

Analiza warunków zanieczyszczenia podłoża z barierą hydrauliczną

Abstract

Analysis of contamination conditions in substrate with hydraulic barrier. Objects for utilization of waste and sewage the purpose of which is to protect the environment against uncontrolled pollution themselves consist a dangerous source of biosphere and hydrosphere pollution. The impact of a waste and sewage disposal facility on groundwater quality will depend on many factors among them perhaps most importantly on the nature of the barrier which is intended to limit and control contaminant migration. Therefore, when selecting a location for such objects particular attention should be given to geotechnical and hydrogeological conditions. In order to permit selection of not only efficient but also the most economic solutions it is always recommended to perform evaluation of local geological conditions to consider the substrate as a natural sealant. Assuming in design of the possibility of total or partial sealing of objects by the natural clay deposits (hydraulic barriers) will decrease investment costs. This paper presents results of investigations conducted to assess the possibility of considering an clay layers as a natural seal of the designed two objects: landfill at Łuków (Voi. Siedlce) and biological treatment plant (LEMNA type) in the village of Chmielnik (Voi. Rzeszów). Analysis of hydrogeological situations and results of clay properties assessment permitted to conclude that both analysed clay layers cannot be considered as a sufficient natural sealant.

Key words: contaminant migration, hydraulic barrier, landfill, treatment plant.

Wstęp

Budowle inżynierii środowiska, do których zaliczamy między innymi składowiska odpadów, oczyszczalnie ścieków, osadniki i hałdy odpadów przemysłowych, lokalizowane zwykle na terenach gminnych, są obiektami inżynierskimi, które – spełniając ważne zadania w ochronie środowiska – stanowią same potencjalne źródło jego zanieczyszczenia. Projekt każdej tego typu budowli powinien zawierać ilościową prognozę potencjalnego wpływu budowli na stan środowiska wodnogruntowego, zwłaszcza na jakość wód podziemnych. Wpływ budowli inżynierii środowiska na właściwości gruntów i jakość wód podziemnych zależy od takich czynników, jak: naturalne warunki terenowe, sytuacja hydrogeologiczna, klimat, rodzaj i właściwości składowanych materiałów odpadowych, a przede wszystkim od właściwości naturalnych lub specjalnie wykonanych warstw podłoża, które ograniczają możliwość migracji zanieczyszczeń. Warstwy takie, charakteryzujące się odpowiednio niską przewodnością hydrauliczną, nazywane są barierami hydraulicznymi.

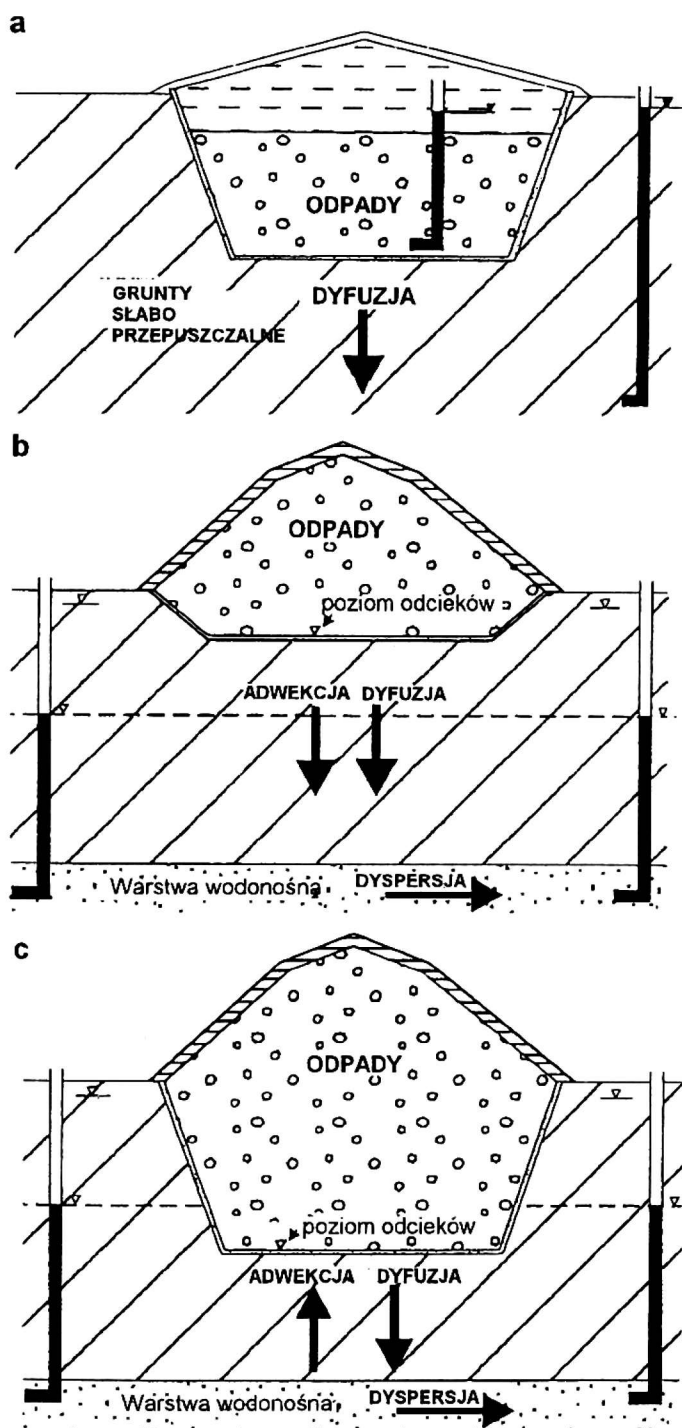
Artykuł poświęcony jest ostatniemu z wymienionych czynników, tzn. barierom hydraulicznym. Na przykładzie dwóch obiektów: składowiska odpadów komunalnych i biologicznej oczyszczalni ścieków przedstawiono analizę warunków zanieczyszczenia podłoża przez budowle inżynierii środowiska.

Transport zanieczyszczeń w podłożu z barierą hydrauliczną

Naturalna, dużej miąższości warstwa gruntów spoistych lub – określając bardziej szczegółowo – ilastych, w której poziom wody gruntowej znajduje się blisko powierzchni terenu stanowi najprostszą i najtańszą barierę hydrauliczną. Warstwa ta powinna być ciągła i nie zawierać uprzywilejowanych dróg przepływu, takich jak szczeliny, spękania i otwory po systemach korzeniowych lub zwierzętach. W przypadku występowania w podłożu takich warunków istnieje możliwość zaprojektowania obiektu, w którym poziom odcieków, ścieków lub wód pościekowych będzie znajdował się przez cały czas poniżej poziomu wody gruntowej. Rozpatrzmy taką sytuację dla przypadku podłoża składowiska odpadów, co schematycznie pokazano na rysunku 1a. Jeżeli warunki hydrogeologiczne będą niezmiennie, rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń będzie przebiegało wolno i głównie w formie dyfuzji. Warstwa gruntów spoistych może w tej sytuacji odgrywać ważną rolę dla rozcieńczenia zanieczyszczeń w wyniku działania takich zjawisk, jak sorpcja, wytrącanie i biodegradacja. Jednakże należy zdawać sobie sprawę, że w tym systemie kontrolowanej

dyfuzji migracja zanieczyszczeń także będzie występowała i ważnym zagadnieniem jest sprawdzenie, czy wpływ projektowanej budowli na środowisko wodno-gruntowe przez molekularną dyfuzję nie spowoduje przekroczenia dopuszczalnych zawartości zanieczyszczeń. W ostatnich latach wykazano, że dyfuzja może być istotnym procesem transportu w gruntach drobnoziarnistych wykorzystywanych jako uszczelnienia zabezpieczające przed rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń (np. Johnson i in. 1989).

Sytuacja hydrogeologiczna, która została przedstawiona powyżej, nie jest spotykana często w praktyce, co związane jest z trudnością bezpiecznego dla środowiska składowania odpadów poniżej poziomu zwierciadła wody gruntowej. Znacznie częściej odpady składowane są tylko częściowo poniżej powierzchni terenu, a większa część składowiska znajduje się powyżej powierzchni terenu, jak pokazują rysunki 1b i 1c. Warstwa gruntów spoistych może być wprawdzie uznana za barierę hydrauliczną ograniczającą migrację zanieczyszczeń, jednakże w projekcie składowiska należy zwrócić uwagę na odpowiednie ustalenie poziomu dna składowiska i zaprojektowanie drenażu skutecznie odprowadzającego odcieki. W sytuacji pokazanej na rysunku 1b poziom dna składowiska znajduje się poniżej poziomu wody gruntowej, ale powyżej poziomu piezometrycznego wody w warstwie wodonośnej. W związku z tym można przyjąć, że dyfuzyjnej migracji zanieczyszczeń towarzyszyć będzie przepływ adwekcyjny ze składowiska w kierunku warstwy wodonośnej. Rysunek 1c pokazuje sytuację, gdzie poziom dna



RYSUNEK 1. Schematy podłoża składowiska z naturalną barierą hydrauliczną: a – dyfuzyjny, b – adwekcyjno-dyfuzyjny, c – transport zanieczyszczeń dyfuzyjny, równoważony przepływem adwekcyjnym

składowiska jest poniżej poziomu wody gruntowej, ale poziom odcieków w składowisku występuje poniżej poziomu ciśnień piezometrycznych warstwy wodonośnej. W tym przypadku zanieczyszczenia mogą migrować adwekcyjnie od warstwy wodonośnej w kierunku do składo-

wiska. W ocenie wpływu składowiska na środowisko wodnogruntowe taki schemat migracji zanieczyszczeń jest bardzo korzystny, ponieważ adwekcyjny przepływ wody z warstwy wodonośnej osłabia dyfuzyjną migrację zanieczyszczeń ze składowiska odpadów. Jednakże nawet w tak korzystnej sytuacji nie można przyjmować, że całkowicie została zlikwidowana możliwość negatywnego oddziaływania odcieków ze składowiska na wody w warstwie wodonośnej. W celu oceny, w jakim stopniu, istotnym czy możliwym do pominięcia, odcieki ze składowiska wpływają na środowisko, należy przeprowadzić odpowiednie obliczenia migracji zanieczyszczeń (Manassero, Pasqualini 1992; Daniel 1993).

Poza wymienionymi czynnikami, projektując składowiska odpadów lub inne zagrażające środowisku budowle, należy zbadać, czy uważana za naturalną barierę hydrauliczną warstwa gruntów spoistych nie jest spękana. Jak pokazują ostatnio przeprowadzone obserwacje (D'Astous i in. 1989), poza zwykle występującą w strefie powierzchniowej podłoża warstwą spękanych gruntów spoistych spękania te mogą sięgać nawet 6–15 m p.p.t. Spękania gruntu w postaci szczelin nawet o tak małej szerokości jak 10–15 μm , występujące w stosunkowo dużych odległościach jedna od drugiej (1–3 m), mogą w istotny sposób wpływać na przewodność hydrauliczną gruntów. Podczas wykonywania wykopu składowiska na skutek odciążenia, nawet początkowo zamknięte szczeliny mogą otwierać się i tworzyć się nowe w głębszej strefie podłoża. Spękania bariery hydraulicznej wpływają na jej przewodność i zwiększa-

ją prędkość przepływu adwekcyjnego. Analityczny model migracji zanieczyszczeń w spękanym ośrodku gruntowo-wodnym przedstawili Rowe i Booker (1991).

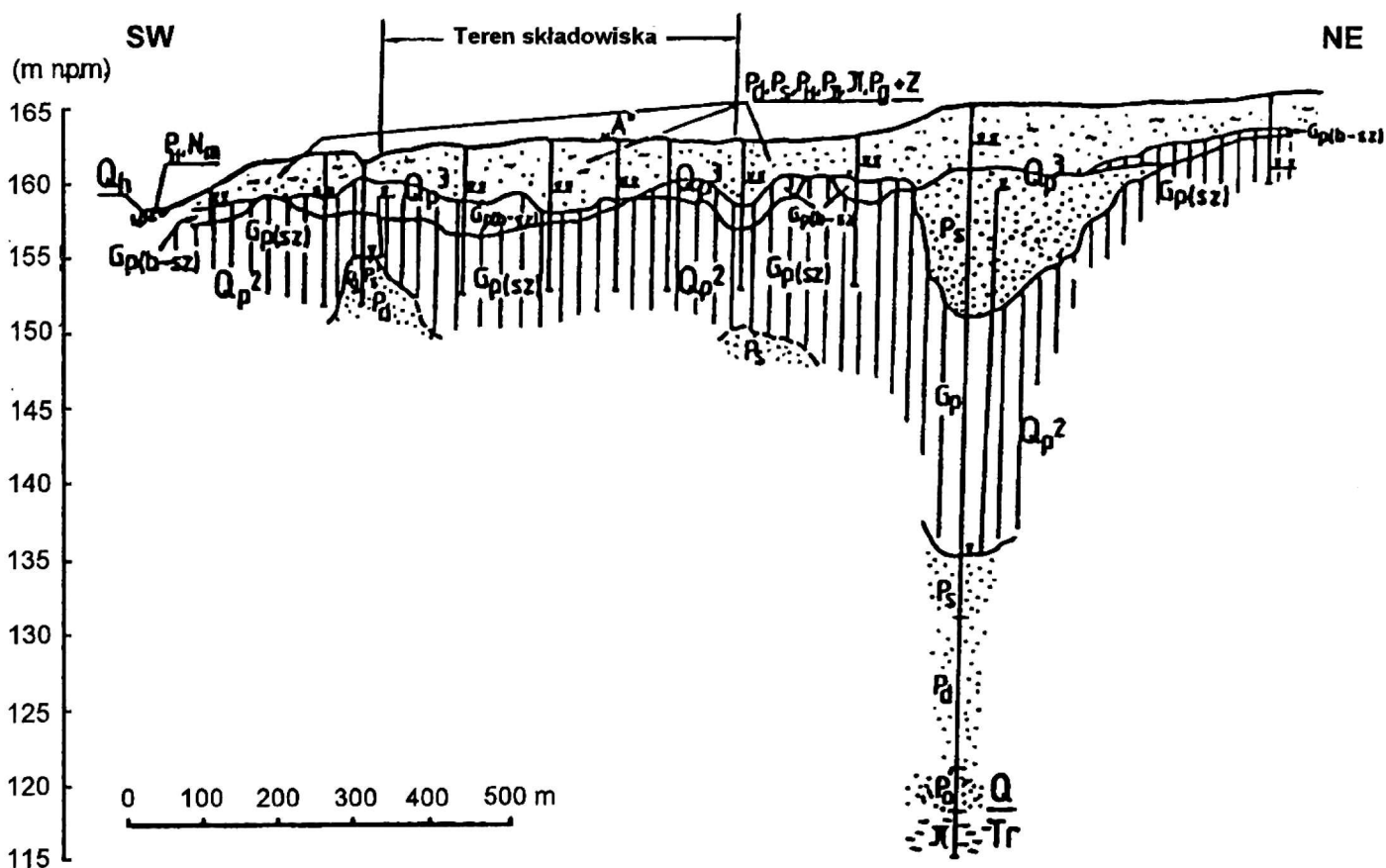
Przykłady oceny podłoża budowlanego jako naturalnych barier

Podłoże składowiska odpadów komunalnych

Składowisko zlokalizowane jest na terenie wsi Świdry w pobliżu Łukowa (woj. siedleckie). Teren ten znajduje się na obszarze wysoczyzny, pokrytym przez utwory lodowcowe zlodowacenia środkowopolskiego. W przypowierzchniowej części podłoża składowiska do głębokości 1,8–4,5 m występują grunty gruboziarniste, reprezentowane przez piaski drobne, średnie i grube (rys. 2). Utwory piaszczyste są na przeważającej części obszaru zawodnione i stanowią pierwszy od góry poziom wodonośny (wody gruntowe wg klasyfikacji Pazdro). Poniżej gruntów gruboziarnistych występuje glina zwałowa, w części stropowej o zabarwieniu brązowym – stanowiąca pozostałość lądolodu najstarszego ze zlodowaceń środkowopolskich, głębiej szara – stanowiąca pozostałość najmłodszego ze zlodowaceń południowopolskich. Miąższość kompleksu glin zwałowych wynosi od 6,7 m do 17,5 m. W kompleksie glin stwierdzono liczne zawodnione soczewki i przewarstwienia piasków i pyłów. Wyniki badań uziarnienia pozwoliły sklasyfikować gliny zwałowe jako glinę piaszczystą (G_p), a wyniki badań plastyczności zaliczyć ją do grupy gruntów drobnoziarnistych typu "CL" (wg. USCS). Frakcja

iłowa stanowi w glinie 14–18% całego jej uziarnienia. W składzie mineralnym frakcji iłowej dominuje illit z niewielką domieszką smektytu. Obliczona efektywna porowatość glin wynosi $n_e=0,28$. Badania wodoprzepuszczalności gliny w terenie wykazały, że charakteryzuje się ona współczynnikami wodoprzepuszczalności w zakresie $2,3 \cdot 10^{-9}$ – $3,3 \cdot 10^{-7}$ m/s (Garbulewski, Wienclaw 1994). Z uwagi jednakże na występowanie w glinach licznych soczewek i przewarstwień piaszczystych, warstwa glin zwałowych może mieć w rzeczywistości większą zdolność do przewodzenia wody, niż wynika to z badań.

Poniżej warstwy glin zwałowych występują utwory piaszczyste – piaski drobne, średnie i grube. Utwory te są zawodnione i stanowią poziom wód wgłębnych (wg klasyfikacji Pazdro), będących głównym źródłem wody dla mieszkańców i zakładów przemysłowych pobliskich miejscowości. W rejonie składowiska zwierciadło piezometryczne poziomu wód wgłębnych stabilizuje się na 1–2,5 m poniżej zwierciadła wód gruntowych, co świadczy o przepływie wody poprzez gliny zwałowe i zasilaniu poziomu wód wgłębnych wodami poziomu wód gruntowych. O przepływie wód poprzez gliny do poziomu wód wgłębnych może też świadczyć zaobserwowany w czasie badań terenowych spadek ciśnień hydrostatycznych w przewarstwieniach piaszczystych wraz z głębokością. Maksymalna prędkość przepływu (przesączenia) wody poprzez gliny, obliczona przy założeniu zgodności przepływu z prawem Darcy'ego, wynosi $1,3 \cdot 10^{-7}$ m/s (Wienclaw, Garbulewski 1993).



RYSUNEK 2. Przekrój geologiczny podłoża składowiska odpadów w Łukowie: N_m – namuł organiczny; P_d , P_s , P_r , P_p , P_g , P_h – piaski, odpowiednio: drobne, średnie, grube, pylaste, gliniaste, z humusem; P_o – pospółka, Z – żwir, Z_g – żwir gliniasty; π – pył; G_p – glina piaszczysta; $G_p(b-sz)$, $G_p(sz)$ – glina piaszczysta, odpowiednio brązowoszara i szara; Q – czwartorzęd; Q_h – holocen; zlodowacenia: Q_p^3 – środkowopolskie, Q_p^2 – południowopolskie; Tr – trzeciorzęd

Od około 20 lat na obszarze, którego sytuację hydrogeologiczną przedstawiono powyżej, składowane są stałe i płynne odpady z gospodarstw i zakładów przemysłowych w Łukowie. W ostatnich latach władze miejskie czynią starania pozyskania środków na budowę składowiska spełniającego obowiązujące w zakresie ochrony środowiska przepisy. W związku z pracami projektowymi i dążeniem do oszczędności powstało pytanie: czy występująca w podłożu warstwa glin zwałowych może być uznana za barierę hydrauliczną zabezpieczającą środowisko wodnogruntowe przed głębokim rozprzestrzenianiem się zanieczyszczeń z projektowanego składowiska?

Dla składowisk odpadów komunalnych przyjmuje się, że barierą hydrauliczną może być warstwa gruntów spoistych, której przewodność hydrauliczna jest mniejsza od 10^{-7} m/s, a miąższość jej jest większa od 0,25 m (Kleczkowski i in. 1984). Według Byczyńskiego (1992) za barierę można uznać warstwę iltów lub glin o miąższości wynoszącej minimum 1 m, w której prędkość przepływu wód podziemnych nie przekracza 10^{-5} m/s. Zarządzenie Rady Wspólnoty Europejskiej zawiera zalecenie, według którego uznaje się za barierę grunty, które w warunkach *in situ* są praktycznie nieprzepuszczalne, tzn. charakteryzują się przewodnością hydrauliczną $k < 10^{-9}$ m/s, a ich miąższość nie jest mniejsza niż 3 m.

Według norm niemieckich przewodność hydrauliczna gruntów stanowiących barierę w podłożu składowisk nie powinna być większa niż 10^{-7} m/s, a miąższość gruntów nie może być mniejsza niż 3 m. W USA (Koerner 1984; Daniel 1993) warstwa gruntu, którą można uznać za naturalną barierę, powinna zawierać duże ilości minerałów ilastych i charakteryzować się przewodnością hydrauliczną $k \leq 10^{-8} - 10^{-9}$ m/s.

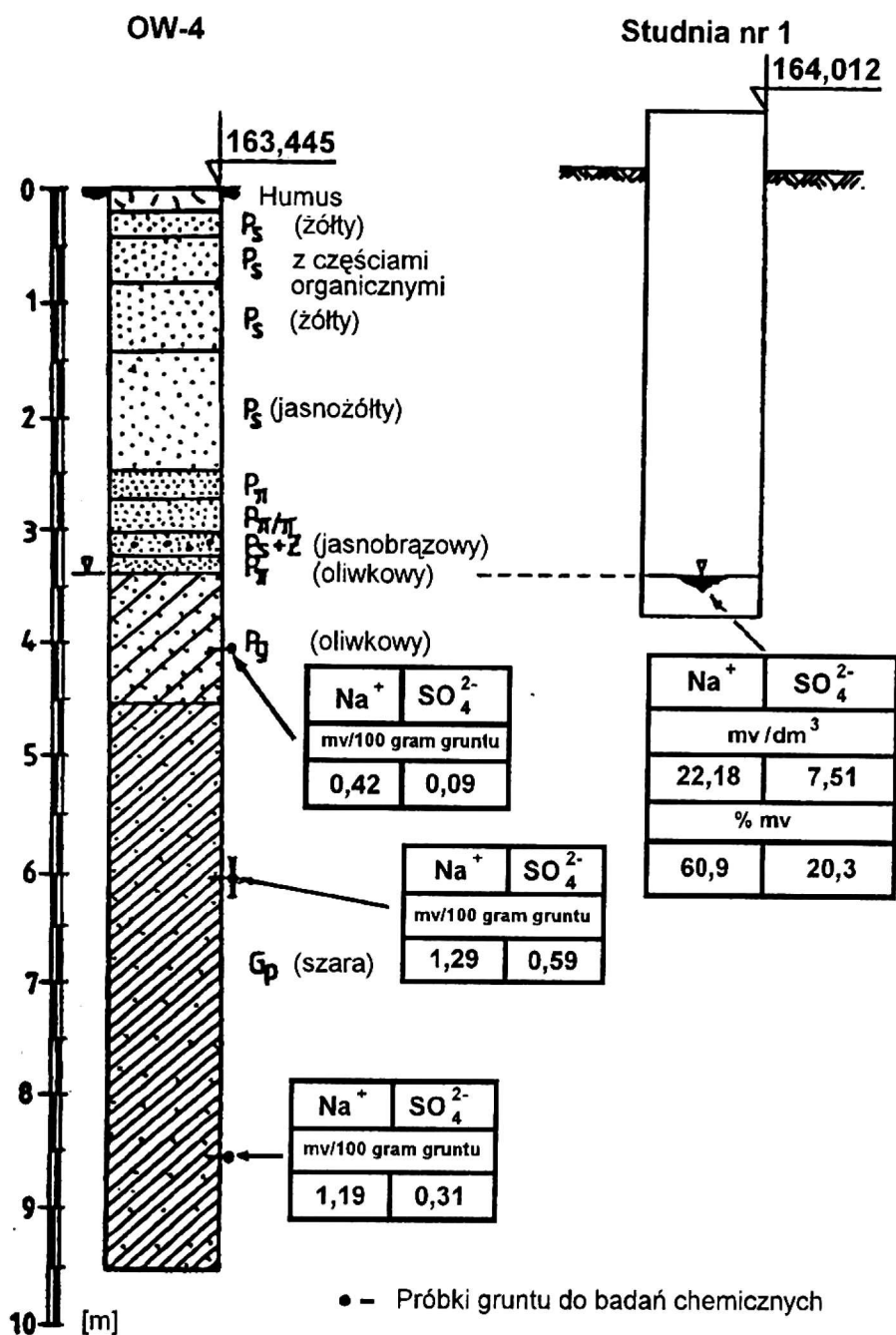
Biorąc pod uwagę podane wymagania i właściwości analizowanej gliny, można stwierdzić, że według dotychczasowych wymagań w tym zakresie w naszym kraju warstwa gliny może być w zasadzie uznana za naturalne uszczelnienie składowiska. Polskie wymagania w tym zakresie są znacznie łagodniejsze niż obowiązujące obecnie w większości krajów Unii Europejskiej. Przepisy krajów Unii i USA nie dopuszczają sytuacji, w której jedynym uszczelnieniem jest naturalna warstwa podłoża. W ocenie warstwy glin zwałowych należy zwrócić uwagę na fakt, że przesącza się przez nią woda z poziomu wód gruntowych, zasilając poziom wód wglębnych. Opinię taką potwierdzają wyniki prac Knyszyńskiego (1988), według których na obszarach wysoczyzny Łukowa wody wglębne zasilane są w wyniku przesączenia się wody od góry – z poziomu wód gruntowych przez gliny zwałowe. W takiej sytuacji transport zanieczyszczeń ze składowiska może odbywać się w formie adwekcji i dyfuzji (por. rys. 1b).

O możliwości rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w podłożu składowiska świadczą wyniki badań próbek gliny pobranych z otworu wiertniczego, położo-

nego w odległości kilkudziesięciu metrów od zbiornika zrzutu ścieków. Dla porównania próbki te posłużą jako punkt odniesienia próbek z wykopu wykonanego poza zasięgiem wpływu ścieków i odpadów. Wyniki badań składników chemicznych, których przykładowy rozkład przedstawiono na rysunku 3, pozwalają stwierdzić wyraźny wzrost zawartości kationów sodu i anionów siarczanowych oraz chlorkowych, co wskazuje na proces zasalania gruntów podłoża składowiska ściekami wylewiska do głębokości przekraczającej 8,5 m p.p.t.

Biologiczna oczyszczalnia ścieków

Oczyszczalnia ścieków budowana jest we wsi Chmielnik Rzeszowski. Została ona zlokalizowana w płaskiej dolinie Chmielnika, na terenie stanowiącym niewielkie lokalne jej obniżenie. W podłożu oczyszczalni stwierdzono występowanie korzystnego dla jej lokalizacji układu osadów gruntowych w dolinie (rys. 4). Osady piaszczysto-żwirowe leżące na podłożu skalnym (flisz) przykryte są warstwą mad rzecznych typu glin pylastych o miąższości ponad 10 m. Jak wykazały badania terenowe i laboratoryjne, gliny pylaste w warunkach naturalnych charakteryzują się współczynnikiem wodoprzepuszczalności pionowej w zakresie $10^{-7} - 10^{-9}$ m/s, przy czym większość badanych próbek gruntów odznaczała się współczynnikiem 10^{-9} m/s. Współczynniki wodoprzepuszczalności w kierunku poziomym nie różniły się w zasadzie od współczynników w kierunku pionowym (Garbulewski i in. 1995). Z badań metodą wzniosu wody w otworze, która pozwala określić średni współczyn-

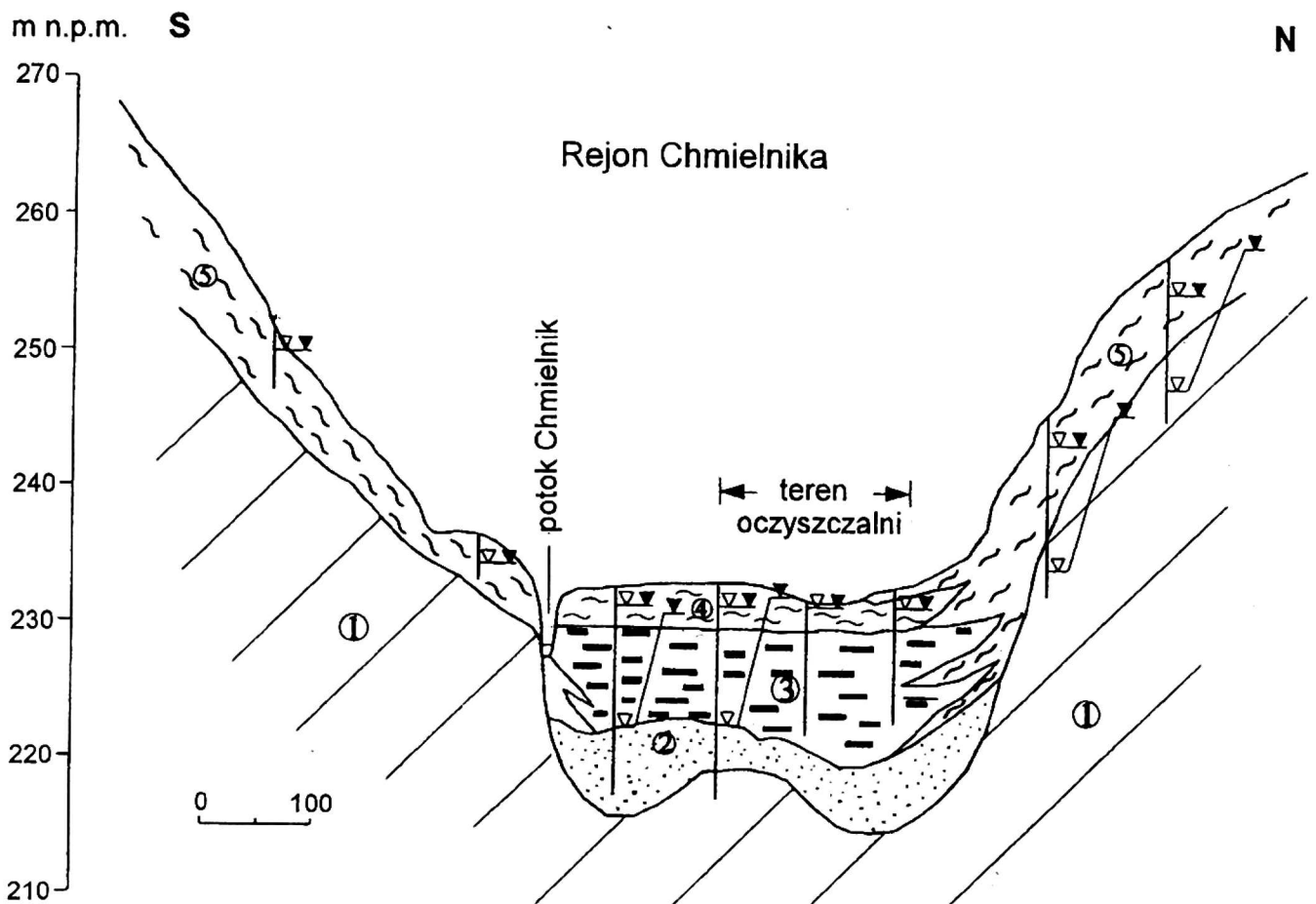


RYSUNEK 3. Rozkład wybranych składników chemicznych w otworze wiertniczym OW-4

nik wodoprzepuszczalności przy dopływie wody przez ściany i dno otworu, uzyskano wartości współczynników wodoprzepuszczalności w zakresie $10^{-8} - 10^{-9}$ m/s. Biorąc pod uwagę tylko wartości współczynników wodoprzepuszczalności, można uznać występujące w podłożu oczyszczalni grunty za słabo przepuszczalne.

Osady piaszczysto-żwirowe są warstwą wodonośną, w której napięcie zwierciadła wody stabilizuje się na tym samym poziomie co wody przypowierzchniowe,

a nawet wyżej. W związku z tym przepływ pionowy wody w kierunku głębszych warstw podłoża nie występuje i możliwość rozprzestrzeniania się w tym kierunku zanieczyszczeń w formie adwekcji jest ograniczona. Uwzględniając położenie piezometrycznego zwierciadła wody w osadach piaszczysto-żwirowych, można nawet liczyć się z możliwością pionowego zasilania wód przypowierzchniowych przez wody wgłębne. Mamy więc tu do czynienia z osłabieniem dyfuzyjnej migracji zanieczyszczeń ze sta-



RYSUNEK 4. Przekrój hydrogeologiczny przez dolinę Chmielnika: 1 – podłoże skalne, fliszowe osady wodonośne i słabo przepuszczalne z uprzywilejowanymi drogami przepływu; 2 – aluwia facji korytowej, osady wodonośne; 3 – aluwia facji tarasowej, osady słabo przepuszczalne; 4 – osady facji tarasowej, osady słabo przepuszczalne o wzmożonej zasobności i wodoprzepuszczalności; 5 – osady stokowe, osady słabo przepuszczalne z uprzywilejowanymi drogami przepływu

wów oczyszczalni przepływem adwekcyjnym z poziomu wód głębszych (por. rys. 1c).

We wszystkich studniach na zboczach, ujmujących wody zarówno z utworów zboczowych, jak i z flszu, zwierciadło wody stabilizuje się znacznie wyżej niż poziom wody w dolinie. W związku z tym dopływ wody następuje w kierunku do doliny i w zasadzie nie ma możliwości zanieczyszczenia wód podziemnych terenów sąsiednich. W warunkach naturalnych wody przypowierzchniowe na terenie projektowanej oczyszczalni ścieków na ogół stagnują, czyli zasilanie potoku Chmielnik tymi wodami w zasadzie nie odbywa się. Potok

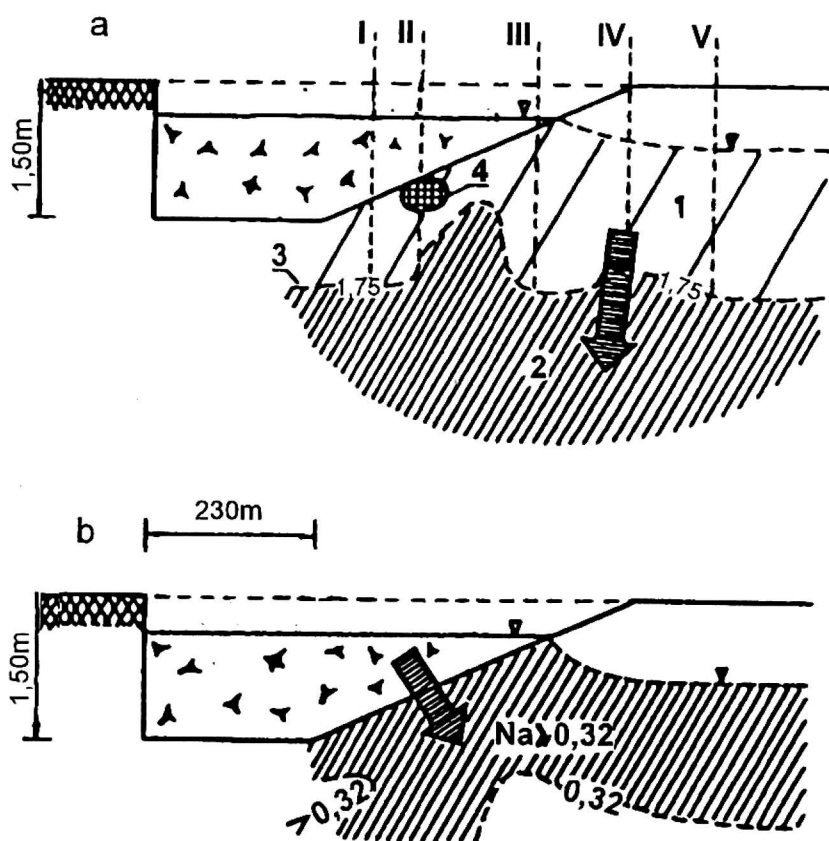
Chmielnik zasilany jest przede wszystkim z utworów fliszowych i z utworów piaszczysto-żwirowych. Na analizowanym terenie i w jego sąsiedztwie w dolinie nie ma ujęć wód. Ujęcie wody było, ale ze względu na złą jakość wód z osadów piaszczysto-żwirowych zostało zlikwidowane. Ujęcie wody dla Chmielnika znajduje się na stoku wzniesienia. Brak ujęć wód, które powinny być szczególnie chronione, stanowi korzystny argument lokalizacji oczyszczalni ścieków.

Wszystkie przedstawione powyżej aspekty, dotyczące warunków hydrogeologicznych i sytuacyjnych, przemawiają za możliwością uznania występujących w podłożu oczyszczalni ścieków

glin pylastych za naturalne uszczelnienie (barierę hydrauliczną). Ocena taka, chociaż niepełna, wydaje się jeszcze bardziej uzasadniona po analizie kryteriów, które obecnie są stosowane do oceny podłoża jako uszczelnienia naturalnego. W ocenie warstwy glin pylastych należy jednakże zwrócić szczególną uwagę na zjawiska zaobserwowane w badaniach terenowych, których analiza doprowadza do wniosku o konieczności zastosowania dodatkowych zabiegów, które umożliwią wykorzystanie warstwy glin pylastych jako naturalnego uszczelnienia. Podczas wierceń i wykonywania wykopu badawczego oraz odkrywek zauważono występowanie w przypowierzchniowej części podłoża, od 1,5 m do ok. 2,5 m, glin o dużej zawartości słabo rozłożonych części organicznych, z których intensywnie sączyła się woda. Mając na względzie zaobserwowane intensywne sączenia wody, można przyjąć, że warstwa mad (glin pylastych) posiada w powierzchniowej części liczne preferencyjne drogi przepływu, które zostały wytworzone przez słabo rozłożone systemy korzeniowe roślin. W warunkach *in situ* woda nie odznacza się dużą zdolnością do przemieszczania, jest ona zretencjonowana w tej części podłoża. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że w wyniku zgromadzenia wody w stawach nastąpi znaczne zwiększenie gradientu i wymuszenie przepływu przypowierzchniowych wód podziemnych, głównie w kierunku poziomym. W związku z tym nie można uznać powierzchniowej części warstwy mad za pełną barierę hydrauliczną, która będzie izolowała stawy projektowanej

oczyszczalni ścieków od wody gruntowej. W przypadku pozostawienia podłoża w naturalnym stanie, należy liczyć się bowiem z możliwością rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w kierunkach poziomych.

W celu zbadania, jaki wpływ na środowisko gruntowowodne w podłożu stawów oczyszczalni będą miały ścieki w przypadku braku uszczelnienia, wykonano wykop badawczy w kształcie prostokąta o wymiarach $3,50 \times 6,50$ m do głębokości 1,5 m (Garbulewski, Wienclaw 1995). Wykop badawczy został wypełniony ściekami bytowo-gospodarczymi, pobranymi z miejscowych szamb. Ścieki w wykopie przebywały przez dwa tygodnie. Po tym czasie wypompowano ścieki z wykopu i pobrano próbki gruntu do badań składu chemicznego. Przykładowe wyniki badań przedstawiono na rys. 5. Badania wykazały, że w podłożu można wydzielić strefy rozpuszczania i wynoszenia soli wapniowych w wyniku oddziaływania ścieków na podłoże. Największe zanieczyszczenie (najwyższe stężenie jonów sodowych i chlorkowych) gruntów podłoża wykopu stwierdzono na głębokości 0,2 m w centralnej części skarpy wykopu. Jonem dominującym w kompleksie sorpcyjnym jest kation wapniowy, jednakże jako wskaźnik zanieczyszczenia podłoża bardziej wartościowy jest kation sodowy. Wyższa zawartość kationu sodu (w stosunku do jego zawartości w gruncie porównawczym) świadczy o procesie zasalania gruntów pod wpływem ścieków.



RYSUNEK 5. Wpływ ścieków na geochemiczne właściwości podłoża w ścianie wykopu badawczego: a) strefy rozprzestrzeniania się kationów: 1 – strefa wymywania, 2 – strefa akumulacji soli wapniowych, 3 – linia odpowiadająca zawartości kationów wapniowych w próbce porównawczej, 4 – strefa największego zanieczyszczenia; b) rozkład stężenia wymiennego kationu sodu w mv/100 g gruntu

Wnioski

Budowle inżynierii środowiska jako obiekty stanowiące potencjalne źródło zanieczyszczenia powinny być skutecznie odizolowane od środowiska. W niektórych przypadkach za wystarczającą izolację od środowiska wodnogruntowego można uznać występujące w podłożu bariery hydrauliczne w postaci słabo przepuszczalnych naturalnych warstw gruntu. Ocena podłoża jako naturalnej bariery wymaga przeprowadzenia obszernych analiz właściwości podłoża projektowanych budowli, dotyczących zwłaszcza warunków hydrogeologicznych i badań modelowych wpływu odcieków lub ścieków na środowisko.

Wyniki badań przeprowadzonych dla dwóch obiektów analizowanych w artykule nie pozwoliły uznać występujących w podłożu glin za bariery hydrauliczne. W przypadku składowiska odpadów w

Łukowie zasadniczą przyczyną braku możliwości uznania podłoża jako wystarczającego uszczelnienia była nieciągłość hydrauliczna warstwy glin zwałowych i hydrauliczny kontakt dwóch poziomów wodonośnych, natomiast w przypadku podłoża oczyszczalni ścieków w Chmielniku Rzeszowskim przyczyną było występowanie w powierzchniowej warstwie preferencyjnych dróg przepływu.

Przepisy dotyczące możliwości uznania naturalnych warstw podłoża za bariery hydrauliczne, zwłaszcza obowiązujące dotychczas w Polsce, są zbyt łagodne i w zasadzie poza miąższością wymagające spełnienia tylko jednego kryterium, mianowicie przewodności hydraulicznej $k \leq 10^{-9}$ m/s. Biorąc pod uwagę trudności w badaniach i niepewność dotyczącą uzyskania wiarygodnej wartości przewodności hydraulicznej gruntów, należy kryteria te znacznie rozszerzyć. Kryteria te powinny, jak pokazują przed-

stawione w artykule przykłady, uwzględniać ciągłość hydrauliczną warstw i możliwość występowania makroporów tworzących preferencyjne drogi przepływu. Ważnym zagadnieniem, które powinno być również uwzględnione w kryteriach oceny, jest rola przepływu wód podziemnych i jego wpływ na możliwość rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w barierach hydraulicznych.

Literatura

- BYCZYŃSKI H. 1992.: *Problemy hydrogeologiczne w ocenie oddziaływania wysypisk odpadów na środowisko*. Biul. Komisji ds. Ocen Oddz. na Środowisko, Wydaw. Instyt. Probl. Ekorozwoju, Gdańsk 8; 13–16.
- DANIEL D.E. 1993: *Geotechnical Practice for Waste Disposal*. Chapman & Hall, London.
- D'ASTOUS A.Y., RULAND W.W., BRUCE J.R.G. 1989: *Fracture effects in the shallow groundwater zone in weathered Sarnia-area clay*. Can. Geot. J. 26(1); 43–56.
- GARBULEWSKI K., WIENCLAW E. 1994: *Warstwa glin zwalowych jako naturalne uszczelnienie składowiska odpadów komunalnych w Łukowie*. Inżyn. Morska i Geotechnika 3; 132–139.
- GARBULEWSKI K., WIENCLAW E., ŻAKOWICZ S. 1995: *Hydraulic conductivity of alluvial clays containing macro-pores*. Proceedings of the Regional Conference BALTIC GEOTECHNICS-8; Vilnius.
- GARBULEWSKI K., WIENCLAW E. 1995: *Oce-
na podłoża projektowanej oczyszczalni ście-
ków jako naturalnego uszczelnienia*. Gospo-
darka Wodna 11; 290–298.
- JOHNSON R.L., CHERRY J.A., PANKOW J.F. 1989: *Diffusive Contaminant Transport in Natural Clay: A Field Example and Implications for Clay-lined Waste Disposal Sites*. J. Env. Science and Tech., 23; (3) 340–349.
- KNYSZYŃSKI F. 1988: *Geologiczne uwarunkowania systemu krążenia wód podziemnych zlewni Krzyny*. Przegl. Geolog. 11; 655–659.
- KLECZKOWSKI A.S., JORDAN H.P., SILAR J., SZESTAKOW W.M., WITCZAK S. 1984: *Ochrona wód podziemnych*. Wydaw. Geologiczne, Warszawa.
- KOERNER R.M. 1984: *Construction and Geotechnical Methods in Foundation Engineering*. McGraw-Hill Book Company.
- MANASSERO M., PASQUALINI E. 1992: *Ground Pollutant Containment Barriers*. Proc. of the Mediterranean Conference on Environmental Geotechnology. A.A.Balkema, Rotterdam: 195–204.
- ROWE R.K., BOOKER J.R. 1991: *Modelling of 2D contaminant migration in a layered and fractured zone beneath landfills*. Can. Geot. J. 28 (3); 383–392.
- WIENCLAW E., GARBULEWSKI K. 1993: *Oce-
na zanieczyszczenia wód i gruntów w podłożu
składowiska odpadów w Łukowie*. Archiwum
Ochrony Środow. 3–4; 203–220.

Adresy autorów

- K. Garbulewski
Katedra Geotechniki SGGW
02–787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166
- E. Wienclaw
Katedra Technologii i Organizacji Prac Wodnych
i Melioracyjnych SGGW
02–787 Warszawa, ul. Nowoursynowska 166