistotne lub niewielkie.

Przykład 2. Dotkliwość następstw upraw rolnych, które występują na obszarze spływu wód do ujęcia, można oszacować w podobny sposób. Należy uwzględnić warunki hydrogeologiczne i odległość od ujęcia, ale także wielkość obszaru upraw rolnych. W przypadku braku izolacji warstwy wodonośnej dotkliwość następstw będzie nieistotna (kilka hektarów upraw) lub niewielka (kilkanaście hektarów i więcej). Jeżeli stan chemiczny wód wskazuje na ich zanieczyszczenia związkami azotowymi, to dotkliwość następstw będzie odpowiednio większa: umiarkowana lub poważna. Istotne przy tym będą trendy zmian jakości, które mogą wskazywać na narastający problem.

Dotkliwość następstw tego samego zagrożenia na obszarach o znacznej odporności naturalnej wód podziemnych (obecność osadów słaboprzepuszczalnych w nadkładzie warstwy wodonośnej) można odpowiednio obniżyć, zwłaszcza w przypadku braku zmian jakości wód podziemnych.

Przykład 3. Ujęcie zlokalizowane jest na terenach zagrożenia powodziowego i ekspozowane na ryzyko zalania terenu przez wody powierzchniowe. Dotkliwość następstw zagrożenia dla ujęcia, zwłaszcza gdy ujęta warstwa wodonośna nie jest izolowana, może być poważna, a nawet katastrofalna.

Przykład 4. Planowane inwestycje lub przeznaczenie terenu pod budowę obiektów, które mogą potencjalnie stanowić zagrożenie dla wód podziemnych (np. drogi szybkiego ruchu, tereny przemysłowe lub składowe, parkingi pod duże obiekty handlowe), także powinny być przedmiotem oceny dotkliwości następstw. Należy je ocenić zgodnie z ww. założeniami. Poziom dotkliwość będzie zależny od stopnia izolacji warstwy wodonośnej, odległości od ujęcia i charakteru inwestycji.

Wybrane przykłady nie wyczerpują wszystkich sytuacji, które będą podlegać ocenie dotkliwości następstw. Pokazują sposób i założenia dokonania oceny, które powinny być uwzględniane i stosowane w analizowanych przypadkach.

Metoda analityczna zakłada, że przy ocenie zostaną uwzględnione dostępne informacje hydrogeologiczne oraz dane o substancji zagrażającej. Istotne jest zwłaszcza oszacowanie ładunku wprowadzanych zanieczyszczeń, natężenia przepływu wód podziemnych oraz uwzględnienie w niektórych przypadkach informacji o procesach opóźniających migrację zanieczyszczeń lub rozpad tych substancji w środowisku gruntowo-wodnym. Poniżej podaje się kilka przykładów ilustrujących zakres stosowania metody.

Przykład 5. Ocena wpływu stosowania zimowego utrzymania dróg na jakość ujmowanych wód na ujęciu.

W pobliżu ujęcia (ok. 120 m) przebiega droga szybkiego ruchu, która w okresach zimowych jest posypywana solą (NaCl). Ujęcie składa się z dwóch studni pracujących naprzemiennie ze średnią wydajnością $70 \text{ m}^3/\text{h}$ ($1680 \text{ m}^3/\text{d}$). Chlorki są substancją konserwatywną, nie podlegają procesom rozpadu. Migrację chlorków w wodach podziemnych można analizować zgodnie z założeniami przepływu tłokowego. Po zasięgnięciu informacji od użytkownika drogi przyjęto, że ładunek chlorków wprowadzanych do wód podziemnych może sięgać 100 kg/d . Po wykonaniu odpowiednich przeliczeń ($100 \text{ kg/d} / 1680 \text{ 000 kg/d}$) stężenie chlorków w ujmowanych wodach na ujęciu będzie wynosić ok. 60 mg/l . Przy założeniu, że naturalne tło chlorków w ujmowanych wodach wynosi $15\text{--}30 \text{ mg/l}$, można się spodziewać, że sezonowo ich koncentracja w ujmowanych wodach wzrośnie do 90 mg/l . Wartość ta nie przekracza dopuszczalnych norm dla wód pitnych, chociaż obniży jakość wód do II klasy. Dotkliwość następstw tego zagrożenia zgodnie z tabelą 6 jest niewielka.

Zagrożenie może być jednak istotne w przypadku stosowania większej ilości środków zimowego utrzymania dróg, np. na terenach zwartej zabudowy miejskiej lub nieuszczelnego zbiornika retencyjnego, odbierającego wody opadowe z dróg. Jeżeli ładunek wprowadzanych chlorków do wód podziemnych przekroczyłby 400 kg , to stan wód podziemnych obniżyłby się do klasy III lub IV, co wykluczałoby jej przeznaczenie do spożycia. Dotkliwość następstw analizowanego zagrożenia byłaby poważna lub katastrofalna.

Przykład 6. Ocena wpływu zanieczyszczeń historycznych na jakość wód ujmowanych na ujęciu.

Na obszarze spływu wód do ujęcia istnieje strefa wód zdegradowanych na skutek presji terenów przemysłowych. W wodach podziemnych znajdują się różne substancje ropopochodne, w tym benzen. Do analizowania dotkliwości tego zagrożenia wybrano benzen, który jest substancją najbardziej mobilną i niereaktywną spośród rozpoznanych węglowodorów.

Rozpoznanie skażenia jest słabe, przyjęto, że wypełnia całą miąższość warstwy wodonośnej.

Na froncie przepływu wód zanieczyszczonych, w odległości 800 m od ujęcia, jego stężenie wynosi $2\text{--}5 \text{ }\mu\text{g/l}$. Bardzo trudno jest prognozować koncentrację tej substancji na drodze przepływu wód, gdyż zależy od wielu parametrów, które nie są do końca znane. W takiej sytuacji ocenę dotkliwości następstw tego zagrożenia można dokonać przez analogię do innych dobrze rozpoznanych zdarzeń. W rozważanym przypadku można przyjąć, że stężenie benzenu po dotarciu do ujęcia może nie obniżyć się poniżej dopuszczalnego progu dla wód do picia. Z uwagi na toksyczny charakter związków ropopochodnych, proponuje się przyjąć dotkliwość następstw jako poważną lub katastrofalną. W przypadku benzenu zachodzi nieśpójność między dopuszczalnym progiem dla III klasy jakości wód ($10 \text{ }\mu\text{g/l}$) a dopuszczalnym stężeniem dla wód pitnych ($1 \text{ }\mu\text{g/l}$).

Przykład 7. Ocena zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego – nawozy sztuczne.

Dotkliwość następstw zagrożenia można oszacować, porównując ładunek zanieczyszczeń wprowadzanych do warstwy wodonośnej z objętością wody podziemnej narażonej na zanieczyszczenia. Korzystając ze sposobu zaproponowanego przez Rubina i in. (2019), można wykonać odpowiednie obliczenia, przy założeniu, że:

- powierzchnia stosowania nawozów wynosi 10 ha (100 000 m²);
- miąższość warstwy wodonośnej – 45 m;
- porowatość aktywna – 0,25 (piaski średnio- i różnoziarniste);
- ilość stosowanego nawozu – 100 kg/ha (polifoska 8 zgodnie z zaleceniami agrotechnicznymi), a więc na analizowanym obszarze 1000 kg.

Zgodnie ze specyfikacją ten nawóz zawiera 8% azotu w formie amonowej (NH₄), 45% pięcioletku fosforu (P₂O₅), 24% tlenku potasu (K₂O). Część tych składników nie jest absorbowana przez rośliny i przesącza się do wód podziemnych ok.: 50% azotu, 65% fosforu i 40% potasu (Rubin i in., 2019). Po przeliczeniu ich ilość wynosi odpowiednio: NH₄ – 40 kg, P₂O₅ – 292,5 kg, K₂O – 96 kg.

Objętość wody zawarta w matrycy skalnej pod terenami rolnymi została obliczona wg poniższego wzoru:

$$O = Pow \cdot m \cdot n_a \quad [2]$$

gdzie:

- O – objętość wody w matrycy skalnej [m³],
- Pow – powierzchnia upraw rolnych [m²],
- m – miąższość warstwy wodonośnej [L],
- n_a – porowatość aktywna [–].

Ilość wody wypełniającej warstwę wodonośną wynosi 1 125 000 m³.

Przeliczając ładunek poszczególnych składników na objętość wód podziemnych, do których docierają, można ustalić ich stężenie, które wynosi: NH₄ – 0,04 mg/l; P₂O₅ – 0,26 mg/l; K₂O – 0,09 mg/l.

Niski poziom stężeń poszczególnych składników w wodach podziemnych powoduje nieistotną dotkliwość następstw tego zagrożenia.

Przedstawione przykłady, pokazujące metody oceny dotkliwości następstw, opierały się na ocenie eksperckiej lub obliczeniach analitycznych, które zakładały uproszczone rozwiązania. Analizowany model łokowego transportu zanieczyszczeń pomija wiele procesów, które towarzyszą migracji zanieczyszczeń w środowisku gruntowo-wodnym. Można jednak niektóre przypadki migracji zanieczyszczeń analizować z uwzględnieniem procesów opóźniających. Przykładowe obliczenia w odniesieniu do pestycydów umożliwia procedura opisana przez Witczaka i in. (2013).

Przykład 8. Ocena dotkliwości następstw zagrożeń wynikających z oddziaływania składowiska odpadów na wody podziemne.

Na terenie nieczynnej kopalni kruszywa doszło do zanieczyszczenia wód podziemnych składowanymi odpadami zawierającymi atrazynę wycofaną ze stosowania w rolnictwie (Lidzbarski i in., 2015). Do analizy wybrano strumień przepływu wód podziemnych, w którym były dobrze udokumentowane zmiany hydrochemiczne: od wyrobiska, poprzez piezometr P-1 aż do piezometru P-3 (rys. 6). Początkową koncentrację atrazyny wprowadzaną do wód podziemnych przyjęto w wysokości 10 µg/l. Było to maksymalne stężenie odnotowane w wodach wyrobiska tuż po wykryciu skażeń na terenie kopalni (2012 r.).

Maksymalna odległość na jaką mógł przeniknąć pestycyd od tego czasu wzdłuż drogi przepływu z wyrobiska w kierunku piezometru P-3 została obliczona wg wzorów (Witeczak i in., 2013):

$$L = \frac{U \cdot t_{p(art)}}{R} \quad \text{oraz} \quad t_p = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln \left(\frac{c_0}{c_{MPL}} \right) \quad [3]$$

gdzie:

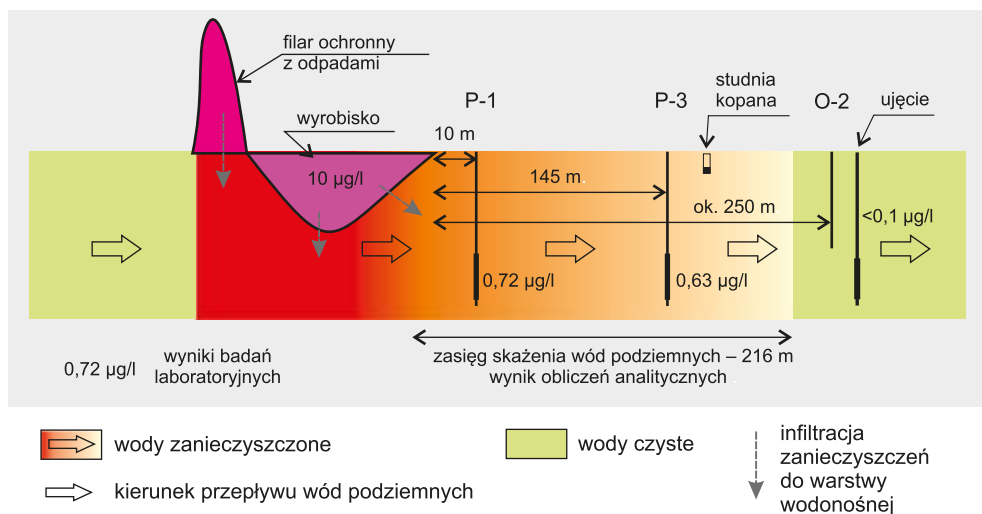
- L – maksymalna odległość przenikania pestycydu wzdłuż drogi przepływu wód podziemnych [m],
- U – rzeczywista prędkość przepływu wód podziemnych [m/rok],
- $t_{p(art)}$ – czas utrzymywania się ponadnormatywnej zawartości atrazyny w wodzie podziemnej [lata], czas przepływu wód w warstwie wodonośnej,
- R – wielokrotność opóźnienia [-],
- $t_{1/2}$ – czas połowicznego rozpadu atrazyny [lata],
- c_0 – początkowe stężenie atrazyny w wodach podziemnych [$\mu\text{g/l}$],
- c_{MPL} – dopuszczalne stężenie atrazyny w wodach podziemnych [$\mu\text{g/l}$].

Przyjęto następujące parametry:

$U = 375 \text{ m/rok}$, $c_{MPL} = 0,1 \text{ } \mu\text{g/l}$, $c_0 = 10 \text{ } \mu\text{g/l}$,
 $R = 2,4$, $t_{1/2} = 2,5 \text{ miesiąca}$, $t_p = 16,6 \text{ miesięcy} = 1,38 \text{ lat}$.

Obliczenia pokazały, że strumień wód zanieczyszczonych sięga na odległość 216 m (L) od granic wyrobiska wypełnionego skażoną wodą. Zbieżne są one do wyników badań monitoringu lokalnego (Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska – WIOŚ) oraz rozpoznania hydrochemicznego (PIG-PIB). Zasięg występowania skażeń zilustrowano na rysunku 6. Rezultaty obliczeń potwierdziły także badania modelowe ukierunkowane na prognozowanie koncentracji atrazyny w wodach podziemnych (Lidzbarski i in., 2015).

Badania wykazały, że ujęcie wody nie jest zagrożone obniżeniem jakości wód. Pozwala to na ocenę dotkliwości następstw zagrożenia jako nieistotną. Bliżej ogniska skażeń jest zlokalizowana studnia kopana, która nie podlegała co prawda analizie ryzyka, jednak należy ostrzec użytkowników



Rys. 6. Zasięg skażenia atrazyną w wodach podziemnych wyznaczony na podstawie wyników obliczeń oraz rozpoznania hydrochemicznego WIOŚ i PIG-PIB (wrzesień 2015 r.)

ków o możliwości skażenia wody. Koncentracja atrazyny w tym miejscu wynosi ok. 0,5 µg/l, co kwalifikuje te wody do poważnego, a nawet katastrofalnego poziomu dotkliwości następstw.

Analizowane zagrożenie było dobrze rozpoznane i udokumentowane kilkuletnim monitoringiem wód podziemnych. Dlatego ocenę można uznać za wiarygodną. W przypadku słabszego rozpoznania migracji zanieczyszczeń, z uwagi na zasadę ostrożności, konieczne byłoby podniesienie kategorii dotkliwości o jeden poziom.

Przedstawiony sposób obliczeń można także wykorzystać do analizowania zagrożeń (dotkliwości następstw) przy ocenianiu wpływu stosowania pestycydów w uprawach rolnych.

3.6.3. Ocena podatności wód podziemnych na zagrożenie wyrażone czasem dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do studni ujęcia wody (V)

Niezbędnym elementem analizy ryzyka jest ustalenie podatności wód podziemnych na zagrożenie, wyrażone czasem dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do studni ujęcia wody.

Pojęcie podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia znane jest od wielu lat. Wprowadził je we Francji Margat (Vrba, Zaporozec, 1994) i od tego czasu jest rozwijane i stosowane przez wielu badaczy i instytucje. W Polsce przykładem opracowań z tego zakresu są m.in. publikacje: Żurek i in., 2002; Witkowski i in., 2003; Kajewski, 2010; Krogulec i in., 2019; Bukowski i in., 2020.

Rozróżniamy podatność naturalną i specyficzną. Według Krogulec (w: Macioszczyk, 2006) podatność naturalna wód podziemnych na zanieczyszczenia (nazywana także podatnością właściwą lub wewnętrzną) jest rozumiana jako naturalna właściwość systemu wodonośnego, określająca ryzyko migracji substancji szkodliwych z powierzchni terenu do poziomu wodonośnego. Jest ona determinowana wyłącznie warunkami hydrogeologicznymi (zasilanie, przepływ, właściwości utworów izolujących wody podziemne od powierzchni terenu). Natomiast podatność specyficzna, prócz podatności naturalnej, uwzględnia także rodzaj substancji zanieczyszczającej, jej ładunek oraz charakter przestrzenny ogniska zanieczyszczeń.

Istnieje wiele metod oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia (Krogulec, 2004; Macioszczyk, 2006):

- metody parametryczne, oparte na wyborze najbardziej istotnych parametrów pod względem potencjalnego zagrożenia wód podziemnych. Wśród nich można wyróżnić metodę bazującą na ocenie czasu przesączania i przesiąkania, czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych oraz czasu transportu adwekcyjno-dyspersyjnego;
- metody rangowe (indeksacji parametrów), polegające na wyborze zestawu parametrów, mających największy wpływ na możliwość zanieczyszczenia wód podziemnych, np. DRASTIC;
- metody modelowania matematycznego i hydrogeochemicznego, za pomocą których można odwzorować system wodonośny oraz analizować różne scenariusze zdarzeń. Obliczenia modelowe pozwalają określić podatność naturalną i specyficzną wód podziemnych na zanieczyszczenia;
- metody wskaźnikowe pozwalają za pomocą znaczników określić podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia w skali lokalnej.

Są jeszcze inne metody oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, które szerzej zostały opisane w ww. pracach. Do oceny podatności i zagrożeń wód podziemnych na zanieczyszczenia mogą być także przydatne badania izotopowe, których znaczenie w środowisku wód podziemnych oraz stosowanie ich w badaniach hydrogeologicznych zostało szeroko opisane w pracy pod redakcją Zuberka (2007).

Do oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia można się posłużyć także informacjami zawartymi w dokumentacji hydrogeologicznej ujęcia, w tym wynikami modelowania, jeżeli zostało wykonane w ramach dokumentacji. Przydatne mogą się również okazać dane kartograficzne, np.: SMGP, MHP, MHP PPW-WJ oraz Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski w skali 1:500 000 (Duda i in., 2011).

Szczególną uwagę należy zwrócić na dokumentację hydrogeologiczną obszarów ochronnych GZWP. Sposób wyznaczania obszarów ochronnych oraz cel proponowanej ochrony zbiorników są zbieżne z dokumentacjami hydrogeologicznymi zasobów eksploatacyjnych ujęć wód podziemnych w zakresie proponowanych stref ochronnych. Mapy podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia zostały wykonane wg podobnej metodyki, którą rekomenduje się w niniejszym poradniku w odniesieniu do analizy ryzyka. Znaczna część dużych ujęć komunalnych jest zlokalizowana w obrębie GZWP, co może ułatwić wykonanie dla nich analizy ryzyka.

Korzystanie z ww. opracowań pozwoli ponadto na porównanie własnych wyników ocen podatności (wrażliwości) warstwy wodonośnej na zanieczyszczenie z przedstawionymi na arkuszach MHP.

Mając na uwadze zalety metod parametrycznych, do oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia rekomenduje się metodę opartą na ocenie czasu przesączania i przesiąkania, czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych oraz czasu transportu adwekcyjno-dyspersyjnego. Najczęściej wystarczy analiza czasu przesączania i przesiąkania oraz migracji w warstwie wodonośnej zanieczyszczeń konserwatywnych. Istotne więc będzie obliczenie sumy czasu przesączania zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni terenu do poziomu wodonośnego oraz czasu dopływu wód podziemnych do ujęcia:

$$t = t_a + t_p \quad [4]$$

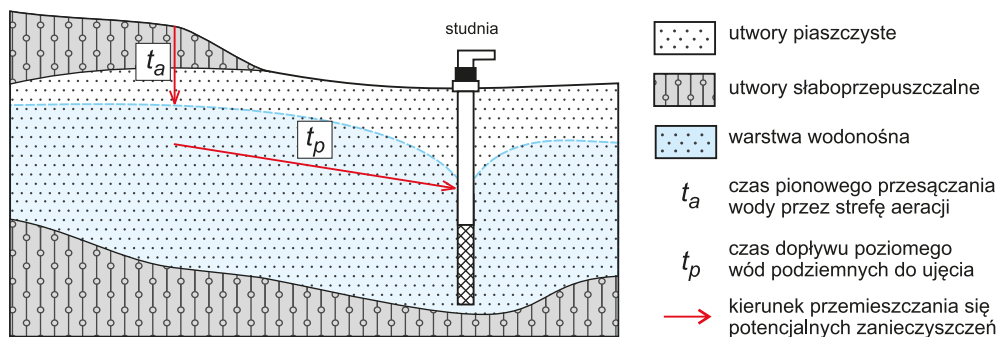
gdzie:

t – łączny czas dopływu potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu do ujęcia,

t_a – czas przesączania wód przez strefę aeracji, zgodnie z rysunkiem 7,

t_p – czas dopływu poziomego wód podziemnych do ujęcia.

Jeżeli dane są niewystarczające, to należy skorzystać z obliczeń analitycznych. Istnieje wiele metod, które można zastosować przy obliczaniu czasu migracji zanieczyszczeń



Rys. 7. Łączny czas dopływu potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu do ujęcia

z powierzchni terenu do warstwy wodonośnej w warunkach swobodnych lub naporowych. Najczęściej wykorzystuje się metody bazujące na formułach obliczeniowych dotyczących zanieczyszczeń konserwatywnych oparte na czasie wymiany wody w profilu skalnym (t_{kons}) przy założeniu wypierania tłokowego (Duda i in., 2011, 2013; Witeczak, 2011):

$$t_{kons} = t_a = \sum_{i=1}^n \frac{(m_{ai} \cdot w_{oi})}{I_e} \quad [5]$$

gdzie:

- t_a – czas przesączania wody przez strefę aeracji [lata],
- m_{ai} – miąższość i -tej warstwy litologicznej wydzielonej w profilu pionowym strefy aeracji [m],
- w_{oi} – wilgotność objętościowa utworów i -tej warstwy litologicznej w strefie aeracji [-],
- I_e – infiltracja efektywna opadów [m/rok].

Uzyskane wg tego wzoru wartości czasu są wartościami średnimi, a ich dokładność zależy od stopnia rozpoznania warunków hydrogeologicznych.

Wilgotność objętościowa (w_o) dla poszczególnych typów gleby lub utworów w strefie aeracji można przyjąć na podstawie danych archiwalnych (o ile są dostępne) lub informacji zawartych w tabelach 9 i 10.

Infiltracją efektywną (I_e) nazywamy tę część opadów atmosferycznych, która po pomniejszeniu objętości związanej ze spływem powierzchniowym, ewpotranspiracją oraz procesem wiązania siłami molekularnymi z ziarnami gruntu w strefie aeracji przedostaje się do strefy saturacji i skutecznie zasila wody podziemne (Dowgiałło i in., 2002). Natomiast wskaźnik infiltracji efektywnej (w_i) określa jaka część opadów efektywnie przesączyla się do strefy saturacji. Na wielkość infiltracji efektywnej wpływa wielkość opadów oraz właściwości gruntu i terenu, z których najważniejszą jest przepuszczalność utworów powierzchniowych.

Intensywność infiltracji efektywnej (I_e) proponuje się oszacować, wybierając jedną z metod:

- uproszczoną, wg której dla poszczególnych utworów występujących na powierzchni terenu przypisywane są różne wartości wskaźnika infiltracji efektywnej (np. Pazdro, Kozerski, 1990 – tab. 11). Można w tym celu skorzystać ze SMGP. Wskaźnik infiltracji efektywnej odnosi się do regionalnych wydzieleni obszarów z dominującymi rodzajami litologiczno-genetycznymi utworów o zbliżonych właściwościach infiltracyjnych pokrywcy czwartorzędowej;
- szczegółową, z uwzględnieniem dodatkowych czynników wpływających na intensywność infiltracji efektywnej, jak rodzaj utworów przypowierzchniowych, ukształtowanie powierzchni terenu, rodzaj pokrycia i zagospodarowania powierzchni, a także głębokość występowania wód podziemnych na obszarach drenażowych.

W **metodzie uproszczonej** korzysta się ze wzoru:

$$I_e = P \cdot w_i \quad [6]$$

gdzie:

- I_e – infiltracja efektywna opadów [m/rok],
- P – średni opad roczny [m/rok],
- w_i – wskaźnik infiltracji efektywnej [-].

Średnią wieloletnią z rocznych wysokości opadów atmosferycznych można pozyskać z bazy danych IMGW. Proponowana metoda dobrze sprawdza się na obszarach, gdzie na powierzchni terenu występują osady polodowcowe. Zaleca się łączenie pojedynczych wydzieleni litologicznych SMGP o podobnej litologii w jeden kompleks geologiczno-morfologiczny.

Tabela 9

**Wilgotność objętościowa gleb (w_{og}) typowa dla przyjętych kategorii gleb
i ich zdolności ochronne (Witczak i in., 2011)**

Kategoria gleby	Grupa granulometryczna (wg klasyfikacji glebowej)	Rodzaje i gatunki gleb	w_{og} [-]	Zdolność ochronna gleby
Bardzo lekka	piasek: luźny, luźny pylasty, słabogliniasty i pylasty	gleby żwirowe (ż), piaski luźne (pl), piaski słabogliniaste (ps), gleby skaliste (sk), gleby szkieletowe (sz), gleby piaszczyste (p)	0,12	bardzo słaba
Lekka	piasek: gliniasty lekki, pylasty mocny i pylasty, pył piaszczysty	piaski gliniaste (pg); piaski słabogliniaste i gliniaste (pgs), rędziny trzeciorzędowe (Rtr), rędziny jurajskie (Rj), rędziny starszych formacji geologicznych (Rs), rędziny gipsowe (Rg), mady piaszczyste (Fp), gleby murszowe i murszowate (M)	0,17	słaba
Średnia	glina lekka i pylasta oraz pył gliniasty	gleby gliniaste lekkie (gl), gleby pyłowe (ptw), gleby lessowe i lessowate (ls), gleby gliniaste (g), gleby pyłowe (pl), rędziny kredowe (Rk), mady (F)	0,24	średnia
Ciężka	glina: średnia i pylasta, ciężka i pylasta, pył ilasty oraz il pylasty	gleby gliniaste średnie (gs), gleby gliniaste ciężkie (gc), gleby ilaste (il), torfy (T), gleby mułowo-bagienne (E)	0,36	dobra

Tabela 10

**Zmienność wartości niektórych właściwości hydrogeologicznych wybranych gruntów
i skal (na podst. Witczaka, Żurek, 1994 i innych prac; zmienione)**

Typ litologiczny	Wilgotność objętościowa w_o [%]	Współczynnik infiltracji efektywnej α [%]	Porowatość aktywna n_a [%]
1	2	3	4
Skąły magmowe, metamorficzne i inne skąły lite spękanie i szczelinowate (ośrodek szczelinowy)	0,1–1 (1,5)	12	<2*
Skąły węglanowe (wapienie, dolomity) skrasowiałe, silnie spękanie i szczelinowate (ośrodek szczelinowo-krasowy), wapienie detrytyczne	2	20–25	>2*
Piaskowce, flisz karpaccy – serie piaskowcowe z łupkami, opoki, gezy, kreda, spękanie, szczelinowate (ośrodek szczelinowo-porowy)	4–7	(10) 13–17	1–12*
Margle, kreda – mikroszczelinowate, porowate (ośrodek porowo-szczelinowy)	10	17	<15
Rumosze niezailone, czyste żwiry	5–7	25–30	30–35
Żwiry zapiaszczone, piaski ze żwirami	8–11	22–25	25–30
Piaski gruboziarniste	11–12	20–22	20–25
Piaski średnioziarniste	12–14	16–18	18–22

Tabela 10 cd.

1	2	3	4
Piaski drobnoziarniste i pylaste	15–17	14–16	14–16
Piaski pylaste i gliniaste	18–23	12–14	12–14
Gliny piaszczyste morenowe, gliny zwałowe, gliny lekkie	24–26	12	10–12
Gliny zwięzłe morenowe, gliny ciężkie	28–32	8–10	8–10
Pyły, lessy	30–32	12–13	8
Pyły ilaste, lessy ilaste	33–35	8–10	6–7
Iły pylaste	36	5–8	5
Iły	38	3–4	3
Namuły, muły	40–49	3–4	4

* porowatość szczelinowa

Tabela 11

Wskaźniki infiltracji (Pazdro, Kozerski, 1990; zmienione)

Klasa	Warunki infiltracji	Wskaźnik infiltracji w_i	Rodzaj utworów
I	bardzo dobre	0,30–0,35	żwiry i piaski wodnolodowcowe, sandrowe, wydymowe, rzeczne tarasów akumulacyjnych, piaski pokrywowe
II	dobre	0,25	piaski i żwiry moreny czołowej, piaski i żwiry glacialne
III	średnie	0,20 0,10–0,20	piaski i mułki tarasów zalewowych, deluwia piaszczyste, piaski pylaste gliny zwałowe piaszczyste (pokrywowe)
IV	złe	0,05–0,10 0,02–0,05	gliny zwałowe, deluwia gliniaste iły i mułki zastoiskowe

Metoda szczegółowa uwzględnia dodatkowe czynniki wyrażone we wzorze (Witczak i in., 2011):

$$I_e = P \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta \quad [7]$$

gdzie:

P – średnia wieloletnia wysokość rocznych opadów atmosferycznych [m/rok],

α – współczynnik infiltracji zależny od rodzaju utworów przypowierzchniowych [–],

β – współczynnik zależny od rodzaju pokrycia i zagospodarowania powierzchni [–], w razie braku danych szczegółowych można przyjąć wartość przybliżoną, czyli: lasy i mokradła $\beta = 0,9$; odsłonięte powierzchnie z ubogą roślinnością lub bez roślinności, plaże, wydmy, odsłonięte skały, roślinność rozproszona, zwałowiska, hałdy itp. $\beta = 1,2$; pozostałe typy pokrycia i zagospodarowania terenu $\beta = 1,0$,

γ – współczynnik zależny od stopnia nachylenia powierzchni terenu (tab. 12) [–],

δ – współczynnik zależny od głębokości występowania pierwszego zwierciadła wód podziemnych: $\delta = 0,6$ gdy głębokość jest < 2 m; $\delta = 1,0$ gdy głębokość jest > 2 m (Herbich i in., 2008; Witczak i in., 2011; Szilagyi i in., 2013).

Współczynnik infiltracji efektywnej zależny od litologii utworów przypowierzchniowych (α) można przyjąć na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych i publikacji lub wykorzystać wartości zestawione w tabeli 10.

Poniżej podano przykłady obliczenia czasu przepływu pionowego przez strefę aeracji dla dwóch przypadków zgodnie ze wzorem [5]:

- a) analizowane miejsce jest zlokalizowane w dolinie, w strefie aeracji występują osady piaszczyste dobrze przepuszczalne pod metrową warstwą gleb (piaski luźne). Infiltracja efektywna opadów zostanie obliczona wg wzoru [6].

Dane wejściowe do obliczeń:

$$m_{a1} = 1 \text{ m}$$

$$m_{a2} = 3 \text{ m}$$

$$w_{o1} = 0,12 \text{ (zgodnie z tabelą 9)}$$

$$w_{o2} = 0,09 \text{ (zgodnie z tabelą 10)}$$

$$w_i = 0,3 \text{ (tabela 11)}$$

$$P = 650 \text{ mm/rok}$$

$$I_e = 0,65 \text{ m/rok} \cdot 0,3 = 0,195 \text{ m/rok}$$

$$t_a = \sum_{i=1}^n \frac{(m_{ai} \cdot w_{oi})}{I_e} = \frac{1 \text{ m} \cdot 0,12}{0,195 \text{ m/rok}} + \frac{3 \text{ m} \cdot 0,09}{0,195 \text{ m/rok}} = 0,615 + 1,385 = 2 \text{ lata}$$

- b) analizujemy miejsce na obszarze zabudowanym ze spadkami terenu, w strefie aeracji występują osady dobrze przepuszczalne o miąższości 7 m. Brakuje gleb. Infiltracja efektywna opadów zostanie obliczona wg wzoru [7].

Dane wejściowe do obliczeń:

$$m_a = 7 \text{ m}$$

$$w_o = 0,12 \text{ (zgodnie z tabelą 10)}$$

$$P = 650 \text{ mm/rok}$$

$$\alpha = 0,12 [-]$$

$$\beta = 1 [-]$$

$$\gamma = 0,9 [-]$$

$$\delta = 1 [-]$$

$$I_e = 0,65 \text{ m/rok} \cdot 0,12 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,078 \text{ m/rok (zgodnie ze wzorem [7])}$$

$$t_a = \frac{(m_a \cdot w_o)}{I_e} = \frac{7 \text{ m} \cdot 0,12}{0,078 \text{ m/rok}} = 10,8 \text{ lat}$$

Tabela 12

Wartości współczynnika γ zależne od stopnia nachylenia terenu (Witeczak i in., 2011)

γ	Nachylenie terenu		γ	Nachylenie terenu	
	%	stopnie (°)		%	stopnie (°)
1,0	<5	<2	0,8	13–17	6–8
0,9	5–9	2–4	0,75	17–20	8–10
0,85	9–13	4–6	0,7	>20	>10

W niektórych warunkach hydrogeologicznych powyżej ujętej warstwy wodonośnej występuje płytsza warstwa, przy czym obie są rozdzielone osadami słaboprzepuszczalnymi. W takim przypadku czas przesiąkania wody przez słaboprzepuszczalną warstwę rozdzielającą określa wzór:

$$t_{sp} = \frac{(m')^2 \cdot n_a}{k' \cdot \Delta H} \quad [8]$$

gdzie:

- t_{sp} – czas przesiąkania wody przez warstwę słaboprzepuszczalną [lata],
- m' – miąższość warstwy słaboprzepuszczalnej [m],
- n_a – porowatość aktywna [-],
- ΔH – różnica ciśnień między kolejnymi warstwami wodonośnymi rozdzielonymi kompleksem osadów słaboprzepuszczalnych [m],
- k' – współczynnik filtracji osadów słaboprzepuszczalnych [m/rok].

Przy wyborze odpowiedniego wzoru do obliczeń czasu pionowego przesączania należy uwzględnić warunki hydrostrukturalne, stopień rozpoznania parametrów warstw wodonośnych i osadów słaboprzepuszczalnych oraz typ litologiczny nadkładu.

Podczas stosowania wzoru [8] zaleca się uwzględnić zwiększoną różnicę ciśnienia wody (ΔH) między warstwami wodonośnymi rozdzielonymi kompleksem osadów słaboprzepuszczalnych, na skutek poboru wody w głębszym poziomie wodonośnym. Zapewni to uwzględnienie najbardziej niekorzystnej sytuacji z punktu widzenia migracji potencjalnych zanieczyszczeń. Podobne rozwiązanie zastosowano na potrzeby mapy obszarów GZWP (Kleczkowski i in., 1990), chociaż w tym przypadku dotyczyło obniżenia naporu (wysokości hydraulicznej) o połowę.

Przykład obliczenia t_{sp} wg wzoru [8]:

$$m' = 9 \text{ m}$$

$$n_a = 0,25 \text{ [-]}$$

$$\Delta H = 3 \text{ m}$$

$$k' = 0,32 \text{ m/rok}$$

$$t_{sp} = \frac{(m')^2 \cdot n_a}{k' \cdot \Delta H} = \frac{81 \cdot 0,25}{0,32 \cdot 3} = 21,1 \text{ lat}$$

Jeżeli analizowana sytuacja dotyczy otoczenia ujęcia warto zwiększyć różnicę ciśnienia (ΔH) między warstwami wodonośnymi o połowę spodziewanej depresji. W analizowanym przypadku różnica ΔH zwiększy się do 8 m. W efekcie skorygowany czas przesiąkania pionowego między warstwami wodonośnymi obniży się do 7,9 lat.

Więcej informacji o proponowanych metodach obliczeniowych zawiera druga część poradnika „Metodyka wyznaczania stref ochronnych ujęć wód podziemnych”.

Ostatnim parametrem niezbędnym do ustalenia podatności ujmowanych wód podziemnych na zanieczyszczenie jest czas dopływu poziomego wód podziemnych do ujęcia (t_p). W tym celu można skorzystać ze wzoru na prędkość rzeczywistą przepływu wód podziemnych:

$$U = \frac{kI}{n_a} \quad [9]$$

gdzie:

- U – prędkość rzeczywista przepływu wód podziemnych [L/T], np. [m/rok],
- n_a – porowatość aktywna utworów wodonośnych [-],

- k – współczynnik filtracji utworów wodonośnych [L/T], np. [m/rok],
 I – gradient hydrauliczny strumienia wód poza zasięgiem oddziaływania studni lub w warunkach naturalnych przed uruchomieniem studni [–].

Podczas ustalania gradientu hydraulicznego zaleca się skorzystać z informacji zawartych w dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia lub na MHP w skali 1:50 000.

Przy założeniu typowych warunków hydrogeologicznych: $k = 0,72$ m/h, $I = 0,005$ [–], $n_a = 0,25$ rzeczywista prędkość przepływu wód podziemnych wynosi $U = 0,0144$ m/h, czyli 126 m/rok. Jeżeli ognisko zanieczyszczeń znajduje się w odległości 1 km od ujęcia, można się spodziewać, że zanieczyszczenia konserwatywne przyłyną do ujęcia po ok. 8 latach.

Przybliżone wartości parametru t_a i t_p można także ustalić, korzystając z diagramów na rysunku 8 i 9, zaczerpniętych z pracy Witczaka i in. (2013). Potrzebne są do tego te same dane jak do wzorów: [5], [6], [7] i [8].

W poradniku stosuje się termin *porowatość aktywna* n_a , który przez Szestakowa i Witczaka (w: Kleczkowski, 1984) nie jest utożsamiany z porowatością efektywną. Według tych autorów współczynnik porowatości aktywnej charakteryzuje tę część porów, które są wypełnione wodą wolną i otwarte dla filtracji. Natomiast współczynnik porowatości efektywnej, oznaczony symbolem n_e , uwzględnia dodatkowo zjawisko sorpcji składników przez ośrodki skalny. Pazdro i Kozerski (1990) nazywają ten rodzaj porowatości *zastępczą porowatością efektywną* (Okońska, 2006).

W przypadku dużych ujęć o poborach przekraczających 50 m³/h oraz w skomplikowanych warunkach hydrogeologicznych opisanych w rozdz. 3.7, może wynikać konieczność skorzystania z obliczeń modelowych do oceny czasu przepływu poziomego wód podziemnych.

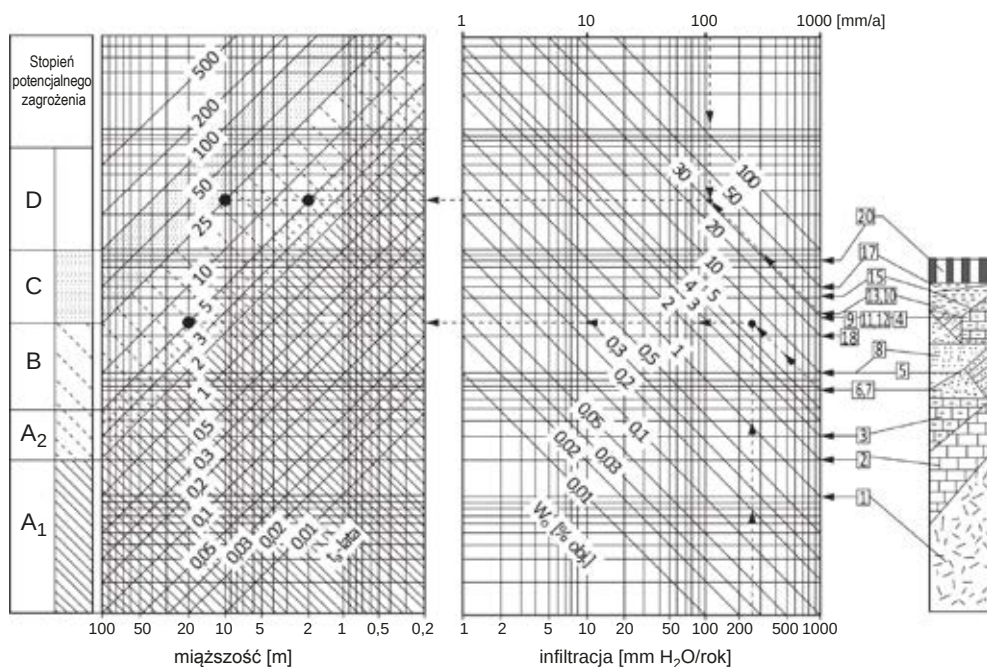
W celu oceny poprawności wykonanej analizy i oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie z powierzchni terenu (oceny czasu przepływu poziomego i czasu przesączania pionowego wody), każdorazowo należy podać i krótko opisać zastosowaną metodę obliczeniową, przyjęte założenia upraszczające (schemat hydrogeologiczny) oraz podać przyjęte wartości parametrów obliczeniowych wraz z ich uzasadnieniem.

3.7. Metody modelowania numerycznego w analizie ryzyka dla ujęć wód podziemnych

Modelowanie numeryczne jest powszechnie uznawane za najlepsze narzędzie w zakresie rozwiązywania zagadnień problemowych w hydrogeologii. Przewaga modelowania nad innymi dostępnymi technikami polega na możliwości rozwiązywania bardzo skomplikowanych przypadków, dla których często jest jedyną opcją i nie ma wiarygodnej alternatywy.

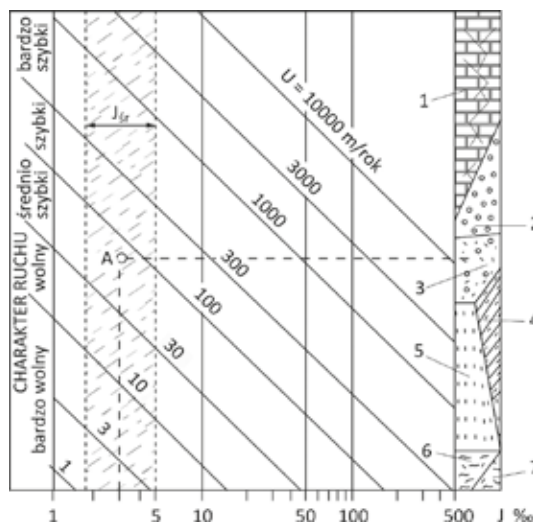
Przy wykonywaniu analizy ryzyka z całą pewnością wystąpią przypadki konieczności zastosowania modelowania numerycznego dla specyficznych sytuacji o znacznym stopniu złożoności, np.:

- relatywnie dużego poboru wód podziemnych, rekomenduje się dla wydajności pojedynczej studni powyżej 50 m³/h;
- funkcjonowania w obrębie obszaru bilansowego kilku oddziałujących na siebie czynnych studni i nakładania na siebie ich lejów depresji (a w konsekwencji OSW i obszarów zasobowych);
- zmiennego w czasie poboru wód podziemnych;
- poboru wody na obszarach deficytowych, w tym w zasięgu lejów depresji odwadnianych kopalń;



Rys. 8. Nomogram do przybliżonej oceny czasu (t_a – lata) migracji wód przez strefę aeracji wg Witczaka, Żurek, 1993

Objaśnienia: 1–20 – przeciętne wilgotności objętościowe (w_0 [%obj.]) typowych gruntów i skał w strefie aeracji; 1 – skały lite z rzadką siecią szczelin; 2 – skały szczelinowo-krasowe; 3 – margle, opoki makroszczelinowe; 4 – margle, opoki mikroszczelinowe; 5 – żwirowce, piaskowce; 7 – utwory piaszczysto-żwirowe; 8 – piaski drobne; 9 – piaski pylaste i gliniaste; 10 – gliny pokrywowe; 11 – gliny piaszczyste morenowe; 12 – gliny zwięzłe morenowe; 13 – lessy; 15 – iły (pliocen, miocen); 17 – namuły, muły; 18 – piaski próchnicze; 20 – torfy. Wysokość pola na profilu litologicznym oznacza zakres zmienności wilgotności objętościowej poszczególnych gruntów



Rys. 9. Przybliżone szybkości rzeczywiste (U – m/rok) naturalnych strumieni wód podziemnych wg Witczaka, 1984

Objaśnienia: J – spadki hydrauliczne na trasie przepływu (promile); J_{sr} – przeciętne naturalne spadki hydrauliczne; A – typowa szybkość dla utworów piaszczysto-żwirowych; 1–7 – przeciętne właściwości filtracyjne (k/n_0) typowych gruntów i skał wodonośnych: 1 – skały szczelinowo-krasowe, 2 – rumosze, czyste żwiry, 3 – utwory piaszczysto-żwirowe, 4 – żwirowce, piaskowce, skały drobnoszczelinowe, 5 – piaski drobnoszczelinowe, 6 – piaski pylaste, namuły, lessy, 7 – skały lite z rzadką siecią szczelin. Wysokość pola na profilu litologicznym oznacza zakres zmienności, dla poszczególnych gruntów, współczynników filtracji podzielonych przez porowatość aktywną (k/n_0)

- ujęć wód podziemnych zlokalizowanych w skomplikowanych i złożonych warunkach hydrogeologicznych, w tym w pobliżu ognisk zanieczyszczeń. System krążenia wód komplikuje także pozycja hydrodynamiczna poszczególnych ujęć, a nawet studni w systemie wodonośnym.

Metody numeryczne są czasochłonne i kosztowne, wymagają przygotowania znacznej ilości danych wejściowych. Z tego powodu najlepiej stosować je w przypadku jednoczesnego wykonywania analizy ryzyka i projektu strefy ochronnej (TOP) w ramach dodatku do dokumentacji hydrogeologicznej.

Na potrzeby analizy ryzyka modelowanie numeryczne może być zastosowane do oceny zagrożeń ilościowych i jakościowych dla ujęcia wód podziemnych, w tym w następujących zagadnieniach szczegółowych:

- a) określanie obszaru spływu wód do ujęcia (tylko w ramach dodatku do dokumentacji);
- b) określenie czasu przepływu wód w warstwie wodonośnej;
- c) określenie zagrożeń z tytułu migracji zanieczyszczeń z istniejących ognisk, pod kątem oceny czasu dopływu chmury zanieczyszczeń do ujęcia oraz oszacowania wpływu na jakość ujmowanych wód podziemnych;
- d) ocena zagrożeń dla ujęcia dla różnych scenariuszy poboru wód, w tym w szczególności dla ujęć zespołowych;
- e) określenie pionowego czasu dopływu wód w strefie aeracji do warstwy wodonośnej.

Do rozwiązywania zagadnień a–d można zastosować modele numeryczne przepływu wód i migracji zanieczyszczeń wykonane na podstawie standardowego oprogramowania, wykorzystującego metodę różnic skończonych (rodzina programów wykorzystująca program obliczeniowy MODFLOW), metodę elementów skończonych (np. program FEFLOW) lub metodę elementów analitycznych zalecanych przez EPA.

Minimalne wymagania w zakresie wykonywania i wykorzystania w analizie ryzyka ww. modeli są następujące:

- pierwszym etapem tworzenia modelu numerycznego powinno być opracowanie modelu conceptualnego strefy stanowiącej przypuszczalny OSW do ujęcia aż do jej naturalnej lub sztucznej granicy;
- obszar modelu powinien obejmować OSW lub jego fragment, wyznaczony zasięgiem izochrony 25 lat;
- należy dokonać weryfikacji wszelkich danych wykorzystywanych w modelowaniu, w tym w szczególności baz danych profili otworów wiertniczych stosowanych dla tworzenia modelu górotworu (siatki obliczeniowej) oraz wartości współczynników filtracji z próbnych pompowań pojedynczych studni, które są interpretowane z zastosowaniem różnych metod;
- modele powinny zostać skalibrowane z uwzględnieniem jednoczesowych datowanych pomiarów położenia zwierciadła wody;
- liczba punktów kalibracji powinna być dostosowana do rozmiarów modelu i istniejących w jego obrębie otworów wiertniczych z możliwością pomiaru poziomu zwierciadła wód podziemnych, optymalna liczba punktów kalibracyjnych powinna być większa niż 10–15;
- maksymalny dopuszczalny błąd modelu, wyrażony jako względny błąd RMS (znormalizowana średnia kwadratowa, ang. *normalized root mean square* – NRMS lub standaryzowana średnia kwadratowa, ang. *standarized root mean square* – SRMS) nie powinien przekraczać 5% (MDBC, 2000).

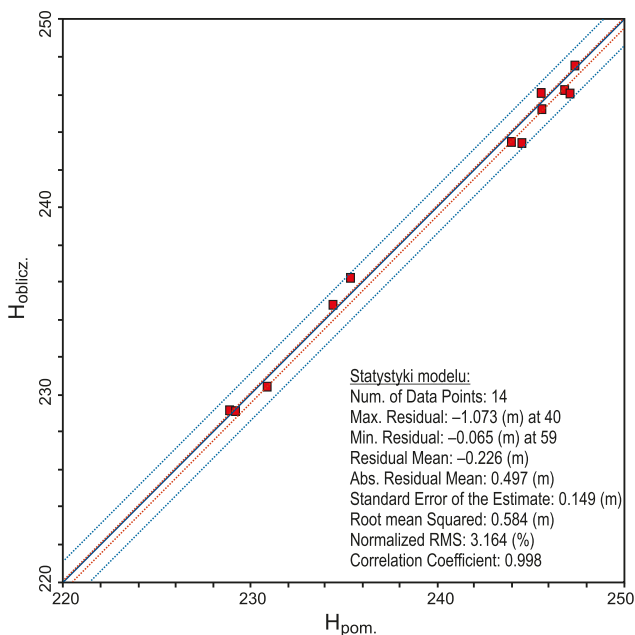
W ramach dokumentacji modelowania numerycznego powinien zostać zaprezentowany wykres dopasowania modelu do danych pomiarowych, który jest automatycznie generowany przez wybrane programy z rodziny MODFLOW, np. Visual MODFLOW (rys. 10).

W przypadku przygotowywania modelowania transportu masy (migracji zanieczyszczeń), kalibracja modelu obejmuje kwestie dopasowania położenia zwierciadła wód podziemnych, ale przede wszystkim dotyczy obliczonych i pomierzonych wartości stężeń substancji zanieczyszczającej w przestrzeni (w punktach pomiarowych) oraz w różnych przedziałach czasowych. W związku z powyższym na potrzeby wykonywania modeli transportu konieczne jest posiadanie kilku różnoczasowych serii pomiarów stężeń zanieczyszczeń w obrębie potencjalnej chmury zanieczyszczeń oraz również poza jej obszarem. Dodatkowo konieczne jest ustalenie pionowej zmienności stężeń w obrębie chmury zanieczyszczeń, co często wymaga użycia dyskretnych metod opróbowania wód podziemnych, z zastosowaniem wielopoziomowych otworów piezometrycznych lub technik umożliwiających pobór próbki wody w obrębie niewielkiego interwału części filtrowej otworu np. metodą *low flow*. Tego typu badania najczęściej przeprowadza się w związku z wykonywaniem oceny ryzyka zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294).

W celu określania obszaru spływu wód dla skalibrowanego modelu przepływu wód podziemnych wykorzystuje się program MODPATH, umożliwiający symulacje ruchu hipotetycznych cząstek wody (ang. *particles*) w warstwie wodonośnej. Prognozowanie ruchu cząstek może odbywać się zgodnie z kierunkiem przepływu wód podziemnych (ang. *forward*) lub niezgodnie, pod prąd strumienia (ang. *backward*). Obszar spływu wód do ujęcia odwzorowuje się wykorzystując hipotetyczne cząstki wody, startujące z okręgu otaczającego blok obliczeniowy odwzorowujący studnię, w obrębie adekwatnej warstwy modelu. Jest on wizualizowany za pomocą charakterystycznego układu linii prądu zbiegających się w studni ujęciowej. Zilustrowano to na rysunku 11, gdzie w obrębie OSW został wydzielony obszar zasobowy ujęcia.

Symulacja ruchu hipotetycznych cząstek wody pod prąd strumienia wód podziemnych (ang. *backward particles*) jest prowadzona w programie MODPATH od studni aż do strefy wododziałowej, granicy warstwy lub granic modelu. Jest możliwe ograniczenie ram symulacji do dowolnego przedziału czasowego, w tym do $t = 25$ lat.

Wykonywanie badań modelowych w związku z analizą ryzyka ujęcia wód podziemnych (choć czasochłonne i kosztowne) ma sens, gdyż umożli-

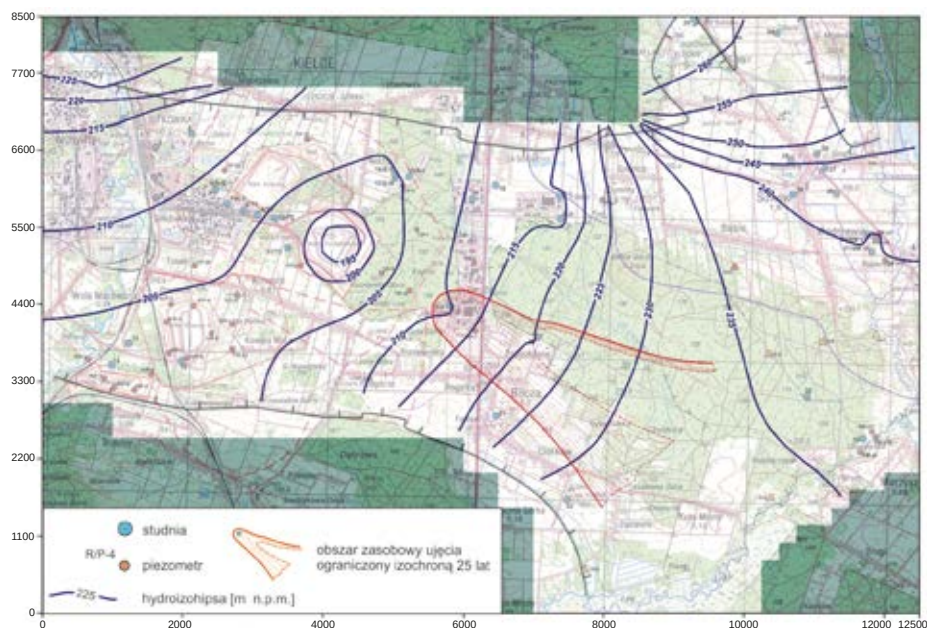


Rys. 10. Przykładowy wykres dopasowania modelu numerycznego do danych pomiarowych (Czop, 2012)

wia wykorzystanie stworzonego modelu na potrzeby optymalizacji pracy ujęcia, lokalizacji nowych studni ujęciowych. Pozwala na ocenę wpływu wszelkich działań i inwestycji realizowanych w sąsiedztwie ujęcia, na zasoby i jakość ujmowanych wód. Wykonywanie badań modelowych jest konieczne i powinno być obligatoryjne na obszarach deficytowych w wodę i o silnych oddziaływaniach antropogenicznych. Przykładem tego typu obszarów są tereny intensywnej działalności górniczej, gdzie systemy odwadniania kopalń odprowadzają z górotworu znaczne ilości wód podziemnych, a pobliskie ujęcia wód podziemnych wykorzystują zasoby tego samego zbiornika.

Na rysunku 11 przedstawiono przykładowe rozwiązanie dla określenia obszaru zasobowego ujęcia w Dyminach (na terenie miasta Kielce) w obrębie synkliny gałęzicko-bolechowicko-borkowskiej, gdzie w centralnej części modelu działalność drenażową prowadziło kilka dużych kopalń odkrywkowych. Interesującym elementem modelowania jest specyficzny kształt obszaru zasobowego ujęcia (OZU), który wynika z przejmowania części strumienia wód podziemnych przez inne sąsiednie ujęcie.

Ważnym obszarem zastosowania metod modelowania numerycznego w analizie ryzyka dla ujęć wód podziemnych jest wiarygodna ocena czasów przesączania wód podziemnych przez strefę aeracji. Do obliczeń wykonywanych na potrzeby analizy ryzyka wystarczające są metody uproszczone, opierające się na modelu tłokowym przepływu wód przez strefę aeracji (ang. *piston flow model* – PFM). Stosowanie tego modelu jest uzasadnione szczególnie do oceny najbardziej niekorzystnego scenariusza, możliwie najkrótszego czasu przepływu (przesączania się) wód przez utwory budujące strefę aeracji. W niektórych sytuacjach wskazane będą jednak bardziej dokładne obliczenia za pomocą specjalistycznych aplikacji (np. UnSat Suite, HYDRUS i in.).



Rys. 11. Przykład wykorzystania modelowania numerycznego do określenia obszaru zasobowego ujęcia (OZU) w skomplikowanych warunkach hydrodynamicznych, w strefie współdziałania studni ujęciowych i systemów odwadniania kopalń odkrywkowych – rejon miasta Kielce (Motyka, Czop, 2007)

4. EWALUACJA RYZYKA

Ewaluacja ryzyka to proces porównywania wyników analizy ryzyka z przyjętymi kryteriami w celu stwierdzenia czy jest ono akceptowalne, kontrolowane lub nieakceptowalne. Ponadto porównuje się różne rodzaje ryzyka i ustala dla nich priorytety w zależności od szacowanego wpływu, jaki dany rodzaj ryzyka może wywrzeć na integralność systemu zaopatrzenia w wodę do spożycia, a także podejmuje decyzje odnośnie do zmiany lub przyjęcia dodatkowych środków bezpieczeństwa.

Taka ewaluacja jest niezbędna do oceny, które potencjalne sytuacje i zdarzenia niebezpieczne stanowią istotne ryzyko dla zdrowia ludzkiego, co pozwoli w następnej kolejności dobrać odpowiednie działania korygujące (np. konieczność ustanowienia TOP) lub zastosować odpowiednie środki bezpieczeństwa. Ewaluacja ryzyka jest konieczna przed podjęciem jakichkolwiek następnych działań, które mają na celu ochronę zdrowia publicznego. Określa ona bowiem priorytetowe czynności jakie trzeba wykonać, żeby zminimalizować ryzyko, co pozwoli wyznaczyć działania organizacyjne i finansowe w sposób adekwatny do potrzeb.

W trakcie ewaluacji ryzyka możliwa jest ostateczna korekta kryteriów, które będą definiować kategorie ryzyka: akceptowalnego, kontrolowanego, nieakceptowalnego. Proces ewaluacji powinien także uwzględniać skumulowany efekt zdarzeń niepożądanych, zdefiniowanych przez poszczególne zagrożenia. Może się pojawić konieczność analizowania innych zagrożeń, do tej pory nieuwzględnionych. Wskazać należy te kategorie zagrożeń (ryzyk), które wymagają zdecydowanych działań z uwagi na bezpieczeństwo zdrowotne odbiorców wody, zapewnienie ciągłości dostaw oraz drastyczne obniżenie jakości wód podziemnych.

Zgodnie z przyjętą 4-stopniową kategoryzacją ryzyka (dla matrycy 5×5), w ramach jego ewaluacji, określono stany bezpieczeństwa, po przekroczeniu których należy podjąć działania naprawcze (tab. 13).

Tabela 13

Kategorie ryzyka

Kategorie ryzyka	Opis	R wskaźnik ryzyka
Niskie (akceptowalne)	Nie wywołuje wpływu na zdrowie konsumenta wody, co oznacza, że aktualnie nie ma potrzeby monitorowania danej sytuacji lub zdarzenia niebezpiecznego, bowiem prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń z nim związanych lub poziom ich dotkliwości nie mają znaczenia dla zdrowia publicznego	1–25
Średnie (akceptowalne)	Pojawienie się pojedynczych symptomów zagrożenia bezpieczeństwa. Jest to ryzyko, które po zidentyfikowaniu zostało uznane za mało istotne dla zdrowia publicznego, zwłaszcza ze względu na niewielką dotkliwość. Ryzyko akceptowalne z reguły nie wymaga przyjmowania szczególnych środków bezpieczeństwa. Wymaga jednak stałego monitorowania, głównie w kontekście sprawdzenia, czy nie wzrasta potencjalne ryzyko i czy nie ma potrzeby wdrożenia środków bezpieczeństwa, w tym TOP	26–50
Wysokie (kontrolowane)	Wywołuje stan zagrożenia bezpieczeństwa. Ryzyko to wymaga systematycznego monitorowania, czy przestrzegane są przyjęte środki bezpieczeństwa, w tym w ramach TOP	51–75
Bardzo wysokie (nieakceptowalne)	Powoduje stan utraty bezpieczeństwa. Ryzyko nieakceptowalne bezwzględnie wymaga działań korygujących i przyjęcia określonych środków bezpieczeństwa, np. określonych zakazów i nakazów w ramach TOP	>75

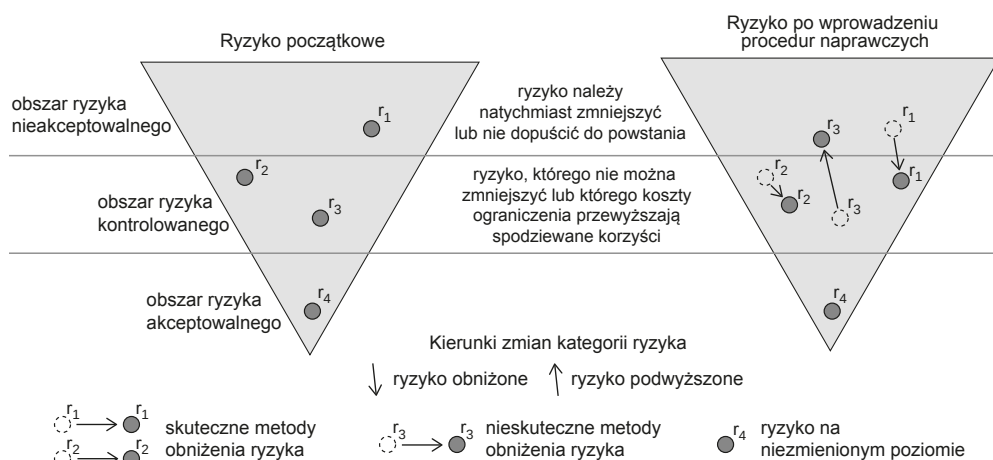
Obliczone lub szacowane poziomy ryzyka poszczególnych zdarzeń można zestawić tabelarycznie (patrz tab. 17 rozdz. 8) lub zilustrować graficznie, np. w postaci diagramu (rys. 12 lub patrz rys. 15 rozdz. 8), opracowany zgodnie z zasadą ALARP (*As Low As Reasonably Practicable* – tak niskie, jak to możliwe; Wróblewski, 2018).

Na podstawie rysunku 12 można pokazać kierunek zmian poziomu ryzyka przy uwzględnieniu działań naprawczych lub zwiększenie poziomu ryzyka z kontrolowanego do nieakceptowalnego w przypadku ich niepodjęcia.

Stopniowe podejście do oceny ryzyka zaleca także norma PN-EN 15975-2:2013-12:

- ryzyko początkowe (przy założeniu braku środków kontroli);
- ryzyko rezydualne (uwzględniające istniejące środki kontroli).

Należy przy tym dokonać pełnego przeglądu wszystkich wcześniej zidentyfikowanych zdarzeń i sytuacji niebezpiecznych.



Rys. 12. Ewaluacja ryzyka z wykorzystaniem zasady ALARP (zmienione)

5. OCENA KOŃCOWA, POSTĘPOWANIE Z RYZYKIEM, WNIOSKI I ZALECENIA

Głównym celem analizy ryzyka jest ustalenie, czy ujęcie wody wymaga wyznaczenia i ustanowienia TOP w celu właściwej ochrony jego zasobów wodnych przed degradacją ilościową i jakościową. Proponuje się pięć kryteriów, które ułatwią dokonanie końcowej oceny potrzeby wyznaczania TOP (tab. 14). Poniżej przedstawiono ich charakterystykę.

Niezbędnym elementem analizy ryzyka jest ustalenie podatności na zagrożenie wyrażone czasem dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do studni ujęcia, która zgodnie z wzorem [4] stanowi sumę obliczonego czasu migracji zanieczyszczeń konserwatywnych z powierzchni terenu do poziomu wodonośnego oraz czasu dopływu wód podziemnych do ujęcia. Takie podejście jest zgodne z kryterium hydrogeologicznym wyznaczenia TOP, które zostało przedstawione w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich (Dz.U. 2016 poz. 2033). Jeżeli w granicach OSW do ujęcia łączny czas dopływu potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu do studni nie przekracza 25 lat, to zachodzi konieczność wyznaczenia TOP. W ta-

beli 8 (rozdz. 3.6) określono kategorie podatności na zagrożenia, które będą mogły służyć do szczegółowego opisu tego parametru (kryterium podatności) w granicach OSW. Bardzo mała podatność (>25 lat) wyklucza potrzebę wyznaczania TOP.

Zagrożenie dla stanu ilościowego zasobów wodnych ujęcia trzeba analizować zgodnie z założeniami przedstawionymi w rozdziale 3.4. Jeżeli istnieje obawa wystąpienia takich zagrożeń, należy wyznaczyć TOP i ustalić ograniczenia, które je wykluczą.

Jednym z najważniejszych celów analizy ryzyka jest ocena zagrożenia dla jakości i stanu chemicznego zasobów wodnych ujęcia (rozdz. 3.5). Jeżeli z przeprowadzonej analizy wynika ryzyko kontrolowane i nieakceptowalne, konieczne jest wyznaczenie TOP i podjęcie działań ograniczających nadmierne ryzyko.

Trend pogarszania się stanu wód eksploatowanych na ujęciu jest ważnym kryterium wyznaczenia TOP. Zmiany stanu chemicznego wód podziemnych na ogół można wiązać z konkretnym zagrożeniem. Należy ocenić kierunek zachodzących zmian. Jeżeli tendencje są niekorzystne i w kolejnych latach może obniżyć się jakość wód na ujęciu, to należy rozważyć wprowadzenie TOP, nawet w przypadku braku możliwości wskazania przyczyny niekorzystnych zmian.

Zagrożenie zdrowotne konsumentów wody dostarczanej przez ujęcie może wystąpić w przypadku skrajnie niekorzystnych zmian stanu chemicznego wód podziemnych. Dotyczy sytuacji, kiedy wody są zanieczyszczone i skutecznie uzdatniane, ale dalsze niekorzystne zmiany mogą przyczynić się do jeszcze większej ich degradacji. Mogłoby to spowodować bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia.

Zagrożenie to może być potencjalne przy braku jakichkolwiek oznak obniżania się jakości wody. Przykładem takiej sytuacji są niezlikwidowane i niezabezpieczone studnie lub inne otwory hydrogeologiczne. Zanieczyszczenia mogą być wprowadzone bezpośrednio do warstwy wodonośnej, niezależnie od izolacji od powierzchni terenu. Jeżeli istnieje zagrożenie zdrowotne, zachodzi konieczność wyznaczenia TOP.

Co do zasady, TOP powinien być wyznaczony i ustanowiony w sytuacji, gdy przynajmniej jedno z kryteriów przyjętych w tabeli 14 nie jest spełnione. Należy jednak zauważyć, że nie zawsze będzie to możliwe i uzasadnione, biorąc pod uwagę inne kryteria niż hydrogeologiczne i środowiskowe, w tym w szczególności kryterium ograniczeń społecznych i racjonal-

Tabela 14

Kryteria ustanowienia TOP

Lp.	Kryterium	Opis	Potrzeba ustanowienia TOP
1.	podatność wód ujętego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenia w OSW ujęcia	szczegóły dotyczące stopnia podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia	TAK/NIE
2.	zagrożenie dla stanu ilościowego zasobów wodnych ujęcia	jeżeli jest zagrożenie – opisać charakter	TAK/NIE
3.	zagrożenie dla jakości i stanu chemicznego zasobów wodnych ujęcia	jeżeli jest zagrożenie – opisać charakter	TAK/NIE
4.	trend pogarszania się stanu wód eksploatowanych na ujęciu	jeżeli jest widoczny – opisać kierunek i dynamikę zmian, wskazać przyczynę	TAK/NIE
5.	zagrożenie zdrowotne konsumentów wody dostarczanej przez ujęcie	jeżeli występuje – opisać charakter zagrożenia i konieczne działania redukujące zagrożenie	TAK/NIE/ POTENCJALNIE TAK

ności ekonomicznej. Jak zaznaczono wcześniej w rozdziale 2.1, takie podejście jest zgodne ze stanowiskiem WHO (opracowania Światowej Organizacji Zdrowia), w którym dopuszcza się w szczególnych przypadkach, pomimo istnienia ryzyka pogorszenia jakości ujmowanej wody, rezygnację z ustanawiania stref ochronnych dla ujęć wody, biorąc pod uwagę aspekty ekonomiczne oraz zasady zrównoważonego rozwoju gospodarczego.

Wnioski to ostatni etap analizy ryzyka, który powinien zawierać najważniejsze konkluzje wynikające z wykonanej analizy. Należy podać wskazania, dotyczące postępowania z ryzykiem na etapie ustanawiania TOP oraz utrzymywania strefy ochronnej. Mogą one obejmować sposób monitorowania oraz zalecenia dla poszczególnych zagrożeń pogrupowanych w odpowiednie kategorie ryzyka. Przyczynią się one do obniżenia poziomu ryzyka i w rezultacie sprowadzą go do kategorii ryzyka akceptowalnego. Jeżeli nie można tego celu zrealizować w krótkim czasie, to należy zapewnić odpowiedni sposób monitorowania zagrożeń i reagowania w sytuacjach nadzwyczajnych. Przy planowaniu działań należy uwzględnić spodziewany efekt w porównaniu do szacowanych kosztów. Tym niemniej priorytetem powinno być bezpieczeństwo zdrowotne odbiorców wody pitnej.

Jednym z ważniejszych zaleceń jest opracowanie zasad i zakresu monitorowania przyjętego sposobu postępowania z ryzykiem, a także monitorowania zmian zachodzących w wodach podziemnych oraz w razie potrzeby innych elementów środowisku naturalnego, np. wód powierzchniowych, jeżeli mogą mieć istotny wpływ na wody podziemne. Kompleksowy monitoring będzie stanowił podstawę do wprowadzenia działań zapobiegawczych. Analiza ryzyka wraz z identyfikacją i ewaluacją zagrożeń powinna wskazać zakres prowadzonych prac monitoringowych (czy będą dotyczyły tylko samego ujęcia, czy także OSW).

Podjęte we wnioskach zalecenia, obniżające poziom ryzyka, oraz proponowany sposób monitorowania wód podziemnych będą stanowiły podstawę opracowania warunków utrzymania TOP.

Należy podkreślić, że cyklicznie realizowana analiza ryzyka w odniesieniu do ujęcia wód podziemnych daje podstawę do zarządzania ryzykiem.

6. ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA, ZAŁĄCZNIKI TEKSTOWE I GRAFICZNE

W nawiązaniu do zakresu i etapów prac oraz metod potrzebnych do przeprowadzenia analizy ryzyka, proponuje się przykładowy spis treści opracowania. Jest on rozbudowany i obejmuje maksymalny zakres analizowanych zagadnień. W każdym przypadku powinien być on dostosowany do charakteru analizowanego ujęcia, jego wielkości, rodzaju zagrożeń oraz stopnia rozpoznania warunków środowiskowych. W przypadku małych ujęć i prostych warunków hydrogeologicznych niektóre zagadnienia można łączyć.

1. WSTĘP

- 1.1.** Podstawa formalna, przedmiot i cel zadania
- 1.2.** Zakres prac i metodyka
- 1.3.** Wykorzystane dane i opracowania archiwalne

2. CHARAKTERYSTYKA UJĘCIA WODY

- 2.1.** Lokalizacja
- 2.2.** Historia ujęcia
- 2.3.** Aktualny stan techniczny ujęcia

- 2.4. Stan formalnoprawny
- 2.5. Sposób monitoringu pracy ujęcia i stanu zasobów wodnych
- 2.6. Przebieg i aktualny stan eksploatacji wód
- 2.7. Stan ilościowy eksploatowanych wód podziemnych
- 2.8. Jakość i stan chemiczny wód podziemnych eksploatowanych na ujęciu
- 3. CHARAKTERYSTYKA OBSZARU ZASILANIA UJĘCIA**
 - 3.1. Obszar spływu wody do ujęcia
 - 3.2. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne
 - 3.3. Podatność naturalna ujętego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenie
 - 3.4. Zagospodarowanie przestrzenne i sposób użytkowania terenu
- 4. IDENTYFIKACJA ZAGROŻEŃ STANU ZASOBÓW WODNYCH UJĘCIA**
 - 4.1. Identyfikacja zagrożeń – założenia metodyczne
 - 4.2. Zagrożenia stanu ilościowego zasobów wodnych
 - 4.3. Zagrożenia jakości i stanu chemicznego zasobów wodnych
- 5. ANALIZA I OCENA RYZYKA STANU ZASOBÓW WODNYCH UJMOWANYCH NA UJĘCIU**
 - 5.1. Opis zastosowanej metody analizy i ewaluacji ryzyka
 - 5.2. Analiza ryzyka zagrożenia stanu ilościowego
 - 5.3. Analiza ryzyka zagrożenia jakości i stanu chemicznego
 - 5.4. Ewaluacja ryzyka
 - 5.5. Wskazania dotyczące kontroli i redukcji ryzyka
- 6. OCENA ZAGROŻENIA ZDROWOTNEGO ZWIĄZANEGO ZE STANEM ZAGROŻENIA STANU ZASOBÓW WODNYCH DLA UJĘCIA**
- 7. OCENA KOŃCOWA DOTYCZĄCA POTRZEBY USTANOWIENIA TERENU OCHRONY POŚREDNIEJ DLA UJĘCIA**
- 8. ZALECENIA I WYTYCZNE DOTYCZĄCE PRZYGOTOWANIA DOKUMENTACJI HYDROGEOLOGICZNEJ USTALAJĄCEJ ZASOBY EKSPLOATACYJNE UJĘCIA WÓD PODZIEMNYCH W ZAKRESIE WYZNACZANIA TERENU OCHRONY POŚREDNIEJ**
- 9. WNIOSKI I ZALECENIA**
- 10. WYKORZYSTANA LITERATURA I MATERIAŁY ARCHIWALNE**

Załączniki graficzne i tabelaryczne:

- mapa przeglądową z lokalizacją terenu objętego analizą ryzyka;
- mapa dokumentacyjna sporządzona na podkładzie mapy topograficznej z naniesionymi ujęciami wód podziemnych, otworami wiertniczymi i inne;
- mapa hydrogeologiczno-sozologiczna sporządzona na podkładzie mapy topograficznej w skali 1:25 000 (lub mniejszej w zależności od potrzeb), z zaznaczoną lokalizacją analizowanego ujęcia wód podziemnych i ujęć sąsiednich, przebiegiem hydroizohips, kierunkami przepływu wód podziemnych, granicą obszaru spływu wód do ujęcia (OSW), lokalizacją rozpoznanych ognisk zanieczyszczeń, zasięgiem TOP wg dokumentacji archiwalnych (z podaniem źródła) i inne; podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia (izolacja) na podstawie opracowań archiwalnych;

- mapa aktualnego stanu zagospodarowania i przeznaczenia terenu, z uwzględnieniem miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego oraz studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy;
- przekroje hydrogeologiczne;
- zestawienie tabelaryczne wyników analiz fizyczno-chemicznych wód podziemnych oraz wykresy z analizą trendów zmian chemizmu wody surowej;
- zestawienie tabelaryczne zidentyfikowanych ognisk potencjalnego zanieczyszczenia wód podziemnych;
- zestawienia tabelaryczne matrycy oceny ryzyka dla wód podziemnych ujmowanych na ujęciu.

Powyższy zestaw załączników stanowi tylko ogólną propozycję, która może i powinna być dostosowana do specyfiki analizowanego ujęcia i modyfikowana w zależności od potrzeb i inwencji autora opracowania.

Jednym ze sposobów przedstawienia oceny poziomu ryzyka może być utworzenie zestawienia tabelarycznego z krótką formą opisową uwypuklającą najważniejsze zagrożenia. W tabeli 15 podano przykład szacowania ryzyka dla nieczynnej stacji paliw, którą uznano jako potencjalne ognisko zanieczyszczeń.

Po dokonaniu analizy zagrożeń można je wszystkie przedstawić w jednym zestawieniu tabelarycznym, co ułatwi odpowiednią ewaluację i ostateczną ocenę ryzyka (tab. 16).

Tabela 15

Charakterystyka i ocena zagrożeń nieczynnej stacji paliw

Nieczynna stacja paliw w ... (miejscowość, ulica nr posesji/nr działki)		P – prawdopodobieństwo		4
		D – dotkliwość następstw zagrożeń		2
		V – podatność na zagrożenie		1
		R	poziom ryzyka	8
ryzyko	niskie			
Opis	Stacja paliw płynnych znajduje się na opuszczonym i niezabezpieczonym terenie. Stacja jest obecnie nieczynna, z wolnym dostępem. Na powierzchni terenu zdewastowana wiata z dwoma dystrybutorami oraz zbiornikami podziemnymi. Obiekt jest położony na obszarze zasobowym ujęcia w odległości ok. 2950 m od najbliższej studni, w pobliżu izochrony 15-letniego czasu dopływu wody do ujęcia. Całkowity czas dopływu potencjalnych zanieczyszczeń do ujęcia to ok. 21 lat. W budowie geologicznej strefy przypowierzchniowej w rejonie oczyszczalni występują głównie gliny zwałowe i pyły o łącznej miąższości 15–20 m. Stacja prowadziła działalność kilkadziesiąt lat. Po zaprzestaniu działalności (ok. 1–2 lata temu) nie zostały przeprowadzone żadne działania zabezpieczające. Obiekt należy uznać jako ognisko zanieczyszczenia substancjami ropopochodnymi			
Diagnoza	Zagrożenie ze strony stacji paliw (w trakcie jej eksploatacji), mające wpływ na obecny stan środowiska gruntowo-wodnego: – wprowadzanie pyłów do powietrza podczas użytkowania stacji (tankowanie i przemieszczania się pojazdów) i osadzenie się ich na powierzchni gruntu; – wprowadzanie ścieków do wód lub do ziemi, ewentualnie do systemu kanalizacji; – produkcja odpadów, w tym odpadów niebezpiecznych, technologicznych oraz komunalnych;			

Tabela 15 cd.

Nieczynna stacja paliw w ... (miejscowość, ulica nr posesji/nr działki)		P – prawdopodobieństwo		4
		D – dotkliwość następstw zagrożeń		2
		V – podatność na zagrożenie		1
		R	poziom ryzyka	8
			ryzyko	niskie
cd. Diagnoza	– możliwość rozszczelnienia instalacji, zbiorników i innych urządzeń do magazynowania i dystrybucji substancji ropopochodnych. Głównym zagrożeniem ze strony nieczynnej stacji paliw mógł być wyciek substancji ropopochodnych z rozszczelnienia instalacji, zbiorników oraz innych urządzeń do magazynowania i dystrybucji substancji ropopochodnych, spowodowany korozją elementów stacji bez odpowiedniego serwisowania			
Następstwo	Możliwość skażenia środowiska gruntowo-wodnego w wyniku migracji wielofazowej substancji ropopochodnych w dwóch strefach: migracji pionowej w strefie aeracji (lekkich cieczy organicznych zwanych także produktem wolnym). Z uwagi na izolacyjny charakter nadkładu oraz jego znaczną miąższość, przyjęto, że warstwa wodonośna nie została zanieczyszczona			
Ocena	Z uwagi na lokalizację stacji paliw w znacznej odległości od studni ujęcia, ukształtowanie powierzchni terenu, lokalną bazę drenażu (rów melioracyjny mający ujście do ciekłu) oraz izolacyjny charakter utworów budujących strefę przypowierzchniową należy uznać, że zagrożenie ze strony stacji nie jest znaczące. Ryzyko oceniono jako akceptowalne			

Tabela 16

Sumaryczna ocena ryzyka analizowanych zagrożeń

Lp.	Zagrożenie (przykładowe ogniska zanieczyszczeń)	P	D	V	R	Kategoria ryzyka (akceptowalne, kontrolowane, nieakceptowalne)
1.	rolnictwo (stosowanie nawozów i środków ochrony roślin)					
2.	cmentarz					
3.	ferma trzody chlewnej					
4.	liczne szamba (brak kanalizacji)					
5.	niezlikwidowane ujęcie					
6.	duża stacja paliw					
7.	zrzuty wód opadowych z pasa drogowego (droga szybkiego ruchu)					
8.	centrum handlowe z parkingiem					
9.	wody powierzchniowe (ciek przepływa przez teren ujęcia, okresowo może prowadzić wody zanieczyszczone)					
10.	pompy ciepła					

7. PROCEDURY POSTĘPOWANIA PRZY WYKONYWANIU ANALIZY RYZYKA

Etapy prac, metody oraz sposób postępowania przy wykonywaniu analizy ryzyka szczegółowo omówiono w rozdziałach 3, 4 i 5. Podstawą realizacji opracowania będzie dokumentacja hydrogeologiczna ujęcia oraz uzupełniające prace terenowe, a w razie konieczności – laboratoryjne.

Analiza ryzyka powinna obejmować OSW do ujęcia ograniczony w górę strumienia wód podziemnych izochroną 25-letniego przepływu poziomego w warstwie wodonośnej. Zgodnie z przepisami ustawy Prawo geologiczne i górnicze oraz Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033) OSW ujęcia wyznacza się w ramach dokumentacji hydrogeologicznej. W przypadku, kiedy w dokumentacji hydrogeologicznej nie został wyznaczony OSW, brak jest podstaw do wykonania analizy ryzyka, gdyż przepisy ustawy PW, na podstawie których wykonywana jest analiza ryzyka, nie upoważniają do wyznaczenia w jej ramach OSW.

W związku z tym, gdy w dokumentacji hydrogeologicznej nie wyznaczono OSW lub wymaga weryfikacji przed przeprowadzeniem analizy ryzyka, należy wykonać dodatek do dokumentacji hydrogeologicznej zgodny z ww. rozporządzeniem Ministra Środowiska. Dodatek ten powinien być opracowywany równocześnie z analizą ryzyka, żeby uwzględnić w nim ewentualne zapisy związane z koniecznością ustanowienia TOP ujęcia (rys. 13). Wyznaczenie OSW w ramach dodatku do dokumentacji hydrogeologicznej przez osobę posiadającą wymagane kwalifikacje geologiczne spowoduje, że parametr ten (będący podstawą analizy ryzyka) zostanie wyznaczony przez osobę z odpowiednim doświadczeniem zawodowym w obszarze hydrogeologii. Ponieważ ustawa PW z 2017 r. nie zawiera takiego wskazania, to zaleca się, żeby analizy ryzyka były wykonywane jedynie przez osoby mające uprawnienia.

Jako podstawową metodę oceny ryzyka zaleca się trójparametryczną matrycę zgodną ze wzorem [1].

Procedury postępowania oraz metody obliczeń poszczególnych parametrów są objaśnione w rozdz. 3.6. Rekomenduje się proste metody analityczne, które będą adekwatne dla większości ujęć wód podziemnych.

Przeprowadzenie obliczeń numerycznych (rozdz. 3.7) będzie konieczne w przypadkach znacznego stopnia złożoności warunków hydrogeologicznych, geologicznych lub geochemicznych. Będą one dotyczyły m.in. następujących sytuacji:

- wielootworowych ujęć o dużym poborze wody;
- współdziałania ujęć, nakładania się lejów depresji;
- ujęć o zmiennym poborze (sezonowość związana z ośrodkami wypoczynku letniego);
- ujęć zlokalizowanych na obszarach o obniżonej jakości wód podziemnych na skutek presji antropogenicznych lub czynników geogenicznych;
- ujęć zlokalizowanych w wielowarstwowym systemie wodonośnym, skomplikowanych dróg krążenia wód, nieciągłości warstw wodonośnych;
- współdziałania wód podziemnych z wodami powierzchniowymi.

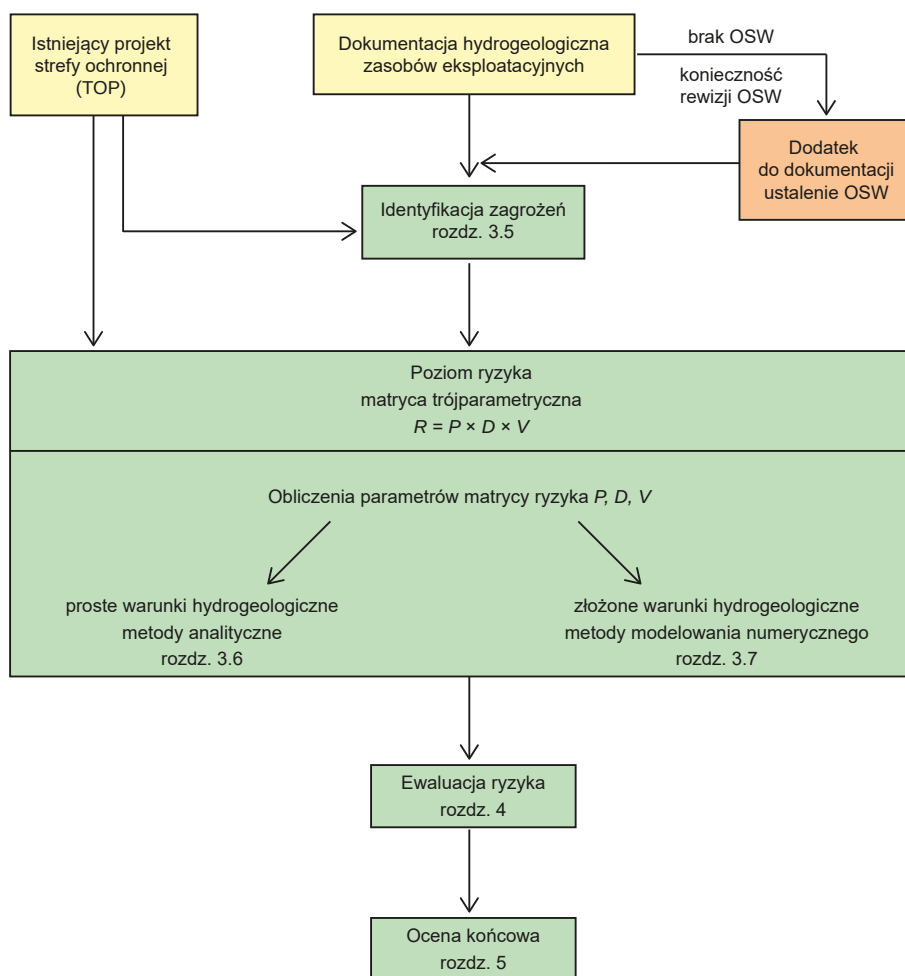
Ponadto złożone warunki hydrogeologiczne związane są z warstwami wodonośnymi o dużej intensywności niekorzystnych zjawisk geologicznych i zagrożeń antropogenicznych. W szczególności dotyczy to stref występowania silnych deformacji ciągłych i nieciągłych, stwarzających zarówno utrudnienia, jak również uprzywilejowane strefy dla przepływu wód

podziemnych. Trudne w interpretacji mogą być także obszary krasowe, strefy płytkiego występowania wód zasolonych i solanek oraz tereny nadmorskie.

Badania modelowe ułatwią ocenę poszczególnych zagrożeń (ryzyk), umożliwią obliczenia podatności wód podziemnych ujmowanych na ujęciu w odniesieniu do poszczególnych ognisk zanieczyszczeń (czas przepływu poziomego).

W wyniku przeprowadzenia ewaluacji zidentyfikowanego oraz ocenionego ryzyka będzie dokonana ocena końcowa. Pozwoli ona na sformułowanie ostatecznego wniosku o potrzebie ustanowienia (lub nie) TOP.

Niektóre ujęcia wód podziemnych są objęte ochroną przez wyznaczoną i ustanowioną strefę ochronną (TOP). Część ujęć miała takie strefy wyznaczone w przeszłości, ale odstąpiono od nich. W obu przypadkach TOP zostały wyznaczone na podstawie projektów stref ochronnych przygotowanych w formie dodatku do dokumentacji lub innych opracowań. Będą one stanowiły cenne źródło informacji podczas ustalania podatności na zagrożenia.



Rys. 13. Schemat postępowania w analizie ryzyka ujęć wód podziemnych

Jeżeli były wykonywane w ostatnich kilku lub kilkunastu latach mogą także być pomocne przy identyfikacji zagrożeń, a te zawierające wyniki badań modelowych można wykorzystać do oceny parametrów ryzyka, zwłaszcza dotkliwości następstw i podatności wód podziemnych na zagrożenie.

8. PRZYKŁAD ANALIZY RYZYKA Z ZASTOSOWANIEM MATRYCY TRÓJPARAMETRYCZNEJ

Analiza ryzyka wraz z ewaluacją opracowano na przykładzie lokalnego ujęcia wody podziemnej, które zapewnia zaopatrzenie w wodę do spożycia i na potrzeby gospodarcze niewielką miejscowość (rys. 14). Rozważania prowadzono w obszarze spływu wody do ujęcia ograniczonego izochroną 25 lat przepływu poziomego w warstwie wodonośnej.

Ujęcie składa się z dwóch studni, pracujących naprzemiennie ze średnim wydatkiem $85 \text{ m}^3/\text{h}$ ($2040 \text{ m}^3/\text{d}$), zaopatruje dodatkowo sąsiednie miejscowości. Zasoby eksploatacyjne wynoszą $120 \text{ m}^3/\text{h}$. Swobodne zwierciadło wody w rejonie ujęcia występuje pod warstwą glin zwałowych. Warstwa wodonośna w dalszej odległości od ujęcia na obszarze zasilania nie jest izolowana. Miąższość strefy aeracji wynosi ok. 7 m, natomiast glin na obszarze miejscowości – 4 m. Wody podziemne dopływają do ujęcia z południowego zachodu, spadek zwierciadła wody wynosi ok. 0,007. W strefie aeracji w rejonie miejscowości znajdują się osady słabo-przepuszczalne ($w_o = 0,12$), a na pozostałym obszarze utwory piaszczyste dobrze przepuszczalne ($w_o = 0,09$) pod półmetrową warstwą gleby. Warstwa wodonośna ma 45 m miąższości, współczynnik filtracji wynosi $0,0002 \text{ m/s}$, a $n_a = 0,25$. Udział gleby w obliczeniach t_a z uwagi na niewielką miąższość pominięto. Średnie opady atmosferyczne wynoszą 650 mm/rok . Średnią infiltrację efektywną opadów I_e [m/rok] obliczono na podstawie wzoru [6], wynosi ona: $I_e = 0,65 \text{ m/rok} \cdot 0,3 = 0,195 \text{ m/rok}$.

Do analizowania czasu przesączania wody przez strefę aeracji skorzystano z uproszczonej metody wg wzoru [5]:

a) na obszarze spływu wód dla osadów piaszczystych

$$t_a = \frac{(m_a \cdot w_o)}{I_e} = \frac{7 \text{ m} \cdot 0,09}{0,195 \text{ m/rok}} = 3,2 \text{ lata}$$

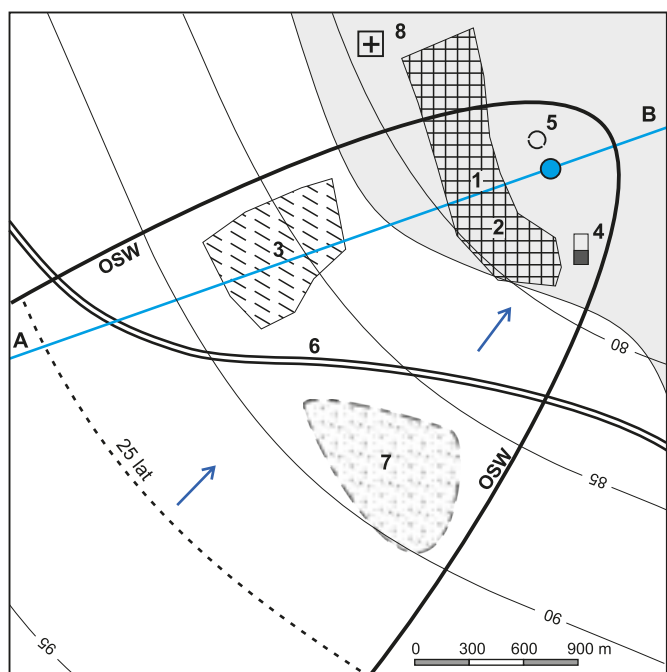
b) w rejonie ujęcia dla osadów słaboprzepuszczalnych i piaszczystych

$$t_a = \sum_{i=1}^n \frac{(m_{ai} \cdot w_{oi})}{I_e} = \frac{4 \text{ m} \cdot 0,12}{0,195 \text{ m/rok}} + \frac{3 \text{ m} \cdot 0,09}{0,195 \text{ m/rok}} = 2,5 + 1,4 = 3,6 \text{ lat.}$$

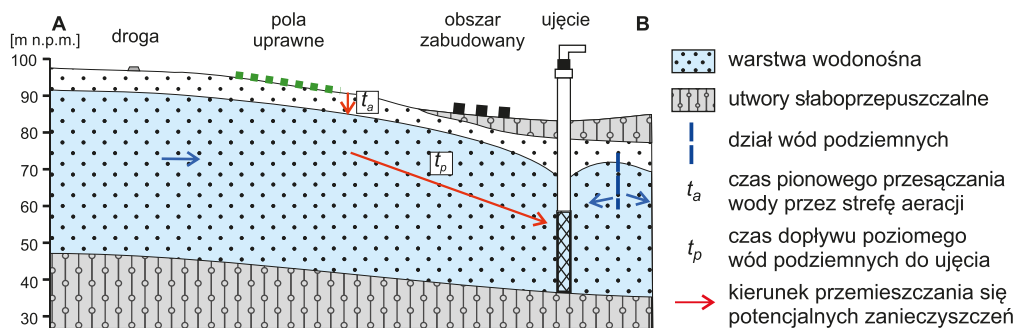
Na podstawie miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego oraz wizji terenu zidentyfikowano możliwe zagrożenia.

Szambo (obiekt nr 1 – rys. 14, tab. 17)

W miejscowości brakuje zbiorczego systemu odprowadzania ścieków, więc każdy dom jest wyposażony w szambo. Z doświadczenia wynika, że takie rozwiązanie może przyczyniać się do pogorszenia jakości wód podziemnych, z uwagi na nieszczelność niektórych zbiorników. Brakuje informacji o ich stanie technicznym oraz danych o systematycznym opróżnianiu. Z uwagi na to, że stan chemiczny wód na ujęciu systematycznie się pogarsza (10 lat temu stężenie azotanów wynosiło $25 \text{ mgNO}_3/\text{l}$, a w tej chwili – $40 \text{ mgNO}_3/\text{l}$), należy uznać dotkliwość następstw za poważną (4 pkt). Prawdopodobieństwo tego zagrożenia natomiast za



- | | |
|---|--|
| ujęcie wody podziemnej | obszar zabudowany |
| nieczynne ujęcie | pola uprawne |
| hydroizohipsa [m n.p.m.] | nieczynna stacja paliw |
| kierunek przepływu wód podziemnych | droga szybkiego ruchu |
| izochrona poziomego przepływu wód podziemnych do ujęcia | cmentarz |
| A B przekrój hydrogeologiczny | planowana żwirownia |
| | 1-8 nr obiektu/zagrożenia (tab. 17) |



Rys. 14. Lokalizacja ujęcia i ognisk zanieczyszczeń na tle elementów hydrogeologicznych

bardzo prawdopodobne, ponieważ niekorzystne oddziaływanie szamb cały czas ma miejsce (5 pkt). W celu określenia podatności na zagrożenie, wyrażone czasem dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do studni ujęcia (V), jest potrzebna składowa pozioma, czyli czas dopływu poziomego wód podziemnych do ujęcia (t_p). Oszacowano go z zastosowaniem wzoru [9] na rzeczywistą prędkość przepływu i wynosi 177 m/rok. Strefa zabudowy mieszkaniowej jest oddalona od ujęcia ok. 300 m, a więc czas dopływu lateralnego wód ujęcia wynosi 1,7 lat. Podatność na zagrożenie jest średnia (3 pkt – tab. 8), ponieważ sumaryczny czas dopływu wody od analizowanego ogniska do ujęcia wynosi:

$$t = t_a + t_p = 3,6 + 1,7 = 5,3 \text{ lata.}$$

Poziom ryzyka ustalony przy wykorzystaniu wzoru [1] jest wysoki, wynosi 60 pkt i mieści się w kategorii ryzyka kontrolowanego.

Dotkliwość następstw zagrożenia oceniono zgodnie z przykładem 1. (rozdz. 3.6.2) – metoda ekspercka.

Stosowanie środków zimowego utrzymania dróg na terenie zabudowanym (obiekt nr 2 – rys. 14, tab. 17)

Na terenie zabudowy jednorodzinnej w okresie zimowym drogi osiedlowe są posypywane solą (NaCl). Dotkliwość następstw tego zagrożenia oceniono opierając się na przykładzie 5. (rozdz. 3.6.2) – metoda analityczna. Zgodnie z informacjami przekazanymi przez urząd gminy przyjęto, że w sezonie zimowym ładunek chlorków wprowadzanych do wód podziemnych maksymalnie sięga 150 kg/d. Po wykonaniu odpowiednich obliczeń, uwzględniających ładunek i wydajność ujęcia (150 kg/d / 2 040 000 kg/d), stężenie chlorków w ujmowanych wodach na ujęciu będzie wynosić ok. 73,5 mg/l. Przy założeniu, że naturalne ich tło w ujmowanych wodach wynosi 15–30 mg/l, można się spodziewać, że sezonowo koncentracja chlorków w ujmowanych wodach wzrośnie do 100 mg/l. Wartość ta nie przekracza dopuszczalnych wartości dla wód pitnych, chociaż obniży jakość wód do II klasy. Dotkliwość następstw tego zagrożenia zgodnie z tabelą 6 jest niewielka (2 pkt).

Prawdopodobieństwo zagrożenia oceniono jako umiarkowanie prawdopodobne (4 pkt), założono, że środki zimowego utrzymania będą stosowane co dwa lata (nie wszystkie zimy są śnieżne z długo utrzymującymi się niskimi temperaturami).

Sumaryczny czas dopływu wody od analizowanego ogniska do ujęcia jest taki sam jak w poprzednim przykładzie i wynosi 5,3 lata, co oznacza średnią podatność na zagrożenie (3 pkt).

Ustalony poziom ryzyka jest niski, wynosi 24 pkt i mieści się w kategorii ryzyka akceptowalnego. Należy dodać, że zagrożenie może występować tylko czasowo w okresie stosowania środków zimowego utrzymania dróg, co dodatkowo obniża poziom ryzyka.

Pola uprawne – stosowanie nawozów sztucznych (obiekt nr 3 – rys. 14, tab. 17)

Na zachód od ujęcia w odległości ok. 700–800 m znajdują się pola uprawne, obejmujące powierzchnię 10 ha. Do oszacowania wpływu tego ogniska zanieczyszczeń na ujmowane wody zastosowano schemat postępowania objaśniony w przykładzie 7. (rozdz. 3.6.2) – metoda ekspercka. Do obliczeń przyjęto:

- powierzchnia stosowania nawozów – 10 ha (100 000 m²);
- miąższość warstwy wodonośnej – 45 m;
- porowatość aktywna – 0,25 (piaski średnio- i różnoziarniste);
- ilość stosowanego nawozu – 100 kg/ha (polifoska 8 zgodnie z zaleceniami agrotechnicznymi), a więc na analizowanym obszarze – 1000 kg.

Dalsze obliczenia poprowadzono zgodnie ze wskazaną procedurą. W efekcie ustalono, że stężenie poszczególnych składników w wodach podziemnych zwiększy się o: $\text{NH}_4 - 0,04 \text{ mg/l}$, $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,26 \text{ mg/l}$, $\text{K}_2\text{O} - 0,09 \text{ mg/l}$.

Niski poziom stężeń poszczególnych składników w wodach podziemnych powoduje nieistotną dotkliwość następstw tego zagrożenia (1 pkt).

Prawdopodobieństwo zagrożenia ustalono na umiarkowanie prawdopodobne (4 pkt), ponieważ użyźnianie gleby jest stosowane co roku.

Podatność na zagrożenia ustalono na podstawie sumarycznego czasu dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do ujęcia.

Czas przesączania wody przez strefę aeracji obliczono we wstępie rozdziału i wynosi $t_a = 3,2$ lata. Natomiast czas dopływu poziomego wód podziemnych do ujęcia t_p obliczono zgodnie ze wzorem [9] na rzeczywistą prędkość przepływu i wynosi 177 m/rok . Pola uprawne znajdują się w odległości 1200 m od ujęcia, a więc czas dopływu wód ujęcia wynosi $6,8$ lat. Podatność na zagrożenie jest średnia (3 pkt – tab. 8), ponieważ sumaryczny czas dopływu wody od analizowanego ogniska do ujęcia wynosi:

$$t = t_a + t_p = 3,2 + 6,8 = 10 \text{ lat.}$$

Ustalony poziom ryzyka jest niski (12 pkt) i mieści się w kategorii ryzyka akceptowalnego.

Tabela 17

Sumaryczna ocena ryzyka dla analizowanego przykładu

Lp.	Zagrożenie (ogniska zanieczyszczeń)	P	D	V	R	Kategoria ryzyka (akceptowalne, kontrolowane, nieakceptowalne)
1.	liczne szamba	5	4	3	60	kontrolowane
2.	stosowanie środków zimowego utrzymania dróg na obszarze zabudowanym	4	2	3	24	akceptowalne
3.	rolnictwo (stosowanie nawozów i środków ochrony roślin)	4	1	3	12	akceptowalne
4.	nieczynna stacja paliw	1	2	3	6	akceptowalne
5.	niezlikwidowane ujęcie	3	4	5	60	kontrolowane
6.	zrzuty wód opadowych z pasa drogowego	4	2	3	24	akceptowalne
7a.	planowana zwirownia	2	2	3	12	akceptowalne
7b.	planowana zwirownia	średnie	średnie	–	średnie	kontrolowane
8.	cmentarz	analiza ryzyka nie została wykonana, obiekt jest zlokalizowany poza OSW				

Nieczynna stacja paliw (obiekt nr 4 – rys. 14, tab. 17)

W odległości 400 m od ujęcia, na skraju obszaru zabudowanego, znajduje się nieczynna stacja paliw. Obiekt jest posadowiony na gruntach piaszczystych.

Eksplorację zaniechano ok. 10 lat temu po awarii zbiornika z paliwem. Do gruntu przedostały się bliżej nieokreślone ilości benzyny (prawdopodobnie 1 t). Z powodu braku odpowiedniego rozpoznania nie jest znany stan wód podziemnych w miejscu skażenia.

Ze względu na brak dokładnych informacji o zanieczyszczeniu w gruncie i wodach podziemnych do oceny ryzyka zastosowano metodę ekspercką.

Prawdopodobieństwo zagrożenia oceniono jako bardzo mało prawdopodobne (1 pkt), ponieważ wydarzyło się tylko raz w czasie ostatnich kilkunastu lat.

Dotkliwość następstw jest trudna do ustalenia, ponieważ w wodach ujęcia nie odnotowano obecności substancji ropopochodnych, co może wskazywać na lokalny zasięg skażenia. Uwzględniając ustalenia z innych podobnych awarii (Gwóździkiewicz i in., 2011), można założyć, że skażenie wód podziemnych ograniczyło się do 100–300 m. Skala zanieczyszczeń prawdopodobnie nie była znaczna, gdyż benzyna jest związkiem ulotnym. Zanim skażenie osiągnęło strefę saturacji, znaczna jego część prawdopodobnie odparowała. W związku z tym przyjęto niewielką (2 pkt) dotkliwość następstw.

Czas przesączania wody przez strefę aeracji obliczony we wstępnej części tego rozdziału wynosi $t_a = 3,2$ lata. Natomiast czas dopływu poziomego wód podziemnych do ujęcia t_p obliczono zgodnie ze wzorem [9] na rzeczywistą prędkość przepływu i wynosi 177 m/rok. Ponieważ nieczynna stacja paliw znajduje się w odległości 400 m od ujęcia, czas dopływu wód do ujęcia wynosi 2,3 lat. Podatność na zagrożenie jest średnia (3 pkt – tab. 8), gdyż sumaryczny czas dopływu wody od analizowanego ogniska do ujęcia wynosi:

$$t = t_a + t_p = 3,2 + 2,3 = 5,5 \text{ lat.}$$

Poziom ryzyka ustalono jako niski (6 pkt) i mieści się w kategorii ryzyka akceptowalnego.

Niezlukwidowane ujęcie (obiekt nr 5 – rys. 14, tab. 17)

W sąsiedztwie czynnego ujęcia (100 m) znajdują się dwie niezlukwidowane studnie po starym ujęciu wody. Jedna z nich nie jest zabezpieczona i ma otwartą rurę eksploatacyjną, co stwarza ryzyko dla wód podziemnych. Prawdopodobieństwo zagrożenia oceniono na średnio prawdopodobne (3 pkt), ponieważ ujęcie jest słabo chronione przed dostępem osób postronnych i łatwo może dojść do skażenia wód podziemnych. Poziom dotkliwości następstw zagrożenia jest trudny do ustalenia, a będzie zależeć od charakteru zanieczyszczenia, szkodliwości substancji, która może dostać się do studni. Przyjęto umiarkowaną dotkliwość następstw (3 pkt). Z uwagi jednak na ułatwiony dostęp do nieczynnej studni i trudny do określenia rodzaj skażenia, dotkliwość podwyższono o jeden poziom (4 pkt). Przy ocenie podatności wód podziemnych na analizowane zagrożenia pominięto czas przesączania wód przez strefę aeracji, ponieważ przyjęto skrajnie niekorzystną sytuację, kiedy zanieczyszczenie zostałoby wprowadzone bezpośrednio do otwartej studni. Tym samym znalazłoby się bezpośrednio w warstwie wodonośnej. Ze względu na niewielką odległość do czynnego ujęcia, czas dopływu potencjalnych zanieczyszczeń będzie niewielki (kilka miesięcy), dlatego podatność na zagrożenie należy ocenić jako bardzo dużą (5 pkt).

Poziom ryzyka jest wysoki (60 pkt) i mieści się w kategorii ryzyka kontrolowanego.

Zrzuty wód opadowych z pasa drogowego (obiekt nr 6 – rys. 14, tab. 17)

W odległości 1200 m na południowy zachód od ujęcia przebiega droga szybkiego ruchu. W okresach ujemnych temperatur może ona stanowić zagrożenie dla wód podziemnych

z uwagi na stosowanie środków zimowego utrzymania dróg. Poziom ryzyka przeprowadzono zgodnie z procedurą podaną w przykładzie 5. (rozdz. 3.6.2). Po zasięgnięciu informacji od użytkownika drogi przyjęto, że ładunek chlorków wprowadzanych do wód podziemnych może sięgać 200 kg/d. Po wykonaniu odpowiednich przeliczeń ($200 \text{ kg/d} / 2 \text{ 040 000 kg/d}$) stężenie chlorków w ujmowanych wodach na ujęciu będzie wynosić ok. 98 mg/l. Przy założeniu, że naturalne tło chlorków w ujmowanych wodach wynosi 15–30 mg/l, można się spodziewać, że sezonowo ich koncentracja w ujmowanych wodach wzrośnie do 130 mg/l. Wartość ta nie przekracza dopuszczalnych norm dla wód pitnych, obniża jednak jakość wód do II klasy. Dotkliwość następstw zagrożenia zgodnie z tabelą 6 jest niewielka (2 pkt).

Prawdopodobieństwo zagrożenia oceniono jako umiarkowanie prawdopodobne (4 pkt), założono że środki zimowego utrzymania będą stosowane co dwa lata.

Czas przesączania wody przez strefę aeracji obliczono na wstępie rozdziału i wynosi $t_a = 3,2$ lata. Natomiast czas dopływu poziomego wód podziemnych do ujęcia t_p obliczono zgodnie ze wzorem [9] i wynosi 177 m/rok. Z tego względu czas dopływu wód do ujęcia wynosi 6,8 lat. Sumaryczny czas dopływu wody od analizowanego ogniska do ujęcia wynosi:

$$t = t_a + t_p = 3,2 + 6,8 = 10 \text{ lat.}$$

Podatność na zagrożenie jest średnia (3 pkt – tab. 8).

Poziom ryzyka jest niski (24 pkt) i mieści się w kategorii ryzyka akceptowalnego.

Planowana kopalnia kruszywa – piasek gruboziarnisty ze żwirem (obiekt nr 7 – rys. 14, tab. 17)

Złoże kruszywa jest położone na granicy obszaru zasobowego ujęcia w odległości ok. 1500 m. Planowana jest eksploatacja surowca spod wody, w efekcie czego ma powstać wyrobisko o powierzchni 10 ha wypełnione wodą. Przedsięwzięcie może stanowić zagrożenie dla ilości i jakości wód podziemnych, ma ono jednak charakter zagrożenia potencjalnego.

I. Zagrożenie dla jakości i stanu chemicznego zasobów

Potencjalne zagrożenie dla wód podziemnych mogą stanowić maszyny o napędzie spalinowym wykorzystywane podczas eksploatacji i transporcie surowca. Nie można wykluczyć rozszczelnienia instalacji i przedostania się substancji ropopochodnych do gruntu i wód podziemnych. Skala potencjalnych zanieczyszczeń nie będzie jednak duża z uwagi na stosunkowo niewielkie ilości substancji ropopochodnych wykorzystywanych w maszynach, pod warunkiem, że na terenie kopalni nie będzie podręcznych zbiorników z paliwem. Prawdopodobieństwo powstania zdarzenia awaryjnego określono jako mało prawdopodobne (2 pkt). Dotkliwość następstw dla ujęcia także nie będzie znaczna, przyjęto niewielką (2 pkt).

Do oszacowania podatności na zagrożenie uwzględniono tylko przepływ poziomy wód, ponieważ nadkład (strefa aeracji) zostanie usunięty w trakcie eksploatacji kruszywa. Obliczona średnia prędkość przepływu wód podziemnych wynosi 177 m/rok, więc czas dopływu potencjalnych zanieczyszczeń do ujęcia 8,5 lat – podatność na zagrożenie jest średnia (3 pkt).

Poziom ryzyka jest niski (12 pkt) i mieści się w kategorii ryzyka akceptowalnego.

II. Zagrożenie dla stanu ilościowego zasobów wodnych ujęcia

Straty wodne można wiązać z następującymi czynnikami:

- parowanie ze stawów wykorzystywanych do płukania urobku i z powierzchni hałd, gromadzących wilgotny urobek;
- parowanie z wyrobisk powstałych w trakcie i po zaprzestaniu eksploatacji kruszywa;
- ilość wody wywożonej wraz z wilgotnym kruszywem;

- ilość wody dopływającej do wyrobiska, jako rekompensata traconego (wywożonego) szkieletu skalnego w trakcie eksploatacji.

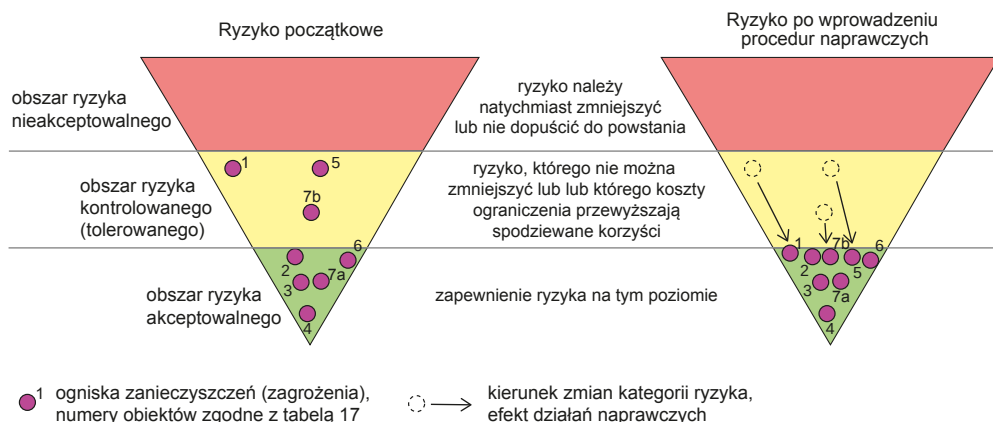
Na obecnym etapie nie są znane szczegółowe założenia dotyczące sposobu i tempa eksploatacji oraz innych uwarunkowań, np. powierzchni hałd, głębokości zbiorników. Z tego powodu trudno jest wiarygodnie ocenić dotkliwość następstw zagrożenia. Można jednak oszacować straty wodne w okresie poeksploatacyjnym, wynikające z parowania ze zbiorników. Jeżeli przyjmujemy, że parowanie z wolnej powierzchni może być dwukrotnie większe od parowania z powierzchni łądu, to straty sięgną ok. 800 mm/rok, czyli 10 m³/h. Wartość ta stanowi ok. 8% zasobów eksploatacyjnych ujęcia. Większe straty mogą wystąpić w trakcie eksploatacji kruszywa, zwłaszcza w końcowym etapie. W obu przypadkach zostanie zaburzony naturalny reżim hydrodynamiczny wód podziemnych. Niewykluczone, że powstanie lokalny dział wodny między kopalnią a ujęciem wody.

Z uwagi na niepełną wiedzę o skutkach przedsięwzięcia dla wód podziemnych, do oceny zagrożenia wykorzystano miarę jakościową zgodnie z tabelą 2. Prawdopodobieństwo przyjęto jako średnie, ponieważ nie wiemy, kiedy kopalnia powstanie i na jakich zasadach będzie prowadziła eksploatację. Dotkliwość następstw ustalono na średnie. W efekcie ryzyko oceniono jako średnie. Analizowane przedsięwzięcie ma charakter zagrożenia potencjalnego.

Cmentarz (obiekt nr 8 – rys. 14, tab. 17)

Na terenie miejscowości jest zlokalizowany cmentarz, który stanowi potencjalne ognisko zanieczyszczeń dla wód podziemnych. Jest położony jednak poza obszarem spływu wód do ujęcia i dlatego ryzyko nie było analizowane.

Na rysunku 15 zilustrowano ryzyka rozpatrywane w tym przykładzie, a wynik tych analiz zawarto w tabeli 17. Największe ryzyko dla wód stwarza niezlikwidowane i niezaabezpieczone stare nieczynne ujęcie wody. Jest to ryzyko kontrolowane, ale wymaga natychmiastowych działań zabezpieczających, a w drugiej kolejności właściwej likwidacji studni. Drugim zagrożeniem wymagającym działań jest system odprowadzania ścieków bytowych do szamb – ryzyko kontrolowane. Stanowi on zagrożenie dla jakości wód podziemnych i powinien być zmieniony. Przez jakiś czas ryzyko to może być kontrolowane, ale w dłuższym okresie bez działań naprawczych może zmienić się w ryzyko nieakceptowalne.



Rys. 15. Ewaluacja ryzyka z wykorzystaniem zasady ALARP dla analizowanego przykładu

Jakość wód ulegnie obniżeniu i z uwagi na złą jakość nie będzie można wody przeznaczyć do spożycia. Do kategorii ryzyka kontrolowanego zaliczono także planowaną kopalnię kruszywa. Nie są znane do końca zasady eksploatacji złoża, trudno także ocenić jej wpływ na stan zasobów wodnych. Konieczne jest wykonanie badań hydrogeologicznych (obliczeń numerycznych), poprzedzających eksploatację kruszywa. Pozwolą one sformułować prognozy możliwych zmian w kolejnych etapach eksploatacji złoża oraz zaplanować warunki eksploatacji i rekultywacji, dzięki którym ograniczy się negatywny wpływ na wody podziemne. Zalecane działania (procedury naprawcze) pozwolą obniżyć poziom ryzyka z kontrolowanego do akceptowalnego (rys. 15). Pozostałe obiekty mieszczą się w kategorii ryzyka akceptowalnego.

Ocenę końcową potrzeby wyznaczania TOP przedstawiono zgodnie z tabelą 18.

Z przeprowadzonej analizy ryzyka dla przykładowego ujęcia wynika konieczność wyznaczenia i ustanowienia TOP.

Tabela 18

Kryteria ustanowienia TOP dla ujęcia wody podziemnej dla analizowanego przykładu

Lp.	Kryterium	Opis	Potrzeba ustanowienia TOP
1.	podatność wód ujętego poziomu wodonośnego na zanieczyszczenia w OSW ujęcia	znaczna część OSW do ujęcia cechuje średnia i mała podatność wód podziemnych, gdzie łączny czas dopływu wód z powierzchni terenu do ujęcia jest mniejszy niż 25 lat, a nawet mniejszy niż 10 lat	TAK
2.	zagrożenie dla stanu ilościowego zasobów wodnych ujęcia	w granicach OSW nie ma innych ujęć oraz zagrożeń, które mogłyby się przyczynić do zubożenia zasobów wodnych; planowana jest jednak kopalnia kruszywa, która może mieć negatywny wpływ na stan ilościowy wód podziemnych	TAK
3.	zagrożenie dla jakości i stanu chemicznego zasobów eksploatacyjnych ujęcia	zidentyfikowano dwa istotne ryzyka: 1) brak kanalizacji sanitarnej, co wpływa negatywnie na jakość wód podziemnych – ryzyko kontrolowane; 2) niezlikwidowane stare ujęcie wody – ryzyko kontrolowane, tym niemniej wymaga likwidacji	TAK
4.	trend pogarszania się stanu wód eksploatowanych na ujęciu	od wielu lat koncentracja związków azotowych w ujmowanych wodach wzrasta, co wynika z niewłaściwie zorganizowanego systemu odprowadzania ścieków bytowych	TAK
5.	zagrożenie zdrowotne konsumentów wody dostarczanej przez ujęcie	niezlikwidowane stare ujęcie wody, zlokalizowane w pobliżu czynnych studni, stanowi potencjalne zagrożenia zdrowotne	POTENCJALNIE TAK

9. WSKAZANIA DOTYCZĄCE UWZGLĘDNIENIA SPECYFIKI UJĘĆ W PROCEDURZE OPRACOWANIA ANALIZY RYZYKA

Poza standardowymi ujęciami studziennymi, ujmowanie wód podziemnych może się odbywać za pomocą nietypowych ujęć, studni oraz innych obiektów i urządzeń. Głównie występują one na obszarach górskich i wysoczyznach w Sudetach i Karpatach, gdzie stwierdza się niekorzystne warunki hydrogeologiczne związane z występowaniem skał o niskiej porowatości i pojemności wodnej, np. gnejsy, granity, łupki łyszczykowe, margle, mułowce itp. W takich przypadkach sposoby ujmowania wód podziemnych obejmują: ujęcia szybowe, kopalniane, sztolnie, dreny i galerie drenażowe, ujęcia źródeł, studnie promieniste. Do grupy ujęć specyficznych należą także infiltracyjne, brzegowe i mieszane, na ogół zlokalizowane w dolinach rzek. Niektóre ujęcia są ekspozowane na ryzyko powodzi rzecznej, morskiej oraz na skutki zmian klimatu. Jeszcze inną specyfiką wyróżniają się ujęcia nadmorskie narażone na ingresje wód morskich lub ujęcia będące pod presją zagrożeń geogenicznych, np. wód zmineralizowanych.

Sposób wykonywania analizy ryzyka dla ujęć nietypowych nie będzie się znacząco różnił od wcześniej sformułowanych zasad i procedur. Tym niemniej w każdym rozpatrywanym przypadku należy zwrócić uwagę na szczególne cechy ujęcia, specyfikę skały zbiornikowej, parametry systemu wodonośnego, sposób ujmowania wód. Istotny będzie także stopień rozpoznania warunków hydrogeologicznych oraz specyfika uwarunkowań środowiskowych i presji antropogenicznych.

9.1. Ujęcia źródeł i źródełisk

Charakterystyczną cechą większości źródeł i źródełisk jest ich lokalizacja. Na ogół są one położone na terenach leśnych lub rolniczych, gdzie warunki hydrogeologiczne mogą być słabo rozpoznane, a niekiedy cechują się wysokim stopniem skomplikowania. Często brakuje aktualnej dokumentacji hydrogeologicznej lub innego opracowania, które zawierałoby nowsze, potrzebne informacje. W związku z tym precyzyjne ustalenie obszaru spływu i zasobowego oraz innych parametrów potrzebnych do wykonania analizy ryzyka będzie utrudnione. W takich sytuacjach należy posługiwać się dostępnymi informacjami kartograficznymi (np. MHP, mapa hydrograficzna 1:50 000, mapa topograficzna 1:10 000) i dokumentacjami hydrogeologicznymi o charakterze regionalnym.

Szczególną uwagę należy zwrócić na następujące zagadnienia:

- szczelinowo-krasowy charakter skał wodonośnych;
- typ źródła, rodzaj wypływu, zmienne wydajności;
- eksploatacja surowców, odwodnienia górnicze oraz oddziaływanie pobliskich ujęć wód podziemnych;
- naturalna podatność warstwy wodonośnej na zanieczyszczenie, zwłaszcza w szczelinowo-krasowych systemach wodonośnych.

W niektórych sytuacjach, zwłaszcza przy niedostatecznym rozpoznaniu warunków hydrogeologicznych, mogą być przydatne prostsze metody szacowania ryzyka, opierające się na przyjętych założeniach. Sposób takiego podejścia w odniesieniu do źródełisk, ujęć drenażowych, infiltracyjnych oraz będących pod presją czynników antropogenicznych przedstawiono w tabelach 19 i 20.

W tabeli 19 uwzględniono nietypowe zagrożenia, związane ze skutkami zmieniającego się klimatu, które coraz częściej istotnie wpływają na ciągłość pracy ujęć wód podziemnych oraz jakość ujmowanych wód. Jednocześnie należy podkreślić, że z uwagi na specyfikę ujęć

Tabela 19

Zestawienie zdarzeń naturalnych wraz z ich prawdopodobieństwem i dotkliwością

Zdarzenia naturalne	P	D	Uwagi
Ujęcia – źródła/źródłiska			
Zmiany wydajności wywołane zmiennym zasilaniem/opadami (ΔP)	4 (s-k*)	3	dotkliwość zależna od zmienności naturalnej (ΔH roczna) na obszarze zasilania $\Delta P < 2$ m – niewielka, $\Delta P > 2-5$ m – znaczna
	3 (p)	2	
Ekstremalnie wysokie opady	2/3	4	poważne krótkotrwale zmiany jakości wód źródeł
Ujęcia drenażowe			
Zmiany wydajności wywołane zmiennym zasilaniem/opadami	4 (s-k)	3	dotkliwość zależna od zmienności naturalnej (ΔH roczna) na obszarze zasilania $\Delta P < 2$ m – niewielka, $\Delta P > 2-5$ m – znaczna
	3 (p)	2	
Ujęcia infiltracyjne			
Zmiany wydajności wywołane zmiennym dopływem z rzek i zasilaniem	4 (s-k)	3	dotkliwość zależna od zmienności naturalnej (ΔH roczna) na obszarze zasilania $\Delta P < 2$ m – niewielka, $\Delta P > 2-5$ m – znaczna, powódź – katastrofalna
	3 (p)	2	
Ekstremalnie niskie przepływy/susza	3	3	wzrost stężenia substancji szkodliwych w wodzie surowej
Incydentalne	2	2	incydentalny wylew substancji szkodliwych – awaria

P – prawdopodobieństwo: 1 – bardzo mało prawdopodobne, 2 – mało prawdopodobne, 3 – średnio prawdopodobne, 4 – umiarkowanie prawdopodobne, 5 – bardzo prawdopodobne

D – dotkliwość następstw: 1 – nieistotna, 2 – niewielka, 3 – umiarkowana, 4 – poważna, 5 – katastrofalna

* systemy wodonośne: p – porowe, s-k – szczelinowo-krasowe

i analizowanych zagrożeń poziom ryzyka należy ustalić indywidualnie dla każdego przypadku. W niektórych sytuacjach do oceny i prognozowania zagrożeń oraz optymalizacji poboru wód podziemnych na ujęciu będą pomocne badania modelowe.

Charakterystyka źródeł z opisem warunków chemicznych zostały zaprezentowane w wielu publikacjach, np. Dobrzyński, 1997; Janigacz, 1999; Rzonca i in., 2008.

9.2. Ujęcia galeriowe, kopalnianie i sztolnie

Z powodu odmiennego wykształcenia formacji wodonośnych na obszarach występowania skał krystalicznych i osadowych o niskim zawodnieniu, najlepsze wyniki w zaopatrzeniu w wody dają ujęcia horyzontalne, takie jak galerie czy sztolnie. Przykładem może być Unisław Śląski, gdzie sztolnia dostarcza ponad 3200 m³/d wód podziemnych. Sposób postępowania z takimi ujęciami w procedurze analizowania ryzyka będzie bardzo podobny jak w przypadku źródeł. Mogą wystąpić trudności w wyznaczeniu obszaru spływu wód oraz przy ustaleniu naturalnej podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia.

Zestawienie zdarzeń antropogenicznych wraz z ich prawdopodobieństwem i dotkliwością

Zdarzenia antropogeniczne / wywołane działalnością człowieka	P	D	Uwagi
Ujęcia – źródła/źródłiska			
Eksploracja surowców lub wód: a) na obszarach sąsiednich b) studniami na obszarze spływu c) górnicza	brak – 1 a) 2 b) 3–4 c) 3–4	a) 1 b) 2 c) 4	zależne od zasobów w regionie i wielkości eksploatacji oraz obniżenia zwierciadła wód podziemnych
Intensywna gospodarka rolnicza lub przemysłowa na obszarze zasobowym	3–4	3–4	zależne od dawek nawozów – związki azotu, pestycydy
Obecność składowisk magazynów substancji, stacji benzynowych	3–4	3–4	zależne od stopnia izolacji i/lub gospodarki magazynowej
Ujęcia drenażowe			
Kolmatacja studzienek rewizyjnych	3	3	–
Ujęcia infiltracyjne			
Kolmatacja stawów infiltracyjnych	3	3	usuwanie osadów

Oznaczenia jak w tabeli 19

Wody kopalniane, tj. ujmowane przez kopalnie, rzadko są wykorzystywane dla zaopatrzenia ludności. Zestawienie takich ujęć zawarto m.in. w „Hydrogeologii regionalnej Polski” (Paczyński, Sadurski, 2007).

Przy wykonywaniu analizy ryzyka dla wód podziemnych należy uwzględnić skutki długotrwałej działalności górniczej. Naturalne warunki hydrogeologiczne są na ogół znacznie przekształcone. Powstają rozległe obniżenia zwierciadła wód podziemnych, zmieniają kierunki przepływu i tworzą się lokalne bazy drenażu wokół kopalń. Maksymalne obniżenia zwierciadła wody w niecce bytomskiej osiągają 100 m (Kowalczyk i in., 2007), a w rejonie kopalń Kombinatu Górniczo-Hutniczego Polska Miedź SA ponad 460 m w najgłębszych piętrach wodonośnych (Staśko, Bylebył, 2018).

9.3. Ujęcia drenażowe

Ujęcia drenażowe najczęściej są zlokalizowane w dolinach rzek oraz w obrębie otaczających je krawędzi morfologicznych i na stokach. Większość z nich powstała w ubiegłym wieku, a nawet wcześniej – w XIX w. Jedno z pierwszych ujęć tego typu powstało w 1869 r. w Pręgowie, które do dzisiaj zaopatruje Gdańsk w wodę pitną – ok. 270 m³/h. Ujęcia drenażowe składają się z ciągów drenarskich wykonanych z perforowanych rur kamionkowych posadowionych na ogół na głębokości kilku metrów. Ujęcia wykorzystują kaskadowy system spływu wód, który gromadzi wodę w kolejnych studzienkach rewizyjnych. Zaletą tego systemu jest grawitacyjny spływ wody, stabilny skład chemiczny ujmowanych wód podziemnych, niska mineralizacja oraz niska koncentracja związków żelaza i manganu.

Podobne ujęcia z górskich, zalesionych obszarów zaopatrują w wodę m.in. Bielawę i Dzierżoniów, jak i Łądek-Zdrój (Staško, Wojtkowiak, 2001).

Z uwagi na płytkie położenie ciągów drenarskich, obszar spływu wód będzie najczęściej zgodny z granicami zlewni topograficznych. Z tego samego powodu rejon ujęcia będzie cechowała wysoka naturalna podatność wód podziemnych na zagrożenia antropogeniczne oraz stosunkowo szybka migracja potencjalnych zanieczyszczeń. Zasoby wodne ujęć drenazowych będzie kształtował pierwszy poziom wodonośny. Część ujęć drenazowych ujmuje jednak wody głębszych poziomów wodonośnych. W niektórych przypadkach warunki hydrogeologiczne tych ujęć są słabo rozpoznane i mogą je cechować znacznie zróżnicowane warunki występowania. Omówione uwarunkowania będą znacząco wpływały na sposób wykonania analizy ryzyka.

9.4. Ujęcia infiltracyjne i brzegowe

Specjalną grupę ujęć stanowią ujęcia infiltracyjne, w których studnie ujmują infiltrujące do warstwy wodonośnej wody powierzchniowe z rzeki, jeziora lub stawów. Ponadto, ujęcie infiltracyjne jest zasilane w różnym stopniu wodami podziemnymi. Woda pobierana jest najczęściej studniami usytuowanymi w formie bariery. Przy wyznaczaniu obszaru spływu wód do ujęcia konieczne jest uwzględnienie systemu hydrograficznego rzeki lub jeziora. Jeżeli ponad połowa wód ujmowanych na ujęciu pochodzi z wód podziemnych, to do określenia obszaru spływu wód podziemnych stosujemy zasady adekwatne dla ustalania zasobów eksploatacyjnych w ramach odpowiedniej dokumentacji hydrogeologicznej. Konieczne jest także ustalenie czasu przepływu wód z rzeki (stawu) do studni. Natomiast w przypadku, gdy większy udział w eksploatowanych wodach mają wody powierzchniowe, oprócz wyznaczenia obszaru spływu wód podziemnych do ujęcia, należy wskazać fragment zlewni powierzchniowej, w obrębie której kształtują się zasoby wodne rzeki poprzez spływ powierzchniowy. Należy przy tym stosować odpowiednie zasady przydatne do wyznaczania stref ochronnych ujęć powierzchniowych. Istotne będą więc takie elementy jak: powierzchnia zlewni częściowej, parametry wpływające na prędkość i natężenie spływu powierzchniowego, pokrycie terenu, prędkość i natężenie przepływu wód w rzece, jakość wód powierzchniowych. Zagadnienia te wykraczają poza zakres poradnika, dlatego przy analizowaniu ryzyka ujęć mieszanych, w których dominującym elementem są wody powierzchniowe, konieczna jest współpraca ze specjalistą z zakresu hydrologii.

Do oceny podatności na zagrożenia antropogeniczne ważny jest zarówno czas przesączania się wód ze stawów, rzek, jak i czas przepływu wód w warstwie wodonośnej. Konieczne jest także rozpoznanie oraz uwzględnienie stanu chemicznego osadów dennych w stawach oraz ich wpływ na jakość ujmowanych wód. Istotna może być również informacja o udziale wód podziemnych i powierzchniowych w kształtowaniu zasobów eksploatacyjnych oraz ryzyko zanieczyszczenia wód powierzchniowych na obszarze zlewni. Odmianą ujęć infiltracyjnych są ujęcia brzegowe i promieniste, zlokalizowane pod dnem rzeki lub w jej pobliżu. Wyróżnia je wysoki udział wód powierzchniowych w zasobach eksploatacyjnych. Z tego też powodu przy wykonywaniu analizy ryzyka powinny być traktowane jako ujęcia powierzchniowe.

Ujęcia infiltracyjne zaopatrują w wodę wiele miast w Polsce, przykładem może być Wrocław, gdzie zostało ono zlokalizowane w pobliżu Odry i Oławy (Szczepiński, 2008; Staško i in., 2016; Wcisło i in., 2016).

9.5. Wskazania do oceny ilości wód powierzchniowych IP infiltrujących do warstwy wodonośnej na obszarze spływu wód podziemnych do ujęcia oraz ich udziału ipq w poborze wód QU

Problemem wymagającym uwzględnienia podczas ustalania wysokości poboru wody z ujęcia (QU) jest określenie pochodzenia wód pobieranych przez analizowane ujęcie. Dotyczy to sytuacji, gdy ich znaczącą część stanowią wody powierzchniowe, infiltrujące do ujętej warstwy wodonośnej z cieków i zbiorników naturalnych, znajdujących się w zasięgu spływu wód podziemnych do ujęcia. Wymaga to objęcia analizą ryzyka zarówno obszaru spływu wód podziemnych do ujęcia, jak i wód powierzchniowych zbiornika lub cieku wraz z częścią ich zlewni, znacząco wpływającej na stan tych wód. Źródłem danych niezbędnych do oceny udziału infiltrujących wód powierzchniowych w poborze ujęcia mogą być przede wszystkim dokumentacje hydrogeologiczne, opracowania kartograficzne i pozwolenia wodnoprawne.

Ustalenie ilości wody powierzchniowej IP , wchodzącej w skład wody pobieranej z warstwy wodonośnej przez studnie wiercone, może być określone na podstawie źródeł uszeregowanych zgodnie ze stanem aktualności i dokładności ustalania zawartych w nich informacji:

- a) z wykorzystaniem informacji z pozwolenia wodnoprawnego na pobór wód przez ujęcie, w którym są podane dopuszczalne w roku średnie ilości wody pobierane przez ujęcie (QU_{Spw}) z wydzieleniem ilości wody pochodzącej z infiltracji wód powierzchniowych (IP_{pw}). Ilości te mogą być zastosowane w szacunkowym ustaleniu RQG , czyli zasięgu obszaru spływu wód podziemnych kształtowanego średnim dopuszczalnym w roku poborem wód podziemnych (QG) pochodzących z infiltracji opadów atmosferycznych do ujętej warstwy wodonośnej:

$$QG = QU_{Spw} - IP_{pw} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad [10]$$

$$RQG = \sqrt{\frac{24QG}{\pi zo}} \text{ [m]} \quad [11]$$

gdzie:

zo – średni wieloletni moduł zasobów odnawialnych wód podziemnych [$\text{m}^3/\text{d km}^2$];

- b) z wykorzystaniem informacji z dokumentacji ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych, na podstawie której zostały zatwierdzone zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych w ilości QU_{pe} (zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych), z określeniem IP_{pe} – ilości wody pochodzącej z infiltracji wód powierzchniowych do ujętej warstwy wodonośnej w zasięgu obszaru spływu wód podziemnych do ujęcia. Ilości te mogą być zastosowane w szacunkowym ustaleniu $RQGe$, czyli zasięgu obszaru spływu wód podziemnych kształtowanego poborem wód podziemnych QGe pochodzących w infiltracji opadów atmosferycznych do ujętej warstwy wodonośnej:

$$QGe = QU_{pe} - IP_{pe} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad [12]$$

$$RQGe = \sqrt{\frac{24QGe}{\pi zo}} \text{ [m]} \quad [13]$$

gdzie:

zo – średni wieloletni moduł zasobów odnawialnych wód podziemnych [$\text{m}^3/\text{d km}^2$].

Określenie ilości wód powierzchniowych IP infiltrujących do obszaru spływu wód podziemnych do tego ujęcia eksploatowanego z poborem QU może być oszacowane z następującej zależności:

$$IP = QU \cdot \frac{IPe}{QUpe} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad [14]$$

Ustalenie zasięgu RQG obszaru spływu wód podziemnych kształtowanego poborem wód podziemnych QG pochodzących z infiltracji opadów atmosferycznych do ujętej warstwy wodonośnej może być dokonane szacunkowo z wykorzystaniem następujących zależności:

$$QG = QU - IP \text{ [m}^3\text{/h]} \quad [15]$$

$$RQG = \sqrt{\frac{24QG}{\pi zo}} \text{ [m]} \quad [16]$$

gdzie:

zo – średni wieloletni moduł zasobów odnawialnych wód podziemnych [$\text{m}^3/\text{d km}^2$];

- c) z wykorzystaniem informacji zawartych w regionalnych dokumentacjach hydrogeologicznych, obejmujących swoim zasięgiem rozpatrywane ujęcie wód podziemnych, opracowanych po wykonaniu tego ujęcia (dokumentacji ustalającej zasoby dyspozycyjne wód podziemnych obszaru bilansowego lub warunki hydrogeologiczne w związku z ustanawianiem obszarów ochronnych GZWP, opracowanej z wykonaniem badań modelowych).

W zestawieniach danych wejściowych do obliczeń modelowych, pozyskanych z dokumentacji zasobów eksploatacyjnych ujęcia i pozwolenia wodnoprawnego na pobór wody z ujęcia, podany jest pobór z ujęcia wód podziemnych w ilości $QUpe$ i $QUSpw$ z określeniem ilości wody IPe i $IPpw$, pochodzącej z infiltracji wód powierzchniowych do ujętej warstwy wodonośnej w zasięgu obszaru spływu wód podziemnych do ujęcia. Ilości te mogą być zastosowane w szacunkowym ustaleniu zasięgu $RQGe$ obszaru spływu wód podziemnych kształtowanego poborem wód podziemnych QGe pochodzących z infiltracji opadów atmosferycznych do ujętej warstwy wodonośnej:

$$QGe = QUpe - IPpe \text{ [m}^3\text{/h]} \quad [17]$$

$$RQGe = \sqrt{\frac{24QGe}{\pi zo}} \text{ [m]} \quad [18]$$

gdzie:

zo – średni wieloletni moduł zasobów odnawialnych wód podziemnych [$\text{m}^3/\text{d km}^2$].

Podane wyżej wzory pozwalają oszacować zasięg obszaru, który w ramach analizy ryzyka powinien być objęty oceną potencjalnych i czynnych zagrożeń dla wymaganego stanu wód podziemnych, pobieranych przez analizowane ujęcie. Nie dotyczą one wyznaczania zasięgu zlewni hydrograficznej, decydującej o stanie wód powierzchniowych infiltrujących do wód podziemnych pobieranych z warstwy wodonośnej przez studnie analizowanego ujęcia, tym samym nie są one uwzględniane wskazaniem niniejszego poradnika.

9.6. Ujęcia o sezonowo zmiennym poborze wód

Ważną kwestią przy analizowaniu ujęć o zmiennym poborze wód będzie ustalenie miarodajnego poboru dla ustalenia obszaru spływu wód do ujęcia (OSWM) w celu przeprowadzenia analizy ryzyka. Pobór wody z ujęcia (*QUM*) powinien być ustalony w ilości wskazanej przez właściciela/użytkownika. W przypadku ujęć o znacznie zróżnicowanym w ciągu roku poborze, eksploatowanych głównie w sezonie wysokiego zapotrzebowania na wodę do spożycia w ośrodkach czasowych, hotelach, pensjonatach, schroniskach, oraz ujęć wodociągowych zaopatrujących wymienione rejon turystyczno-rekreacyjne, należy uwzględnić pobór miarodajny *QUM* ustalony jako średni w roku:

$$QUM = \frac{nswQUW + nznQUN}{365} \text{ [m}^3\text{/d]} \quad [19]$$

gdzie:

QUW [m³/d] – pobór średni dobowy w okresie sezonu o wysokim zapotrzebowaniu na wodę trwającym *nsw*-dni;

QUN [m³/d] – pobór średni dobowy w okresie sezonu o niskim zapotrzebowaniu na wodę trwającym *nzn*-dni.

Źródłem danych o poborze *QUW* i *QUN* jest operat i pozwolenie wodnoprawne, na podstawie których ustalana jest wartość *QUM*, lub dokument określający wysokość perspektywicznych potrzeb użytkownika ujęcia.

9.7. Ujęcia zagrożone skutkami powodzi oraz zmianami klimatu

Niektóre ujęcia są zlokalizowane w dolinach rzek, deltach oraz na terenach depresyjnych lub polderowych. Obszary te mogą być narażone na niebezpieczeństwo powodzi. W sposób formalny zostały wyznaczone we wstępnej ocenie ryzyka powodziowego, a wyniki prezentują mapy zagrożenia powodziowego. Analiza ryzyka ujęć wód podziemnych powinna uwzględnić prawdopodobieństwo zagrożenia powodziowego. Skutki tego zagrożenia mogą narazić wody podziemne na przejściowe lub trwałe skażenia, a obudowy studni na zalanie. W efekcie tych niekorzystnych zdarzeń ujęcie może być na jakiś czas wyłączone.

Podobne zagrożenia dla ujęć mogą pochodzić od tzw. powodzi miejskich, które w ostatnich latach coraz częściej występują na terenach miast. Szczegółową analizę tego problemu zawierają miejskie plany adaptacji wykonane dla miast powyżej 100 tys. mieszkańców. Szczególną uwagę należy zwrócić na ujęcia zlokalizowane w obniżeniach terenu, w pobliżu zbiorników retencyjnych, które mogą być narażone na gwałtowne spływy po deszczach nawalnych.

Należy mieć na uwadze, że zachodzące zmiany klimatu niosą ze sobą także inne zagrożenia, np. długie okresy suszy, które dla niektórych ujęć wód podziemnych także mogą mieć niekorzystne znaczenie. Głównie są na nie narażone ujęcia eksploatujące płytkie wody gruntowe o niewielkiej miąższości. W takim przypadku obniżenie zwierciadła nawet o jeden metr może ograniczać dostępne zasoby eksploatacyjne. Trwałe obniżanie zwierciadła wody lub przedłużające się okresy suszy i związane z nimi wahania zwierciadła mogą także niekorzystnie wpływać na jakość wód podziemnych.

9.8. Ujęcia zagrożone ingresją wód morskich lub ascencją wód zmineralizowanych

Niektóre ujęcia położone w strefie nadmorskiej mogą być narażone na ingresję wód morskich do warstw wodonośnych. Może ją zainicjować nadmierna eksploatacja wód podziemnych lub stopniowy wzrost poziomu morza (Kachnic, 1999; Przewłocka, 2003). Zagrożeniem mogą być także gwałtowne sztormy powodujące wlewy morskie na obszary nadmorskie. W ubiegłym wieku niejednokrotnie dochodziło do takich zdarzeń, np. ujęcie komunalne w Gdańsku „Grodza Kamienna” zostało zasolone wodami morskimi na skutek nadmiernej eksploatacji. W efekcie musiało zostać wyłączone. Dopiero po 20 latach sytuacja uległa poprawie, dopływające z wysoczyzny wody słodkie wyparły strefę wód zasolonych. Przykład ten ilustruje wagę tego zagrożenia i dotkliwość dla systemu zaopatrzenia w wodę pitną mieszkańców miasta. Dlatego też analiza ryzyka powinna uwzględnić charakter omawianego zagrożenia oraz odpowiednie scenariusze optymalizacyjne.

Podobne zagrożenia mogą wystąpić w przypadku ujęć, pod którymi lub w ich sąsiedztwie występują struktury wodonośne z wodami o wysokiej mineralizacji lub niskiej jakości. Ten typ zagrożenia najczęściej jest uwzględniony w dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia, a więc zasoby nie powinny być zagrożone. Należy jednak sprawdzić, czy nie zmieniła się sytuacja hydrodynamiczna, zasięg zagrożenia lub czy nie powstały nowe ujęcia wody podziemnej, zaburzające dotychczasowy stan hydrodynamiczny.

Omawiane zagrożenia trudno będzie analizować bazując na metodach analitycznych, więc najczęściej konieczne będą badania modelowe.

9.9. Wskazania do oceny wpływu porowatości aktywnej i rodzaju wodoprzepuszczalności utworów ujętego poziomu wodonośnego ze szczególnym uwzględnieniem skał szczelinowych

Przy wyznaczaniu zasięgu obszaru objętego analizą ryzyka konieczne jest uwzględnienie istotnej różnicy w rzeczywistej prędkości przepływu v_r wody w poziomie wodonośnym ujmowanym przez studnie pracujące z sezonowo zmiennym poborem. Prędkość v_r jest odwrotnie proporcjonalna do wartości współczynnika porowatości aktywnej n_a i w warunkach ruchu laminarnego może być określona wzorem [9].

Zasięg występowania ruchu turbulentnego jest ograniczony do bezpośredniego sąsiedztwa studni i przyjmuje się, że w odległości $z > 1,5m$, gdzie m jest miąższością ujętej warstwy wodonośnej, ruch wody jest laminarny, co powoduje, że powyższy wzór może mieć zastosowanie w analizie procesów hydrodynamicznych na obszarze spływu wód podziemnych do ujęcia.

W warstwie wodonośnej zbudowanej ze skał szczelinowych o współczynniku porowatości aktywnej najczęściej rzędu $0,003 \div 0,01$ prędkość przepływu v_r będzie $20 \div 80$ -krotnie wyższa niż w piaszczystej warstwie wodonośnej o współczynniku porowatości rzędu $0,15 \div 0,25$. Podobnie kształtuje się zróżnicowanie wartości współczynnika odsączalności grawitacyjnej μ i odsączalności sprężystej β oraz zróżnicowanie ilości zasobów statycznych zmagazynowanych w warstwie utworów szczelinowych i piaszczystych. W ocenie porowatości aktywnej należy uwzględnić rolę mikroporowatości w przepływie wskaźników, również konserwatywnych, w wyniku dyfuzyjnego transferu do mikroporów skały.

Szczelinowe poziomy wodonośne – w porównaniu z piaszczystymi poziomami wodonośnymi – charakteryzują się niską inercją systemu wodonośnego i wysokim piezoprzewodnictwem, co powoduje, że wymuszone depresją pompowanej studni zmiany wysokości hydraulicznej w tym ośrodku rozchodzą się z relatywnie dużą prędkością, co z kolei wpływa na zasięg i tempo rozwoju leja depresji Rt :

- w warstwie o zwierciadle swobodnym:

$$Rt = a \sqrt{\frac{mkt}{\mu}} \quad [20]$$

- w warstwie o zwierciadle napiętym:

$$Rt = a \sqrt{\frac{mkt}{\beta}} \quad [21]$$

gdzie:

- a – współczynnik liczbowy, najczęściej przyjmuje się $a = 1,5$;
- m – miąższość warstwy wodonośnej;
- k – współczynnik filtracji;
- t – czas upływający od początku pompowania.

Analiza powyższych wzorów prowadzi do wniosku o konieczności szacowania zasięgu izochron czasu dopływu wody do ujęcia, szczególnie w przypadku oceny zagrożenia zanieczyszczeniem bakteriologicznym w szczelinowych poziomach wodonośnych. Wskazują na to przykłady wyników obliczeń zasięgu X izochrony $t = 30$ dni, które podano w tabeli 21, przeprowadzonych wzorem:

$$X = t \frac{k \cdot i}{n_a} \quad [22]$$

Tabela 21

Zasięg izochrony 30 dni w zależności od parametrów hydrogeologicznych

Współczynnik filtracji k [m/d]	Spadek hydrauliczny i [-]	Porowatość aktywna n_a [-]	Zasięg izochrony 30 dni X [m]
20	0,005	0,003	1000
20	0,005	0,250	12
5	0,010	0,003	500
5	0,010	0,250	6
20	0,005	0,010	300
20	0,005	0,150	20
5	0,010	0,010	150
5	0,010	0,150	10

Omawiane zagadnienia były szczegółowo analizowane w wielu pracach i publikacjach, np. Herbich, Krajewski, 1991; Herbich i in., 1991; Herbich, 1995.

10. PODSUMOWANIE

Analiza ryzyka przygotowywana wg wymagań ustawy PW stanowi wstępne opracowanie w procesie wyznaczania i ustanawiania strefy ochronnej dla ujęcia wód podziemnych. Obejmuje ocenę zagrożeń istniejących lub potencjalnych, zidentyfikowanych na obszarze spływu wody do ujęcia. Jest powiązana z oceną ryzyka w systemach zaopatrzenia w wodę oraz nawiązuje do PBW, o których mówi Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294). Analiza ryzyka powinna być wykorzystywana do oceny zagrożeń, które wynikają z presji antropogenicznych na obszarze TOP. Mogą one obejmować istniejące i potencjalne ogniska zanieczyszczeń (zagrożenia jakości) oraz zubożenia zasobów wód podziemnych (zagrożenia ilości).

W warunkach różnorodnej i wzrastającej antropopresji ochrona zasobów wodnych eksploatowanych na ujęciach powinna być prowadzona w ramach następujących działań:

- ustanawianie stref ochronnych ujęć w celu eliminowania zagrożeń przez właściwe użytkowanie terenu i korzystanie z wód na obszarach zasobowych ujęć;
- monitoring wewnętrzny i osłonowy prowadzony w celu stałej kontroli stanu eksploatowanych wód.

Zgodnie z aktualnie obowiązującą ustawą PW, w przypadku ujęć wód podziemnych ważną funkcję pełni nie tylko analiza ryzyka, lecz także dokumentacja hydrogeologiczna. Stanowi ona podstawę do ustanowienia strefy ochronnej ujęcia obejmującego TOP. Obecnie jest ona opracowywana najczęściej w formie dodatku do dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej zasoby eksploatacyjne ujęcia zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033). Proponuje się znowelizowanie przepisów dotyczących dokumentacji, najlepiej przez wprowadzenie nowego typu dokumentacji dotyczącej ustanawiania stref ochronnych ujęć wód podziemnych (analogicznie jak w dokumentacjach dotyczących wyznaczania obszarów ochronnych dla GZWP). Oba zagadnienia są pod względem merytorycznym bardzo podobne, różnią się tylko skalą.

Z uwagi na specyfikę zadania zaleca się, żeby analiza ryzyka była wykonywana tylko przez osoby z wykształceniem hydrogeologicznym i posiadające uprawnienia resortowe do wykonywania dokumentacji hydrogeologicznych.

LITERATURA

- BUKOWSKI P., KROGULEC E., HAŁĄDUS A., 2020 – Charakterystyka głównych geotypów obszarowych ocen podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia. *Prz. Geol.*, **68**, 4: 226–232.
- CZERNYSZEWICZ E., 2018 – Aspekty, podejścia, narzędzia i techniki stosowane w ocenie ryzyka. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie. Internet: https://depot.ceon.pl/bitstream/handle/123456789/16401/Czernyszewicz_Eugenia.pdf?sequence=1&isAllowed=y [dostęp: 7.06.2022 r.].
- CZOP M., 2012 – Prognozowanie wpływu inwestycji na środowisko geologiczne i środowisko wodne w warunkach znacznego skomplikowania procesów i czynników naturalnych, w oparciu o oprogramowanie Visual ModFlow, AquaChem, AquiferTest, UnsatSuite firmy Schumberger Water Services. Gambit – Centrum Oprogramowania i Szkoleń Sp. z o.o., Kraków [materiały szkoleniowe].
- DĄBROWSKI S., GÓRSKI J., KAPUŚCIŃSKI J., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2004 – Metodyka określania zasobów eksploatacyjnych ujęć zwykłych wód podziemnych. Poradnik metodyczny. Borgis Wydaw. Medyczne, Warszawa.
- DĄBROWSKI S., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A., 2011 – Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych. Poradnik metodyczny. Bogucki Wydaw. Naukowe, Poznań.
- DOBRZYŃSKI D., 1997 – Zagrożenie jakości wód ujmowanych w strefach źródliskowych górskich potoków w Sudetach. W: Współczesne problemy hydrogeologii. T. 8: 335–339. WIND, Wrocław.
- DOWGIAŁŁO J., KLECZKOWSKI A.S., MACIOSZCZYK T., RÓŻKOWSKI A. (red.), 2002 – Słownik hydrogeologiczny. Wyd. II. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- DUDA R., WITCZAK S., ŻUREK A., 2011 – Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie 1:500 000. Metodyka i objaśnienia tekstowe. AGH, Kraków.
- DUDA R., WINID B., ZDECHLIK R., STĘPIEŃ M., 2013 – Metodyka wyboru optymalnej metody wyznaczania zasięgu stref ochronnych ujęć zwykłych wód podziemnych z uwzględnieniem warunków hydrogeologicznych obszaru RZGW w Krakowie. Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie, Kraków.
- FOSTER S., HIRATA R., GOMES D., D’ELIA M., PARIS M., 2002 – Groundwater Quality Protection – a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies. The World Bank, Washington D.C.
- GWOŹDZIKIEWICZ M., KUNA P., LUBOWICZ A., 2011 – Migracja zanieczyszczeń ropopochodnych w gruntach piaszczystych na granicy stref aeracji i saturacji. *Prz. Geol.*, **59**, 1: 69–73.
- HERBICH P., 1995 – Wyznaczanie stref ochronnych ujęć wód podziemnych ze szczelinowo-porowych utworów kredowych rejonu Chełma. *PZiTS*, **11**, 1: 64–68.
- HERBICH P., KRAJEWSKI S., 1991 – Hydrogeologiczne warunki migracji zanieczyszczeń w strefie aeracji w regionie kredy lubelskiej. *Prz. Geol.*, **39**, 1: 19–21.
- HERBICH P. i in., 2008 – Metodyka opracowania warstw informacyjnych bazy danych GIS Mapy Hydrogeologicznej Polski 1:50 000 – pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość i jakość. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- JANIGACZ E., 1999 – Źródła zanieczyszczeń wód podziemnych na terenie miasta i gminy Ogrodzieniec. *Prz. Geol.*, **47**, 3: 280–286.
- KACHNIC M., 1999 – Ingresja wód zasolonych na wyspie Uznam – ujęcie „Wydrzany”. W: Współczesne problemy hydrogeologii. T. 9: 126–133. Państw. Inst. Geol., Warszawa–Kielce.

- KAJEWSKI I., 2010 – Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie pestycydami organicznymi w naturalnych uwarunkowaniach zlewni rolniczej. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, **8**, 1: 69–78.
- KAMIŃSKA A., STRZEMIECZNA A. (red.), 2018 – Woda przeznaczona do spożycia przez ludzi. Kompendium. Główny Inspektorat Sanitarny, Warszawa.
- KLECZKOWSKI A.S. (red.), 1984 – Ochrona wód podziemnych. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KLECZKOWSKI A.S. i in., 1990 – Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) wymagających szczególnej ochrony. CPBP 04.10. Ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczego. AGH, Kraków.
- KOWALCZYK A., CHMURA A., RUBIN H., RUBIN K. WAGNER J., 2007 – Region górnej Odry. W: *Hydrogeologia regionalna Polski. T. I* (red. B. Paczyński, A. Sadurski): 289–306. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KROGULEC E., 2004 – Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych. Wydaw. UW, Warszawa.
- KROGULEC E., SAWICKA K., ZABŁOCKI S., 2019 – Podatność wód podziemnych w warunkach suszy hydrogeologicznej w płytkich systemach hydrogeologicznych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **475**: 101–108.
- LALLEMANDE-BARRES A., ROUX J.-C., 1999 – Périmètres de protection des captages d’eau souterraine destinée à la consommation humaine. BRGM, France.
- LIDZBARSKI L., 2019 – Analiza ryzyka w procesie ustanawiania strefy ochronnej ujęć wód podziemnych „Osowa” i „Dolina Radości” w Gdańsku. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **475**: 125–132.
- LIDZBARSKI M., JANICA R., KORDALSKI Z., 2015 – Ocena stanu środowiska gruntowo-wodnego oraz stopnia zagrożenia użytkowych poziomów wodonośnych wraz z prognozą migracji zanieczyszczeń do ujęć wody pitnej w okolicy nieczynnej zwirowni. Zadania państwowej służby hydrogeologicznej 2015–2017 [zadanie państwowej służby hydrogeologicznej – pr. niepubl.].
- LIDZBARSKI L., DUDA R., GÓRSKI J., HERBICH P., JANICA R., PRAŻAK J., RODZIOCH A., STAŚKO S., TARNAWSKA E., WOŹNICKA M., 2023 – Strefy ochronne ujęć wód podziemnych – analiza ryzyka i projektowanie. Poradnik metodyczny. Cz. 2. Metodyka wyznaczania stref ochronnych ujęć wód podziemnych [w przygotowaniu].
- MACIOSZCZYK A., 1987 – Hydrogeochemia. Wydaw. Geol., Warszawa.
- MACIOSZCZYK A. (red.), 2006 – Podstawy hydrogeologii stosowanej. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- MACIOSZCZYK A., DOBRZYŃSKI D., 2007 – Hydrogeochemia: strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- MAŁECKI J., NAWALANY M., WITCZAK S., GRUSZCZYŃSKI T., 2006 – Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb badań hydrogeologicznych i ochrony środowiska. Poradnik metodyczny. Ministerstwo Środowiska, Warszawa.
- MDBC, 2000 – Murray-Darling Basin Commission – Groundwater Flow Modelling Guideline. Internet: https://www.mdba.gov.au/sites/default/files/archived/mdbc-GW-reports/2175_GW_flow_modeling_guideline.pdf [dostęp 7.06.2022].
- MOTYKA J., CZOP M., 2007 – Opracowanie modelu zasobowego ujęcia w Dyminach dla potrzeb opracowania pt. Dokumentacja hydrogeologiczna określająca zasoby eksploatacyjne ujęcia w Dyminach (wspólnego dla byłych ujęć przy Fabecie i Browarze Belgia). Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MULIK B., PARAFIŃSKA K., ZIMOCH I., MRCINKOWSKI J., 2015 – Zagrożenia zdrowotne związane z wodą przeznaczoną do spożycia w krajach o wysokim stopniu rozwoju. Cz. 2. Europa. *Technologia Wody*, **3**: 58–65.
- OKOŃSKA M., 2006 – Identyfikacja parametrów migracji zanieczyszczeń w porowatym ośrodku hydrogeologicznym metodą modelowania eksperymentu kolumnowego. *Geologos*, **9**.
- PACZYŃSKI B., SADURSKI A. (red.), 2007 – Hydrogeologia regionalna Polski. T. I. Wody słodkie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- PARAFIŃSKA K., MARCINKOWSKI J., ZIMOCH I., 2015 – Identyfikacja zdarzeń niebezpiecznych i zagrożeń w systemach zaopatrzenia w wodę. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, **96**, 2: 349–356.

- PARAFIŃSKA K., ZIMOCH I., MULIK B., 2016 – Identification of groundwater sources hazards and the need of establishing water source protection zones. W: Current issues in water treatment and water distribution. T. 5. (red. I. Zimoch): 197–211. Politechnika Śląska, Gliwice.
- PAZDRO Z., KOZERSKI B., 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wydaw. Geol., Warszawa.
- PRZEWŁOCKA M., 2003 – Zmiany zasolenia na ujęciu „Czarny Dwór” w świetle eksploatacji czwartorzędowego poziomu wodonośnego. W: Współczesne problemy hydrogeologii. T. 11, cz. 2: 273–280. Politechnika Gdańska, Gdańsk.
- RAK J., 2009a – Bezpieczeństwo systemów zaopatrzenia w wodę. PAN Instytut Badań Systemowych, Warszawa.
- RAK J., 2009b – Bezpieczna woda wodociągowa. Zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydaw. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- RAK J., TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK B., 2006 – Review of matrix methods for risk assessment in water supply system. *Journal of KONBiN*, **1**, 1: 67–76.
- RODZOCH A., 2020 – Analiza ryzyka jako ważny element procedury wyznaczania i ustanawiania stref ochronnych ujęć wody – ocena stanu aktualnego i wytyczne dla użytkowników ujęć. *Technologia Wody*, **70**, 2: 58–65.
- RUBIN K., RUBIN H., RÓŻKOWSKI J., ŚLÓSARCZYK K., FLASZA A., 2019 – Analiza ryzyka dla obszaru spływu wód podziemnych do ujęcia Łazy Błędownskie GPW S.A. w Katowicach i jej ograniczenia. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **475**: 199–204.
- RZONCA B., KOŁODZIEJ A., LASZCZAK E., MOCIOR E., PLENZLER J., PŁACZKOWSKA E., ROZMUS M., SIWEK J., ŚCISŁOWICZ B., WÓJCIK S., ZIÓŁKOWSKI L., 2008 – Źródła w zlewni górnej Wołosatki w Bieszczadach Wysokich. *Prz. Geol.*, **56**, 8/2: 772–779.
- STAŚKO S., BYLEBYŁ P., 2018 – Tempo obniżania wód podziemnych w poziomach paleogeńsko-neogeńskich w południowym obszarze działalności kopalń miedzi KGHM. *Hydrogeologia*, **2**, 1: 70–79.
- STAŚKO S., WOJTKOWIAK A., 2001 – Ujęcia drenażowe Gór Sowich na przykładzie miasta Bielawy i wody podziemne w skałach krystalicznych SW Polski. W: Współczesne problemy hydrogeologii. T. 10, cz. 2: 524–529. Inst. Nauk. Geol. UWroc., Wrocław.
- STAŚKO S., TARKA R., BUCZYŃSKI S., WCISŁO M., OLIHWER T., 2016 – Intensyfikacja infiltracji na terenach wodonośnych oraz ZPW Na Grobli. Model hydrogeologiczny obszaru ujęć infiltracyjnych MPWiK w granicach miasta Wrocław. Fundacja dla Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław.
- SZCZEPIŃSKI J., 2008 – Model matematyczny do oceny zasobów wód podziemnych w rejonie wrocławskiego ujęcia infiltracyjnego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **431**: 209–218.
- SZILAGYI J., ZLOTNIK V., JOZSA J., 2013 – Net Recharge vs. Depth to Groundwater Relationship in the Platte River Valley of Nebraska, United States. *Ground Water*, **51**, 6. DOI: 10.1111/gwat.12007.
- SZLACHCIC B., 2014 – Analiza ryzyka i zarządzania ryzykiem jako element systemu zarządzania kryzysowego w organizacji. *Zesz. Nauk. UPH, Administracja i Zarządzanie*, **30**, 103: 229–241.
- TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK B., 2009 – Zarządzanie ryzykiem w ramach planów bezpieczeństwa wody. *Ochrona Środowiska*, **4**.
- TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK B., 2011 – Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydaw. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów.
- TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK B., 2017 – Zarządzanie bezpieczeństwem dostaw wody. *Journal of KON-BiN*, **41**: 171–188.
- VRBA J., ZAPOROZEC A. (red.), 1994 – Guidebook on mapping groundwater vulnerability. *Int. Contributions to Hydrogeology*, **16**.
- WCISŁO M., BUCZYŃSKI S., STAŚKO S., OLIHWER T., TARKA R., 2016 – Hydrogeologiczne uwarunkowania intensyfikacji poboru wód na potrzeby miasta Wrocławia w rejonie Mokrego Dworu. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **466**: 301–312.

- WITCZAK S., 1984 – Ocena laboratoryjnych metod określania parametrów migracji zanieczyszczeń. W: Mat. symp. „Metody badania wód podziemnych, ich użytkowania i ochrony”. Tuczno, 8–10 maja 1984 r.: 156–171.
- WITCZAK S. (red.), 2011 – Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie, 1:500 000. AGH, Kraków.
- WITCZAK S., ŻUREK A., 1993 – Wskazówki dotyczące wykorzystania informacji zawartych na mapach glebowo-rolniczych do oceny ochronnej roli profilu glebowego w stosunku do wód podziemnych. W: Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych. [prace grantu 06159101 – niepubl.]. Zakład Hydrogeologii, Geologii Inżynierskiej i Górniczej AGH, Kraków.
- WITCZAK S., ŻUREK A., 1994 – Wykorzystanie map glebowo-rolniczych w ocenie ochronnej roli gleb dla wód podziemnych. W: Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych (red. A.S. Kleczkowski): 155–180. AGH, Kraków.
- WITCZAK S., KMIĘCIK E., KANIA J., 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Internet: http://www.gios.gov.pl/images/dokumenty/raporty/ebook2_20130422.pdf [dostęp: 7.06.2022].
- WITCZAK S., KANIA J., KMIĘCIK E., 2018 – Nowe podejście dotyczące ustanawiania stref ochronnych ujęć wód podziemnych jako elementu planów bezpieczeństwa wody. W: Bezpieczeństwo zbiorowego zaopatrzenia w wodę na terenach objętych antropopresją (red. G. Malina): 7–18. PZiITS, Częstochowa.
- WITKOWSKIA., RUBIN K., KOWALCZYK A., RÓŻKOWSKI V, WRÓBEL J., 2003 – Groundwater vulnerability map of the Chrzanów karst-fissured Triassic aquifer (Poland). *Environ. Geol.*, **44**, 1: 59–67.
- WRÓBLEWSKI D. (red.), 2018 – Zarządzanie ryzykiem. Przegląd wybranych metodyk. Wydaw. CNBOP-PIB, Józefów–Warszawa.
- ZIMOCH I., 2008a – Reliability and Risk Analysis Usage for Water Supply System Management. *Pol. J. Environ. Stud.*, **17**, 3A: 622–627.
- ZIMOCH I., 2008b – Risk analysis as management instruments of water supply system operation. *Journal of KONBiN*, **1**, 4: 383–400.
- ZIMOCH I., 2008c – Ryzyko zmian jakości wody w sieci wodociągowej w funkcji generowania THM-ów. *INSTAL – teoria i praktyka w instalacjach*, **10**, 288: 64–67.
- ZIMOCH I., 2008d – Interpretacja i zasady szacowania ryzyka wykrycia zanieczyszczeń wody w podsystemie dystrybucji. *INSTAL – teoria i praktyka w instalacjach*, **10**, 288: 95–98.
- ZIMOCH I., 2012 – Niezawodność i bezpieczeństwo eksploatacji systemów zaopatrzenia w wodę. W: Hydroprezentacje XV’2012. Ochrona wód, gospodarka wodna, zaopatrzenie w wodę i odprowadzanie ścieków: 171–184. Wydaw. Śląska Rada Naczelnej Organizacji Technicznej, Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych, Katowice.
- ZIMOCH I., 2015 – Zastosowanie teorii niezawodności i ryzyka w zarządzaniu systemami zaopatrzenia w wodę. W: Aktualne zagadnienia w inżynierii środowiska (red. K. Barbusiński): 101–116. Wydaw. Politechnika Śląska, Gliwice.
- ZIMOCH I., 2016 – Metoda analizy i oceny ryzyka eksploatacji systemów wodociągowych na terenach użytkowanych rolniczo. *Ochrona Środowiska*, **38**, 4: 33–38.
- ZIMOCH I., 2019 – Plany Bezpieczeństwa Wody, ich wdrażanie i weryfikacja. *Studia z Zakresu Inżynierii*, **103**.
- ZIMOCH I., KUŚNIERSKI A., 2016a – Wpływ działalności rolniczej na jakość wody w systemach zaopatrzenia w wodę na przykładzie zmian stężeń azotanów. *INSTAL*, **2**: 50–53.
- ZIMOCH I., KUŚNIERSKI A., 2016b – Rolnicze źródła zagrożenia dla jakości wody dostarczanej konsumentom. W: Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód. Water supply and water quality (red. Z. Dymaczewski i in.): 457–471. Wydaw. PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań.

- ZIMOCH I., KUŚNIERSKI A., 2017 – Wykorzystanie drzewa niezdatności w ocenie zagrożeń pochodzenia rolniczego na jakość zasobów wód podziemnych. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, **91**, 4: 201–204.
- ZIMOCH I., MULIK B., 2016 – Główne kierunki i potrzeby wdrażania systemów zarządzania bezpieczeństwem wody. W: *Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód. Water supply and water quality* (red. Z. Dymaczewski i in.): 473–488. Wydaw. PZITS Oddział Wielkopolski, Poznań.
- ZIMOCH I., MULIK B., 2019 – Strefy ochronne ujęć wód podziemnych jako element systemu zarządzania ryzykiem dostaw wody do spożycia. *Hydrogeologia*, **1**: 32–39.
- ZIMOCH I., PACIEJ J., 2014 – Efekty wdrożenia dyrektywy azotanowej na przestrzenną i czasową zmienność stężeń azotanów w wodzie przeznaczonej do spożycia w województwie śląskim. W: *Mikrozanieczyszczenia w środowisku człowieka. Streszczenia referatów i posterów* (red. M. Włodarczyk-Makuła): 93–94. Częstochowa, 25–27.09.2014 r. Wydaw. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
- ZIMOCH I., PACIEJ J., 2016 – Spatial risk assessment of drinking water contamination by nitrates from agricultural areas in the Silesia province. *Desalination and Water Treatment*, **57**, 3: 1084–1097.
- ZIMOCH I., PACIEJ J., 2017 – Wykorzystanie kontroli jakości wody do wyznaczania obszarów wrażliwych na utratę bezpieczeństwa zdrowotnego wody w podsystemie dystrybucji wody. W: *Aktualne zagadnienia w uzdatnianiu i dystrybucji wody* (red. I. Zimoch): 455–467. Wydaw. Politechnika Śląska, Gliwice.
- ZIMOCH I., MULIK B., PARAFIŃSKA K., 2015 – Strefy ochrony ujęć wód podziemnych jako element systemu bezpieczeństwa, *INSTAL*, **12**: 75–78.
- ZUBER A. (red.), 2007 – Metody znacznikowe w badaniach hydrogeologicznych. Oficyna Wydaw. Politechniki Wrocławskiej.
- ŻUREK A., WITCZAK S., DUDA R., 2002 – Ocena podatności szczelinowych zbiorników wód podziemnych na zanieczyszczenie. W: *Jakość i podatność wód podziemnych na zanieczyszczenie. Prace Wydziału Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego*, **22**: 241–254.

Akty prawne

- DYREKTYWA 2000/60/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Dz.U. L 327 z 22.12.2000, z późn. zm.).
- DYREKTYWA 2006/118/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu (Dz.U. UE L 372/219 z dnia 27 grudnia 2006 r.).
- DYREKTYWA KOMISJI (UE) 2015/1787 z dnia 6 października 2015 r. zmieniająca załączniki II oraz III do Dyrektywy Rady 98/83/WE w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) 2020/2184 z dnia 16 grudnia 2020 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (wersja przekształcona) (Dz.U.UE L z dnia 23 grudnia 2020 r.). Internet: <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/jakosc-wody-przeznaczonej-do-spozycia-przez-ludzi-69394323> [dostęp: 7.06.2022].
- DYREKTYWA RADY 98/83/WE z dnia 3 listopada 1998 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. UE – L 330 z 5.12.1998 r. z późn. zm.).
- USTAWA z dnia 14 marca 1985 r. o Państwowej Inspekcji Sanitarnej (Dz.U. 2017 poz. 1261 z późn. zm.).
- USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (t.j. Dz.U. 2019 poz. 868 z późn. zm.).
- USTAWA z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (t.j. Dz.U. 2018 poz. 2268 z późn. zm.).
- USTAWA z dnia 11 września 2019 r. o zmianie ustawy – Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2019 poz. 2170).
- USTAWA z dnia 14 maja 2020 r. o zmianie niektórych ustaw w zakresie działań osłonowych w związku z rozprzestrzenianiem się wirusa SARS-CoV-2 (Dz.U. 2020 poz. 875).

ROZPORZĄDZENIU MINISTRA GOSPODARKI MORSKIEJ I ŻEGLUGI ŚRÓDLĄDOWEJ z dnia 11 października 2019 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. 2019 poz. 2148)

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 21 grudnia 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz.U. 2016 poz. 85).

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Dz.U. 2016 poz. 2033).

ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ZDROWIA z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294).

ROZPORZĄDZENIE RADY MINISTRÓW z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz.U. 2019 poz. 1839).

Normy, wytyczne

ISO Guide 73, 2009 – Risk Management – Vocabulary.

ISO/IEC 31010:2009 – Risk Management – Risk assessment techniques.

PN-EN 15975-2:2013-12 – Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Cz. 2: Zarządzanie ryzykiem.

PN-EN 31010:2010 – Techniki zarządzania ryzykiem – Techniki oceny ryzyka.

PN-ISO 31000:2012 – Zarządzanie ryzykiem – Zasady i wytyczne.

PRZEWODNIK, 2012 – Zarządzanie ryzykiem – Terminologia (PKN-ISO Guide 73:2012).

WHO, 2009 – Podręcznik opracowania planów bezpieczeństwa wodnego. Zarządzanie ryzykiem krok po kroku – instrukcja dla dostawców wody do spożycia. Główny Inspektor Sanitarny [polskie tłumaczenie].

WHO, 2014 – Wytyczne dotyczące jakości wody do picia. Wydanie 4. Wydaw. Izba Gospodarcza „Wodociągi Polskie”, Bydgoszcz [polskie tłumaczenie].

WHO, 2017 – Guidelines for drinking-water quality: fourth edition, incorporating the first addendum. Geneva. World Health Organization.

WYKAZ RYSUNKÓW I TABEL

Rysunki

Rys. 1.	Przebieg procesu dostawy i dystrybucji wody do konsumentów	6
Rys. 2.	Procedura ustanawiania strefy ochronnej ujęcia wód podziemnych	14
Rys. 3.	Schemat procesu zarządzania ryzykiem (PN-EN 15975-2)	17
Rys. 4.	Etapy prac w procesie zarządzania ryzykiem – procedury postępowania	20
Rys. 5.	Matryca ryzyka 5×5 z uwzględnieniem podatności na zagrożenia	28
Rys. 6.	Zasięg skażenia atrazyną w wodach podziemnych wyznaczony na podstawie wyników obliczeń oraz rozpoznania hydrochemicznego WIOŚ i PIG-PIB (wrzesień 2015 r.)	34
Rys. 7.	Łączny czas dopływu potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu do ujęcia	36
Rys. 8.	Nomogram do przybliżonej oceny czasu (t_a – lata) migracji wód przez strefę aeracji wg Witczaka, Żurek, 1993	43
Rys. 9.	Przybliżone szybkości rzeczywiste (U – m/rok) naturalnych strumieni wód podziemnych wg Witczaka, 1984	43
Rys. 10.	Przykładowy wykres dopasowania modelu numerycznego do danych pomiarowych (Czop, 2012)	45
Rys. 11.	Przykład wykorzystania modelowania numerycznego do określenia obszaru zasobowego ujęcia (OZU) w skomplikowanych warunkach hydrodynamicznych, w strefie współdziałania studni ujęciowych i systemów odwadniania kopalń odkrywkowych – rejon miasta Kielce (Motyka, Czop, 2007)	46
Rys. 12.	Ewaluacja ryzyka z wykorzystaniem zasady ALARP (zmienione)	48
Rys. 13.	Schemat postępowania w analizie ryzyka ujęć wód podziemnych	55
Rys. 14.	Lokalizacja ujęcia i ognisk zanieczyszczeń na tle elementów hydrogeologicznych	57
Rys. 15.	Ewaluacja ryzyka z wykorzystaniem zasady ALARP dla analizowanego przykładu	62

Tabele

Tab. 1.	Przykład macierzy oceny ryzyka 5×5 (PN-EN 15975-2)	18
Tab. 2.	Przykład macierzy oceny ryzyka 3×3 (PN-EN 15975-2)	18
Tab. 3.	Katalog wybranych potencjalnych ognisk zanieczyszczeń, które mogą niekorzystnie oddziaływać na wody podziemne (Lidzbarski i in., 2023)	23
Tab. 4.	Kategoryzacja parametru prawdopodobieństwa P dla stanu ilościowego i jakościowego zasobów wodnych ujęcia (wg Tchórzewskiej-Cieślak, 2017; Witczaka i in., 2018; zmienione)	25
Tab. 5.	Kategoryzacja parametru dotkliwość następstw zagrożeń D dla stanu jakościowego zasobów wodnych ujęcia (wg Tchórzewskiej-Cieślak, 2017; Witczaka i in., 2018; zmienione)	26
Tab. 6.	Kategoryzacja parametru dotkliwość następstw zagrożeń D dla stanu jakościowego zasobów wodnych ujęcia (Lidzbarski, 2019)	27
Tab. 7.	Kategoryzacja parametru dotkliwość następstw zagrożeń D dla stanu ilościowego zasobów wodnych ujęcia	27
Tab. 8.	Kategoryzacja podatności na zagrożenia V (wg Tchórzewskiej-Cieślak, 2017, zmienione przez Witczaka i in., 2018)	28
Tab. 9.	Wilgotność objętościowa gleb (w_{og}) typowa dla przyjętych kategorii gleb i ich zdolności ochronne (Witczak i in., 2011)	38
Tab. 10.	Zmienność wartości niektórych właściwości hydrogeologicznych wybranych gruntów i skał (na podst. Witczaka, Żurek, 1994 i innych prac; zmienione)	38
Tab. 11.	Wskaźniki infiltracji (Pazdro, Kozerski, 1990; zmienione)	39
Tab. 12.	Wartości współczynnika γ zależne od stopnia nachylenia terenu (Witczak i in., 2011)	40
Tab. 13.	Kategorie ryzyka	47
Tab. 14.	Kryteria ustanowienia TOP	49
Tab. 15.	Charakterystyka i ocena zagrożeń nieczynnej stacji paliw	52
Tab. 16.	Sumaryczna ocena ryzyka analizowanych zagrożeń	53
Tab. 17.	Sumaryczna ocena ryzyka dla analizowanego przykładu	59
Tab. 18.	Kryteria ustanowienia TOP dla ujęcia wody podziemnej dla analizowanego przykładu	63
Tab. 19.	Zestawienie zdarzeń naturalnych wraz z ich prawdopodobieństwem i dotkliwością	65
Tab. 20.	Zestawienie zdarzeń antropogenicznych wraz z ich prawdopodobieństwem i dotkliwością	66
Tab. 21.	Zasięg izochrony 30 dni w zależności od parametrów hydrogeologicznych	72

WYKAZ SKRÓTÓW I OZNACZEŃ PARAMETRÓW STOSOWANYCH W PORADNIKU

Skróty

ALARP	– wg zasady tak niskie, jak to możliwe (<i>As Low As Reasonably Practicable</i>)
AR	– analiza ryzyka
CBDH	– Centralny Bank Danych Hydrogeologicznych
DWD	– Dyrektywa w sprawie wody pitnej
DWPS	– Dyrektywa w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi
EPA	– Amerykańska Agencja Ochrony Środowiska (<i>Environmental Protection Agency</i>)
GUPW	– główny użytkowy poziom wodonośny
GWD	– Dyrektywa o ochronie wód podziemnych (<i>Groundwater Directive</i>)
GZWP	– główny zbiornik wód podziemnych
IMGW	– Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
JCWpd	– jednolita część wód podziemnych
MHP	– Mapa Hydrogeologiczna Polski 1:50 000
MOŚZNiL	– Ministerstwo Ochrony Środowiska Zasobów Naturalnych i Leśnictwa
OSW	– obszar spływu wód (do ujęcia wód podziemnych)
OZU	– obszar zasobowy ujęcia
OSWM	– obszar spływu wód do ujęcia o zmiennym poborze
PBW	– Plany Bezpieczeństwa Wody
PGWWP	– Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie
PIG-PIB	– Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy
PIS	– Państwowa Inspekcja Sanitarna
PPW-WH	– pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika
PPW-WJ	– pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenia i jakość wód
PSH	– państwowa służba hydrogeologiczna
PW	– Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz.U. 2017 poz. 1566)
RDW	– Ramowa Dyrektywa Wodna
RZGW	– Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej
SMGP	– Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1:50 000
SNMQ	– średnia przepływów niskich miesięcznych
SO	– strefa ochronna (ujęcia wód podziemnych)
TOB	– teren ochrony bezpośredniej (ujęcia wód podziemnych)
TOP	– teren ochrony pośredniej (ujęcia wód podziemnych)
UE	– Unia Europejska
WFD CIS	– Wspólna strategia wdrażania Ramowej Dyrektywy Wodnej (<i>Water Framework Directive Common Implementation Strategy</i>)
WHO	– Światowa Organizacja Zdrowia

Parametry

c	– stężenie migrującego przez strefę aeracji związku chemicznego, ulegającego degradacji lub biodegradacji
c_s	– stężenie związku chemicznego w ognisku zanieczyszczenia [mg/L]
c_{MPL}	– dopuszczalne stężenie substancji w wodach podziemnych [μ g/l]
c_{NO3}	– stężenie azotanów w wodzie przesączającej się przez strefę nienasyconą [mg/L]
D	– dotkliwość następstw zagrożeń
ΔH	– różnica ciśnień wody między kolejnymi warstwami wodonośnymi rozdzielonymi kompleksem osadów słaboprzepuszczalnych [L]
ΔP	– zmiany wydajności wywołane zmiennym zasilaniem/opadami (patrz: tab. 19)
I	– gradient hydrauliczny strumienia wód poza zasięgiem oddziaływania studni lub w warunkach naturalnych przed uruchomieniem studni [–] – wzór [2]
I_e	– infiltracja efektywna opadów atmosferycznych [L/T]
IP	– ilość wód powierzchniowych infiltrujących do warstwy wodonośnej na obszarze spływu wód podziemnych do ujęcia eksploatowanego z poborem QU [L^3/T]
IPe	– ilość wody pochodzącej z infiltracji wód powierzchniowych do warstwy wodonośnej określona w zasobach eksploatacyjnych ujęcia QU_{pe} [L^3/T] – wzory [12], [14], [17]
IP_{pw}	– ilość wód powierzchniowych infiltrujących do warstwy wodonośnej pobierana przez ujęcie [L^3/T]
k	– współczynnik filtracji utworów wodonośnych [L/T]
k'	– współczynnik filtracji pionowej rozdzielającej warstwy słaboprzepuszczalnej [L/T]
L	– odległość przepływu wód – wzór [3]
m	– miąższość warstwy wodonośnej [L]
m'	– miąższość rozdzielającej warstwy słaboprzepuszczalnej [L]
m_a	– miąższość strefy wadycznej [L]
m_{ai}	– miąższość i -tej warstwy litologicznej wydzielonej w profilu pionowym strefy nienasyconej [L]
n_a	– porowatość aktywna [–]
n_e	– porowatość efektywna [–]
n_{sw}	– liczba dni w roku z wysokim QUW poborem wody z ujęcia o sezonowo zmiennym poborze [–]
n_{sn}	– liczba dni w roku z niskim QUN poborem wody z ujęcia o sezonowo zmiennym poborze [–]
P	– wysokość rocznych opadów atmosferycznych [L/T]
O	– objętość wody w matrycy skalnej [m^3],
Q	– wydatek studni [L^3/T]
QG	– średni w roku dopuszczalny pobór wód podziemnych [L^3/T]
QGe	– pobór wód podziemnych pochodzących z infiltracji opadów atmosferycznych określony w zasobach eksploatacyjnych ujęcia [L^3/T]
QU	– pobór wód z ujęcia [L^3/T]
QUM	– pobór z ujęcia miarodajny dla ustalenia obszaru spływu wód [L^3/T]
QUW	– pobór średni dobowy w sezonie o wysokim zapotrzebowaniu na wodę trwającym n_{sw} dni [L^3/T]
QUN	– pobór średni dobowy w sezonie o niskim zapotrzebowaniu na wodę trwającym n_{sn} dni [L^3/T]
$QUSpw$	– dopuszczalna w roku średnia ilość wody pobierana przez ujęcie [L^3/T]

QU_{pe}	– zasoby eksploatacyjne ujęcia wód podziemnych [L^3/T]
P	– prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia (częstotliwość) – wzór [1]
P	– średni opad roczny [m/rok] – wzór [6]
Pow	– powierzchnia upraw rolnych [m^2]
R	– ryzyko obliczone wg formuły: $R = P \times D \times V$ – wzór [1]
R	– wielokrotność opóźnienia migracji zanieczyszczeń rozpuszczonych w wodzie – wzór [3]
$R(MIN)5$	– odległość izochrony 5-letniego dopływu do ujęcia w warunkach 5-lecia skrajnie posusznego
$R(W)5$	– odległość izochrony dopływu 5-letniego do ujęcia w warunkach średniej wieloletniej odnawialności ujmowanego poziomu
RQG	– zasięg obszaru spływu wód podziemnych kształtowanego poborem wód z ujęcia [L]
$RQGe$	– zasięg obszaru spływu wód podziemnych kształtowanego poborem wód podziemnych QGe pochodzących z infiltracji opadów atmosferycznych
r_0	– promień studni [m]
$SNMQ$	– przepływ w rzece średni z niskich miesięcznych
$SNMQ(5)$	– średni ruchomy 5-letni przepływ niski miesięczny
$SNMQ(MIN)5$	– minimalny średni ruchomy 5-letni przepływ niski miesięczny
$SNMQ(\acute{S}R)W$	– przepływ w rzece średni z niskich miesięcznych w wieloleciu
t	– łączny czas dopływu potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu do ujęcia [T]
t_p	– czas dopływu poziomego wód podziemnych do ujęcia [T]
t_a	– czas pionowego przesączania wody poprzez nakład, z powierzchni terenu do ujmowanej warstwy wodonośnej [T]
t_{kons}	– czas pionowej migracji zanieczyszczeń konserwatywnych przez strefę wadyczną [T]
t_p	– czas lateralnego przepływu wody w warstwie wodonośnej [T]
$t_{p(atr)}$	– czas utrzymywania się ponadnormatywnej zawartości atrazyny w wodzie podziemnej [T]
t_{sp}	– czas przesiąkania wody przez warstwę słaboprzepuszczalną
t_{25}	– 25-letni czas wymiany wody w warstwie wodonośnej [T]
$t_{1/2}$	– czas połowicznego rozpadu, po którym stężenie związku ulegającego degradacji zmaleje o połowę [lata]
U	– prędkość rzeczywista przepływu wód podziemnych [L/T]
w_i	– wskaźnik infiltracji efektywnej [–]
w_o	– wilgotność objętościowa utworów w strefie wadycznej [–]
w_{oi}	– wilgotność objętościowa dla poszczególnych wydzieleni litologicznych w profilu pionowym strefy wadycznej [–]
w_{og}	– wilgotność objętościowa gleb
v	– średnia prędkość filtracji
V	– podatność wód podziemnych na zagrożenie, wyrażone czasem dopływu wody od ogniska zanieczyszczeń do studni ujęcia wody
zo	– średni wieloletni moduł zasobów odnawialnych wód podziemnych [$L^3/T \cdot L$]
X	– zasięg izochrony – wzór [22] dla czasu $t = 30$ dni dopływu wód do ujęcia [L]
α	– współczynnik infiltracji efektywnej [–]
γ	– współczynnik zależny od stopnia nachylenia powierzchni terenu [–]
δ	– współczynnik zależny od głębokości występowania pierwszego od powierzchni zwierciadła wód podziemnych [–]
μ	– współczynnik odsączalności grawitacyjnej [–]



ISBN 978-83-67567-31-2