

OCENA RYZYKA ŚRODOWISKOWEGO W ZAKRESIE ZANIECZYSZCZENIA WÓD PODZIEMNYCH I GRUNTÓW W REJONIE ROBÓT GÓRNICZYCH

ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT IN THE FIELD OF GROUNDWATER AND GROUND POLLUTION IN THE AREA OF MINING WORKS

Ewa Krogulec, Katarzyna Sawicka, Sebastian Zablocki, Ewa Falkowska - Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski

Ważnym elementem dokumentacji hydrogeologicznych, projektów robót geologicznych, raportów oddziaływania na środowisko, pozwoleń zintegrowanych i wielu innych opracowań jest określenie stopnia zagrożenia środowiska. W realizowanych opracowaniach analiza stanu środowiska rozumiana jest jako waloryzacja odnosząca się do opisu elementów środowiska. Praktycznie nie wykonywana jest spójna i skwantyfikowana ocena ryzyka środowiskowego, rozumiana jako ocena stopnia podatności na zanieczyszczenie wraz z symulacją zdarzeń wystąpienia zagrożenia i predykcją jego skutków. Ocena ryzyka środowiskowego powinna opierać się na identyfikacji ryzyka naturalnego, czyli analizie warunków geologicznych, które w bezpośredni sposób wpływają na bezpieczeństwo środowiskowe prowadzonej działalności górniczej. Ocena ryzyka naturalnego powinna uwzględniać czynniki naturalne, które warunkują określony wpływ działalności na wody podziemne, grunty czy aktywność procesów geodynamicznych. Ważnym etapem oceny ryzyka środowiskowego powinna być analiza wpływu czynników antropogenicznych. Ryzyko środowiskowe obejmuje także analizę zagrożeń geogenicznych lub geogeniczno-antropogenicznych, do których należą, między innymi, kolmatacja strefy przyotworowej, ascenzja wód głębszych poziomów wodonośnych, zmiany reżimu hydrologicznego. Ocena ryzyka środowiskowego pozwala także obniżyć koszty realizacji opracowań geologicznych, poprawiając ich wartość merytoryczną.

Słowa kluczowe: ryzyko środowiskowe, zagrożenie zanieczyszczeniem, wody podziemne, rejon robót górniczych

Determination of environmental risk is an important element of hydrogeological documentation, geological work project, environmental impact report, integrated permit or any other study. Analysis of the environment state in these studies is understood as valorization referring to the description of environmental elements. A coherent and quantified environmental risk assessment, as an assessment of the degree of pollution vulnerability together with the simulation of occurrence events and the prediction of its effects, is practically not performed. The environmental risk assessment should be based on the identification of natural risk, i.e. the analysis of geological conditions that directly affect the environmental safety of mining operations. The assessment of natural risk should take into account natural factors determining a specific impact of activities on groundwater, grounds or the activity of geodynamic processes. An important step in the environmental risk assessment should be to analyze the impact of anthropogenic factors. The environmental risk also includes analysis of geogenic-anthropogenic hazard, including, among others, clogging of injection well, groundwater ascension from deeper aquifers, and changes in the hydrological regime. The environmental risk assessment also allows reducing the cost of geological projects, improving their meritorious value.

Keywords: environmental risk, contamination hazard, groundwater, mining works area

Wprowadzenie

Wpływ działalności górniczej na środowisko może mieć bardzo zróżnicowany charakter, zależny zarówno od rodzaju obiektów zlokalizowanych w rejonie robót górniczych (infrastruktura wydobywcza, przesyłowa, produkcyjna), jak i od etapu funkcjonowania przedsięwzięcia (poszukiwanie, eksploatacja, rekultywacja). Zazwyczaj jednak wiąże się z bezpośrednią presją na środowisko, a szczególnie narażonymi na przekształcenia elementami środowiska są grunty i gleby oraz wody podziemne znajdujące się w zasięgu oddziaływania prowadzonej działalności górniczej.

Przeprowadzenie szczegółowej oceny stanu zagrożenia wybranych elementów środowiska jest kluczowym aspektem wymaganych prawnie dokumentów umożliwiających funkcjonowanie przedsięwzięcia, takich jak: pozwolenia zintegrowane, raporty oddziaływania na środowisko, projekty robót geologicznych oraz dokumentacje hydrogeologiczne. W realizowanych opracowaniach powszechne jest jednak uproszczone podejście do oceny stanu i zagrożeń środowiska ograniczone jedynie do opisu jego elementów na podstawie dostępnych materiałów archiwalnych, rzadziej badań terenowych i laboratoryjnych. Niekiedy przedstawiona jest diagnoza stanu poprzez inwentaryzację wybranych elementów środowiska. Praktycznie nie

określana jest natomiast prognoza ryzyka środowiskowego, czyli spójna ocena stopnia podatności na zanieczyszczenie, wrażliwości środowiska na zagrożenie zanieczyszczeniem wraz z symulacją zdarzeń wystąpienia zagrożenia i predykcją jego skutków.

Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach realizacji przedsięwzięcia np. dotyczącego poszukiwania, rozpoznawania lub wydobywania złóż, udzielania koncesji na wydobywanie kopalin ze złóż, wydawana jest na podstawie obowiązujących przepisów prawnych (Dz. U. z 2017 r., poz. 1405 ze zm. oraz Dz. U. 2016 poz. 71 ze zm.). Podstawą wydania „decyzji środowiskowej” jest ocena oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko. Obowiązek przeprowadzenia oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko dla planowanego przedsięwzięcia mogącego oddziaływać na środowisko stwierdza, w drodze postanowienia, organ właściwy do wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach. Ocena oddziaływania w zakresie oceny wpływu na wody podziemne lub grunt wymaga uwzględnienia wykorzystywania zasobów naturalnych, w tym gleby, wody, określenia emisji i występowania uciążliwości uwzględniających obszary o płytkim zaleganiu wód podziemnych, określenia obszarów objętych ochroną, w tym strefy ochronne ujęć wód. Zarówno w ocenie oddziaływania jak i w karcie informacyjnej przedsięwzięcia wymagane jest wskazanie rozwiązań chroniących środowisko przyrodnicze dotyczące wód podziemnych i gruntów, ale prognozowanie zdarzeń dotyczy wyłącznie planowania ilości i rodzaju odprowadzanych zanieczyszczeń i jakości wód. Dlatego raporty, oceny oddziaływania na środowisko lub karty informacyjne przedsięwzięcia stanowią diagnozę stanu środowiska, a narzędzia i metodyka służące do ich realizacji nie precyzują, w jaki sposób należy prognozować zmiany wybranych elementów środowiska.

Rekomendowane w ocenach wpływu na środowisko oddziaływania skumulowane, definiowane jako zmiany w środowisku dotyczące wybranej działalności, połączone z innymi przyszłymi działaniami, dotyczą wszystkich czynników i elementów środowiska oraz ich sumarycznego wpływu na środowisko.

W Unii Europejskiej wytyczne metodyczne dotyczące ryzyka środowiskowego można znaleźć w *Technical Guidance Document on Risk Assessment in support of Commission Directive 93/67/EEC*. Wymagania prawne dotyczące ocen środowiskowych implementowane zostały do polskich regulacji z europejskich aktów prawnych. Zarówno Dyrektywa Wodna (2000/60/WE), Dyrektywa Wód Podziemnych (2006/118/WE), jak i dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych (2010/75/UE) zalecają konieczność wdrożenia strategii dla identyfikacji, oceny i remediacji terenów zanieczyszczonych w oparciu o kryterium ryzyka zdrowotnego i środowiskowego. Stosowne rozwiązania znalazły się w odpowiednich ustawach i rozporządzeniach, z których najważniejsze to ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku - Prawo ochrony środowiska (Dz.U. z 2017 r. poz. 519), Prawo wodne (Dz.U. z 2017 poz. 1566), Prawo geologiczne i górnicze (Dz.U. z 2017 r. poz. 2126). W Rozp. Min. Zdr. z 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294) znajduje się zapis o możliwości wykonania oceny ryzyka przez organy Państwowej Inspekcji Sanitarnej, dotyczy on jednak oceny ryzyka zdrowotnego konsumentów. Żadne z wymienionych przepisów prawnych nie nakazują wprost wykonywania ocen

ryzyka środowiskowego, nie precyzują również metodyki przeprowadzenia takich ocen.

Praktycznie więc ocena wykonywana na potrzeby dokumentacji i raportów zawężona jest tylko do stosowania rozporządzeń zawierających proste kryteria parametryczne, czyli polega na odniesieniu danych archiwalnych, bądź wyników badań własnych, do wartości granicznych zanieczyszczeń występujących w wodach i glebach. Najczęściej stosowane kryteria parametryczne zawarte są w Rozp. Min. Zdr. z 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. 2017 poz. 2294), Rozp. Min. Środ. z 2015 r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych części wód podziemnych (Dz. U. 2016 poz. 85), Rozp. Min. Środ. z 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. 2016 r. poz. 1395).

Taki sposób oceny stanu wód i gleb uniemożliwia uwzględnienie wielu innych czynników decydujących o stopniu zagrożenia i ryzyku środowiskowym, takich jak lokalne warunki geomorfologiczne, geologiczne oraz hydrogeologiczne, rodzaj i właściwości gleb, czy procesy geodynamiczne. Natomiast czynniki te są możliwe do uwzględnienia we właściwych procedurach oceny ryzyka środowiskowego (ang. *Environmental Risk Assessment – ERA*). Procedury takie stosowane są jednak stosunkowo rzadko w przypadku wód podziemnych i gleb, ponieważ są to metody bardzo złożone, wymagają opracowania schematów konceptualnych i szczegółowego rozpoznania wielu uwarunkowań i parametrów opisujących badany system. Niezbędny jest również odpowiednio duży zbiór danych, w tym duża populacja danych uzyskanych w toku badań terenowych i laboratoryjnych, co umożliwia zastosowanie metod statystycznych dla oceny niepewności w oszacowaniu ryzyka (Benchmarking..., 2001, Remedial targets..., 2006; Dimitriou E. i in., 2008; Crévecoeur S., i in., 2011; Guidelines..., 2011; Somaratne N. i in. 2013).

Brak określonych precyzyjnych metod oceny ryzyka środowiskowego nie pozwala na obiektywne przedstawienie oddziaływania obiektu na środowisko, co ma zasadnicze znaczenie przy porównywaniu wariantów lokalizacyjnych i technicznych dla nowych inwestycji. Bezstronna i zrozumiała ocena ryzyka środowiskowego powinna usprawnić proces decyzyjny i sprzyjać rozwiązywaniu ewentualnych konfliktów z przedstawicielami lokalnych społeczności.

Metody oceny ryzyka środowiskowego

Ryzyko rozumiane jest jako prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń niepożądanych cechujących się znaczną losowością i wieloprzyczynowością oraz wystąpienia ich różnorodnych skutków (strat wywołanych tymi zdarzeniami) (U.S. EPA, 1992).

Ocena ryzyka środowiskowego definiowana jest najczęściej jako proces, w którym ocenia się możliwość i prawdopodobieństwo wystąpienia negatywnych skutków ekologicznych w wyniku narażenia na oddziaływanie jednego lub więcej czynników powodujących stres (Królikowska J. 2011; Panasiewicz A., 2013). Prawdopodobieństwo wystąpienia szkody w środowisku zależy między innymi od charakteru czynnika zagrażającego środowisku, ilości lub intensywności tego czynnika, sposobów i dróg jego wprowadzania do środowiska, a także rozległości skażenia i czasu trwania oraz szkodliwego działania zanieczyszczenia.

Pierwsze metody oceny ryzyka środowiskowego opracowane i wdrożone zostały w latach 90-tych XX. wieku. W 1992 r. Amerykański Departament Ochrony Środowiska (U.S. EPA, 1992), opracował metodykę zarządzania zanieczyszczonymi obszarami przemysłowymi, gdzie zdefiniowano ryzyko ekologiczne. Następnie inne kraje rozwijały własne procedury oceny ryzyka środowiskowego: Australia (NEPC, 2013), Kanada (CCME, 1997), Wielka Brytania (Weeks i in. 2004; Merrington i in., 2008).

Istnieje wiele metod oceny ryzyka i wykorzystywane są one w wielu dziedzinach gospodarki i działalności człowieka, zależnie od dostępności oraz rodzaju danych opisujących system. Metody te można podzielić na (Tchórzewska-Cieślak B. i in. 2015; Królikowska J., 2011):

1. Metody ilościowe (ang. *Quantitative Methods for Risk Analysis*, QRA) – oparte na mierzalnych danych ilościowych (np. stężenia zanieczyszczeń, czas migracji), pozwalają na wyznaczenie konkretnej liczbowej wartości ryzyka i są oparte na metodach statystyki matematycznej oraz rachunku prawdopodobieństwa. Obiektywne lecz wymagają dużej ilości precyzyjnych danych wejściowych.

2. Metody jakościowe (ang. *Qualitative Methods of Risk Analysis* – QLRA) – metody opisowe, nie uwzględniają liczbowego wyznaczania wartości ryzyka. Są to zgrubne metody najczęściej dość subiektywne i oparte na wiedzy eksperckiej oraz na dobrych praktykach i doświadczeniu. Wykonywane są zazwyczaj jako listy zagrożeń (matryce, grafy) wraz z relatywnym rankingiem ryzyka np. metoda PHA.

3. Metody mieszane, ilościowo-jakościowe (ang. *Quantitative-Qualitative Methods for Risk Analysis*) – łączące metody probabilistyczne z opisowymi, zalicza się do nich m.in. metody matrycowe, metody drzewa niezdatności (ang. *Fault Tree Analysis*, FTA) i drzewa zdarzeń (ang. *Event Tree Analysis*), sieci neuronowe.

4. Metody symulacyjne z wykorzystaniem komputerowych modeli przepływu wód podziemnych (ModFLOW), modeli hydrogeochemicznych (PHREEQC, DownHole SAT), służących do prognozowania zmian środowiskowych i analizy scenariuszy zdarzeń.

Niezależnie od wybranej metody oceny ryzyka środowiskowego procedura postępowania jest zawsze złożona i wieloetapowa, a ocenę ostateczną poprzedzać muszą nie mniej ważne etapy wstępne, takie jak początkowe sformułowanie problemu czyli identyfikacja zagrożeń, a następnie wstępna analiza ryzyka. W pierwszym etapie dokonuje się rozpoznania i szczegółowej charakterystyki terenu i znajdujących się tam obiektów oraz instalacji mogących oddziaływać na środowisko. Ma to na celu identyfikację pochodzenia, rodzaju i zasięgu zagrożeń, najczęściej przeprowadzane jest ono w oparciu o dostępne bazy danych, opracowania, normy i wymogi prawne. Dokonuje się również wyboru dalszych metod badawczych i opracowuje schemat koncepcyjny ryzyka. W schemacie takim zdefiniować należy takie elementy jak:

- zagrożenia (ogniska zanieczyszczeń, zjawiska i zdarzenia mogące prowadzić do zanieczyszczenia),
- stresory (rodzaje substancji zanieczyszczających),
- źródło ekspozycji (medium, w którym zawarte są substancje zanieczyszczające),
- drogi narażenia (drogi przedostawania się zanieczyszczeń i sposób ich oddziaływania na elementy środowiska),
- receptory (elementy środowiska poddawane presji

i degradacji w wyniku zanieczyszczenia np. organizmy roślinne i zwierzęce) (Guidelines..., 2011).

Drugim etapem jest wstępna analiza ryzyka czyli szczegółowe rozpoznanie dróg narażenia na oddziaływanie badanego czynnika stresogennego (zanieczyszczenia) i ocenę zależności pomiędzy jego oddziaływaniem i efektami środowiskowymi.

Ostatecznym wynikiem oceny jest kwantyfikacja ryzyka, czyli ustalenie stopnia ryzyka, tj. liczbowego określenia prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niepożądanych i ich skutków dla środowiska. Stanowi to podstawę decyzji o podjęciu odpowiednich działań zapobiegających bądź naprawczych, czyli zarządzanie ryzykiem (EEA, 1998; Królikowska J., 2011).

Studium przypadku - schemat koncepcyjny oceny ryzyka środowiskowego w rejonie zatłaczania wód złożowych do górotworu

Rejonami robót górniczych wymagających oceny ryzyka środowiskowego są obszary, na których prowadzone jest otworowe wtlaczanie wód złożowych do górotworu. Działalność taką prowadzi się z wykorzystaniem głębokich otworów chłonnych (przeciętnie o głębokości 2-3 km). Bardzo często są to dawne otwory eksploatacyjne ropy naftowej i gazu, zamienione następnie w otwory zatłaczające. Wykorzystuje się je zazwyczaj dla intensyfikacji wydobywania surowca ze złoża i/lub do utylizacji cieczy uciążliwych i niebezpiecznych, takich jak silnie zasolone wody złożowe lub wody poprodukcyjne po wytwarzaniu produktów naftowych, a więc zawierających substancje ropopochodne, metale ciężkie i inne substancje niebezpieczne (Surygała J. i in., 2001; Zagrożenia..., 2006).

Wtlaczanie wód do górotworu prowadzi się na obszarze złoża objętego koncesją, na specjalnie wytyczonym i monitorowanym terenie o niewielkiej powierzchni, na którym znajduje się często tylko jeden otwór, wraz z odpowiednimi urządzeniami i instalacją do przesyłu cieczy i jej zatłaczania. Nawet takie proste systemy, pozornie łatwe do kontroli i zarządzania ryzykiem, wymagają jednak sporządzenia stosownych dokumentacji, których elementem jest ocena stanu środowiska i zagrożeń środowiskowych (Krogulec et al., w druku). Warto podkreślić, że wykonanie oceny ryzyka środowiskowego pozwala obniżyć koszty realizacji opracowań geologicznych, hydrogeologicznych i środowiskowych poprawiając ich wartość merytoryczną.

Dla przybliżenia niektórych elementów procedury oceny ryzyka dla takich obiektów opracowano schemat koncepcyjny, sporządzony według omówionego wcześniej schematu (rys. 1). Zaznaczyć należy, że w schemacie tym narażone na ekspozycję zanieczyszczeniami są głównie wody podziemne i powierzchniowe oraz gleby i grunty w rejonie prowadzonej działalności.

Stresery, czyli ciecze wykorzystywane na obiekcie, mogą potencjalnie wydostać się na powierzchnię terenu w sposób niekontrolowany i wsiąkając w gleby i grunty przedostać się następnie na drodze infiltracji do wód podziemnych, bądź spływając powierzchniowo dostać się do najbliższego cieku lub zbiornika wód powierzchniowych. W przypadku zdarzeń mających miejsce w otworze na znacznych głębokościach, teoretycznie możliwa jest migracja zanieczyszczeń na drodze ascencji i skażenie wyżej leżących użytkowych poziomów wodonośnych. W wyniku tak naszkicowanego następstwa zdarzeń, niepożądane skutki dotyczyć będą wielu receptorów,

prowadząc do degradacji ekosystemów lądowych i wodnych oraz ekosystemów zależnych od wód podziemnych. Szkody zdrowotne bądź ekonomiczne odniosą również wszyscy użytkownicy wykorzystujący zasoby wodne do zaspokojenia potrzeb bytowo-gospodarczych, do działalności przemysłowej i rolniczej. Niemożliwe lub utrudnione będzie także rolnicze wykorzystanie zdegradowanych gleb i gruntów.

Na podstawie opracowanego schematu koncepcyjnego można przystąpić do skwantyfikowanej oceny ryzyka środowiskowego. Jedną z najprostszych i najczęściej stosowanych metod oceny ryzyka środowiskowego jest wstępna analiza zagrożeń PHA (ang. *Preliminary Hazard Analysis*), która jest metodą matrycową, indukcyjną, pozwalającą na oszacowanie jakościowe. Metoda ta nie uwzględnia liczbowego wyznaczania poziomu ryzyka z zastosowaniem probabilistyki, lecz określa wyłącznie względny jego poziom dzięki ustaleniu kategorii akceptacji przy zastosowaniu matrycy ryzyka. Polega ona na klasyfikacji ryzyka w skali jego akceptowalności ze względu na znikome prawdopodobieństwo wystąpienia oraz nieznaczące skutki (Benchmarking..., 2001; Królikowska J., 2011). Metoda ta pozwala na wybór tych rodzajów ryzyka, które powinny być przedmiotem dalszej szczegółowej oceny.

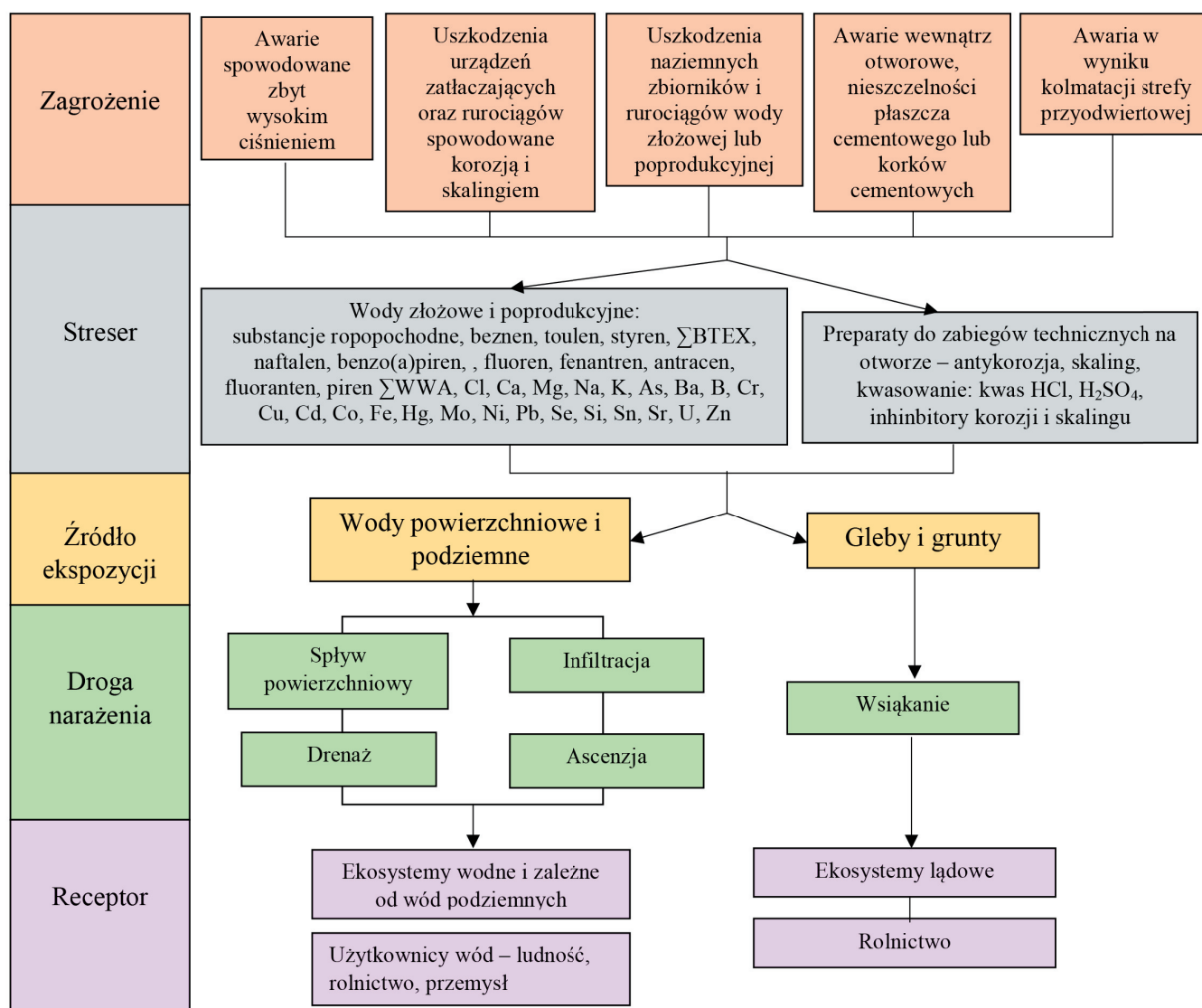
Matryca ryzyka opiera się na skonstruowaniu hierarchii

ryzyka łączącego skalę prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzenia niepożądanego ze skalą konsekwencji (skutków).

Poszczególnym kategoriom prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niepożądanych przypisuje się wagi częstości (w_1), natomiast kategorii konsekwencji tych zdarzeń opisuje się liczbową skalą wag skutków (w_2) (tab. 1). Wartości wag i ilość kategorii dobiera się ekspercko, na podstawie analizy dostępnych danych, literatury oraz doświadczenia (Barański A., Gworek B., 2004; The UK approach..., 2005; Klimkowicz-Pawlas A. i in., 2013; Uliasz-Misiak B., 2015; CL:AIRE, 2017).

Poszczególne kategorie przedstawiane są w sposób opisowy, np. dla prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń niepożądanych przypisuje się najczęściej określenia takie jak: nieprawdopodobne ($w_1=1$), mało prawdopodobne ($w_1=2$), prawdopodobne ($w_1=3$), natomiast kategorie skutków opisuje się jako: małe ($w_2=1$), znaczące ($w_2=2$) i poważne ($w_2=3$) (tab. 1).

Ostatecznie każdemu ryzyku przyporządkowuje się wartość lokalizującą go na matrycy (iloczyn przyjętych poziomów prawdopodobieństwa zdarzeń niepożądanych i skutków tych zdarzeń) (tab. 1). A następnie odnosi uzyskaną wartość do założonej kategoryzacji akceptacji ryzyka, czyli przeprowadza się wartościowanie na ryzyko nieakceptowalne, kontrolowane, tolerowane (tab. 2).



Rys. 1. Schemat koncepcyjny oceny ryzyka środowiskowego w rejonie wtłaczania wód złożowych do górotworu

Fig. 1. Conceptual diagram of environmental risk assessment in the area of injection of reservoir waters to the rock formation

Tab. 1. Przykładowe kategorie prawdopodobieństwa i konsekwencji oraz ryzyka przy wtłaczaniu wód złożowych do górotworu
 Tab. 1. Examples of categories of probability and consequences and the risk of injecting reservoir waters into the rock formation

Zdarzenie niepożądane	Kategoria prawdopodobieństwa [w1]	Kategoria skutku [w2]	Wartość liczbowa ryzyka [R = w1*w2]
Uszkodzenia urządzeń zatłaczających oraz rurociągów spowodowane korozją i skalingiem	3	3	9
Awarie spowodowana zbyt wysokim ciśnieniem roboczym	2	3	6
Uszkodzenia naziemnych zbiorników i rurociągów wody złożowej lub poprodukcyjnej	2	3	6
Awarie wewnątrz otworowe, nieszczelności płaszcza cementowego lub korków cementowych	1	2	2
Awarie w wyniku kolmatacji strefy przyodwiertowej	3	1	3

Z uwagi na powszechność występowania zjawisk korozji i skalingu w głębokich otworach zatłaczających silnie zmineralizowane wody złożowe w warunkach wysokich temperatur i ciśnień uznano, że uszkodzenia urządzeń zatłaczających oraz rurociągów spowodowane korozją i skalingiem są prawdopodobne, a skutki takich awarii

Tab. 2. Ilościowa analiza ryzyka

Tab. 2. Quantitative risk analysis

Poziom ryzyka	Wartość liczbowa	Kategoria akceptacji ryzyka
Bardzo małe	1	Tolerowane
Małe	2	
Średnie	3, 4	Kontrolowane
Duże	6	Nieakceptowalne
Bardzo duże	9	

- poważne. Dlatego zdarzenia takie zaklasyfikowano do zdarzeń o bardzo dużym ryzyku (wartość 9), co w kategorii akceptacji należy rozumieć jako ryzyko nieakceptowalne. Rezultat taki sugeruje konieczność wdrożenia procedur zapobiegawczych np. monitorowania składu chemicznego zatłaczanych cieczy, prowadzenia badań modelowych i symulacji procesów korozji i wytrącania oraz podjęcia działań korygujących przewidywany brak stabilności chemicznej cieczy przez dodawanie do nich odpowiednio dobranych inhibitorów.

Podsumowanie

Metodyka oceny ryzyka środowiskowego w zakresie wód podziemnych i gruntów powinna uwzględniać: potencjalne i rzeczywiste zagrożenie (prowadzona lub planowana działalność wiertnicza), stresory (rodzaje substancji zanieczyszczających wody podziemne i grunty), sposób ekspozycji wraz z drogami działania (migracja zanieczyszczeń i sposób oddziaływania na elementy środowiska) oraz wybrane receptory (wody podziemne, grunt). Prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń niepożądanych należy opierać o nowoczesną metodykę badawczą, przede wszystkim modelowanie hydrogeologiczne, zweryfikowane metody oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, symulacje na modelach hydrogeochemicznych.

Matryce ryzyka mogą być bardziej złożone, wieloczynnikowe. W dalszych rozważaniach należy uwzględnić czynniki naturalne sprzyjające lub redukujące ryzyko środowiskowe. Niezmiennie rzadko w ramach oceny ryzyka środowiskowego uwzględnia się identyfikację ryzyka naturalnego, czyli analizę warunków geomorfologicznych, geologicznych i hydrogeologicznych, które w bezpośredni sposób wpływają na bezpieczeństwo środowiskowe prowadzonej działalności górniczej. Kluczowe jest wskazanie i kwantyfikacja tych czynników naturalnych, które w określonej sytuacji geologiczno-środowiskowej warunkują określony wpływ prowadzonej działalności na wody podziemne, grunty czy aktywność procesów geodynamicznych, np. izolacja poziomów wodonośnych utworami nieprzepuszczalnymi, właściwości gleb, miąższość strefy aeracji, parametry hydrogeologiczne warunkujące migrację zanieczyszczeń, kierunki i prędkość przepływu wód podziemnych. Ważnym elementem, który należy uwzględnić w konstruowaniu matrycy ryzyka bądź w innych metodach oceny ryzyka jest analiza podatności wód podziemnych i gruntów na zanieczyszczenia.

Literatura

- [1] Australia NEPC: *National Environment Protection (Assessment of Site Contamination) Measure, Schedule B(5a), Guideline on Ecological Risk Assessment*. National Environment Protection Council, F2013L00768, Australia, 2013, pp. 35
- [2] Barański A., Gworek B. *Ocena ryzyka zdrowotnego i środowiskowego pochodzącego od gruntów zanieczyszczonych produktami naftowymi*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 2004, pp. 84
- [3] *Benchmarking and guidance on the comparison of selected groundwater risk assessment models. National Groundwater and Contaminated Land Centre Report NC/00/14*. Solihull: National Groundwater and Contaminated Land Centre. Environment Agency, 2001
- [4] http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20040722012353/http://www.environmentagency.gov.uk/commondata/105385/nc_00_14_gw_ra_benchmarking_.pdf [data dostępu: 08.03.2018]
- [5] CCME: *A framework for ecological risk assessment: General Guidance*. The National Contaminated Sites Remediation Program. Canadian Council of Ministers of the Environment, Canada, 1997
- [6] CL:AIRE, 2017. *Petroleum Hydrocarbons in Groundwater: Guidance on assessing petroleum hydrocarbons using existing hydrogeological risk assessment methodologies*. CL:AIRE, London. ISBN 978-1-905046-31-7
- [7] <https://www.claire.co.uk/component/phocadownload/category/22-important-industry-documents?download=573:petroleum-hydrocarbons-in-groundwater-guidance> [data dostępu: 08.03.2018]
- [8] Crévecoeur S., Debacker V., Joaquim-Justo C., Gobert S., Scippo ML., Dejonghe W., Martin P., Thomé JP. *Groundwater quality assessment of one former industrial site in Belgium using a TRIAD-like approach*. Environmental Pollution, Volume 159, Issue 10, 2011: 2461-2466
- [9] Dimitriou, E., Karaouzas, I., Sarantakos, K., Zacharias, I., Bogdanos, K., Diapoulis, A. *Groundwater risk assessment at a heavily industrialised catchment and the associated impacts on a peri-urban wetland*. Journal of Environmental Management 88, 2008: 526-538
- [10] Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. *ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej* (2000/60/WE)
- [11] 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* (2006/118/WE)
- [12] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. *w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola)* (2010/75/UE)
- [13] EEA: *Environmental issue report No 4. Environmental Risk Assessment – Approaches, Experiences and Information Sources*. <https://www.eea.europa.eu/publications/GH-07-97-595-EN-C2/riskindex.html> [data dostępu 07.03.2018]
- [14] *Guidelines for environmental risk assessment and management: Green leaves III*. Bristol: Environment Agency, 2011
- [15] https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69450/pb13670-green-leaves-iii-1111071.pdf [data dostępu: 08.03.2018]
- [16] Klimkowicz-Pawlas A., Maliszewska-Kordybach B., Smreczak B. *Metody oceny ryzyka ekologicznego terenów narażonych na oddziaływanie zanieczyszczeń organicznych*. Studia i Raporty IUNG-PIG, 35(9) 2013: 155-179
- [17] Krogulec E., Sawicka K., Zabłocki S. *Wtłaczanie wód do górotworu – dokumentacja hydrogeologiczna na tle przepisów prawnych*. Przegląd Geologiczny, vol. 66, nr 4, 2018
- [18] Królikowska J. *Zastosowanie metody PHA do oceny ryzyka uszkodzeń sieci kanalizacyjnej na przykładzie systemu kanalizacyjnego miasta Krakowa*. Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 2011, 13: 693–710
- [19] Merrington G., Crane M., Ashton D., Benstead R. *Guidance on the use of soil screening values in ecological risk assessment. Science report SC070009/SR2b*. Environment Agency, United Kingdom, 2008, pp. 37
- [20] Panasiewicz A. *Zarządzanie ryzykiem środowiskowym jako narzędzie wspierania gospodarki bardziej przyjaznej środowisku*. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu. Polityka zrównoważonego i zasobooszczędnego gospodarowania, No. 318, 2013, pp. 255-263
- [21] *Remedial targets methodology: hydrogeological risk assessment for land contamination*. Bristol: Environment Agency, 2006
- [22] https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/314317/geho0706bleq-e-e.pdf [data dostępu: 08.03.2018]
- [23] Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. *w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko* (Dz. U. 2016 poz. 71 ze zm.)
- [24] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. *w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi* (Dz.U. 2016 r. poz. 1395)
- [25] 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)
- [26] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. *w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi* (Dz.U. 2017 poz. 2294)
- [27] Somaratne N., Zulfic H., Ashman G., Vial H., Swaffer B., Frizenschaf J. *Groundwater Risk Assessment Model (GRAM): Groundwater Risk Assessment Model for Wellfield Protection Water* 2013, 5: 1419-1439. ISSN 2073-4441

- [29] Surygała J., Raczkowski J., Steczko K. *Zagrożenia ekologiczne i ochrona środowiska podczas poszukiwań i wydobywania ropy naftowej*. W: Ropa naftowa a środowisko przyrodnicze (red.) Surygała J., 2001: 47–83. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław. ISBN: 83-7085-548-2
- [30] Tchórzewska-Cieślak B., Boryczko K., Piegoń I. *Niekonwencjonalne metody analizy ryzyka awarii w systemach zbiorowego zaopatrzenia w wodę*. Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, z. 62, nr 1, 2015: 393-408
- [31] *Technical Guidance document on risk assessment in support of Commission Directive 93/66/EEC on risk assessment for new notified substances, Commission Regulation (EC) No 1488/94 on risk assessment for existing substances and Directive 98/8/EC of the European Parliament and of the Council concerning the placing of biocidal products on the market*. European Commission, Joint Research Centre, European Chemical Bureau, EUR 20418 EN/4, 2003, pp. 1009
- [32] *The UK approach for evaluating human health risks from petroleum hydrocarbons in soils*. Science Report P5-080/TR3. Bristol: Environment Agency, 2005
- [33] http://www.ibrarian.net/navon/paper/w_w_w_environment_agency_gov_.pdf?paperid=12149935 [data dostępu: 08.03.2018]
- [34] Uliasz-Misiak B. *Ryzyko środowiskowe związane z eksploatacją złóż węglowodorów zawierających siarkowodór*. Annual Set The Environment Protection Rocznik Ochrona Środowiska 2015, Volume/Tom 17: 1498–1511. ISSN 1506-218X
- [35] U.S. EPA. *Framework for ecological risk assessment*. Washington, DC: Risk Assessment Forum, U.S. Environmental Protection Agency. EPA/630/R-92/001
- [36] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska* (tekst jednolity Dz.U. z 2017 r. poz. 519)
- [37] Ustawa z dnia 3 października 2008 r. *o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko* (Dz. U. z 2017 r., poz. 1405 ze zm.)
- [38] Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. *Prawo geologiczne i górnicze* (tekst jednolity Dz.U. z 2017 r. poz. 2126)
- [39] Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. *Prawo wodne* (Dz.U. 2017 poz. 1566)
- [40] Weeks J.M., Sorokin N., Johnson I.J., Whitehouse P, Ashton D., Spurgeon D., Hankard P., Svendsen C., Hart A. *Biological test methods for assessing contaminated land. Stage 2 – A demonstration of the use of framework for the ecological risk assessment of land contamination*. Science Group Report P5-069/TR1. Environment Agency, United Kingdom, 2004, pp. 106
- [41] *Zagrożenia naturalne w zakładach górnictwa otworowego 2006*. Wyższy Urząd Górniczy, Katowice. <http://www.wug.gov.pl/download/479> [data dostępu 07.03.2018]



Centrum Nauki i Sztuki Stara Kopalnia w Wałbrzychu

z arch. Starej Kopalni