

## WARUNKI MIGRACJI ZANIECZYSZCZEŃ W PODŁOŻU SKŁADOWISKA „LIPINY STARE”

Hanna Złotoszewska-Niedziałek

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

**Streszczenie.** Jednym z ważniejszych kryteriów oceny zagrożenia wód podziemnych przez powierzchniowe źródło zanieczyszczeń (np. składowisko odpadów) jest czas pionowej migracji substancji zanieczyszczającej od potencjalnego ogniska do wód podziemnych. Proces ten warunkują następujące czynniki: litologia i miąższość utworów, głębokość do zwierciadła wody, wielkość infiltracji i stężenie odcieków. W artykule określono wpływ poszczególnych czynników na transfer zanieczyszczeń, stosując badania terenowe i metodę modelowania numerycznego. Metodę taką przyjęto, analizując składowisko odpadów komunalnych „Lipiny Stare” zlokalizowane na obszarze wysoczyzny w obrębie Równiny Wołomińskiej.

**Słowa kluczowe:** warunki hydrogeologiczne, składowisko odpadów, migracja zanieczyszczeń, wody podziemne, obliczenia numeryczne

### WSTĘP

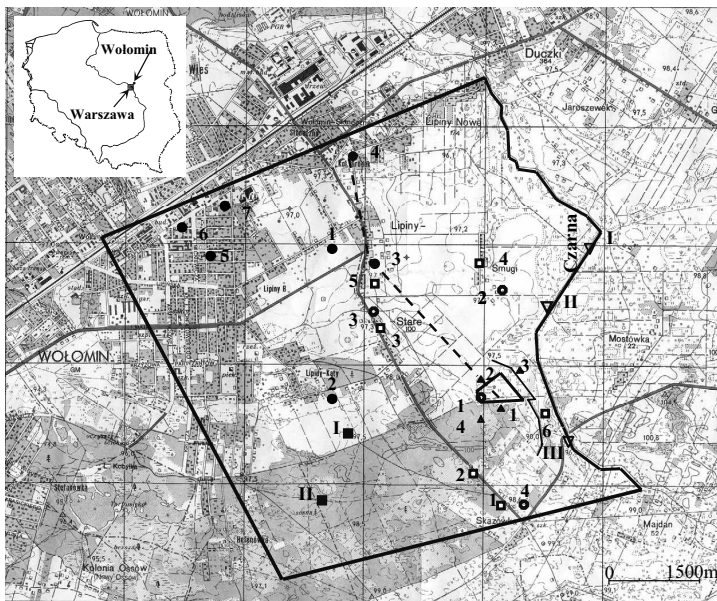
Zasięg przestrzenny zagrożenia jakości wód podziemnych przez powierzchniowe źródło zanieczyszczeń (np. składowisko odpadów komunalnych) wiąże się z warunkami przenikania fazy ciekłej oraz rodzajem i ilością odcieków. Każda substancja zanieczyszczająca może w określonych warunkach migrować w sposób zróżnicowany, a właściwa ocena tej migracji bez odpowiednich badań terenowych jest praktycznie niemożliwa.

Dlatego w praktyce prognoza stopnia zagrożenia wód podziemnych przez powierzchniowe ognisko polega na ocenie zdolności izolacyjnych nadkładu w zależności od miąższości i litologii utworów. Dotychczas przyjmowano, że rolę bariery geologicznej pełnić mogą kompleksy litologiczne o różnych wzajemnych relacjach pomiędzy miąższością i przepuszczalnością warstw [Kleczkowski i in. 1984, Witczak i Żurek 1994].

Obecnie, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z marca 2003 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny podlegać poszczególne typy składowisk odpadów (DzU nr 61, poz. 549), miąższość bariery geologicznej dla składowisk innych niż niebezpieczne i obojętne powinna wynosić nie mniej niż 1 m, a jej współczynnik filtracji  $\leq 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Tempo rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń zależy od warunków hydrodynamicznych, tj. położenia zwierciadła wody i jego zmian, warunków zasilania poziomu wodonośnego (infiltracja opadów, wód powierzchniowych, przesączanie, okna hydrogeologiczne), prędkości przepływu strumienia filtracji, odległości ujęć od ogniska zanieczyszczeń.

Przegląd literatury poświęconej temu zagadnieniu wskazuje, że jednym z ważniejszych kryteriów oceny zagrożenia wód podziemnych jest czas pionowej migracji substancji zanieczyszczającej od potencjalnego ogniska do wód podziemnych [Kleczkowski i in. 1991, Witczak i Żurek 1994]. Proces ten warunkują następujące czynniki: litologia i miąższość utworów, głębokość do zwierciadła wody, wielkość infiltracji i stężenie odcieków. W artykule określono wpływ poszczególnych czynników na transfer zanieczyszczeń, stosując badania terenowe i metodę modelowania numerycznego. Metodę taką przyjęto, analizując składowisko odpadów komunalnych „Lipiny Stare”, zlokalizowane na obszarze wysoczyzny, w obrębie Równiny Wołomińskiej (rys. 1).



Objaśnienia: ● – wiercenie archiwalne, □ – punkt pomiaru zwierciadła wody podziemnej, ▲ – piezometr, ▽ – punkt pomiaru zwierciadła wody w rzece, ■ – ujęcie wody podziemnej, ○ – punkt poboru próbki wody do analizy fizykochemicznej, ----- linia przekroju hydrogeologicznego, △ – składowisko odpadów komunalnych

Explanations: ● – borehole, □ – point of measurement groundwater, ▲ – piezometer, ▽ – point of measurement water table in the Czarna River, ■ – groundwater intake, ○ – sampling point (groundwater), ----- line of hydrogeological cross-section, △ – landfillsite

Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań i punktów badawczych w rejonie składowiska „Lipiny Stare”  
Fig. 1. Location of the points in the vicinity of the Lipiny Stare landfill site

## CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań jest identyfikacja czynników decydujących o rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń oraz ocena ich wpływu na tempo przepływu w typowych warunkach gruntowo-wodnych występujących na obszarze Niziny Mazowieckiej. W ramach programu badawczego ustalono model krążenia wód podziemnych w określonych warunkach hydrogeologicznych, przeprowadzono obliczenia numeryczne przepływu i związanego z nim transportu zanieczyszczeń oraz ocenę wpływu parametrów (czynników) środowiska gruntowo-wodnego na tempo rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń.

Rozwiązanie postawionego celu przedstawiono na przykładzie obiektu zlokalizowanego w gminie Wołomin w miejscowości Lipiny Stare (województwo mazowieckie). Składowisko znajduje się na obszarze nieużytków, na wysoczyźnie polodowcowej – Równinie Wołomińskiej, która w rejonie składowiska rozcięta jest doliną rzeki Czarnej. Jest to składowisko nadpoziomowe o powierzchni 5 ha, wysokość korpusu wynosi 10–12 m n.p.t. Obiekt był eksploatowany od 1975 roku, obecnie trwają prace rekultywacyjne. Jego lokalizacja nie została poprzedzona badaniami geologicznymi, hydrogeologicznymi czy geotechnicznymi. Obiekt nie ma zabezpieczeń technicznych, spełniających wymagania ochrony środowiska.

## METODYKA BADAŃ

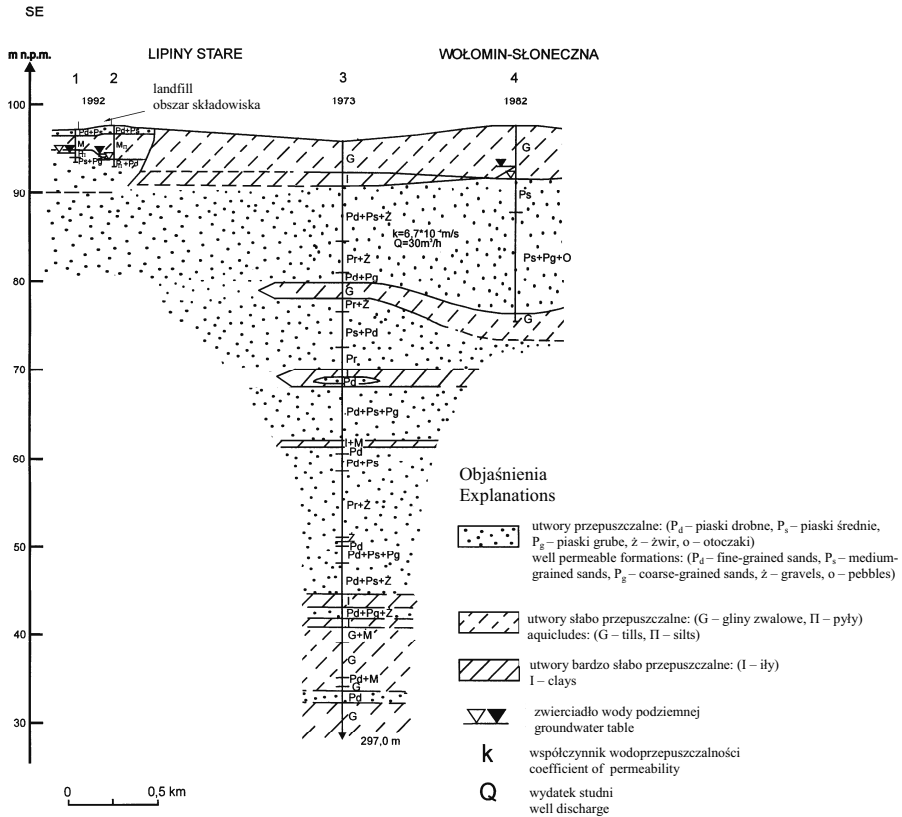
Rozwiązanie postawionego zadania badawczego oparto na analizie materiałów archiwalnych, badaniach terenowych, laboratoryjnych i obliczeniach numerycznych przepływu i związanego z nim transportu zanieczyszczeń.

### Charakterystyka terenu badań

W rejonie składowiska Lipiny Stare w strefie przypowierzchniowej występują osady przepuszczalne wykształcone w postaci piasków drobnoziarnistych z cienkimi przewarstwieniami piasków średnioziarnistych, których całkowita miąższość waha się od kilkudziesięciu centymetrów do 1,5 m. Poniżej leżą osady słabo przepuszczalne: glina piaszczysta, mułki, których miąższość waha się od 1,5 do 2 m. Pod osadami słabo przepuszczalnymi występuje pierwszy poziom wodonośny w obrębie wysoczyzny (rys. 2). Tworzą go piaski i żwiry wodnolodowcowe i rzeczne z okresu zlodowaceń środkowopolskich o miąższości średnio 10–15 m. Wartość współczynnika filtracji tych utworów waha się od 3,1 do  $6,6 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , wydatki pojedynczych otworów eksploatacyjnych wynoszą od 45 do  $90 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , wydatki jednostkowe są rzędu  $8,5\text{--}22,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  na 1 m depresji [materiały archiwalne PIG].

Zwierciadło wody ma charakter naporowy lub lokalnie swobodny, w zależności od rodzaju osadów izolujących go od powierzchni terenu, i występuje na głębokości średnio od 2,5 do 3,5 m p.p.t. [Złotoszewska-Niedziałek 2004]. Zasilanie wód podziemnych odbywa się na drodze infiltracji opadów atmosferycznych, poprzez przesączanie, jak też lateralny dopływ z obszarów sąsiednich.

Poniżej pierwszego poziomu wodonośnego występuje glina zwałowa, pyły i ily o miąższości średnio 2–4 m. Osady te nie tworzą ciągłej warstwy, miejscami występują



Rys. 2. Przekrój hydrogeologiczny przez wysoczyzę w rejonie składowiska „Lipiny Stare”

Fig. 2. Hydrogeological cross-section through the plateau in the vicinity of the Lipiny Stare site

w niej przerwy erozyjne, które umożliwiają kontakt hydrauliczny pomiędzy wodami pierwszego i drugiego poziomu wodonośnego (np. rejon ujęcia dla miasta Wołomin).

Drugi poziom wodonośny budują osady interglacjału wielkiego, występujące na głębokości od 20 do 30 m p.p.t., których miąższość waha się od 15 do 30 m. Utwory budujące drugi poziom wodonośny charakteryzują się wartościami współczynnika wodoprzepuszczalności  $k = 2-3 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Wydatek pojedynczych otworów eksploatacyjnych waha się od 36 do 108  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , wydatki jednostkowe wynoszą od 9 do 30  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  na 1 m depresji. Wody podziemne płyną z południowego-wschodu na północny-zachód [Atlas hydrogeologiczny 1995].

### Badania terenowe i laboratoryjne

Zakres badań terenowych obejmował: kilkukrotne pomiary położenia zwierciadła wody w studniach gospodarskich, piezometrach, rzece Czarnej oraz pobór próbek wody do badań analitycznych. W czasie prac terenowych wykonano wiercenia, których celem

było między innymi określenie kontaktu hydraulicznego strefy korytowej rzeki Czarnej z wodami podziemnymi obszaru przyległego do doliny-wysoczyzny

Badania laboratoryjne obejmowały oznaczenie wskaźników fizykochemicznych wód podziemnych i powierzchniowych. Wyniki analiz stanowiły podstawę dla oceny jakości wód i ich zmiany w czasie i przestrzeni w rejonie wyróżnionego poligonu badawczego. Na podstawie danych archiwalnych oraz badań własnych stwierdzono, że wody podziemne w omawianym rejonie zawierają makroskładniki i mikroskładniki w ilościach świadczących o ich antropogenicznym zanieczyszczeniu [Złotoszewska-Niedziałek 2004]. Lokalizację poligonu badawczego przedstawiono na rysunku 1.

### **Obliczenia numeryczne przepływu wody podziemnej i transportu zanieczyszczeń**

Skuteczność ochrony wód podziemnych zależy w znacznej mierze od trafności prognoz opisujących procesy migracji zanieczyszczeń [Małecki i in. 2006].

Rozwiązanie postawionego w pracy zadania badawczego wymagało zastosowania metody modelowania numerycznego. Do obliczeń numerycznych przepływu wody i transportu masy użyto programu FEMWATER, który rozwiązuje trójwymiarowe, zmodyfikowane równanie Richardsa dla przepływu wód podziemnych metodą elementów skończonych (MES) oraz równanie transportu masy z zastosowaniem hybrydowej metody elementów skończonych Lagrange'a-Eulera [Lin Hsin-Chi i in. 1996]. Równania te stanowią opis przemieszczania się zanieczyszczeń w zdefiniowanych warunkach początkowych i brzegowych.

Obliczenia numeryczne przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie wykonano obliczenia dla przepływu wód podziemnych i transportu masy, których celem było odwzorowanie systemu krążenia wód podziemnych oraz analiza zmienności w czasie i przestrzeni koncentracji zanieczyszczeń (chlorków) w rejonie poligonu badawczego.

W drugim etapie przeprowadzono szereg symulacji, których celem było określenie wpływu czynników środowiska, które decydują o tempie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń oraz stwarzają podstawę do prognozowania przebiegu procesu ich migracji w środowisku gruntowo-wodnym, przeprowadzono obliczenia numeryczne dla przepływu i transportu masy.

Z uwagi na charakter zanieczyszczeń można było założyć, że dopływające do środowiska wodno-gruntowego zanieczyszczenia gęstość i lepkość mają zbliżoną do wody podziemnej, co nie zmienia charakteru jej przepływu. Zanieczyszczenia spełniające te warunki nazywane są biernymi (pasywnymi).

Założono również, że zanieczyszczenia są stabilne (konserwatywne). Jako wskaźnik zanieczyszczenia przyjęto chlorki. Jest to wskaźnik szybko i bezpośrednio reagujący na antropopresję, nie podlega przebudowie podczas migracji wodnej, w znikomym stopniu jest sorbowany lub wytrącany z wód podziemnych [Macioszczyk i Dobrzyński 2002]. Podwyższenie ich stężeń w stosunku do tła hydrochemicznego należy traktować jako jeden z podstawowych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych.

## WYNIKI OBLICZEŃ I ICH ANALIZA

Koncepcyjny model hydrogeologiczny, będący podstawą modelu numerycznego, opracowany został na podstawie stanu rozpoznania hydrogeologicznego. Jako podstawę warunków krążenia przyjęto istnienie dwóch warstw wodonośnych (jednorodnych i izotropowych) przedzielonych osadami słabo przepuszczalnymi. Utwory te nie tworzą ciągłego kompleksu w rejonie ujęcia wody dla miasta i dlatego istnieje kontakt hydrauliczny między warstwami wodonośnymi.

W obliczeniach przyjęto, że istnieje stały dopływ interpretowany jako strumień zasilania infiltracyjnego przy znanym rozkładzie ciśnień i parametrów ośrodka. Symulację przeprowadzono przy założeniu średniego opadu  $573 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$  oraz wskaźnika infiltracji: 0,05 dla obszaru, gdzie na powierzchni występuje glina zwałowa, oraz 0,2 w rejonie zalegania utworów piaszczystych. Przepływ odbywa się w warunkach ustalonej eksploatacji ujęcia wody dla miasta Wołomin:  $Q_I = 210 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ,  $Q_{II} = 90 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Wielkość infiltracji odcieków wynosi  $I = 0,00031 \text{ m}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$  (wskaźnik zagęszczenia odpadów 0,2), a ich stężenie  $C = 6000 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

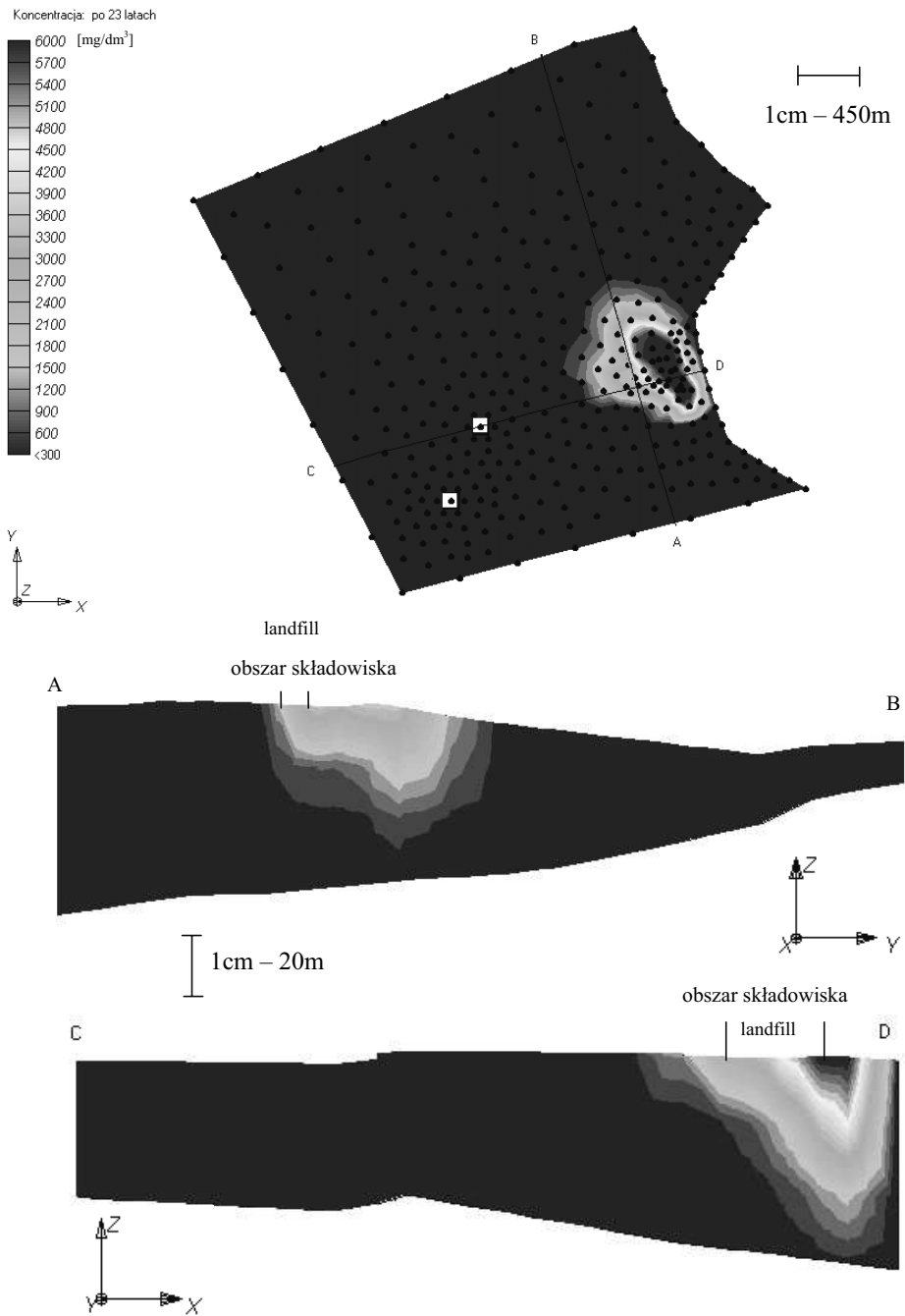
W procedurze identyfikacji numerycznej uzyskano dużą zgodność pomiędzy obliczonymi wartościami wysokości hydraulicznej a wynikami pomiarów zwierciadła wody podziemnej uzyskanymi z badań terenowych oraz aktualnymi danymi dotyczącymi eksploatacji ujęcia w Wołominie. W rejonie składowiska „Lipiny Stare” zwierciadło wody podziemnej układa się na wysokości około 95,0–95,5 m n.p.m. Przepływ wód podziemnych jest w kierunku północno-zachodnim. Prędkość przepływu wód podziemnych jest mała i zawiera się w przedziale 0,012 do 0,05  $\text{m}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ , wartość gradientu hydraulicznego waha się od 0,0009 do 0,003.

Pomimo wprowadzenia założeń upraszczających (transport adwekcyjny) uzyskano rozkład przestrzenny koncentracji wskaźnika zanieczyszczeń zbliżony do rzeczywistego (rys. 3). W piezometrach, w których pobrano próbki wody do analizy fizykochemicznej, różnica między wartościami obliczonymi a zmierzonymi wynosiła około  $10 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  (co stanowi od 0,8 do 3% całkowitej zawartości chlorków).

W drugim etapie obliczeń przeprowadzono analizę wybranych czynników, tj. miąższości i litologii utworów występujących w podłożu składowiska oraz wielkości infiltracji i stężenia odcieków, które decydują o tempie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń oraz stwarzają podstawę dla prognozowania przebiegu ich migracji.

Zmienność parametrów przyjętych do symulacji: całkowitą miąższość warstw, współczynnik filtracji warstw występujących w podłożu składowiska, ilość i stężenie odcieków, oraz wyniki obliczeń przedstawiono w tabelach 1 i 2.

Wzrost o 18% (0,30 m) miąższości warstwy słabo przepuszczalnej powoduje prawie o 100% (2-krotne) wydłużenie czasu migracji substancji konserwatywnej od ogniska zanieczyszczeń do wód podziemnych. Z obliczeń numerycznych wynika też, że 10-krotne zmniejszenie współczynnika filtracji utworów słabo przepuszczalnych powoduje wydłużenie czasu dotarcia zanieczyszczeń od 50 do 60%. Dwukrotne zmniejszenie infiltracji powoduje wydłużenie czasu dotarcia zanieczyszczeń do środowiska wód podziemnych od 50 do 60%.



Rys. 3. Rozkład zanieczyszczeń w czasie i przestrzeni w rejonie składowiska „Lipiny Stare”  
 Fig. 3. Distribution of pollutants (chlorides) in the time and space in the vicinity of the Lipiny Stare landfill site

Tabela 1. Wpływ miąższości litologii utworów występujących w podłożu składowiska na czas dotarcia zanieczyszczeń ( $C = 600 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) przy różnej infiltracji ( $I = 0,00031$  i  $0,00015 \text{ m}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ ) do wód podziemnych

Table 1. Influence of thickness and lithology of deposits from the landfill basement on the time taken for pollutants ( $C = 6000 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) to reach the groundwater, at different infiltration values

Miąższość Thickness [m]	Współczynnik filtracji Filtration coefficient [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Czas dotarcia zanieczyszczeń [lata] Reaching time [years]	
		$I = 0,00031$ [ $\text{m}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ ]	$I = 0,00015$ [ $\text{m}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ ]
$m_1 = 0,8$	$k_1 = 2,7\cdot 10^{-4}; k_2 = 1\cdot 10^{-7}$	0,8	1,3
$m_2 = 1,7$	$k_1 = 2,7\cdot 10^{-4}; k_2 = 1\cdot 10^{-8}$	1,3	1,9
$m_1 = 0,8$	$k_1 = 2,7\cdot 10^{-4}; k_2 = 1\cdot 10^{-7}$	1,5	2,4
$m_2 = 2,0$	$k_1 = 2,7\cdot 10^{-4}; k_2 = 1\cdot 10^{-8}$	2,6	3,7

Tabela 2. Wpływ miąższości miąższość litologii utworów występujących w podłożu składowiska na czas dotarcia zanieczyszczeń ( $C = 1000 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) przy różnej infiltracji ( $I = 0,00031$  i  $0,00015 \text{ m}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ ) do wód podziemnych

Table 2. Influence of thickness and lithology of deposits from the landfill basement on the time taken for pollutants ( $C = 1000 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) to reach the groundwater, at different infiltration values

Miąższość Thickness [m]	Współczynnik filtracji Filtration coefficient [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	Czas dotarcia zanieczyszczeń [lata] Reaching time [years]	
		$I = 0,00031$ [ $\text{m}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ ]	$I = 0,00015$ [ $\text{m}\cdot 24 \text{ h}^{-1}$ ]
$m_1 = 0,8$	$k_1 = 2,7\cdot 10^{-4}; k_2 = 1\cdot 10^{-7}$	2,3	3,4
$m_2 = 1,7$	$k_1 = 2,7\cdot 10^{-4}; k_2 = 1\cdot 10^{-8}$	3,1	5,4
$m_1 = 0,8$	$k_1 = 2,7\cdot 10^{-4}; k_2 = 1\cdot 10^{-7}$	3,6	5,7
$m_2 = 2,0$	$k_1 = 2,7\cdot 10^{-4}; k_2 = 1\cdot 10^{-8}$	5,7	8,5

Z obliczeń numerycznych wynika (przy założeniu  $C = 1000 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ), że wzrost o 0,30 m miąższości warstwy słabo przepuszczalnej powoduje ponad 1,5-krotne wydłużenie czasu migracji substancji konserwatywnej od ogniska zanieczyszczeń do zwierciadła wód podziemnych; 10-krotne zmniejszenie współczynnika filtracji osadów słabo przepuszczalnych powoduje, że czas dotarcia zanieczyszczeń wydłuża się od 60 do 70%; 2-krotne zmniejszenie infiltracji odcieków powoduje 1,6-krotne wydłużenie czasu migracji.

Z obliczeń numerycznych wynika, że 6-krotne zmniejszenie stężenia zanieczyszczeń powoduje średnio 2,7-krotne wydłużenie czasu dotarcia zanieczyszczeń do zwierciadła wody podziemnej.

Analiza wyników obliczeń numerycznych potwierdza przyjęte założenie, że przebieg procesu zanieczyszczeń zależy od czynników gruntowo-wodnych, występujących w podłożu składowiska, jednakże o różnym stopniu ich wpływu na czas dotarcia masy do środowiska wód podziemnych w zależności od warunków lokalnych.



## WNIOSKI

Analiza wyników obliczeń numerycznych pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Przebieg procesu przemieszczania zanieczyszczeń w gruncie w sąsiedztwie składowisk odpadów może być modelowany przy użyciu równania przepływu Richardsa oraz równań transportu masy. Potwierdza to zbieżność wyników symulacji komputerowej z obrazem uzyskanym na podstawie obserwacji terenowych.

2. Przeprowadzone obliczenia potwierdziły, że w przypadku podłoża składowiska zbudowanego z utworów przepuszczalnych, poniżej których leżą osady słabo przepuszczalne, czynnikiem mającym wpływ na czas dotarcia zanieczyszczeń do warstwy wodonośnej jest miąższość utworów słabo przepuszczalnych. Wzrost o 0,30 m miąższości warstwy słabo przepuszczalnej powoduje od ponad 50 do prawie 100% wydłużenie czasu migracji substancji konserwatywnej od ogniska zanieczyszczeń do zwierciadła wód podziemnych.

3. Dla wyżej wymienionych warunków lokalnych dwukrotne zmniejszenie infiltracji powoduje od 50 do 70% wydłużenie czasu dotarcia zanieczyszczeń do środowiska wód podziemnych.

4. Z przeprowadzonych obliczeń numerycznych wynika, że kolejnym czynnikiem, mającym wpływ na czas dotarcia zanieczyszczeń do środowiska wód podziemnych, jest stężenie odcieków, bowiem 6-krotne zwiększenie stężenia zanieczyszczeń powoduje średnio 2,7-krotne skrócenie czasu dotarcia zanieczyszczeń do zwierciadła wody podziemnej.

## PIŚMIENNICTWO

- Atlas hydrogeologiczny Polski 1 : 500 000. Część II. Zasoby, jakość i ochrona zwykłych wód podziemnych, 1995. Red. B. Paczyński. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Kleczkowski A. i in., 1984. Ochrona wód podziemnych. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Kleczkowski A., Paczyński B., Płochniewski Z., Witczak S., 1991. Koncepcje ochrony zbiorników i poziomów wód podziemnych w świetle dotychczasowych badań. W: Ochrona wód podziemnych w Polsce. Stan i kierunki CPBP. 04.10.09. Zeszyt 56. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa, 91–98.
- Lin Hsin-Chi J., Yeh Gour-Tsyh., Cheng Jing-Ru., Cheng Hwai-Ping., Jones N.L. & Richards D.R., 1996. Femwater: A three-dimensional finite element computer model for simulating density dependent flow and transport.
- Macioszczyk A., Dobrzyński D., 2002. Hydrogeochemia, strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- Małecki J. i in., 2006. Wyznaczanie parametrów migracji zanieczyszczeń w ośrodku porowatym dla potrzeb badań hydrogeologicznych i ochrony środowiska. Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Warszawa.
- Materiały archiwalne Państwowego Instytutu Geologicznego w Warszawie.
- Rozporządzenia Ministra Środowiska z marca 2003 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny podlegać poszczególne typy składowisk odpadów (DzU nr 61, poz. 549).

- Witczak S., Żurek A., 1994. Wykorzystanie map glebowo-rolniczych w ocenie ochronnej roli gleb dla wód podziemnych. W: Metodyczne podstawy ochrony wód podziemnych. Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Złotoszewska-Niedziałek H., 2004a. Analysis of the degree of hazards posed on surfach water quality in the vicinity of a landfill site. EU GeoEnvNet Seminar: Geoenvironmental Engineering – Transfer of Knowledge and Eu’s Direktyves to Newly Associated States, Warszawa.
- Złotoszewska-Niedziałek H., 2004b. Influence of soil-water conditions on the migration of pollutants in the vicinity of municipal landfill sites. *Acta Geologica Polonica* 54, 3, 413–432.

### **CONDITIONS OF THE POLLUTANTS MIGRATION IN THE BASEMENT OF THE LANDFILL SITE “LIPINY STARE”**

**Abstract.** The time taken for a pollutant to migrate from the potential source (landfill site) to the groundwater reservoir is one of the main criteria in evaluating groundwater hazards. This process depends on the lithology and thickness of the deposits forming the basement of the landfill site as well as on the depth to the groundwater table, infiltration and the concentration of effluents. The paper focuses on the analysis of the influence of particular factors on the transport of pollution, based on field analyses and numeric modeling. The problem was solved in example of municipal waste landfill “Lipiny Stare”.

**Key words:** hydrogeological conditions, landfill site, migration of pollutants, numeric calculations

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.07.2007