

ANALIZA RYZYKA W PROCESIE USTANAWIANIA STREFY OCHRONNEJ UJĘĆ WÓD PODZIEMNYCH „OSOWA” I „DOLINA RADOŚCI” W GDAŃSKU

RISK ANALYSIS IN THE PROCESS OF SETTING THE PROTECTION ZONE FOR THE “OSOWA” AND “DOLINA RADOŚCI” GROUNDWATER INTAKES IN GDAŃSK

MIROSLAW LIDZBARSKI¹

Abstrakt. W artykule przedstawiono sposób wykonania analizy ryzyka na potrzeby ustanowienia strefy ochronnej ujęć wód podziemnych w Gdańsku. Została ona wykonana na podstawie dodatków do dokumentacji hydrogeologicznych. Konieczne było przeprowadzenie prac terenowych, badań laboratoryjnych oraz modelowych. Na tej podstawie wytypowano główne czynniki zagrażające ujęciom wód podziemnych. Analiza ryzyka została opracowana z wykorzystaniem matryc oceny ryzyka, uwzględniających zależność prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia od jego skutków.

Słowa kluczowe: strefa ochronna ujęcia wód podziemnych, analiza ryzyka.

Abstract. The article presents the method of risk assessment for the purpose of establishing a protection zone for underground water intakes in Gdańsk. It was made based on additions to hydrogeological documentations. It was necessary to carry out field works, laboratory tests and model tests. On this basis, the main factors threatening the groundwater intakes were selected. The risk analysis was developed using risk assessment matrices, taking into account the dependence of the likelihood of a threat on its effects.

Key words: protection zone for groundwater intake, risk analysis.

WSTĘP

Zgodnie z zapisami Prawa Wodnego (Ustawa, 2017) konieczność ustanowienia strefy ochronnej ujęcia wód podziemnych wraz z terenem ochrony pośredniej powinna wynikać z analizy ryzyka, obejmującej ocenę zagrożeń zdrowotnych z uwzględnieniem czynników negatywnie wpływających na jakość ujmowanej wody. Proces zarządzania i postępowania z ryzykiem jest wieloetapowy i złożony. Na potrzeby analizy ryzyka w związku z ustanawianiem strefy ochronnej ujęć wód podziemnych zostały przystosowane metody i schematy postępowania proponowane przez Polskie Normy PN-ISO 31000:2012, PN-EN 31010:2010 oraz publikacje: Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2006; Rak,

2009a, b; Tchórzewska-Cieślak, 2009, 2011, 2017; Witczak i in., 2018; Wróblewski i in., 2018; Zgodnie tymi założeniami ustalono, że analiza ryzyka wykonywana na potrzeby ustalania stref ochronnych ujęć komunalnych w Gdańsku, będzie zawierała następujące etapy:

- ustalenie kontekstu, opis ujęcia oraz warunków hydrogeologicznych;
- identyfikacja ryzyka, w tym zagrożeń i zdarzeń niebezpiecznych;
- ocena ryzyka, zawierająca analizę ryzyka i jego ewaluację;
- postępowanie z ryzykiem, w tym kontrola ryzyka, monitoring i rekomendowane metody zarządzania ryzykiem i jego ograniczania.

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Geologii Morza w Gdańsku, ul. Kościarska 5, 80-328 Gdańsk; e-mail: miroslaw.lidzbarski@pgi.gov.pl.

Przyjęto, że miarą ryzyka jest jego poziom rozumiany jako iloczyn prawdopodobieństwa i następstw, obliczony według formuły (PN-ISO 31000:2012; Rak, Tchórzewska-Cieślak, 2006):

$$Pr = P \cdot S \quad [1]$$

lub

$$Pr = P \cdot S \cdot V \quad [2]$$

gdzie:

Pr – poziom ryzyka,

P – prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia,

S – skutki,

V – podatność na zagrożenie.

Obliczenia zostały wykonane według wzoru [1], ponieważ wyniki badań modelowych pozwoliły uwzględnić podatność na zagrożenia (V) o prawdopodobieństwie jego wystąpienia (P).

W procesie ustalania strefy ochronnej ujęcia „Osowa” i „Dolina Radości” konieczne było wykonanie szczegółowych prac dokumentacyjnych (Szelewicka i in., 2019; Pasierowska i in., 2019). Zostało wykonane szczegółowe kartowanie hydrogeologiczne i sozologiczne, badania laboratoryjne oraz badania modelowe procesów hydrogeologicznych (Kordalski, Lidzbarski, 2019). Celem badań modelowych było nie tylko zweryfikowanie pola hydrodynamicznego, określenie kierunków i prędkości przepływu wód, ale także analiza różnych scenariuszy zdarzeń niepożądanych, zdefiniowanych na potrzeby analizy ryzyka.

Wyniki prac dokumentacyjnych pozwoliły na wykonanie analizy ryzyka, opracowanej na podstawie kilku metod (Lidzbarski 2019a, b). Wspólną dla obu ujęć była metoda

matrycy ryzyka wyrażona za pomocą pomiaru ilościowego w skali pięciostopniowej (tab. 1).

Przy wykorzystaniu badań modelowych, wyników monitoringu środowiska wodnego, a także innych informacji archiwalnych opracowano tabelę prawdopodobieństwa (tab. 2) oraz tabelę skutków (następstw zagrożeń, tab. 3). Przyjęte w nich kryteria są wspólne dla obu ujęć.

ANALIZOWANIE RYZYKA NA PODSTAWIE SCENARIUSZY ZMIAN HYDROCHEMICZNYCH NA UJĘCIU „OSOWA”

Ujęcie „Osowa” jest zlokalizowane poza granicami Gdańska, na terenie miejscowości Chwaszczyno (fig. 1). Zasoby eksploatacyjne wód podziemnych zostały ustalone w utworach czwartorzędowych na 1000 m³/h – dla dolnego poziomu wodonośnego i na 62 m³/h – dla górnego. Ujęcie składa się z 9 studni, z których 7 eksploatuje dolny poziom wodonośny a dwie studnie górny. Od kilku lat pobór wód utrzymuje się na poziomie ok. 3,5 mln m³/rok (399,5 m³/h), z czego 70 m³/h przypada na górny poziom wodonośny. Sezonowo, eksploatacja wód wzrasta do 700 m³/h. Ujęcie zajmuje ważną pozycję w gospodarce wodnej Gdańska, ponieważ zapewnia 13% zapotrzebowania miasta na wody pitne, okresowo zaś udział ten wzrasta nawet do 23%. Jakość wód podziemnych w rejonie ujęcia jest zróżnicowana. Wody górnego poziomu wodonośnego zawierają podwyższone stężenia związków azotowych od 3,6 do 36,9 mgNO₃/l. Z tego względu w studni 4a jakość wód obniżyła się do III klasy. Natomiast wody drugiego poziomu wodonośnego cechują się dobrym i stabilnym stanem chemicznym (klasa II). Naturalna podatność wód podziemnych poziomów wodonośnych nie jest jednorodna. Wody górnego poziomu wodonośnego są częściowo izolowane od wpływu czynników antropogenicznych. Czas prze-

Tabela 1

Matryca oceny ryzyka

Risk assessment matrix

		Ocena	Dotkliwość następstw zagrożeń				
			nieistotna	niewielka	umiarkowana	poważna	katastrofalna
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

Stopień akceptacji ryzyka:

1–6 akceptowalne

8–12 tolerowane

15–25 nieakceptowalne

Tabela 2

Prawdopodobieństwo wystąpienia następstw

Probability of consequences

Prawdopodobieństwo	Pkt	Opis zdarzenia
Niespotykane	1	do tej pory nie wystąpiło zdarzenie, ale nie można jego wykluczyć
Mało prawdopodobne	2	zdarzenie występuje sporadycznie, wystąpiło tylko raz i może się powtórzyć
Umiarkowanie prawdopodobne	3	zdarzenie wystąpi na pewno w ciągu kilkunastu lat, może się powtarzać cyklicznie
Prawdopodobne	4	zdarzenie wystąpi na pewno w ciągu kilku - kilkunastu lat, może się powtarzać cyklicznie
Niemal pewne	5	zdarzenie wystąpi na pewno w ciągu roku lub kilku lat, powtarza się cyklicznie lub występuje ciągle

Tabela 3

Dotkliwość następstw

Severity of consequences

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

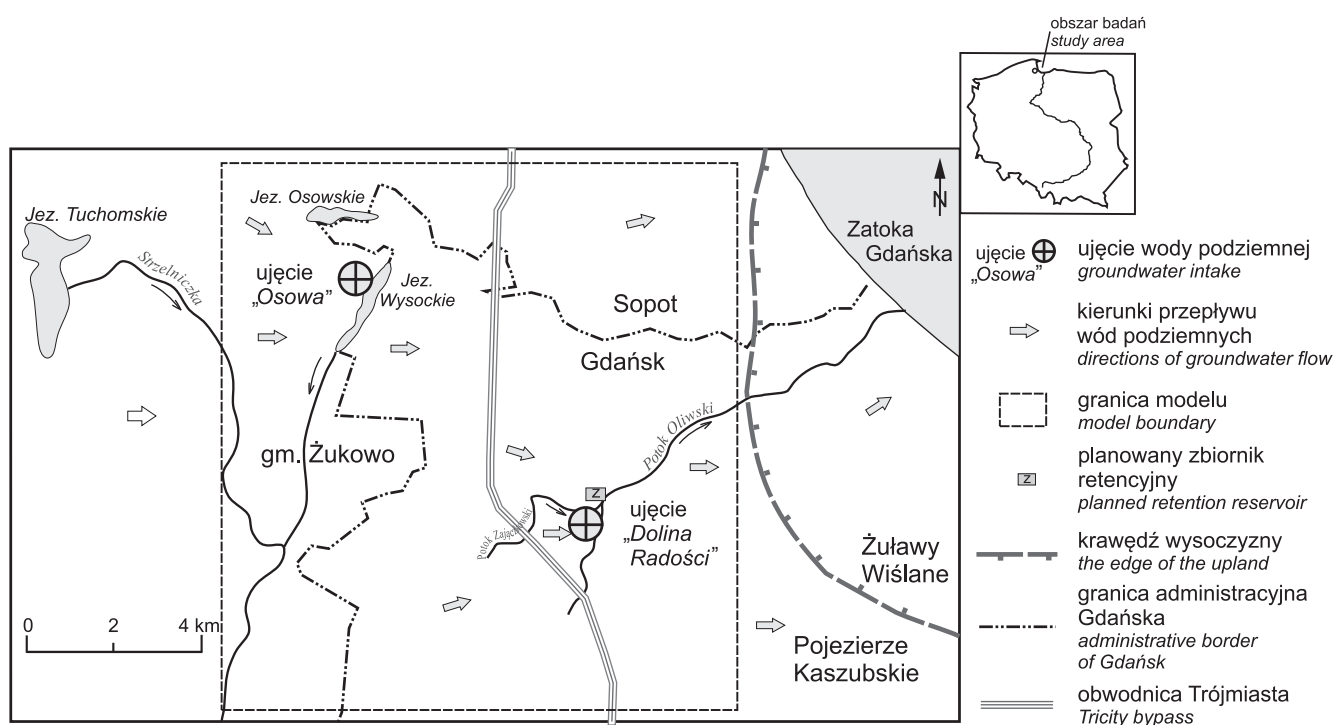


Fig. 1. Szkiec sytuacyjny rozpatrywanych ujęć

The location sketch-map of the investigated well fields

plywu potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu jest mniejszy od 25 lat. Wody dolnego poziomu wodonośnego są bardzo dobrze izolowane warstwą utworów słabo przepuszczalnych. Czas przepływu potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu znacznie przekracza 50 lat.

Przeprowadzone badania terenowe oraz inne prace dokumentacyjne pozwoliły zidentyfikować w rejonie ujęcia „Osowa” rzeczywiste i potencjalne zagrożenia:

- obecność azotanów w wodach górnego poziomu wodonośnego, których koncentracja zmienia się od 29,5 do 36,9 mgNO₃/l;
- możliwość zanieczyszczenia wód podziemnych środkami, służącymi do zimowego utrzymania dróg;
- zubożenie dostępnych zasobów wodnych w wyniku budowy nowych ujęć i studni w granicach obszaru zasobowego.

Po wstępnej analizie uznano, że zagrożenia wyszczególnione w punktach b i c nie będą miały wpływu na wody podziemne. Natomiast obecność azotanów w wodach podziemnych należy uznać jako rzeczywiste i aktywne ognisko zanieczyszczeń. Nie udało się zidentyfikować ogniska tych skażeń, można je wiązać z brakiem kanalizacji sanitarnej na obszarze spływu wód lub nawożeniem terenów rolniczych. Nie można wykluczyć wzrostu koncentracji tych zanieczyszczeń. Z chwilą przekroczenia wartości 50 mgNO₃/l (RMZ, 2017) wody nie będą zdatne do picia.

Na charakter analizowanego zagrożenia oraz możliwe skutki mogą mieć wpływ warunki eksploatacji wód podziemnych na ujęciu oraz rosnące ładunki zanieczyszczeń. W tym celu na podstawie badań modelowych analizowano możliwe scenariusze zdarzeń i wynikające z nich konsekwencje w perspektywie do 2031 r., a więc w okresie 25 lat od pojawienia się zanieczyszczeń w wodach górnego poziomu wodonośnego.

Scenariusz A-0 – przedstawia stan obecny.

Scenariusz A-1 – stan eksploatacji wód w na ujęciu oraz stężenie azotanów w wodach górnego poziomu są na niezmiennym poziomie: $Q_1=70\text{ m}^3/\text{h}$, $Q_2=399\text{ m}^3/\text{h}$, $C_1=30\text{ mgNO}_3/\text{l}$, $C_2=5\text{ mgNO}_3/\text{l}$,

gdzie:

Q_1 , C_1 – stan eksploatacji wód i poziom stężenia koncentracji azotanów w górnym poziomie wodonośnym,

Q_2 , C_2 – w dolnym poziomie wodonośnym.

Scenariusz A-1a – stan eksploatacji wód w na ujęciu jest na niezmiennym poziomie $Q_1=70\text{ m}^3/\text{h}$, $Q_2=399\text{ m}^3/\text{h}$, C_1 wzrasta do $C_1=50\text{ mgNO}_3/\text{l}$;

Scenariusz A-2 – stan eksploatacji wód w dolnym poziomie wodonośnym jest na niezmiennym poziomie $Q_2=399\text{ m}^3/\text{h}$, natomiast górny poziom nie jest eksploatowany $Q_1=0\text{ m}^3/\text{h}$ z uwagi na wzrost stężenia azotanów $C_1>50\text{ mgNO}_3/\text{l}$.

W trakcie kolejnych trzech scenariuszy: B-1, B-1a i B-2 przeanalizowano te same zagadnienia przy zwiększonym poborze wód na ujęciu do 800 m³/h.

Obliczenia poziomu ryzyka wykonano według formuły $Pr = P \cdot S$ [1] – oddzielnie dla górnego (G) i dolnego (D) poziomu wodonośnego.

Aktualnie poziom koncentracji zanieczyszczeń jest stały (scenariusz A-0). Z tego względu uznano, że prawdopodobieństwo wystąpienia w przyjętej skali niemal pewne (5 pkt.). Natomiast skutki tego zagrożenia są niewielkie (2 pkt.), ponieważ jakość wód podziemnych jest dobra (klasa II) i tylko w jednej studni występuje woda w III klasie. Wynik obliczeń określa to zagrożenie, jako tolerowane – 10 pkt. (tab. 4). Taki sam poziom zagrożenia prognozuje się na 2031 r. (scenariusz A-1) przy identycznym prawdopodobieństwie i skutkach. Prawdopodobieństwo migracji zanieczyszczeń do dolnego poziomu wodonośnego przy obecnej koncentracji skażeń i poziomu eksploatacji wód podziemnych jest znikome. W efekcie aktualny i prognozowany poziom zagrożenia dolnego poziomu wynosi 1 i jest akceptowalny. Scenariusz A-1a zakłada wzrost stężenia do 50 mgNO₃/l, a scenariusz A-2 > 50 mgNO₃/l. Prawdopodobieństwo takich zmian oszacowano, jako umiarkowano prawdopodobne. Skutki takich zmian dla wód górnego poziomu byłyby jednak różne: w scenariuszu A-1a uznano, jako poważne, ponieważ wody podziemne mogłyby lokalnie lub czasowo obniżyć jakość do IV klasy. Natomiast wg scenariusza A-2 skutki byłyby katastrofalne, ponieważ wody uległyby degradacji, co skutkowało by wyłączeniem studni z eksploatacji. Obliczony poziom ryzyka dla tych scenariuszy wynosi 10 (A-1a) i 15 (A-2). Wykazano, że skrajne zmiany składu chemicznego wód w górnym poziomie wodonośnym zagrażają bezpieczeństwu zdrowotnemu i w skali ryzyka są nieakceptowalne. Należy nadmienić, że poziom ryzyka dla dolnego poziomu wodonośnego będzie w dalszym ciągu niski (1 pkt.), nawet przy degradacji wód górnego poziomu.

Scenariusze B-1, B-1a oraz B-2 uwzględniały te same sekwencje zdarzeń, co w scenariuszach A przy zwiększonej eksploatacji wód podziemnych na ujęciu do 800 m³/h. Oszacowane prawdopodobieństwo i skutki dla scenariuszy B-1 i B-1a są identyczne, jak w prognozie A: poziom ryzyka jest również taki sam, i dla scenariusza B-1 wynosi 10 pkt. a dla scenariusza B-1a 12 pkt. W obu przypadkach wyniki mieszczą się w tolerowanej skali ryzyka. Poziom ryzyka dla wód dolnego poziomu wodonośnego jest akceptowalny, chociaż przy scenariuszu B-1a nieznacznie wzrósł do 2 pkt. Przeprowadzone obliczenia i analiza scenariusza B-2 wykazały podobny poziom zagrożenia dla górnego poziomu, jak dla prognozy A – 15 pkt. Jest to nietolerowany poziom ryzyka i niesie ze sobą realne zagrożenie zdrowotne. Należy także zauważyć, że poziom ryzyka wód z dolnego poziomu wzrósł do 9 pkt., co plasuje go na poziomie ryzyka tolerowanego (tab. 4). Świadczy to jednocześnie o granicznych wartościach przyjętych kryteriów zmian w eksploatacji wód na ujęciu. W przypadku degradacji wód górnego poziomu wodonośnego należy się spodziewać, że przy maksymalnym obciążeniu dolnego poziomu wodonośnego może dojść do migracji zanieczyszczeń.

Przy ewaluacji ryzyka skorzystano z graficznej prezentacji wg zasady ALARP (Borysiewicz, Markowski, 2002). Największe ryzyko jest związane z obecnym i prognozowanym zanieczyszczeniem azotanami w wodach górnego

poziomu wodonośnego. (fig. 2). Przy obecnym poziomie eksploatacji wód podziemnych, poziom ryzyka dla ujęcia „Osowa” jest zróżnicowany. Dla dolnego poziomu wodonośnego mieści się w zakresie ryzyka akceptowalnego, przy bardzo niskiej wartości liczbowej (1 pkt). Natomiast dla górnego poziomu wodonośnego mieści się w zakresie ryzyka tolerowanego (10 pkt.). Obliczone ryzyko dla ujęcia będzie akceptowalne w przyszłości, nawet przy nieznacznym wzroście stężenia azotanów w górnym poziomie wodonośnym. Stan ten będzie się utrzymywał także wtedy, gdyby zaszła konieczność zwiększenia wydajności ujęcia do 800 m³/h (scenariusze; B-1, B-1a). Wyraźne zmiany pojawią się jednak w sytuacji zwiększonego poboru wód w dolnym poziomie wodonośnym i degradacji wód w górnym poziomie wodonośnym na skutek wzrastających stężeń azotanów powyżej 50 mgNO₃/l. W takiej sytuacji ryzyko dla górnego poziomu wodonośnego

będzie nieakceptowalne, a dla dolnego poziomu wodonośnego ryzyko wzrośnie do obszaru ryzyka tolerowanego.

SZACOWANIE RYZYKA NA PODSTAWIE ZIDENTYFIKOWANYCH ZAGROŻEŃ W REJONIE UJĘCIA „DOLINA RADOŚCI”

Ujęcie jest zlokalizowane w Gdańsku w dzielnicy Oliwa, w dolinie Potoku Oliwskiego i dolinie Potoku Zajęczkowskiego (fig. 1). Zasoby eksploatacyjne zostały ustalone dla czwartorzędowego piętra wodonośnego w ilości 420 m³/h. Od kilku lat pobór wód utrzymuje się na poziomie ok. 1 576 800 m³/rok, co zapewnia ok. 6% zapotrzebowania miasta na wody pitne. W rejonie ujęcia „Dolina Radości” występują dwie warstwy wodonośne: górna i dolna. Górna

Tabela 4

Matryca oceny ryzyka dla prognozy A i B – wynik obliczeń
Risk assessment matrix for forecasts A and B – calculation result

Poziomy wodonośne		Q ₂ =399 m ³ /h				Q ₂ =800 m ³ /h		
		scenariusz A-0	scenariusz A-1	scenariusz A-1a	scenariusz A-2	scenariusz B-1	scenariusz B-1a	scenariusz B-2
G – górny	P	5	5	3	3	5	3	3
	S	2	2	4	5	2	4	5
	Pr	10	10	12	15	10	12	15
D – dolny	P	1	1	1	1	1	1	3
	S	1	1	1	1	1	2	3
	Pr	1	1	1	1	1	2	9

Stopień akceptacji ryzyka: akceptowalne tolerowane nieakceptowalne

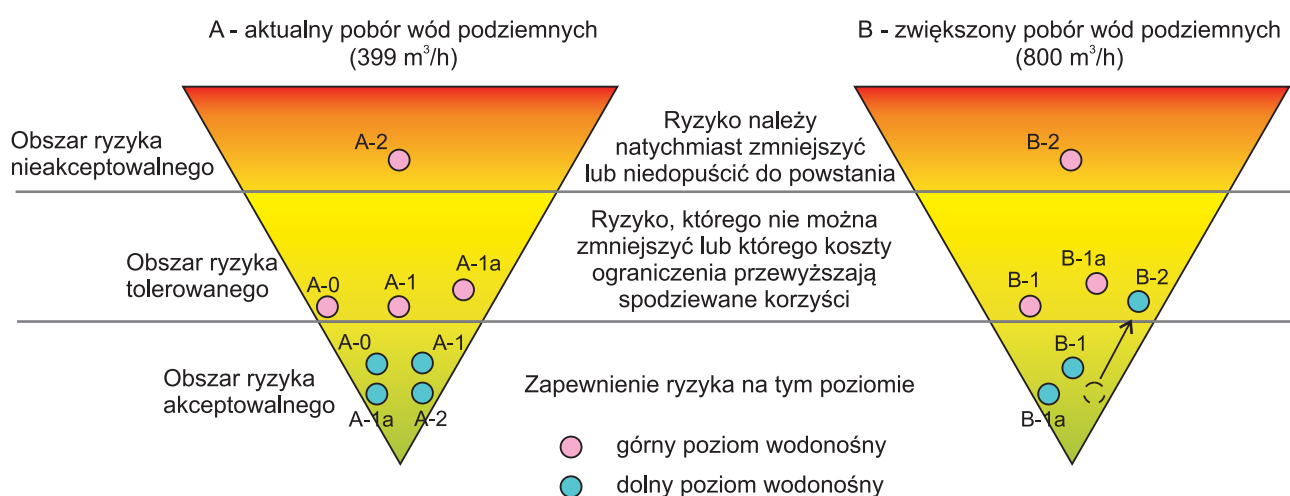


Fig. 2. Ewaluacja ryzyka wg zasady ALARP (Borysiewicz, Markowski, 2002)

Risk evaluation according to the ALARP principle (Borysiewicz, Markowski, 2002)

warstwa wodonośna występuje tuż pod powierzchnią terenu, prowadzi wody o zwierciadle lekko napiętym lub swobodnym. Jest bezpośrednio związana z potokami. Dolna warstwa wodonośna jest wykształcona w piaskach drobno- i średnioziarnistych. Występuje na zróżnicowanej głębokości; w rejonie ujęcia od kilkunastu do kilkudziesięciu metrów, a na obszarze spływu wód w obrębie Pojezierza Kaszubskiego zalega na głębokościach przekraczających 70 m. Miąższość warstwy wodonośnej waha się od 7,0 m do około 50,0 m. Dolna warstwa wodonośna jest ujmowana przez studnie ujęcia. Wody cechują się dobrym stanem chemicznym (klasa II). Naturalna podatność wód podziemnych w odniesieniu do poziomów wodonośnych nie jest jednorodna. Miejscami wody dolnej warstwy wodonośnej są dobrze izolowane. Lokalnie występują jednak okna hydrogeologiczne i czas przepływu potencjalnych zanieczyszczeń z powierzchni terenu wynosi od kilku do kilkudziesięciu lat.

Prawie cały obszar spływu wód do ujęcia, wyznaczony zasięgiem izochrony 25 lat, pokryty jest kompleksami leśnymi Trójmiejskiego Parku Krajobrazowego, co w dużej mierze eliminuje wpływ czynników antropogenicznych na wody podziemne. W odległości ok. 800 m od ujęcia przebiega obwodnica trójmiejska. Inne elementy zagospodarowania terenu w granicach obszaru ochronnego ujęcia są marginalne i nie stanowią potencjalnego niebezpieczeństwa dla wód podziemnych. Zagrożenia antropogeniczne należy wiązać przede wszystkim z obiektami zlokalizowanymi poza granicami strefy ochronnej, które mają wpływ na stan ujęcia. Stanowią je przede wszystkim:

- wody potoków, które przepływają przez teren ujęcia i mogą infiltrować do wód podziemnych; okresowo prowadzą one wody obniżonej jakości (scenariusz JWP);
- podtopienia lub lokalne powodzie, powstające na skutek skrajnie wysokich opadów atmosferycznych (scenariusz OPP);
- planowany zbiornik retencyjny, który będzie zlokalizowany w sąsiedztwie ujęcia (scenariusz ZR).

Analizę ryzyka wykonano na podstawie tych samych założeń i metod jak dla ujęcia „Osowa”.

Scenariusz JWP

Stan jakości wód w potokach, może się znacznie pogarszać w okresach wzmożonych opadów atmosferycznych oraz w czasie prowadzenia zabiegów zimowego utrzymania dróg. Badania modelowe pozwoliły ustalić, że ok. 15% tych wód na terenie ujęcia infiltruje do warstwy wodonośnej. Przy typowych stanach i przepływach (prognoza JWP₁) potencjalne zanieczyszczenia, które dopłyną do górnej warstwy wodonośnej, ulegną w 90% redukcji, a w drugiej (ujętej) warstwie wodonośnej – ich stężenia nie przekroczą 1% początkowej. Dlatego też negatywne skutki dla wód podziemnych będą niewielkie, chociaż prawdopodobieństwo wystąpienia jest bardzo wysokie, ponieważ występuje przez większą część roku. W trakcie chwilowego przepływu zanieczyszczeń związanych z opadami atmosferycznymi lub roztopami (JWP₂) skażenie wód podziemnych nie przekroczy 0,01% początkowego stężenia ich w wodach potoków i można je traktować, jako nieistotne. Nie można także wykluczyć skażenia wód potoków w wyniku katastrofy drogowej substancjami toksycznymi (JWP₃). Dotkliwość dla wód podziemnych byłaby nieco większa (umiarkowana), ale prawdopodobieństwo wystąpienia takiego zdarzenia można uznać za bardzo małe. Zanieczyszczenia, obecne w wodach potoków przy średnich stanach i przepływach stwarzają ryzyko dla wód płytkiej (górnej) warstwy wodonośnej. Mieści się ono jednak w zakresie ryzyka tolerowanego (tab. 5). Dolna warstwa wodonośna nie jest zagrożona w żadnym przypadku opisanych za pomocą prognoz; JWP₁, JWP₂, JWP₃. Każda z nich mieści się w zakresie akceptowalnego ryzyka i nie stwarza ryzyka zdrowotnego. Ryzyko dla głębszej warstwy wodonośnej wzrasta w strefach kontaktów hydraulicznych, gdzie zanieczyszczenia mogą stosunkowo łatwo migrować do głębszej warstwy wodonośnej.

Scenariusz OOP

Pojawiające się coraz częściej ulewy i deszcze nawalne powodują gwałtowne wezbrania, co przyczynia się do lokalnych powodzi w rejonie ujęcia „Dolina Radości”. W trakcie analizy ryzyka rozważano trzy scenariusze zdarzeń:

- OOP₁ – zagrożenia wynikające z krótkotrwałych podtopień lub lokalnej powodzi (do kilku dni) uznano, jako

Tabela 5

Matryca oceny ryzyka dla scenariuszy JWP₁, JWP₂, JWP₃

Risk assessment matrix for the scenarios JWP₁, JWP₂, JWP₃

G		Skutki				
		1	2	3	4	5
Prawdopodobieństwo	1			JWP ₃		
	2					
	3					
	4					
	5	JWP ₂	JWP ₁			

D		Skutki				
		1	2	3	4	5
Prawdopodobieństwo	1	JWP ₂ JWP ₃				
	2					
	3					
	4					
	5	JWP ₁				

Tabela 6

Matryca oceny ryzyka dla scenariuszy OOP₁, OOP₂, OOP₃ (bez skutków zalania obudów studni w trakcie lokalnej powodzi)Risk assessment matrix for the scenarios OOP₁, OOP₂, OOP₃ (excluding the effects of well housing flooding during a local flood)

G		Skutki				
		1	2	3	4	5
Prawdopodobieństwo	1					
	2				OOP ₁	
	3					
	4		OOP ₂			
	5	OOP ₃				

D		Skutki				
		1	2	3	4	5
Prawdopodobieństwo	1	OOP ₁				
	2	OOP ₃		OOP ₂		
	3					
	4					
	5					

prawdopodobne, pojawiają się w odstępach kilkuletnich. Na zalanych terenach konieczne są czasowe wyłączenia studni z eksploatacji. Wody podziemne zostaną zanieczyszczone w niewielkim stopniu i w ograniczonym czasie. Dotkliwość następstw będzie więc, niewielka;

- OOP₂ – potencjalne zagrożenia wynikające z podtopień lub lokalnej powodzi utrzymujących się przez dłuższy czas (>1 miesiąc);
- OOP₃ – ten scenariusz uwzględniał te same zagrożenia i skutki, co poprzedni. Uzupełniony został o przypadek nałożenia się długotrwałej powodzi z obecnością substancji toksycznych na terenach zalanych, pochodzących z obwodnicy trójmiejskiej, na których doszło do katastrofy ekologicznej lub drogowej.

Analiza ryzyka wykazała, że zagrożenia, wynikające z lokalnych powodzi i podtopień, mieszczą się w zakresie ryzyka tolerowanego (tab. 6). Sytuacje te jednak będą destrukcyjnie wpływać na ciągłość pracy ujęcia. Ostatni scenariusz, pomimo że zakłada najgorszy wariant zdarzeń, nie niesie ze sobą dużego ryzyka, z uwagi na bardzo niskie prawdopodobieństwo wystąpienia. Należy zwrócić uwagę, że ryzyko wynikające ze skutków lokalnych powodzi może być znacznie obniżone poprzez modernizację urządzeń odprowadzających wody powierzchniowe, na przykład poprzez poszerzenia przepustów i ułatwienia przepływu nadmiaru wód w potokach.

Planowany zbiornik retencyjny będzie zlokalizowany w pobliżu ujęcia i zgodnie z założeniami ma służyć do magazynowania nadmiaru wód w przypadkach dużych opadów atmosferycznych. Z wybudowaniem zbiornika mogą wiązać się dwa zagrożenia dla stabilnej pracy ujęcia: zmiany hydrodynamiczne w wodach podziemnych (ZR_p) oraz sytuacja awaryjna, wynikająca z przerwania wałów lub niekontrolowanego przelania się wód ze zbiornika (ZR_A). Przeprowadzone badania i obliczenia wykazały, że piętrzenie wody w zbiorniku zmieni w niewielkim stopniu układ hydrodynamiczny, co nie wpłynie negatywnie na pracę studni i nie zaburzy funkcjonowania ujęcia. Znacznie większe zagrożenie może wynikać z sytuacji awaryjnej. Przerwanie wałów może

spowodować czasowe podtopienia, wyłączenia niektórych studni i skażenia urządzeń eksploatujących wodę.

WNIOSKI

1. Do wykonania analiz ryzyka w rejonie ujęć „Osowa” i „Dolina Radości” konieczne było opracowanie dodatku do dokumentacji hydrogeologicznej. Ujęcia wód podziemnych cechuje zróżnicowana podatność na zagrożenia antropogeniczne. Na ujęciu „Osowa” głównym czynnikiem zagrażającym są podwyższone stężenia azotanów w wodach górnego poziomu wodonośnego. W strefie ochronnej ujęcia „Dolina Radości” nie występują ogniska zanieczyszczeń. Ujęcie to jednak jest zagrożone przez potoki przepływające tranzytem przez teren ujęcia, które mogą czasowo zawierać skażone wody lub powodować lokalne powodzie.

2. Na podstawie wykonanej analizy ryzyka wnioskuje się ustanowienie terenów ochrony pośredniej wokół analizowanych ujęć.

3. Zaleca się, aby zidentyfikowane ryzyko podlegało kontroli. Wybrane środki kontrolne i monitorujące powinny zapewniać wysoki stopień bezpieczeństwa i stabilną jakość wód ujmowanych na ujęciach. Zalecono wykonanie zadań obniżających zidentyfikowane ryzyko.

4. Proponowane środki bezpieczeństwa, zmierzające do kontroli i redukcji ryzyka, mają charakter środków zapobiegawczych i korygujących. W latach następnych mogą one wymagać udoskonalenia.

LITERATURA

- BORYSIEWICZ M., MARKOWSKI A., 2002 – Kryteria akceptowalności ryzyka poważnych awarii przemysłowych. Instytut Energii Atomowej, Instytut Ochrony Środowiska [praca niepubl.]. Arch. Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- GIS, 2012 – Podręcznik opracowania planów bezpieczeństwa wodnego. Zarządzanie ryzykiem krok po kroku – instrukcja dla dostawców wody do spożycia. Internet: <http://www.who>

- int/water_sanitation_health/water_safety_plan_2009_pol.pdf (dostęp: 21.03.2018).
- KORDALSKI Z., LIDZBARSKI M., 2019 – Badania modelowe procesów hydrogeologicznych w rejonie ujęć komunalnych „Osowa” i „Dolina Radości” w związku z weryfikacją stref ochronnych tych ujęć. Opracowanie dodatkowe nr 2 do Dodatku do „Dokumentacji zasobów wód podziemnych w kategorii „B” z utworów czwartorzędowych na terenie ujęcia miejskiego Osowa” (Szelewicka i in., 2019) oraz ujęcia miejskiego „Dolina Radości” [mat. niepubl.]. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Geol. Morza, Gdańsk.
- LIDZBARSKI M., 2019a – Analiza ryzyka. Opracowanie dodatkowe nr 1 do Dodatku do „Dokumentacji zasobów wód podziemnych w kategorii „B” z utworów czwartorzędowych na terenie ujęcia miejskiego Osowa” (Szelewicka i in., 2019) [mat. niepubl.]. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Geol. Morza, Gdańsk.
- LIDZBARSKI M., 2019b – Analiza ryzyka. Opracowanie dodatkowe nr 1 do Dodatek do „Dokumentacji zasobów wód podziemnych w kategorii „B” z utworów czwartorzędowych na terenie ujęcia miejskiego Osowa” (Szelewicka i in., 2019) [mat. niepubl.]. Narod. Arch. Geol. PIG-PIB, Oddz. Geol. Morza, Gdańsk.
- PASIEROWSKA B., Lidzbarski M., Kordalski Z., 2019 – Dodatek do „Dokumentacji hydrogeologicznej zasobów wód podziemnych z utworów plejstocénskich w kat. „A” na terenie ujęcia miejskiego Dolina Radości w Gdańsku-Oliwie”.
- PN-EN 31010:2010 Techniki zarządzania ryzykiem — Techniki oceny ryzyka.
- PN-ISO 31000:2012 Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Zarządzanie ryzykiem. Zasady i wytyczne.
- PN-EN-15975-2:2013 Bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia. Wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka. Część druga: Zarządzanie ryzykiem.
- RAK J., 2009a – Bezpieczeństwo systemów zaopatrzenia w wodę. PAN Inst. Bad. Syst., Warszawa.
- RAK J., 2009b – Bezpieczna woda wodociągowa. Zarządzanie ryzykiem w systemie zaopatrzenia w wodę. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- RAK J., Tchórzewska-Cieślak B., 2006 – Review of matrix methods for risk assessment in water supply system. *Journal of KONBiN*, **1**, 1: 67–76.
- RMZ, 2017 – Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (DzU Nr 2264 poz. 417).
- SZELEWICKA A., LIDZBARSKI M., KORDALSKI Z., 2019 – Dodatek do „Dokumentacji zasobów wód podziemnych w kategorii „B” z utworów czwartorzędowych na terenie ujęcia miejskiego Osowa”. Projekt strefy ochronnej.
- TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK B., 2009: Zarządzanie ryzykiem w ramach planów bezpieczeństwa wody. *Ochrona Środowiska*, **31**, 4: 57–60
- TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK B., 2011 – Metody analizy i oceny ryzyka awarii podsystemu dystrybucji wody. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
- TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK B., 2017: Zarządzanie bezpieczeństwem dostaw wody. *Journal of KONBiN*, **41**, 171–188.
- USTAWA, 2017 – Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne. (DzU poz. 1566).
- WITCZAK S., KANIA J., KMIECIK 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. Monografia (red. G. Malina): 7–18. PZiITS, Częstochowa.*
- WRÓBLEWSKI D. i in., 2018 – Zarządzanie ryzykiem. Przegląd metod badawczych. Wydaw. CNBOP PIB, Józefów-Warszawa.

SUMMARY

According to the provisions of the Water Law, the need to establish protection zones for underground water intakes “Osowa” and “Dolina Radości” in Gdańsk resulted from the risk analysis. Health hazards were assessed including factors negatively affecting the quality of the water being captured. According to these assumptions, the following stages of work have been adopted:

- determining the context, description of the intake and hydrogeological conditions;
- identification of risk, including threats and dangerous events;
- risk assessment, including risk analysis and evaluation;
- risk management, including risk control, monitoring and recommended methods of risk management and mitigation.

It was assumed that the measure of risk is its level understood as the product of probability and consequences. In the process of determining the protection zone of the

“Osowa” and “Dolina Radości” intakes, it was necessary to carry out detailed works. Detailed hydrogeological and sozological mapping, laboratory tests and model studies of hydrogeological processes were performed. The aim of the model research was to verify the hydrodynamic field, determine the directions and flow velocity, and analyze various undesirable events scenarios, defined for the needs of risk analysis.

Underground water intakes are characterized by different susceptibility to anthropogenic threats. On the “Osowa” intake, the main threatening factor is the increased concentration of nitrates in the upper aquifer. There are no outbreaks of pollution in the protection zone of the “Dolina Radości”. The shot, however, is under the pressure of streams, flowing through the area of the intake, which may temporarily contain contaminated waters or cause local floods. On the basis of the risk analysis carried out, it is proposed to establish intermediate protection areas around the analyzed intakes.