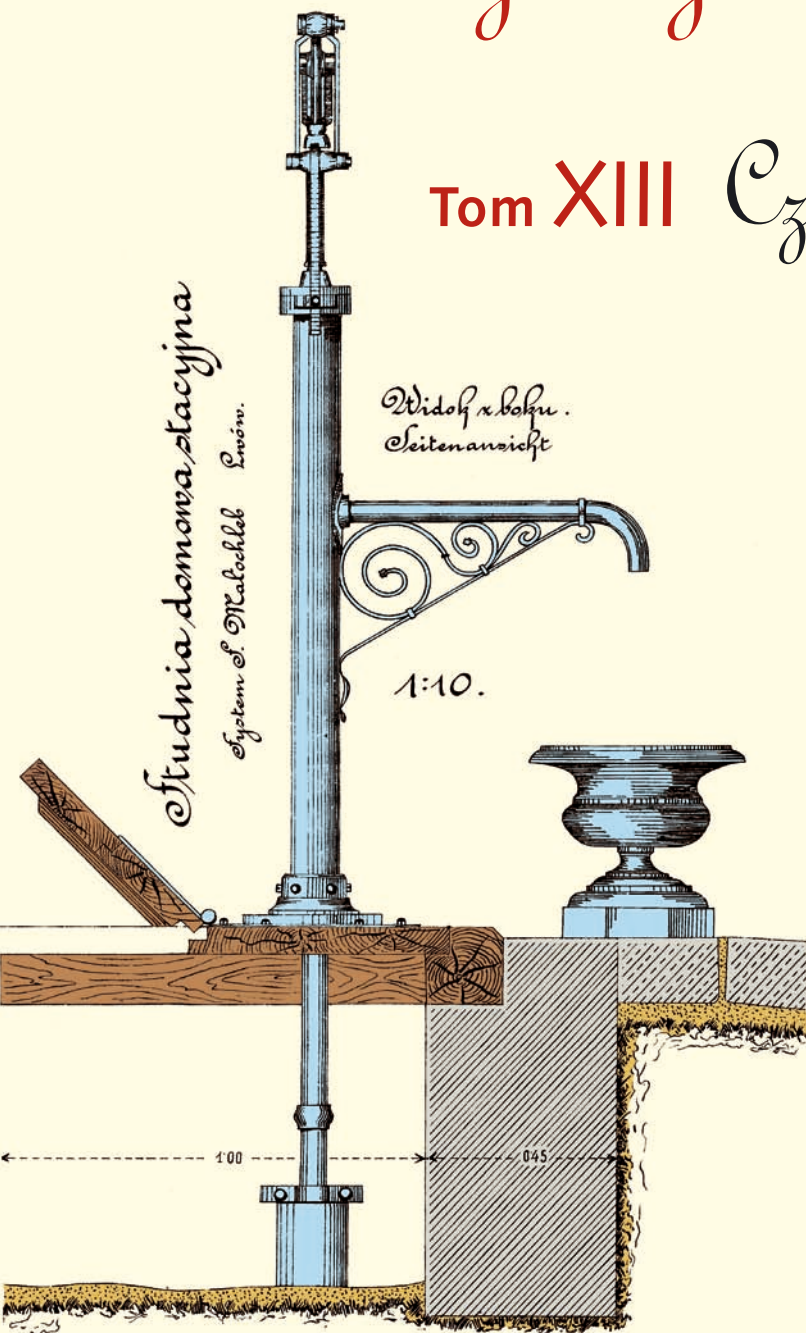


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staško
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

Zbigniew Frankowski, Jan Mitręga,
Włodzimierz Tomczak,

**Badania monitoringowe Krajowego
Składowiska Odpadów Promieniotwórczych
w Różanie**

**Groundwater Monitoring Survey Related to
the States Radioactive Waste Repository in Różan**

Słowa kluczowe

monitoring wód podziemnych, strefy aeracji i saturacji,
zanieczyszczenie trytem

Key words

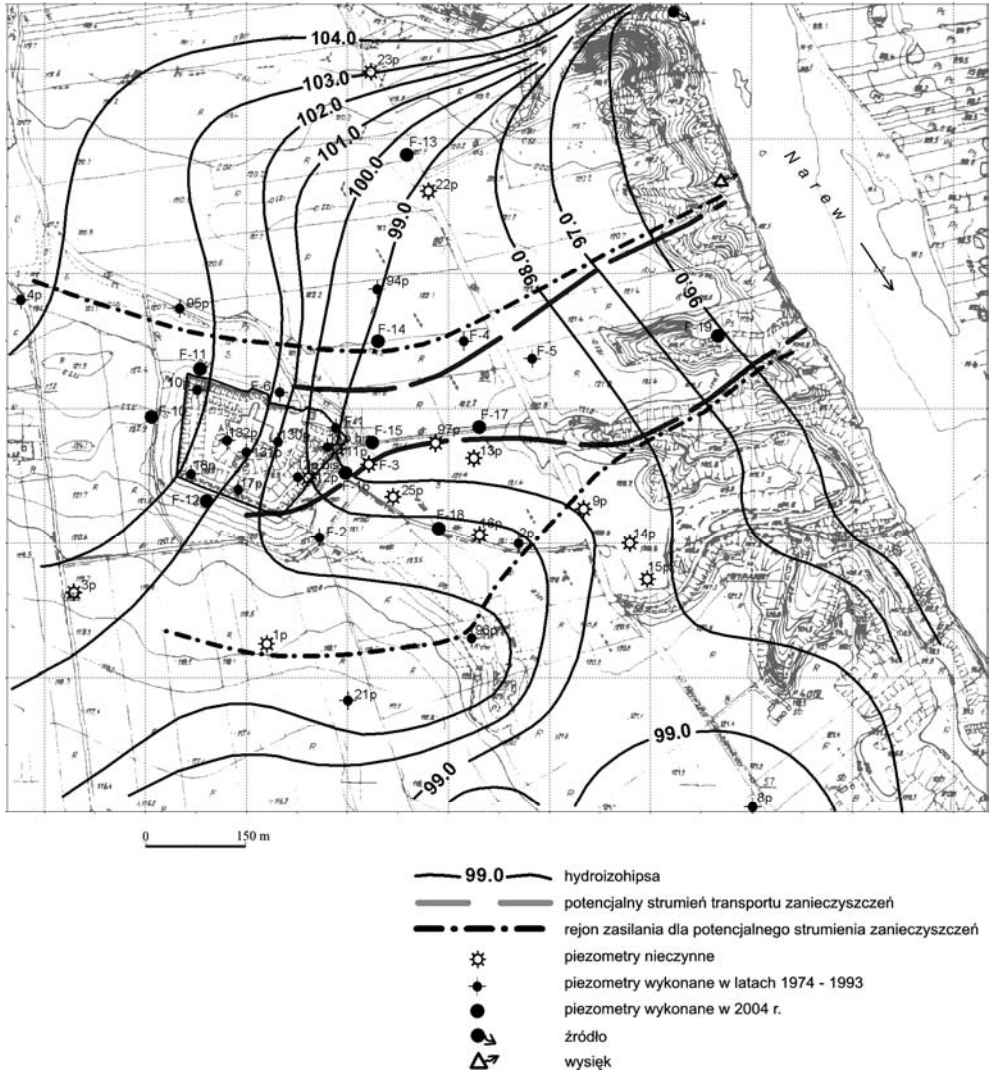
groundwater monitoring, vadose and saturation zones, tritium
contamination

Abstract

The paper presents selected issues reflected from systematically ongoing monitoring survey in the State's Radioactive Waste Repository site and its vicinity. The repository is classified as near-surface type. Consideration is focused on role of microelements of geological and hydrogeological environment which affect the response of the topmost groundwater aquifer. It is derived, that heterogeneity of vadose zone acts as imperfect geological barrier thus contributes to the distribution and decrease of H-3 activity in groundwater. A dozen year long the time-span of monitoring suggests, that all the time tritium contamination remains mainly within repository site contour and only insignificantly exceeds its limit. The comparison has been made between monitoring and modelling results. Obtained interpretation suggests, that on-site tritium concentrations depend on dilution controlled by actual recharge to aquifer, seasonal hydrological situation and macro-dispersion phenomenon, and off-site H-3 activity distribution is enhanced by natural decay of H-3 isotope.

Wstęp

Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) jest położone w południowej części Różana, w odległości około 1.5 km od centrum miasta i 0.8 km od brzegu Narwi (rys. 1).



Rysunek 1. Mapa lokalizacji piezometrów i położenie zwierciadła wody w pierwszym poziomie wodonośnym (stan — październik 2003)

Figure 1. Map of observation boreholes location and groundwater table contours of the topmost aquifer (state — October 2003)

Na składowisko został adaptowany dawny fort wojskowy, stanowiący jeden z elementów zespołu fortyfikacyjnego Różana. Obiekt o powierzchni 3.5 ha został wybudowany w latach 1905–1910 przez rosyjski korpus inżynierów wojskowych. Betonowe obiekty fortu wykorzystywane są do składowania i magazynowania nisko- i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych od 1961r. Przeprowadzone badania zawartości izotopów promieniotwórczych w wodach podziemnych w rejonie składowiska wskazują, że jedynym uwalnianym z KSOP jest izotop H-3. Obiekt jest przedmiotem monitoringu radiologicznego od 1989 roku.

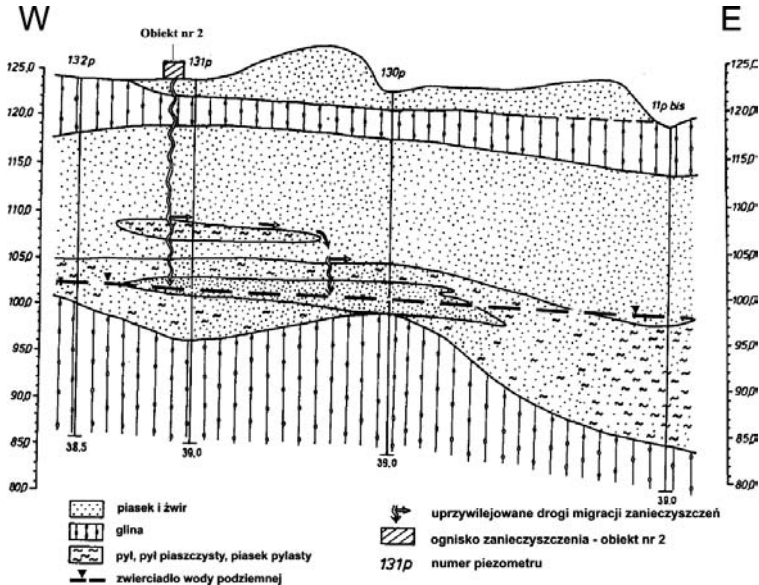
W artykule porównano wyniki wieloletniego monitoringu wód podziemnych z danymi, które uzyskano z modelowania. Przeprowadzone analizy wykazały, że dane z modelowania nie należy traktować jako ostateczny wynik analizy i prognozy, ale powinny służyć potwierdzeniu stawianych hipotez, szczególnie w przypadku niedostatecznego rozpoznania warunków hydrogeologicznych, procesów decydujących o przepływie wód podziemnych i migracji zanieczyszczeń. Omówiono także rolę mikroelementów środowiska geologicznego i hydrologicznego w reakcjach rejestrowanych w otoczeniu KSOP oraz wybrane zagadnienia badań monitoringowych.

Charakterystyka geologiczna rejonu składowiska

Na powierzchni terenu występują utwory czwartorzędowe, które osiągają miąższość około 170 m. Fort został zlokalizowany na kulminacji terenowej o rzędnej 125 m n.p.m. Rzędne obszarów przyległych wynoszą od 115 do 120 m n.p.m. W profilu pionowym występują naprzemianległe serie glin zwałowych i osadów wodnolodowcowych: fluwioglacjalnych i zastoiskowych. Najwyżej jest położony kompleks glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego. W rejonie Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych na podstawie pomiarów elektrooporowych określono zasięg przestrzenny i miąższość glin zwałowych strefy przypowierzchniowej. Pomiarzy wykazały, że kompleks glin zwałowych zaliczanych do stadiału Mławy o miąższości dochodzącej do 10 m zanika na południe i na północny wschód od składowiska. W obrębie składowiska miąższość glin zmienia się od 2 do 4 m. Poniżej glin zwałowych występuje warstwa piasków drobnych i średnich z soczewkami żwirów i pospółek. W spągowej części, w formie płatów występują pyły zastoiskowe, które wypełniają także zagłębienia w stropie kompleksu glin zwałowych stadiału mazowiecko-podlaskiego. Pod względem granulometrycznym są to zwarte gliny piaszczyste o miąższości 35–50 m ze żwirem i otoczakami. Kompleks ma znaczne rozprzestrzenienie ze stropem ukształtowanym procesami erozyjnymi.

Różnorodne wykształcenia osadów wodnolodowcowych występujących pomiędzy dwoma omówionymi kompleksami glin zwałowych powoduje, że strefa aeracji charakteryzuje się znaczną niejednorodnością. Hydrogeologiczna charakterystyka tej strefy wskazuje, że oprócz dominującego pionowego kierunku przepływu wód infiltrujących, występują także lokalne poziome przepływy wody (rys. 2). W strefie przypowierzchniowej na głębokości 2–7 m stwierdzono lokalnie występujące zawieszane warstwy wodonośne. W rejonie Różana miąższość strefy aeracji dochodzi do 25 m. W północnej części składowiska wynosi około 16 m a w południowej przekracza 20 m. Wartości współczynników filtracji poszczególnych

wydziałen litologicznych zmieniają się w piaskach drobnych 0.5–5 m/d, 5–14 m/d w piaskach średnich, a w żwirach i pospółkach od 12 do 36 m/d.



Rysunek 2. Drogi infiltracji wód opadowych przez strefę aeracji w podłożu składowicy
Figure 2. Rainwater infiltration paths across the vadose zone within the repository site

Dla Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych, w kontekście śledzenia migracji ewentualnych uwolnień zanieczyszczeń, istotne znaczenie ma pierwszy poziom wodonośny utworzony na stropie glin zwałowych stadiału mazowiecko–podlaskiego na rzędnych 98–103 m n.p.m. Na rozpatrywanym obszarze nie ma on znaczenia użytkowego poziomu wodonośnego (również poniżej kryteriów wyznaczonych przez Ramową Dyrektywę Wodną 2000/60/EC w kontekście obecnego i przyszłego zaopatrzenia w wodę). Jest to poziom wód o swobodnym zwierciadle, udokumentowany kilkunastoma piezometrami oraz źródłami i wysiękami na skarpie doliny rzeki. Generalny kierunek spływu tych wód jest do Narwi. Lokalizację piezometrów, źródła i wysięku w rejonie KSOP pokazano na rysunku 1. Miąższość warstwy wodonośnej waha się od 0.5 m do maksymalnie kilku metrów. Parametry filtracyjne tej warstwy zbudowanej z pyłów, piasków drobnych i średnich są bardzo zmienne, współczynnik filtracji k waha się od 0.2 do 5.0 m/d. Pierwszy poziom wodonośny jest zasilany bezpośrednio infiltrującymi wodami opadowymi, a jego baza drenażu w rejonie KSOP jest ponad 10 m powyżej poziomu wód w Narwi. Dokumentują to pomiary położenia zwierciadła wody w piezometrach, jak i źródła oraz wysięki na skarpie doliny rzeki.

Drugi poziom wodonośny występuje na głębokości 70–80 m poniżej powierzchni terenu i jest oddzielony od pierwszego kompleksem glin zwałowych o miąższości ponad 35 m. W pobliżu składowiska ta warstwa wodonośna ma miąższość 3–8 m, a współczynnik filtracji określony badaniami wynosi około 0.1 m/d. Kompleks glin zwałowych o małej

przepuszczalności wynoszącej od 0.001 do 0.0001 m/d (1×10^{-8} – 1×10^{-9} m/s) stanowi istotną barierę ochronną przed ewentualnym przenikaniem zanieczyszczeń uwalnianych przez składowisko.

W okresie 1974–1993 na terenie składowiska i w jego otoczeniu zainstalowano 34 piezometry, z których 14 uległo zniszczeniu. Dla właściwego monitorowania wód podziemnych w czasie eksploatacji składowiska w 2004 roku wykonano 10 nowych piezometrów w otoczeniu KSOP. Obecnie na składowisku zainstalowanych jest 8 piezometrów, a 22 poza nim (rys. 1).

Ocena wyników badań monitoringowych

Zanieczyszczenie wód pierwszego poziomu izotopem trytu stwierdzono w 1989 roku. Przeprowadzone badania wykazały nadmierną koncentrację trytu (H-3) w wodach podziemnych na obszarze generalnie pokrywającym się z terenem składowiska odpadów. Od 1990 roku rejestruje się zmiany stężenia trytu i całkowitej promieniotwórczości beta w wodach pierwszego poziomu wodonośnego.

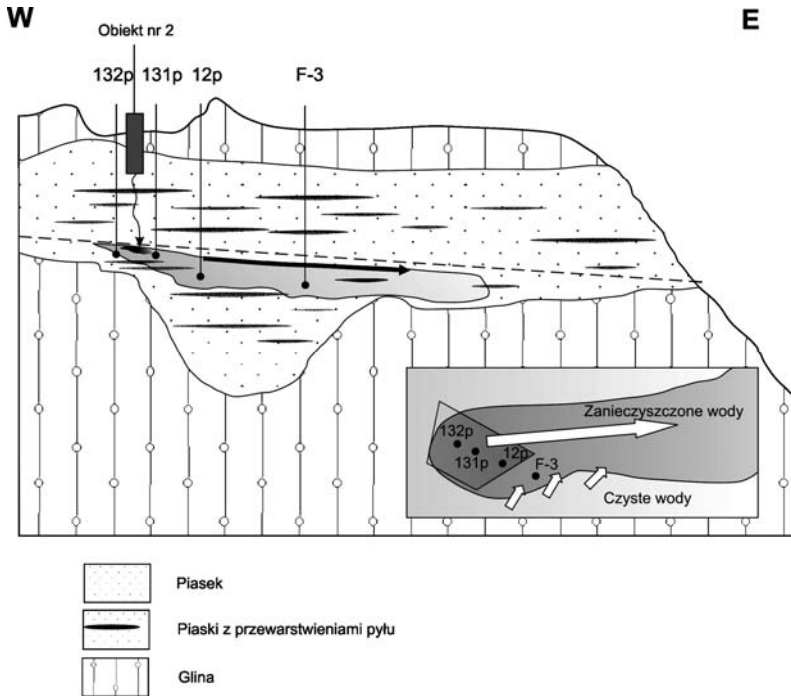
Całość zebranych danych (są przedstawiane w corocznych raportach od 1989 r. — Frankowski i in., 2006), była przedmiotem szczegółowych analiz w ramach projektu PHARE, zrealizowanego w okresie 2003–2004 (Mitrega i in., 2004; Pacey i in., 2004). Wyniki tych badań wykorzystano między innymi do szczegółowej lokalizacji nowych otworów obserwacyjnych (F-10 do F-19) w pierwszym poziomie wodonośnym.

Przy rozbudowie istniejącej sieci obserwacji wód podziemnych uwzględniono wyniki modelowania numerycznego, przy wykorzystaniu programu Bio Screen. W modelowaniu uwzględniono:

- przebieg linii prądu reprezentującej maksymalne stężenia trytu w skażonym strumieniu wody podziemnej,
- rozkład stężenia migrującego trytu w strumieniu wody podziemnej wzdłuż jego profilu pionowego.

Rejestrowane w poszczególnych piezometrach oscylacyjne zmiany stężenia trytu wiążą się z procesami uwalniania i przenoszenia ładunku trytu w strefie aeracji, jego rozcieńczenia podczas migracji w warstwie wodonośnej. Zagadnienia te zostały przeanalizowane w raportach (Mitrega i in., 2004, Pacey i in., 2004), a schemat modelu przepływu wód podziemnych przedstawiono na rysunku 3.

Rozbudowana sieć piezometrów na obszarze składowiska i w jego otoczeniu (rys. 1) pozwala na śledzenie rozprzestrzeniania trytu w wodach podziemnych. Dokładne rozpoznanie zmian stężenia trytu podczas migracji pozwoli na podniesienie wiarygodności prognoz, które będą sporządzane w ramach analizy bezpieczeństwa radiologicznego dla okresu po zamknięciu składowiska.

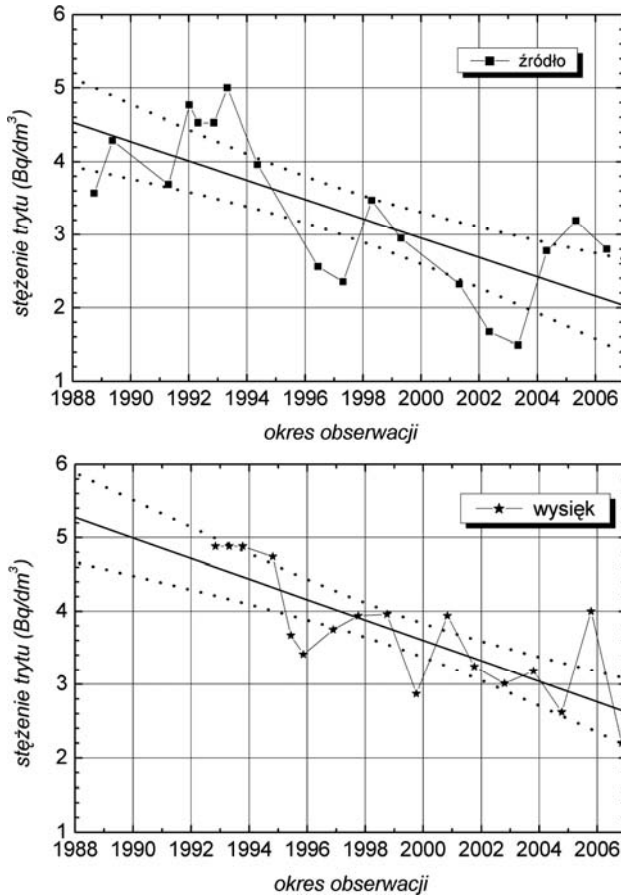


Rysunek 3. Schemat modelu przepływu wód podziemnych
Figure 3. Conceptual model of groundwater flow

Porównanie wartości stężenia trytu w próbkach wody pobranych z 10 nowych piezometrów w latach 2004–2006 z wynikami z piezometrów monitorowanych od ponad 12 lat wskazuje na to, że:

- przestrzenny układ zmian stężeń trytu zachowuje jednorodny charakter w okresie prowadzenia monitoringu,
- zasięg frontu zanieczyszczeń pozostaje stabilny a mierzone wartości aktywności trytu wykazują tendencję spadkową.

W odniesieniu do wyników z okresu 1993–1996, w którym rejestrowano najwyższe wartości stężeń trytu w wodzie z piezometrów zainstalowanych na terenie KSOP, obecnie stwierdzane aktywności trytu są na zdecydowanie niższym poziomie niż wynikałoby to z połowicznego rozpadu izotopu H-3 (Mitrega i in. 1996, Frankowski i in. 2006). Kilkunastoletnie wyniki monitoringu jednoznacznie wykazują, że skażenie wód podziemnych trytem ma niewielki zasięg poza granicami składowiska. W piezometrach położonych poza składowiskiem wartości stężenia trytu w wodzie podziemnej są poniżej wartości granicznej dla wód pitnych ($<100\text{Bq/dm}^3$). Stężenie trytu w próbkach wody pobranej ze źródła i wsięku (rys. 1) przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Zmiany stężenia trytu w źródle i wysięku na zboczu doliny Narwi
Figure 4. Changes in tritium concentration observed in spring and seepage waters discharged on slope of the Narew River valley

Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych stwierdzono, że w odległości około 200–300 metrów od ogniska skażenia występują warunki trwałej stabilności dla aktywności trytu w wodzie podziemnej, tj. podlegającego głównie zjawisku naturalnego rozpadu izotopu H-3 (Pacey i in. 2004).

Kompleksowa analiza pomiarów i badań umożliwia powiązanie niektórych zagadnień związanych z rejestrowanymi stężeniami trytu w wodzie podziemnej ze zmianami wielkości opadów, a co za tym idzie, z danymi dotyczącymi infiltracji i położenia poziomu wody podziemnej. Obserwowane zmiany związane są ze znaczną miąższością strefy aeracji i jej zróżnicowaniem litologicznym, małą wilgotnością gruntów ją budujących oraz wpływem ewapotranspiracji. Uzyskanie zależności pomiędzy stężeniami trytu w wodach podziemnych a opadami deszczu wymaga dalszych dokładnych badań, ze względu na znaczne w skali „mikro” skomplikowanie budowy geologicznej rejonu KSOP.

Podłoże składowiska charakteryzuje się:

- układem warstwowym, niejednorodnym o zmiennej granulacji utworów;
- dużym stopniem niejednorodności litologicznej strefy nienasyconej, która może powodować makrodyspersję strumienia zanieczyszczenia już w obrębie obszaru składowiska;
- występowaniem strefy saturacji o zmiennej miąższości i wykształceniu litologicznym, która wpływa bardzo znacząco na lokalny geopotencjał wodonośności i zasobności oraz kierunków przepływu.

Niejednorodność osadów glacialnych i polodowcowych jest tak duża, że może powodować zwiększoną dyspersję w obrębie strefy saturacji i aeracji. Zjawisko dyspersji powoduje zwiększenie szerokości frontu zanieczyszczenia przy jednoczesnym zmniejszeniu stężenia substancji zanieczyszczających. W tabeli 1 zestawiono wyniki stężeń trytu z punktów położonych w profilu prostopadłym do przepływu strumienia wód podziemnych i położonych w zasięgu przyjmowanej dotychczas krytycznej drogi przepływu zanieczyszczeń (rys. 1).

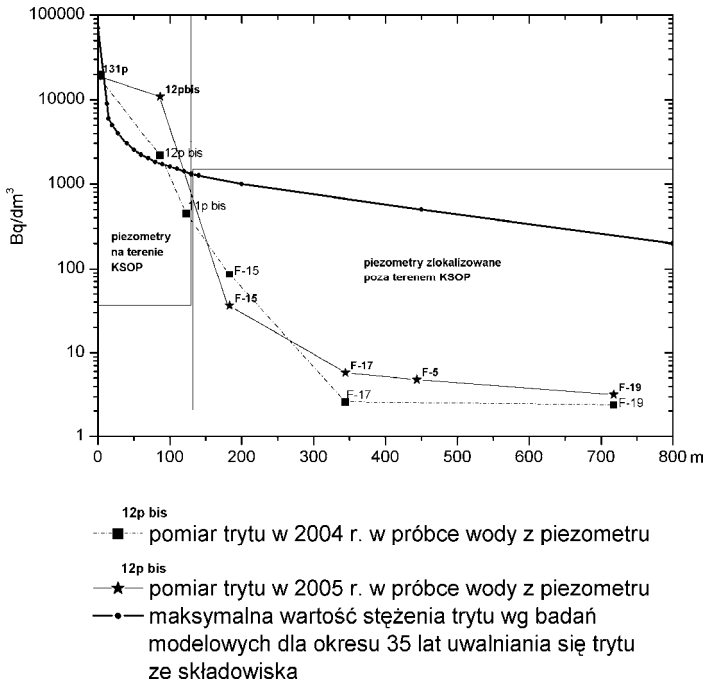
Tabela 1. Wartości aktywności H-3 w próbkach wody pobranych w 2004 roku w przekroju poprzecznym do strumienia wód podziemnych odpływających spod składowiska

Table 1. H-3 activity values (Bq/dm³) in groundwater sampled in 2004 along the transverse cross-section of outflow stream from beneath the repository

Numer piezometru	F-14	F-1	11p bis	F-16	F-2
Stężenie trytu (Bq/dm ³)	2.1	42.3	443	620	1.6

Wyniki monitoringu wskazują na poszerzenie się strumienia wód skażonych w stosunku do wielkości wyjściowej, jaką jest średnica obiektu nr 2 (prawdopodobnego ogniska zanieczyszczenia), położonego na terenie składowiska w pobliżu piezometru 131p (rys 1 i 2). Jednocześnie wyniki wskazują, że szerokość centralnej części skażonego strumienia wynosi około 80 m (odległość między piezometrami 11p bis i F-16). Strumień zanieczyszczeń jest węższy od wyznaczonej krytycznej drogi migracji (około 250m), co oznacza również mniejszy bilans ładunku skażenia w odpływających wodach podziemnych. W kontekście podłużnego profilu drogi przepływu ma to istotne znaczenie dla dalszego zmniejszania się stężeń na drodze naturalnego rozcieńczania, spowodowanego infiltracją wód opadowych i lateralnych dopływów wód podziemnych.

Przy uzyskanym z analiz zakresie rzeczywistej prędkości przepływu wody w warstwie wodonośnej rzędu 15–20 m/rok, zasięg rozprzestrzenienia zanieczyszczenia trytem powinien po 35 latach osiągnąć odległość od 540 do 720 metrów od ogniska zanieczyszczenia (obiekt nr 2). Zatem zanieczyszczenie trytem powinno już obecnie być rejestrowane we wszystkich, nawet najdalszych piezometrach, które są zlokalizowane w obrębie krytycznej drogi przepływu. Takiej sytuacji nie odnotowano do tej pory, co dowodzi istotnej roli rozcieńczania stężenia trytu, która następuje w obszarze między granicą składowiska a piezometrem F-15 (rys. 5).



Rysunek 5. Rozkład aktywności trytu wzdłuż krytycznej drogi przepływu wód podziemnych w świetle badań monitoringowych w odniesieniu do badań modelowych
Figure 5. Distribution of tritium activities along the critical flow-path in reference to monitoring and modelling results

Uwzględniając wynik analizy dotyczącej szerokości strumienia oraz warunki hydrodynamiczne można wytyczyć z dużym prawdopodobieństwem linię maksymalnych stężeń trytu wzdłuż drogi wyznaczonej piezometrami: 131p–12p bis–F-15–F-17 i F-19. Porównanie wyników z monitoringu i badań modelowych (rys. 5) wskazuje na stałą różnicę między stężeniami trytu pomierzonymi i wynikającymi z modelowania, wynoszącą około 900 Bq/dm^3 . Wyniki modelowania numerycznego, przeprowadzonego w 2004 roku (Pacey i in. 2004), przedstawiają zawyżone wartości dla aktywności H-3 w centralnej części strumienia skażonych wód, co należy tłumaczyć występowaniem skomplikowanych warunków geologicznych i hydrogeologicznych w rejonie składowiska i jego otoczenia, co już wcześniej omówiono.

Dyskusja wyników badań monitoringowych i modelowania

Powyżej opisane elementy geologiczne i właściwości hydrogeologiczne systemu górnej warstwy wodonośnej decydują o drogach krążenia wód. Ilością wody wchodzącej do obiegu sterują składniki bilansu wodnego. W świetle obserwacji i pomiarów meteorologicznych i klimatycznych z okresu 1966–1990 (Jaworski, Krupa–Marchlewska 1992), główne parametry bilansu wodnego mają następujące wartości:

- średni roczny opad atmosferyczny — 560 mm, a skorygowany — 687,8 mm;
- potencjał parowania — 706 mm;
- ewapotranspiracja (parowanie ze strefy podziemnej) — 490–509 mm (zależnie od gleby i upraw).

Średnioroczne w okresie wielolecia zasilanie wód podziemnych oszacowane na ich podstawie wynosi 20÷25 mm/rok:

- 20 mm/rok wg bilansu wodnego (200 mm/rok dostępnej wody netto, tj. skorygowane opady atmosferyczne – ewapotranspiracja pomnożona przez efektywny współczynnik infiltracji $\alpha = 0,1$);
- 25 mm/rok wg amplitudy wahań zwierciadła wody (średnia wielkość amplitudy 0,5 m/rok pomnożona przez współczynnik odsączalności wody w warstwie wodonośnej $\mu = 0,05$).

O rzeczywistej prędkości przepływu wód podziemnych, co jest równoznaczne z szybkością migracji nieinertnych zanieczyszczeń (tj. niewchodzących w reakcję z systemem gruntowym i skalnym), decydują parametry hydrauliczne warstwy wodonośnej i spadek hydrauliczny. Na podstawie czterech metod obliczeniowych i pomiarów terenowych (otworowe badania rzeczywistej prędkości przepływu metodą termiczną i jodu 131, amplitudy wahań zwierciadła wody z wielolecia, prędkości migracji trytu między otworami i z bilansu wodnego) (Mitrega i in. 1996) zakres prędkości przepływu wód podziemnych wzdłuż krytycznej drogi krążenia oszacowano na od 15 do 30 m/rok.

Opracowany model koncepcyjny (1993–1996) pierwszego poziomu wodonośnego w rejonie składowiska zakładał bardzo wolny przepływ wody podziemnej (ok. 2,5 m/rok). Tak mała prędkość wody podziemnej była uznawana za wystarczającą do wyjaśnienia zarówno rozpadu H-3, jak i oscylacji rozprzestrzeniania się strefy zanieczyszczonej izotopem H-3. Uznano, że słaboprzepuszczalne osady i małe prędkości tworzą „pułapkę” hydrogeologiczną, która skutecznie spowalnia migrację zanieczyszczeń ze składowiska. Obecnie, na podstawie systematycznie prowadzonych badań stwierdzono, że głównymi procesami prowadzącymi do redukcji skażeń H-3 w wodach podziemnych jest rozcieńczanie i makrodispersja, a poza terenem składowiska istotną rolę odgrywa także rozpad promieniotwórczy.

Szczególne znaczenie ma zjawisko makrodispersji w strefie podziemnej na terenie składowiska. Powoduje ona zamianę bardzo punktowego ogniska zanieczyszczenia na quasi przestrzenne (rys. 3). Niejednorodność litologiczną pierwszego poziomu wodonośnego i nadległej strefy aeracji potwierdzają analizy profili wierceń z terenu składowiska oraz jego otoczenia.

Rejestrowane wartości aktywności H-3 w próbkach wody z piezometrów na terenie składowiska, zwłaszcza 131p, 12p bis i 11p bis, wskazują na reżim nieustalony, spowodowany wpływem sezonowych i rocznych wahań wielkości zasilania wód podziemnych. Zmienność różnicy między wartością skorygowanego opadu i rzeczywistej ewapotranspiracji wyniosła w skali rocznej w okresie 1966–1990 (Jaworski, Krupa–Marchlewska, 1992) od – 50 do + 400 mm, a nadto corocznie miała wartość ujemną w okresie wegeta-

cyjnym. Wartości ujemne wskazują na całkowity brak zasilania wód podziemnych, czyli na radykalne ograniczenie dopływu wody do źródła trytu.

Aktualna zawartość trytu w opadach atmosferycznych może mieć wpływ na wody podziemne w rejonach, gdzie występowanie trytu ma charakter naturalny. Wahania i przestrzenna zmienność sezonowych i rocznych wartości stężenia trytu są uzależnione od lokalnych warunków, z których najistotniejsze to:

- - czas migracji od powierzchni terenu do zwierciadła wody,
- - litologia strefy kapilarnej,
- - pojemność warstwy wodonośnej.

Znaczna miąższość strefy kapilarnej towarzysząca utworom drobnoziarnistym (piaski drobne i pylaste) może znacząco wiązać i opóźniać dopływ wody do warstwy wodonośnej, zwłaszcza podczas następujących po sobie latach suchych (bardzo mała infiltracja lub nawet jej brak). W takim przypadku, mała miąższość warstwy wodonośnej sprzyja bardziej widocznym zmianom stężenia trytu podczas pojawienia się okresu o istotnie zwiększonej infiltracji.

Lokalne warunki dla infiltracji (przepuszczalność nadkładu i morfologia powierzchni terenu), wartość aktualnej w danym roku infiltracji jako wypadkowej różnicy między opadem a rzeczywistą ewapotranspiracją oraz warunki przepływu dla wód infiltrujących (obecność stref kapilarnych) mogą być wytłumaczeniem zróżnicowania rejestrowanych aktywności H-3 w poszczególnych punktach obserwacyjnych.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki uzyskane z ponad 15-letnich systematycznych badań monitoringowych obejmujących między innymi zagadnienia hydrogeologiczne i zanieczyszczenie izotopem H-3 pierwszego poziomu wodonośnego. Przestrzenne występowanie zanieczyszczenia i okresowe zmiany stężenia trytu w wodzie podziemnej są od 1989 roku przedmiotem badań i analiz. Celem prowadzonych badań jest opracowanie prognozy potencjalnego rozprzestrzenienia się nisko-radioaktywnych, długo-życiowych radionuklidów po zamknięciu składowiska i po rozpadzie jego konstrukcji budowlanych stanowiących obecnie struktury izolujące odpady od środowiska zewnętrznego. Zgodnie z międzynarodowymi aktami prawnymi wymagane jest zapewnienie braku negatywnego oddziaływania składowiska przez 10 000 lat po zamknięciu.

Z przeprowadzonych analiz uwzględniających wyniki badań modelowych wykonanych w ramach projektu PHARE: EuropeAid/114870/D/SV/PL wynikają następujące wnioski:

- Wyniki monitoringu wskazują, że zanieczyszczenie wód podziemnych trytem ograniczone jest generalnie do obszaru składowiska. Jedynie w niektórych latach granica strefy zanieczyszczonej przesuwa się nieznacznie poza obręb składowiska.
- Sieć monitoringu wód podziemnych jest reprezentatywna i umożliwia śledzenie strumienia migrujących ze składowiska zanieczyszczeń izotopem H-3. Szerokość strumienia zanieczyszczonych wód wynosi około 80 m.

- Różnice między wartościami stężeń izotopu H-3 pomierzonymi w wodach podziemnych a obliczonymi badaniami modelowymi wynoszą około 900 Bq/dm^3 . Wskazuje to na istotny wpływ różnych dodatkowych czynników na migrację zanieczyszczeń. Do czynników mających znaczny wpływ należy zaliczyć: niejednorodność strefy aeracji, występowanie strefy kapilarnej, sezonowe i roczne zmiany wartości infiltracji wód opadowych, zróżnicowanie miąższości warstwy wodonośnej i jej wodoprzewodność.

Literatura

- Frankowski Z., Mitrega J., Lewkowicz M., Gałkowski P., 2006: *Badania wybranych elementów środowiska na terenie i wokół Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych Różan*, Arch. ZUOP, str. 21.
- Jaworski J., Krupa-Marchlewska J., 1992: *Ocena sezonowej zmienności parowania potencjalnego i ewapotranspiracji w rejonie Różana w latach 1966–1990*. Arch. ARCHET, str. 29.
- Mitrega J., Frankowski Z., Gawin A., Pachla J., Śmiateński L., 1996: *Analiza i badania bezpieczeństwa KSOP-Różan dla etapu ostatecznego zamknięcia obiektu*. Arch. IEA, Otwock–Świerk, str. 34.
- Mitrega J., Pacey N., Śmiateński L., Thomson G., Watson S., 2004: „*Improving the Storage Conditions and Closure of the Różan Radioactive Waste Repository*”: *EuropeAid/114870/D/SV/PL, Task 4 Report: Analysis of the Variations of Tritium Concentrations in Groundwater*, Arch. ZUOP, Otwock–Świerk, pp. 79.
- Pacey N., Buckley M., Thomson G., Frankowski Z., Gerchikov M., Miller W., Mitrega J., Dutton L.M.C., 2004: *Long Term Monitoring; Task 6 Report, EuropeAid/114870/D/SV/PL: „Improving the Storage Conditions and Closure of the Różan Radioactive Waste Repository”*, Arch. ZUOP, Otwock–Świerk, pp. 61.
- The Critical Path in Developing Low-Level Radioactive Waste Disposal Facilities*, DOE/LLW-64T, US Dept. of Energy, EGEG Idaho, Inc. 1987.