

WYKORZYSTANIE MODELOWANIA NUMERYCZNEGO W PROJEKTOWANIU BARIERY OCHRONNEJ NA PRZEDPOLU SKŁADOWISKA ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH

APPLICATION OF NUMERICAL MODEL OF GROUNDWATER FLOW IN DESIGNING THE DRAINAGE WELLS BARRIER IN THE VICINITY OF THE INDUSTRIAL WASTE LANDFILL

MARIUSZ MAĐRALA¹, MIROSŁAW WĄSIK¹

Abstrakt. Badania modelowe zostały wykonane w celu zaprojektowania szczelnej bariery studni drenażowych na przedpolu składowiska odpadów przemysłowych. Wykonane symulacje pokazały, że wystarczająca dla zapewnienia szczelności bariery jest budowa 8 studni drenażowych o łącznej wydajności 405 m³/d, zlokalizowanych na odcinku 700 m.

Słowa kluczowe: składowisko odpadów, migracja zanieczyszczeń, bariera studni drenażowych, model hydrodynamiczny.

Abstract. This article presents practical application of numerical model of ground water flow in designing the drainage wells barrier and assessing its effectiveness in protecting groundwater in the vicinity of the industrial waste landfill. Results of numerical simulation indicate that is sufficient to perform the 8 drainage wells along the 700 m distance and total groundwater discharge 405 m³/24h.

Key words: landfill, dewatering barrier, groundwater pollution flow, flow modelling.

WSTĘP

Podstawowym narzędziem służącym do projektowania i oceny skuteczności zabezpieczenia przed migracją zanieczyszczeń ze składowisk odpadów jest metoda numerycznego modelowania filtracji. Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań modelowych oraz symulacji wykonanych w celu zaprojektowania bariery studni drenażowych na przedpolu składowiska odpadów przemysłowych zlokalizowanego w zlewni rzeki Lutynia. Zespół studni odwodnieniowych został zaprojektowany na południowym przedpolu składowiska odpadów (fig. 1). Bariera studni ma za zadanie

powstrzymać migrację zanieczyszczeń ze składowiska w postaci odcieków do pierwszej warstwy wodonośnej, z której woda jest bezpośrednio drenowana przez Lutynię. W celu uzupełnienia informacji hydrogeologicznych w badanym obszarze odwiercone zostały 4 otwory rozpoznawcze oraz wykonano 4 ciągi sondowań geoelektrycznych (fig. 1). W wykonanych otworach wyznaczono współczynniki filtracji metodą zalewania. Do badań modelowych wykorzystany został program Visual Modflow.

¹ Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław; e-mail: mariusz.madralla@ing.uni.wroc.pl; mirosław.wasik@ing.uni.wroc.pl

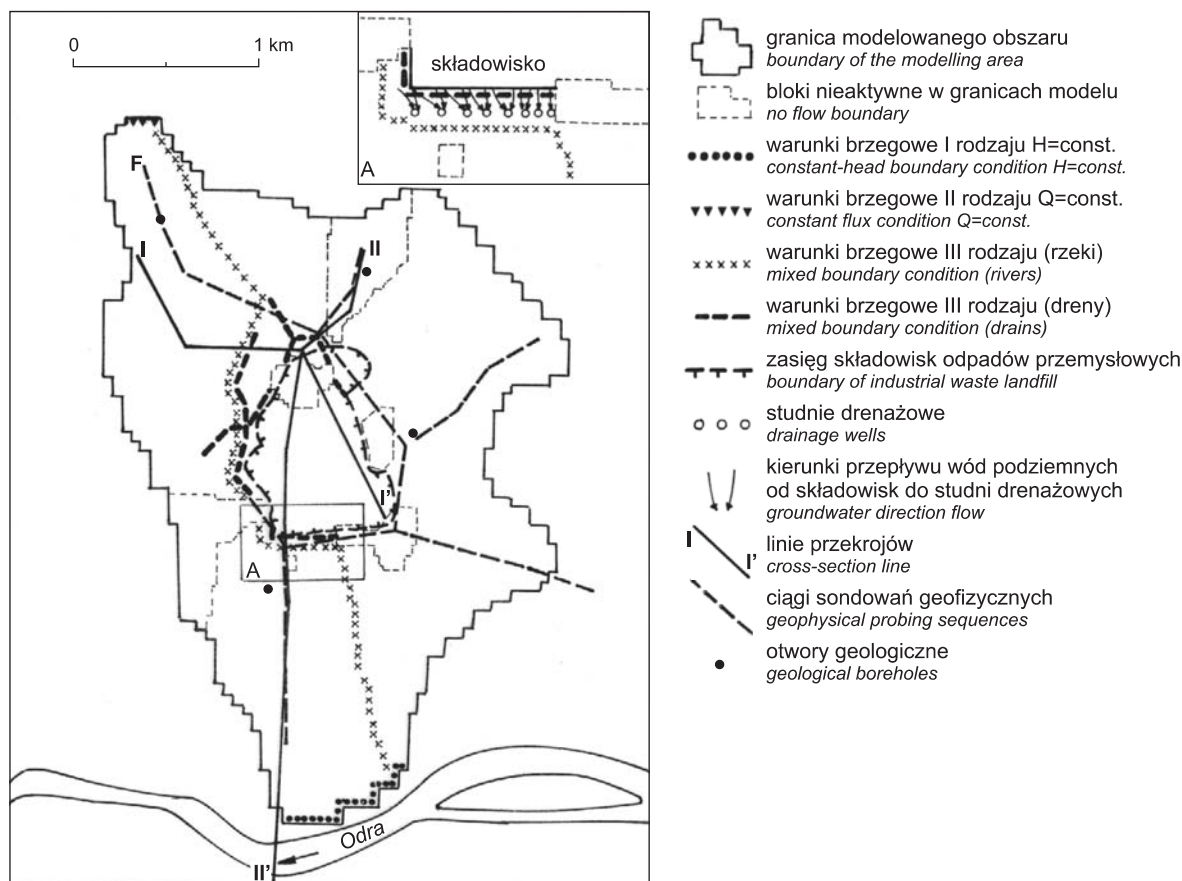


Fig. 1. Mapa dokumentacyjna badanego obszaru

Map of investigation area

WARUNKI PRZYRODNICZE W REJONIE SKŁADOWISKA

Pod względem morfologicznym teren składowiska odpadów usytuowany jest na granicy doliny Odry i wysoczyzny morenowej. Jest on łagodnie pofalowany i generalnie obniża się ku południowi. Rzędne terenu wahają się od 130 m n.p.m. w północnej części obszaru, do około 110 m n.p.m. na południu. Ukształtowanie terenu w obrębie składowiska wykazuje znaczne zmiany spowodowane działalnością człowieka. Główną oś drenażu wód stanowi rzeka Lutynia, uchodząca do Odry 1,5 km poniżej składowiska. Lutynia

na wysokości składowiska jest częściowo skanalizowana, a częściowo przepływa w otwartym korycie.

Średnia roczna temperatura powietrza w obszarze badań wynosi 7,9°C, przy czym średnie najniższe temperatury dobowe (−1,1°C) przypadają na styczeń, a najwyższe (18,2°C) na lipiec. Suma opadów rocznych wynosi średnio 514,9 mm. Największe opady występują w lipcu (81,8 mm), natomiast najmniejsze w kwietniu (24,8 mm). Parowanie terenowe ocenia się na 450 mm/rok.

BUDOWA GEOLOGICZNA I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE

Podłoże składowiska zbudowane jest z utworów czwartorzędowych podścielonych osadami neogenu (Kucharewicz, 1981; Gizler, 1985, 1986). Utwory neogenu występują

jako ropy i piaski serii poznańskiej, o miąższości dochodzącej do kilkudziesięciu metrów. Powierzchnia stropowa utworów neogeńskich wykazuje liczne rynny i niecki erozyjne

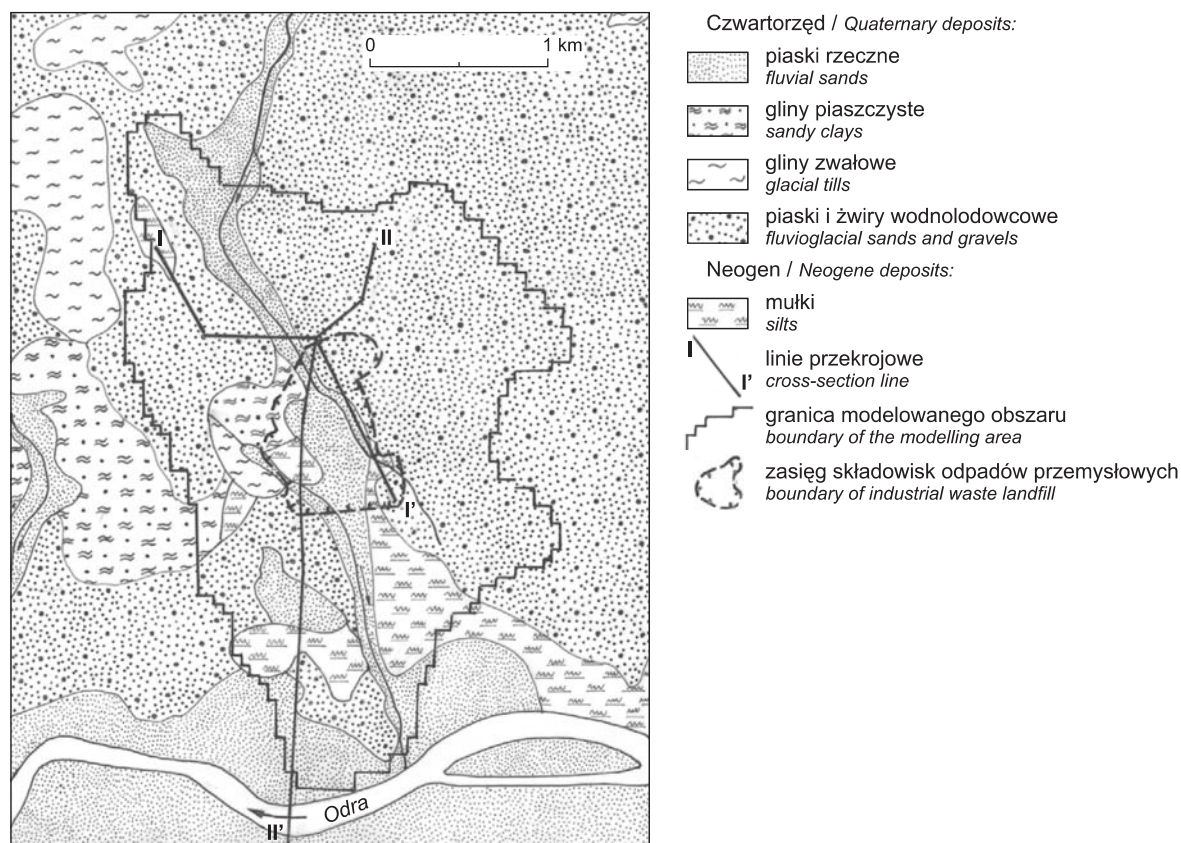


Fig. 2. Lokalizacja składowiska na tle warunków geologicznych

Location of landfill on the background of geological conditions

wypełnione piaszczystymi utworami plejstocenu. Lokalnie osady neogenu odsłaniają się na powierzchni, stanowiąc bezpośrednie podłoże posadowienia obwałowań i kwater składowiska. Czwartorzęd reprezentują osady plejstocenu i holocenu. Plejstocen wykształcony jest w postaci fluwialnych i fluwioglacjalnych piasków i żwirów zlodowacenia środkowopolskiego i bałtyckiego rozdzielonych glinami zwałowymi (fig. 2-4). Holocen występuje jako piaski, żwiry, mady i namuły dolin rzecznych. Pierwszy poziom wodonośny związany jest z piaskami i żwirami rzeczными i fluwioglacjalnymi (Malinowska-Pisz, 1997a, b; Wojciechowska, 1997a, b). W strefie przypowierzchniowej utwory wodonośne przewarstwione są osadami zastoiskowymi typu mad i namulów, wykształconych jako gliny i pyły. Poziom

wodonośny jest nieciągły, a zwierciadło wody ma charakter swobodny, lokalnie swobodno-naporowy i zalega na głębokości od 2 do 12 m. Wartości współczynników filtracji wahają się od 2,77 m/d do 3,84 m/d.

W utworach neogenu wody podziemne występują w izolowanych łałach soczewach piasków pylastych i drobnoziarnistych, tworząc wielowarstwowy system wodonośny (Malinowska-Pisz, 1997a b; Wojciechowska, 1997a, b). Utwory wodonośne zalegają na zmiennych głębokościach od 20 do 140 m. Zwierciadło wody ma charakter subartezyjski, lokalnie artezyjski i zalega na głębokościach od 6 do 8 m p.p.t. Współczynniki filtracji utworów wodonośnych zmieniają się od 1,8 do 14,7 m/d. Wody podziemne w utworach neogenu w rejonie składowiska nie zostały rozpoznane.

CHARAKTERYSTYKA SKŁADOWISKA

Składowisko odpadów przemysłowych zajmuje powierzchnię około 95 ha i składa się z 7 kwater, z których tylko 2 posiadają uszczelnione podłoże i ściany boczne. Kwatery służą

do mokrego składowania odpadów wapiennych, odpadów paleniskowych (popiołów), odpadów odsiarczania gazów odłotowych z elektrociepłowni, osadów ściekowych z oczyszczal-

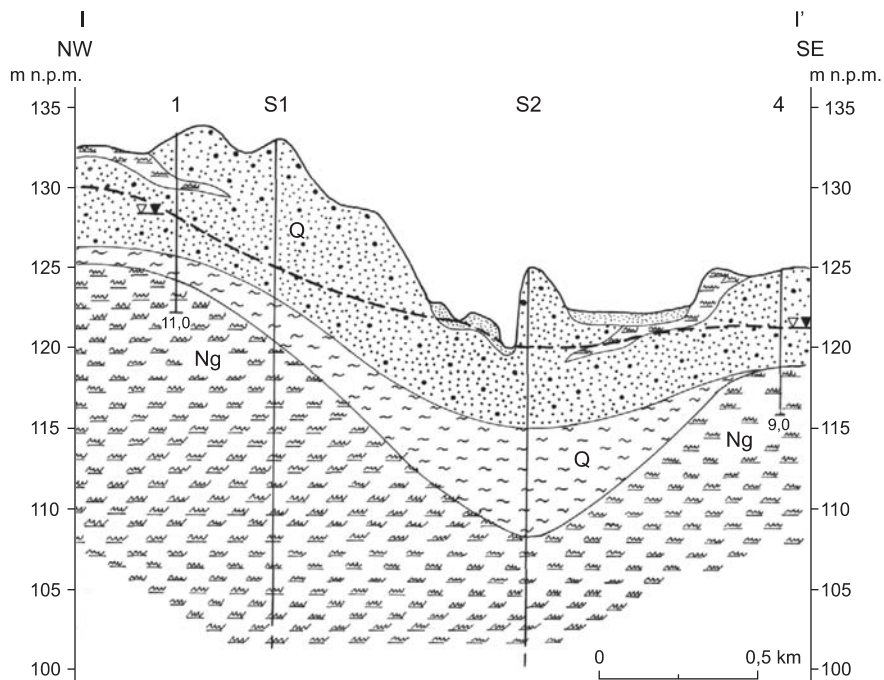


Fig. 3. Przekrój hydrogeologiczny I-I'

Objaśnienia jak na [fig. 2](#)

Hydrogeological cross-section I-I'

Explanation in [Fig. 2](#)

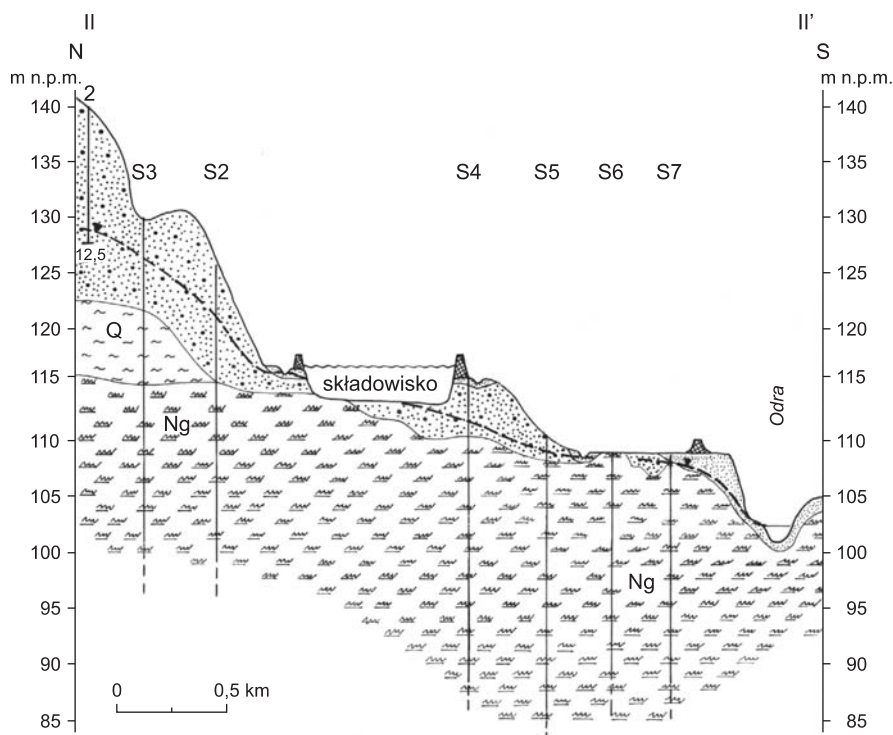


Fig. 4. Przekrój hydrogeologiczny II-II'

Objaśnienia jak na [fig. 2](#)

Hydrogeological cross-section II-II'

Explanation in [Fig. 2](#)

ni oraz odpadów stałych. Wody opadowe, infiltracyjne, nado-sadowe, a także odciekowe odbierane są z kwater składowi-ska i terenów do nich przyległych systemem drenaży, rowów opaskowych oraz wień przelewowych i kierowane kanaliza-cją do oczyszczalni ścieków. System drenażowy zainstalo-

wany jest jedynie pod trzema kwaterami. Na skutek infil-tracji odcieków w podłoże, w wodach powierzchniowych Lutyni zaobserwowano podwyższone stężenia siarczanów i chlorków oraz WWA.

CHARAKTERYSTYKA MODELU

Głównym celem postawionym przed badaniami modelowymi było:

- przeprowadzenie weryfikacji wcześniej wykonanego modelu hydrogeologicznego,
- ustalenie bilansów wód podziemnych modelowanego poziomu wodonośnego,
- wskazanie skuteczności drenażu przedpola południowego składowiska odpadów za pomocą studni.

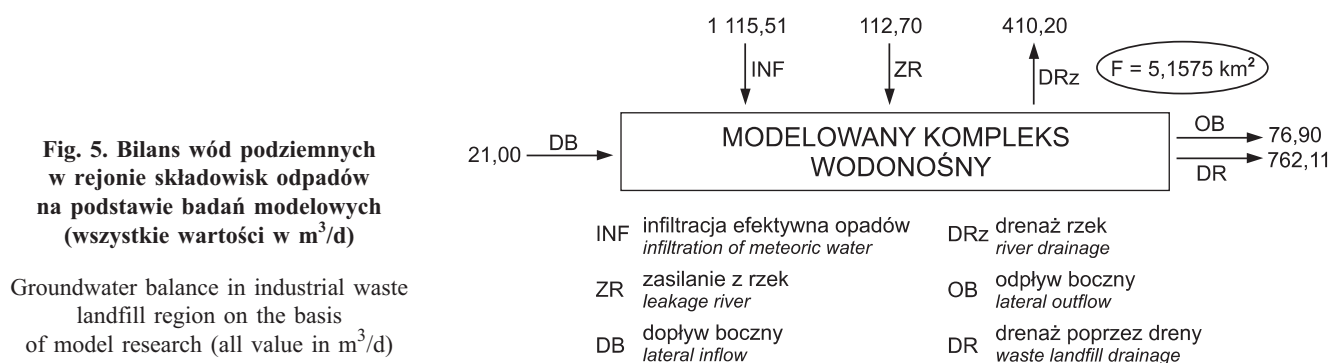
Model numeryczny filtracji wód podziemnych został skonstruowany dla obszaru składowiska i obszarów przyległych, o powierzchni $5,16 \text{ km}^2$, wyznaczonego w granicach zlewni Lutyni przepływającej przez omawiany teren. Dyskretyzacja obszaru filtracji została wykonana jednolitą kwadratową siatką pól elementarnych o długości boku 25 m . Cały modelowany obszar został podzielony na 160 wierszy i 104 kolumny (wyznaczono 8 252 bloki aktywne). Skonstruowany został jednowarstwowy model warunków krążenia wód podziemnych dla pierwszego poziomu wodonośnego, najbardziej narażonego na zanieczyszczenie wodami przesiakającymi ze składowiska odpadów. Na podstawie przyrodniczego modelu warunków hydrogeologicznych, dla modelowanego poziomu wodonośnego przyjęto swobodno-aporowy typ zwierciadła wody. Poziom wodonośny zasilany jest na drodze infiltracji wód opadowych (wielkość infiltracji efektywnej wynosi od 20 do 129 mm) i powierzchniowych oraz przez dopływ lateralny spoza modelowanego obszaru. Do obliczeń przyjęto stacjonarny model procesów filtracji w modelowanym obszarze.

W modelu określone zostały warunki brzegowe I, II i III rodzaju (fig. 1). Warunek brzegowy I rodzaju typu $H = \text{const}$. (Dirichleta) przyjęty został w obrębie modelowanego poziomu wodonośnego na zewnętrznej południowej granicy (na Odrze). Określono wartości wysokości zwierciadła wody w Odrze oparte na informacjach zawartych na mapach topograficznych. Na powierzchni spągu warstwy wodonośnej, którą stanowi strop trudno przepuszczalnych czwartorzędowych glin zwałowych oraz neogeńskich mułków, przyjęto $Q = 0$. Szczelne granice zadane zostały również wzdłuż zachodniej, północnej i wschodniej zewnętrznej granicy modelu, gdzie stwierdzono występowanie wododziału wód podziemnych. Do jego wyznaczenia wykorzystano, wykonaną na etapie modelu przyrodniczego, mapę hydroizohips. Lateralny dopływ wód podziemnych w obrębie doliny Lutyni, przy północnej granicy modelu,

został odwzorowany warunkiem brzegowym II rodzaju ($Q = \text{const}$). Warunki brzegowe III rodzaju zastosowano w celu odwzorowania wpływu zwierciadła wód powierzchniowych na poziom wód podziemnych. Został on zadany dla granic obszaru wyznaczonych przez koryto rzeki Lutynia oraz dreny biegnące wokół składowiska.

Istotnym zadaniem przy konstrukcji modelu numerycznego filtracji było wzięcie pod uwagę infiltracji ze składowiska odpadów. Jego oddziaływanie na wody podziemne zostało uwzględnione w postaci stałego dodatkowego zasilania, w wysokości do 1000 mm/rok , związanego ze składowaniem odpadów mokrych. Przyjęte wartości w poszczególnych rejonach składowiska były uzależnione od: przepuszczalności utworów podścielających, sprawności systemu drenażowego odcieków, typu składowanych osadów (suche/mokre). Do określenia zasilania zostały wykorzystane również informacje dotyczące sumarycznej wydajności drenażu poziomego pod składowiskiem.

Model numeryczny posłużył do przeprowadzenia obliczeń bilansowych przepływu wód podziemnych dla czwartorzędowego poziomu wodonośnego w obszarze o powierzchni $5,16 \text{ km}^2$. Na ich podstawie można przeprowadzić następujące rozważania. Zasilanie infiltracyjne wód podziemnych w całym modelowanym obszarze oszacowano w wysokości $1\,115,51 \text{ m}^3/\text{d}$ ($2,50 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$), co daje wskaźnik infiltracji efektywnej $15,3\%$. Wartość modułu odpływu podziemnego, obliczona na podstawie uzyskanych na modelu wielkości dopływów do cieków, symulowanych za pomocą warunku brzegowego III rodzaju, wynosi $0,92 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$. Uwzględnione w modelu cieki mają charakter przeważnie drenujący, jednak lokalnie również zasilający. Jeśli uwzględni się łącznie dopływy do rzek i drenów, wówczas moduł odpływu podziemnego wyniesie $2,63 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$. Całkowite zasilanie modelowanego kompleksu wodonośnego wynosi $1\,249,21 \text{ m}^3/\text{d}$ ($2,80 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$). Odbywa się ono głównie na drodze infiltracji opadów atmosferycznych oraz wód powierzchniowych, a także w postaci dopływu bocznego spoza badanego obszaru ($21,0 \text{ m}^3/\text{d}$). W podanych wartościach uwzględnione zostały ilości wód przesiakających ze składowisk odpadów. Odpływ boczny z poziomu wodonośnego poza południową granicę modelowanego obszaru wynosi $76,9 \text{ m}^3/\text{d}$. Jest to naturalny odpływ do rzeki Odry (fig. 5).



OCENA SZCZELNOŚCI ZAPROJEKTOWANEJ BARIERY

Po zakończeniu procesu kalibracji modelu numerycznego wykonane zostały symulacje i obliczenia dla różnych rozstawów i wydajności studni drenażowych, umożliwiające ich właściwe zaprojektowanie na południowym przedpolu składowiska odpadów. Numeryczne obliczenia w programie MODPATH, wykorzystującym semianalityczną metodę śledzenia cząstek (Pollock, 1988), pozwoliły określić rzeczywistą prędkość przepływu, a tym samym adwekcyjnego transportu przepływu konserwatywnych zanieczyszczeń wód podziemnych. Wyznaczone torry poszczególnych cząstek wody pozwoliły określić sprawność bariery studni oraz tempo przemieszczania wody od składowiska do studni drenażowych. Jako rozwiązanie, przyjęty został układ studni, w którym cały strumień wód podziemnych płynący od strony składowiska jest ujmowany barierą studni (fig. 6). Układ ten składa się z 8 studni zlokalizowanych liniowo w poprzek strumienia wód podziemnych (fig. 1, 6). Wydajność każdej ze studni została określona w wysokości około $50 \text{ m}^3/\text{d}$, co jest zgodne z obliczeniami wielkości dopływu do studni w występujących warunkach hydrogeologicznych.

Praca zaprojektowanych studni drenażowych, z łączną wydajnością $405 \text{ m}^3/\text{d}$, zmieni niektóre składowe bilansu wód podziemnych oraz układ hydrodynamiczny w swoim sąsiedztwie tak, że:

- drenaż wód podziemnych prowadzony przez sąsiadujący potok zmaleje o $35 \text{ m}^3/\text{d}$;
- w rejonie studni wzrośnie infiltracja wód powierzchniowych z potoku Lutynia o $70 \text{ m}^3/\text{d}$;
- pracujące studnie spowodują obniżenie zwierciadła wody w pierwszym poziomie wodonośnym od 0,5 do 1,5 m; maksymalne obniżenia wystąpią we wschodniej części bariery studni;
- działanie bariery studni drenażowych nie zmieni położenia naturalnego wododziału wód podziemnych;
- eksploatacja studni drenażowych z wydajnością $50 \text{ m}^3/\text{d}$ każda spowoduje wytworzenie leja depresji o wymiarach od 20 m od strony napływu wód podziemnych (od północy) oraz w zachodniej części bariery studni, do maksymalnie 70 m w części wschodniej bariery w kierunku południowym (w stronę odpływu wód podziemnych).

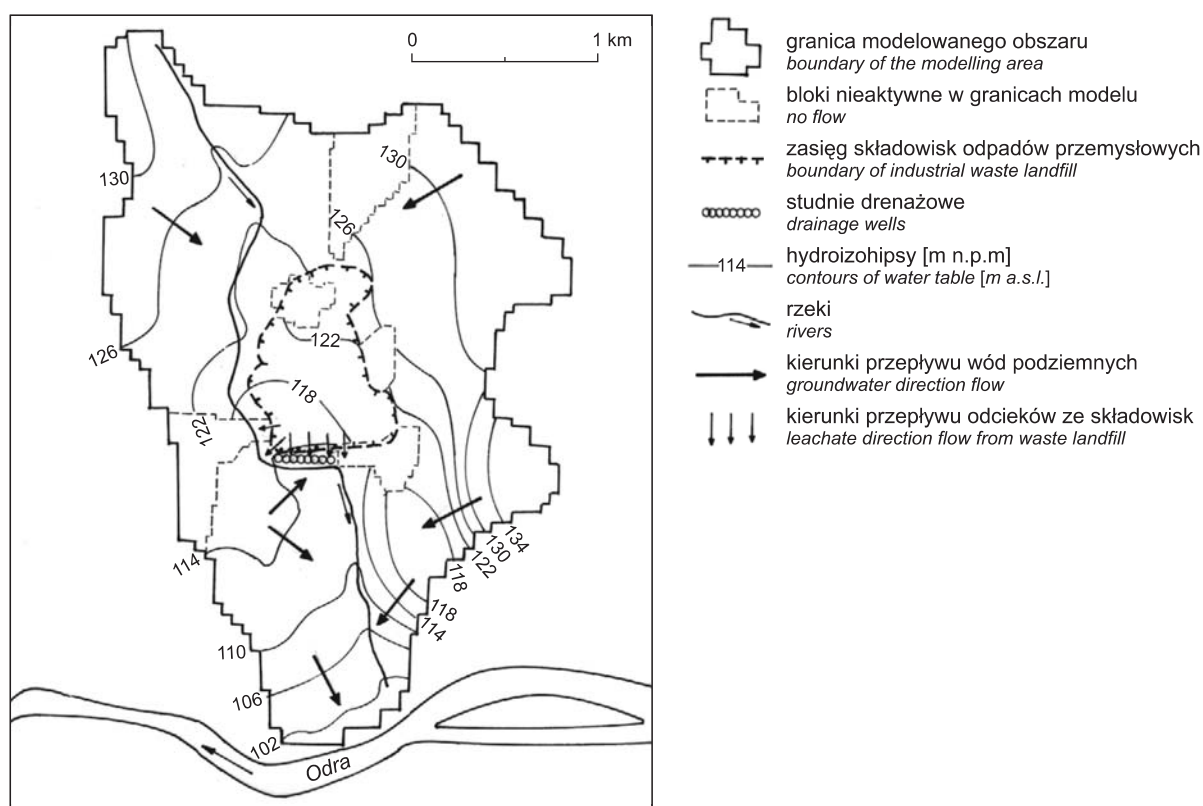


Fig. 6. Mapa zwierciadła modelowanego poziomu wodonośnego

Model prediction water table

Obliczone czasy napływu zanieczyszczonych wód od południowej korony składowiska do zaprojektowanej bariery studni różnią się między sobą w zależności od analizowanej strefy. Wzrastają w miarę przemieszczania się w kierunku zachodnim. Do studni zlokalizowanych skrajnie po wschodniej

stronie bariery zanieczyszczone wody dopłyną po upływie 3–4 tygodni; do studni zlokalizowanych w środkowej części bariery po upływie 1–5 miesięcy, natomiast do studni w zachodniej części bariery po upływie 1–2 lat.

PODSUMOWANIE

Badania modelowe zostały wykorzystane do zaprojektowania bariery ochronnej na przedpolu składowiska odpadów przemysłowych oraz do oceny jej skuteczności (szczelności). W celu uszczelnienia południowego przedpola składowiska zaprojektowano barierę z 8 studni drenażowych, o wydajności około 50 m³/d. Dla ostatecznej weryfikacji sprawności działania zaprojektowanej bariery należałoby

podjąć próbę odwzorowania transportu masy opartej na przedstawionym modelu filtracji. Z uwagi na brak systemu monitoringu składowiska nie wykonano kalibracji jednoosiowego modelu transportu zanieczyszczeń. W dalszym ciągu prac wnioskowane będzie zaprojektowanie i wykonanie systemu monitoringu, który umożliwi kontrolę efektywności bariery ochronnej.

LITERATURA

- GIZLER H., 1985 — Szczegółowa mapa geologiczna Polski. 1:50 000, ark. Oborniki Śląskie. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- GIZLER H., 1986 — Objąsnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski 1:50 000, arkusz Oborniki Śląskie. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- KUCHAREWICZ J., 1981 — Objąsnienia do Szczegółowej mapy geologicznej Polski. 1:50 000, ark. Brzeg Dolny. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MALINOWSKA-PISZ A., 1997a — Mapa hydrogeologiczna Polski. 1:50 000, ark. Brzeg Dolny. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- MALINOWSKA-PISZ A., 1997b — Objąsnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, arkusz Brzeg Dolny. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- POLLOCK D.W., 1988 — Semianalytical computation of path lines for finite difference models. *Ground Water*, **26**, 6: 743–750.
- WOJCIECHOWSKA R., 1997a — Mapa hydrogeologiczna Polski 1:50 000, ark. Oborniki Śląskie. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- WOJCIECHOWSKA R., 1997b — Objąsnienia do Mapy hydrogeologicznej Polski 1:50 000, ark. Oborniki Śląskie. Centr. Arch. Geol. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

SUMMARY

To assess the hydrogeological conditions and to indicate the location of drainage barrier designed to intercept leachate for the landfill area located on the border of the Odra River valley and upland moraine the numerical model was made. The first aquifer in the area of work is intermittent and occurs at a depth of 2–12 m. The deeper aquifers are isolated by Neogene clays, however, for the first level, the risk of being polluted is high. The total water recharge of the test area is estimated at 2.8 dm³/s·km², including the infiltration of precipitation which is 2.5 dm³/s·km². Direction of groundwater flow is to the valley of the Odra River. To prevent mi-

gration of contaminated groundwater from the landfill it is planned to build, on its southern foreground, eight drainage wells working with a total capacity of 405 m³/d. The location of wells and their efficiency is the result of simulations performed on the model. Designed wells will have theoretically 100% efficiency in capturing pollutions from the landfill area. Travelling time from the landfill area to drainage barrier is estimated from 3–4 weeks to 1–2 years. The work of the wells will produce depression from 0.5 to 1.5 m and a cone of depression to a distance of 20–70 m from the well.

