

## Geologiczne uwarunkowania optymalizacji składowania odpadów

Andrzej Drągowski\*

**Geologic conditions for optimal waste storage.** Prz. Geol., 50: 953–958.

*Summary.* The paper presents basic problems of research and evaluation of geologic conditions, which are essential for optimization of municipal and industrial (non-municipal) waste storage sites.

The topic was analyzed in context of the new legal regulations, and the new draft of the Ministry of the Environment regulation on the issue of dumps, using the author's own large research experience, and data from the literature on the subject and from archive materials. Special attention was paid to the issue of geologic conditions of prospective dumping sites localization, to mineral isolation barriers, to the research scope and techniques for wet dumps (deposit ponds) and dumping grounds, geologic inspection during exploitation, monitoring, liquidation and dump area recultivation.

**Key words:** waste, waste dump, storage site, selection, monitoring, mineral isolation barriers, geologic research, geology and engineering conditions, hydrogeology conditions

Składowisko odpadów jest obiektem budowlanym. Składowanie należy rozumieć jako element gospodarki odpadami i traktować jako formę unieszkodliwiania odpadów po racjonalnie przeprowadzonym gromadzeniu, transporcie i uprzednim odzysku materiałów w ramach recyklingu.

W świetle najnowszych zdobyczy nauki w zakresie gospodarki odpadami, składowanie powinno być traktowane jako sposób, który należy stosować po wykorzystaniu innych metod unieszkodliwiania odpadów.

Rozwój techniki i technologii składowania odpadów oraz zdobywane doświadczenia w trakcie eksploatacji składowisk powodują, że problematyka badań geologicznych poszerza się i w szczególności powinna dotyczyć wyboru lokalizacji, i projektowania, budowy, eksploatacji i likwidacji składowisk. W badaniach geologicznych powinny być uwzględnione szeroko pojęte uwarunkowania środowiska, jak również właściwości materiału składowanego oraz przyjęte technologie składowania.

Inspiracją do napisania niniejszego artykułu są doświadczenia autora uzyskane w trakcie badań lub sporządzania ocen dla wielu składowisk odpadów przemysłowych i komunalnych. Dotyczy to między innymi wielkich składowisk odpadów poflotacyjnych takich jak: siarki w Cyganach, pomiedziowych Gilów, Żelazny Most, popiołów i żużli dla elektrowni wielkich mocy: EC Sierki, Żerań, Kawęczyn, Pruszków, Łaziska Górne, Kozienice, Ostrołęka, odpadów z zakładów chemicznych Tarnowskie Góry, odpadów komunalnych z Płocka w Bonisławiu, z Sierpca, Kutna w Krzyżanówku, Gostynina, Żychlina, Józefowa.

Literatura przedmiotu jest bardzo bogata, szczególnie należy wymienić prace: Burkhard i in. (1997), Dembicki & Schlosser (1997), Drągowski (1997, 1998a, b), Garbulowski (2000), Łuczak-Wilamowska (2000), Wysokiński (1997) oraz Szyszowski (2000).

### Gospodarowanie odpadami a składowanie

Zgodnie z Ustawą o odpadach ... (2001) składowanie jest formą unieszkodliwiania odpadów, podobnie jak przetwarzanie termiczne, biochemiczne i inne.

Z faktu tego wynika, że składowanie musi być dokonywane tak, aby deponowany materiał nie wpływał negatywnie na środowisko przyrodnicze, w tym geologiczne oraz na zdrowie i życie ludzi. Stwarza to określone wymogi co do stosowanych zabezpieczeń, technologii i eksploatacji składowiska.

W Polsce składowanie jest najpowszechniej stosowaną formą unieszkodliwiania odpadów. Na podstawie aktualnych danych statystycznych z 2000 r. (ilustruje to ryc. 1 i ryc. 2), odpadów, z wyłączeniem komunalnych, wytworzono 125,5 mln t, z czego wykorzystano 76,9%, a unieszkodliwiono 20%, w tym przez składowanie 17,8%. Przy czym należy podać, że odpady tego typu nagromadzone (stan na koniec 2000 r.) wynosiły 2011,0 mln t. Odpady komunalne stałe, wytworzone ogółem w Polsce w ilości 12 226 tys. t zostały w ilości 2,9 tys. t unieszkodliwione w spalarni, a w ilości 248,3 tys. t w kompostowniach co stanowi 2,0% wywiezionych odpadów ogółem.

Obecnie w Polsce zgodnie z ustawą *O odpadach* z dn. 27 kwietnia 2001 r. obowiązuje podział na trzy typy składowisk odpadów:

- składowiska odpadów niebezpiecznych,
- składowiska odpadów obojętnych,
- składowiska inne niż niebezpieczne i obojętne.

Polska należy do krajów, gdzie charakter gospodarki, odkryte złoża, ich eksploatacja i przeróbka wymusiły konieczność budowy wielkich, w skali europejskiej, składowisk związanych z eksploatacją siarki, miedzi, cynku i ołowiu oraz z produkcją energii elektrycznej. Na tych składowiskach, była możliwość prowadzenia wieloletnich badań, zdobywania doświadczeń i doskonalenia technologii składowania.

Specyfiką polską w składowaniu odpadów jest to, że poza wielkimi składowiskami, istnieje także duża liczba przeważnie małych składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Istnieje tendencja do budowy składowisk odpadów komunalnych prawie w każdej gminie oraz tworzenia małych, niekiedy po kilka składowisk, w obrębie jednego zakładu przemysłowego. Tendencja ta powinna być zahamowana, a liczba składowisk małych ulegać wyraźnemu zmniejszeniu.

\*Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

### Główne problemy badawcze

Problematyka geologicznych badań dla składowisk dotyczyć powinna następujących grup zagadnień:

□ charakterystyki fizykochemicznych właściwości materiału składowanego ze względu na oddziaływanie na środowisko, jak również jako materiału konstrukcyjnego mającego wpływ na stabilność samego składowiska,

□ technologii składowania głównie z podziałem na zwałowanie materiału (składowanie „na sucho”) oraz osadzanie materiału w środowisku wodnym (składowanie „na mokro”),

□ wyboru lokalizacji ze względu na najkorzystniejsze warunki geomorfologiczne, geologiczne, geologiczno-inżynierskie, hydrogeologiczne i inne uwarunkowania środowiskowe i zagospodarowania terenu,

□ doboru i ocen gruntów jako sztucznych mineralnych barier izolacyjnych,

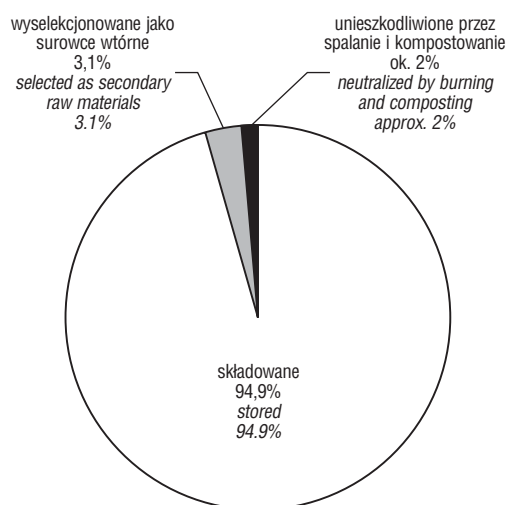
□ właściwego doboru metod badawczych (polowych i laboratoryjnych) rozpoznania materiału składowanego oraz podłoża składowiska,

□ monitoringu środowiska w strefie składowiska, przede wszystkim gleb, gruntów, wód podziemnych i powierzchniowych, procesów geodynamicznych,

□ dokumentowania i określenia kierunków rekultywacji i zagospodarowania likwidowanych składowisk.

### Charakterystyka składowanego materiału

W badaniach, w pierwszym rzędzie, należy określić skład chemiczny odpadów i podać ocenę ewentualnego oddziaływania na środowisko, uwzględniając przyjęty podział odpadów na niebezpieczne, obojętne i inne niż niebezpieczne i obojętne dla środowiska. Metodyka badań chemicznych powinna uwzględniać rozpuszczające oddziaływanie wody o zróżnicowanym pH. Należy określić cechy fizyczno-mechaniczne istotne dla oceny jego właściwości konstrukcyjnych. W ustaleniu zakresu badań należy uwzględnić sposób składowania materiału, a więc



**Ryc. 1.** Odpady komunalne wytworzone i nagromadzone w 2000 r.; ogółem w Polsce w 2000 r. wytworzono 12,2 mln t odpadów komunalnych

**Fig. 1.** Municipal wastes produced and accumulated in 2000; in total Poland produced 12.2 million tons of municipal waste in 2000

czy będzie on składowany jako zwał, czy też na mokro jako osad. W pierwszym przypadku będą istotne: zagęszczalność materiału, odkształcalność, przemiennność właściwości w czasie, podatność na erozję, procesy biochemiczne związane z zawartością substancji organicznych. W drugim przypadku: właściwości filtracyjne, deformacje filtracyjne, podatność na erozję, właściwości określające warunki rozfrakcjonowania materiału i kształtowania jego właściwości w procesie namywania.

### Technologia składowania

Rozróżnia się zasadniczo dwa sposoby składowania odpadów na powierzchni terenu:

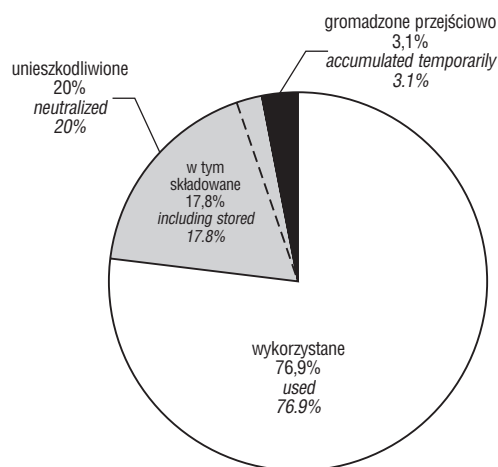
□ na sucho poprzez zwałowanie, przy użyciu sprzętu mechanicznego,

□ na mokro w stawach osadowych.

Przy zastosowaniu tych metod składowanie może odbywać się podziemowo, nadziemowo lub w sposób mieszany. Zwałowanie odbywa się na ściśle określonej powierzchni, najczęściej warstwami, przy założonej docelowej geometrii składowania. W Polsce obserwuje się wyraźną tendencję do składowania odpadów komunalnych w uprzednio przygotowanych obwałowaniach, stopniowo podwyższanych. Ze względu na przeważnie słabe usprzętowanie składowisk (niewielka liczba kompaktorów i innego sprzętu zagęszczającego) zagęszczenie odpadów jest niezadowalające, szczególnie w odniesieniu do odpadów komunalnych.

Składowanie na mokro w stawach osadowych polega na namywaniu osadu w zbiorniku o przygotowanej docelowej objętości lub w zbiorniku, którego objętość zwiększa się poprzez stopniowe podwyższanie obwałowań. Składowiska mokre są obiektami budownictwa wodnego i należy w stosunku do nich stosować odpowiednie rygory bezpieczeństwa eksploatacji.

Jak to wykazały badania modelowe przeprowadzone na Wydziale Geologii UW i potwierdzone na wielu składowiskach w procesie namywania istnieje możliwość kształtowania właściwości osadu poprzez jego rozfrakcjonowanie. W wyniku dookólnego namywania w kwaterze



**Ryc. 2.** Odpady (z wyłączeniem komunalnych) wytworzone i nagromadzone w 2000 r.; ogółem w Polsce w 2000 r. wytworzono 125,5 mln t odpadów innych niż komunalne

**Fig. 2.** Wastes (excluding municipal wastes) produced and accumulated in 2000; in total Poland produced 125.5 million tons of non-municipal waste in 2000

stawu osadowego wytwarza się plaża, która jak wykazują doświadczenia ze składowisk mokrych popiołów i żużli z elektrowni, osadów poflotacyjnych siarki i od kilku lat na składowisku Żelazny Most i Trzebieńka stanowi podłoże dla kolejnego etapu nadbudowy obwałowań, jak również miejsce poboru materiału na obwałowanie.

Poprzez wytworzenie plaży osiąga się większe bezpieczeństwo pracy składowiska (odsunięcie akwenu od obwałowań), co bardzo dobrze sprawdza się na składowisku Żelazny Most. Przeprowadzone przez A. Dragowskiego i Z. Glazera badania na składowisku w Cyganach i prowadzone obecnie badania przez zespół M. Werno z Instytutu Morskiego na składowisku Żelazny Most (1998–2001) i Trzebieńka (2002) wskazują, że przez system dookólnego, ukierunkowanego namywania i rozfrakcjonowania osadu następuje uszczelnianie dna składowiska. Na uszczelnienie ma również wpływ kolmatacja utworów budujących dno składowiska. Wykazują to badania prowadzone przez pracowników katedry na składowisku w Przeworsku (Dragowski i in., 2002).

Z przeglądu metod składowania odpadów wynika wyraźne zróżnicowanie celów badawczych, geologicznych, geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych. Każdy ze sposobów składowania niesie ze sobą konieczność określania specyficznych danych o podłożu i zachowaniu się materiału składowanego. Należy zwrócić uwagę, że problematyka badawcza w przypadku składowisk mokrych jest rozbudowana i bardziej złożona, dotyczy może np. kształtowania właściwości namywanego materiału, tworzenia warstw izolacyjnych i uszczelniania dna zbiornika, infiltracji wód przez obwałowania, stateczności obwałowań.

W badaniach geologicznych dotyczących technologii składowania należy uwzględnić przyjęte dla danego składowiska koncepcje izolacji. Dotyczyć one powinny naturalnych barier izolacyjnych, wykształconych jako warstwy geologiczne podłoża oraz ocen właściwości izolacyjnych gruntów przewidywanych jako mineralne bariery izolacyjne. Konieczne mogą się okazać badania poszukiwawcze miejsc występowania (w strefach ekonomicznie uzasadnionych) gruntów, które mogłyby być wykorzystane jako materiał barier izolacyjnych.

### Wybór lokalizacji składowisk

Racjonalny wybór miejsca lokalizacji składowiska, a szczególnie odpadów niebezpiecznych jest procesem złożonym i powinien przebiegać według ściśle określonych procedur, uwzględniających wszystkie elementy środowiska i zagospodarowania terenu. Szczególnie w procesach tych powinno być uwzględnione środowisko geologiczne, gdyż w nim, lub bezpośrednio na nim, jako podłożu są lokowane odpady.

Ze względu na konfliktowy charakter przedsięwzięcia, prace studialne nad wyborem lokalizacji składowisk należy rozpocząć od ustalenia ilości i właściwości odpadów. Określić i wyeliminować z dalszych studiów lokalizacyjnych:

- obszary prawnie chronione (parki narodowe, rezerваты, parki krajobrazowe, obszary chronionego krajobrazu),
- rejony w sąsiedztwie pomników przyrody,
- rejony w sąsiedztwie zabytków architektury,

- ujęcia wód i strefy sanitarne tych ujęć,
- strefy ochronne zbiorników wód powierzchniowych,
- pas wybrzeży nadmorskich,
- tereny znajdujące się w pobliżu lotnisk,
- obszary zabudowy miejskiej, osiedlowej i zwartej zabudowy wiejskiej.

Kryteria geologiczne wyboru lokalizacji składowisk oparto o własne badania w tym zakresie (Dragowski 1997, 1998a) oraz literaturę przedmiotu: Projekt Rozporządzenia Ministra Środowiska ... (2002), Bażyński i in. (1999), Geotechnika składowisk ... (1994), Instrukcja 340/96, oraz Frankowski (1998).

Uwzględniając kryteria geologiczne można wydzielić obszary na których budowa składowisk jest:

I — niewskazana, a dla składowisk odpadów niebezpiecznych niedopuszczalna,

II — możliwa z ograniczeniami z wyjątkiem składowisk odpadów niebezpiecznych,

III — korzystna dla wszystkich typów składowisk.

Na warunki w grupie I wpływają:

- ujęcia wody,
- obszary mis jeziornych,
- doliny rzeczne,
- płytko położone zwierciadło wody gruntowej,
- gleby klasy bonitacyjnej I–III,
- obszary czynnych procesów geodynamicznych (osuwiska, czynny kras),
- obszary eksploatacji górniczej, na których występują odkształcenia nieciągłe powierzchni terenu.

Tereny, gdzie ze względów geologicznych możliwe jest składowanie odpadów lecz z ograniczeniami wymagającymi zastosowania odpowiednich rozwiązań technicznych i szeroko zakrojonych badań:

strefy, w których lokalizacja składowiska stwarza zagrożenia dla GZWP i UZWP,

obszary eksploatacji górniczej, na których występują odkształcenia ciągłe powierzchni terenu,

obszary o nachyleniu stoku  $> 15^\circ$ ,

obszary zaburzone glacictektoniczne.

Za obszary korzystne należy uznać takie, które pozwalają w sposób optymalny wykorzystać właściwości izolacyjne podłoża i jego nośność.

W obrębie dwóch ostatnich obszarów (II i III) należy dążyć aby składowisko lokować:

- w obszarach zdegradowanych,
- obszarach przylegających do istniejących składowisk,
- wykorzystać istniejące wyrobiska poeksploatacyjne.

Przy stosowanych obecnie rozwiązaniach izolacji składowisk mogą to być nawet wyrobiska po utworach sypkich, przy czym istotne jest takie wyprofilowanie ich zboczy, aby można było bezpiecznie układać warstwy izolacyjne.

Wybór lokalizacji powinien być udokumentowany i przedstawiony w formie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i hydrogeologicznej.

Algorytm wyboru lokalizacji składowisk na przykładzie byłego województwa warszawskiego przedstawił Dragowski (1998a).

## Mineralne bariery izolacyjne

Rola tego typu izolacji wzrasta, a odpowiednie projekty przepisów postulują, aby podstawowe zabezpieczenie składowiska stanowiła mineralna bariera izolacyjna naturalna lub sztuczna. O roli problemu może świadczyć fakt, że w celu wykonania bariery izolacyjnej o grubości 0,5 m w dzień składowiska o powierzchni 5 ha konieczne będzie wydobywanie, dostarczenie, uformowanie i zagęszczenie 25 000 m<sup>3</sup> gruntów o odpowiednich parametrach.

Istotne staje się więc określenie kryteriów doboru gruntów na izolacje i przeprowadzenia odpowiednich, porównywalnych badań w celu oceny możliwości wykorzystania gruntów spoistych Polski na mineralne bariery izolacyjne. Pozwoli to na lokalne ich wykorzystanie przy budowie składowisk, bez konieczności ich przewożenia na dużych odległościach. Stosowane są kryteria zaczerpnięte z literatury zagranicznej, uwzględniające przede wszystkim właściwości filtracyjne i plastyczność. Prowadzone w Katedrze Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych Wydziału Geologii badania ilów z Mszczonowa (Łuczak-Wilamowska, 1997) pozwoliły na uściślenie kryteriów doboru. Poza cechami identyfikacyjnymi, składem mineralnym istotne są właściwości sorpcyjne, porowatość, współczynnik filtracji, parametry plastyczności — skurcz, pęcznienie, wilgotność optymalna, parametry mechaniczne, zagęszczalność.

W ocenach izolacyjnych właściwości gruntów należy uwzględnić możliwość odpowiedniego kształtowania ich właściwości przez np. wykonywanie mieszanek gruntowych.

## Metodyka badań geologicznych

Odniesienia do metodyki badań geologicznych dla składowisk są zawarte w obowiązującym Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 19 grudnia 2001 r. dotyczącym szczegółowych zasad sporządzania dokumentacji hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich. W rozporządzeniu tym określa się zasady i zakres sporządzania dokumentacji dla składowisk wskazując, że dokumentacja dla potrzeb składowania powinna między innymi ustalić:

- model budowy geologicznej z uwzględnieniem warstw izolujących i wodonośnych,
- ocenę zagrożenia środowiska przez odcieki, biogaz i inne czynniki związane z eksploatacją składowiska,
- prognozę wpływu składowiska na środowisko,
- ocenę warunków geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych dla projektowania, wykonania, użytkowania i rekultywacji składowiska.

Dane odnośnie metodyki badań, w tym badań geologicznych i geotechnicznych przedstawione są w Instrukcjach nr 340/96, 337/95, 339/96. Instrukcje te wraz ze zmianą przepisów stały się mało aktualne.

W projekcie Rozporządzenia Ministra Środowiska ... (2002), zawarto wiele odniesień do zakresu i metodyki badań geologicznych i hydrogeologicznych. Nie zwrócono jednak uwagi na konieczność szerszego dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich dla wyboru lokalizacji i etapów projektowania. Pominięto w nim wiele zagadnień dotyczących dynamiki procesów zachodzących w składowiskach i w jego podłożu, a mających wpływ na bezpieczeństwo jego pracy. Chodzi tu między innymi o sta-

teczność zboczy, deformacje filtracyjne, uszczelnianie się składowisk, nośność podłoża, wypieranie gruntów podłoża. Należy mieć nadzieję, że zagadnienia te jako istotne znajdują się w ostatecznej wersji Rozporządzenia Ministra Środowiska i instrukcji, którą trzeba będzie opracować.

Poważne zastrzeżenia budzi proponowana w rozporządzeniu kwestia doboru ilości i głębokości otworów wiertniczych. Powinny być one określone w zależności od geometrii składowiska, w tym szczególnie wysokości, charakterystyki składowania (na mokro i na sucho), złożoności budowy geologicznej, czynnych procesów geodynamicznych.

Powinno się uwzględnić w znacznym zakresie sondowania statyczne i dynamiczne różnych typów, takich jak CPTU, badania dylatometryczne i inne, przedstawione przez Bażyńskiego i innych (1999).

W rozporządzeniu, jak i w praktyce prowadzenia badań, szczególna uwaga powinna być zwrócona na dokumentowanie warunków geologicznych dla składowisk odpadów niebezpiecznych. Może się okazać, tak jak w przypadku składowiska w Kotlarni, że rozpoznanie warunków hydrogeologicznych i przemieszczania się zanieczyszczeń prowadzić trzeba do głębokości ponad 100 m.

W odniesieniu do odpadów obojętnych stawianie dosyć rygorystycznych wymogów, co do właściwości izolacyjnych podłoża jest nieuzasadnione, na przykład podanie wymogów aby miąższość naturalnej bariery izolacyjnej była nie mniejsza niż 1,0 m, a współczynnik filtracji „k” był mniejszy niż  $1 \times 10^{-7}$  m/s.

Zakres i metodyka badań polowych lub laboratoryjnych podłoża powinna być dostosowana do wykształcenia gruntów i procesów geodynamicznych zachodzących w podłożu. Do problemów tych w rozporządzeniu podchodzi się dość rygorystycznie, preferując określone metody badań nie zawsze najwłaściwsze.

Istotne jest aby w rozporządzeniu zostało określone dla jakich składowisk należy wykonywać dokumentację geologiczno-inżynierską, a dla jakich dokumentację geologiczno-inżynierską i hydrogeologiczną. Zdaniem autora dokumentacja hydrogeologiczna powinna być wykonywana tylko w przypadku złożonych warunków hydrogeologicznych.

## Geologiczne problemy w opracowaniach dotyczących oddziaływania składowisk na środowisko

Zgodnie z ustawą z dn. 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska* przewiduje się postępowania w sprawie ocen oddziaływania na środowisko skutków realizacji planów i programów planów przestrzennego zagospodarowania terenu dla których opracowuje się prognozy oraz postępowania w sprawie ocen oddziaływania przedsięwzięć na środowisko dla których sporządza się raporty.

Dla problematyki składowisk szczególnie istotne będą badania geologiczne służące sporządzaniu raportów oddziaływania składowisk na środowisko oraz, w wyjątkowych sytuacjach, przeglądów ekologicznych. Obowiązek sporządzania raportów zależy od typu składowiska, będzie obligatoryjny, wynikający z ustawy, lub zalecony w drodze postanowienia właściwego organu administracyjnego. Przeglądy ekologiczne są dokonywane na podstawie

decyzji organu ochrony środowiska, gdy stwierdzono okoliczności wskazujące na możliwość negatywnego oddziaływania instalacji na środowisko.

Zakres badań geologicznych w celu opracowania raportów oddziaływania na środowisko powinny być zróżnicowane, zależny od budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich, procesów geodynamicznych, technologii składowania, wysokości składowisk nadpoziomowych, zastosowanych rozwiązań technicznych oraz zakresu monitoringu. Zgodnie z ustawą z dn. 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska* zakres raportu lub przeglądu, w tym cele badań geologicznych, określa właściwy organ uprawniony do wydania decyzji w sprawie planowanego lub istniejącego przedsięwzięcia.

### Monitoring składowisk

Problematyka monitoringu jest szeroka i dotyczy: metodyki badań, zakresu badań, interpretacji wyników, oceny stanu środowiska i prognozy jego zmian.

W Polsce monitoring składowisk najczęściej odnosi się do wód podziemnych i powierzchniowych. Temu zagadnieniu jest poświęcona bogata literatura. Szerokie omówienie zagadnień przedstawiono w pracach: Kazimierskiego i Sadurskiego (1999) oraz Szyszkowskiego (2000).

Pomija się jednak kwestie stateczności obwałowań i rozkładu górnej linii prądu w obrębie obwałowań składowisk mokrych, odkształceń podłoża i wypierania podłoża spod składowisk.

Monitoring wód podziemnych w strefie oddziaływania składowisk w przyjętym podziale systemów monitoringu ma charakter lokalny, ale interpretacja wyników powinna być odnoszona do danych z sieci monitoringu regionalnego, a nawet krajowego. Należy poprzeć ogólną ideę aby projektowanie, realizacja i eksploatacja sieci monitoringu była prowadzona etapami:

I) prace wstępne — obejmujące analizę materiałów archiwalnych, wizję lokalną składowiska, wstępne badania hydrogeologiczne,

II) opracowanie projektu monitoringu, a w nim:

□ ustalenie przewidywanych zanieczyszczeń i przewidywanych czynników geologicznych określających zasięg oddziaływania na środowisko,

□ określenie zadania monitoringu i uzgodnienie jego koncepcji,

□ zlokalizowanie punktów sieci obserwacyjnej,

□ określenie metodyki, zakresu i częstotliwości pomiarów,

III) realizacja i eksploatacja sieci monitoringu, która obejmuje:

□ wykonanie piezometrów lub adaptacja istniejących,

□ wykonywanie badań, zgodnie z przyjętą w projekcie koncepcją,

□ opracowanie raportu po każdym cyklu pomiarowym i ustalenie harmonogramu badań wieloletnich.

Podobnie monitoring dotyczący stateczności składowiska oraz odkształceń podłoża i zachowania się wód infiltrujących przez obwałowania w składowiskach mokrych musi być odpowiednio zaprojektowany, a realizacja pomiarów powinna przebiegać według ustalonej koncepcji, określonej metodyki i częstotliwości pomiarów.

Ze względu na niebezpieczeństwo jakie niesie ze sobą eksploatacja składowisk mokrych i możliwość powstania poważnych awarii, szczególnie będą istotne okresowe pomiary (monitoring) stateczności obwałowań i określenie położenia górnej linii prądu wody infiltrującej przez obwałowanie.

Jak to wynika z badań na składowisku w Cyganach, monitoring ten był prowadzony w odpowiednio wyznaczonych przekrojach, prostopadłych do osi obwałowań. Odształcenia obserwowano i analizowano w odstępach trzymiesięcznych w oparciu o precyzyjne pomiary geodezyjne reperów dla współrzędnych x, y, z. Pomiarów wahań górnej linii prądu, istotnych z uwagi na ewentualne upłynnianie się gruntów obwałowań, dokonywano w rozmieszczonych w tych profilach piezometrach.

W podłożu, w strefach, gdzie jest spodziewane wypieranie gruntów spod składowiska, konieczne jest założenie reperów lub inklinometrów, pozwalające na śledzenie kierunków i przebiegu tego procesu.

Dotychczasowe doświadczenia autora dotyczące monitoringu składowisk pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

□ dla składowisk odpadów niebezpiecznych nie można ograniczyć monitoringu do pierwszego poziomu wód podziemnych,

□ monitoring dotyczący stateczności składowisk i podłoża powinien być prowadzony na wszystkich składowiskach mokrych oraz na składowiskach (zwałowiskach) gdzie istnieje podejrzenie zachwiania stateczności zboczy, monitoring taki powinien być prowadzony w ramach nadzoru geologiczno-inżynierskiego lub geotechnicznego,

□ w skali kraju, w ramach przeglądów ekologicznych, powinny być wyeliminowane i zastąpione nowymi piezometry o przestarzałych konstrukcjach filtra i wykonane z nieodpowiednich materiałów,

□ piezometry stanowiące sieć obserwacyjną składowisk powinny być instalowane z wyprzedzeniem, w trakcie badań geologiczno-inżynierskich lub hydrogeologicznych, wykonywanych na etapie projektowania przedsięwzięcia.

### Procesy geodynamiczne

Udokumentowanie tych procesów musi objąć znacznie większą strefę niż podstawa składowiska. Złożoność budowy geologicznej i występujące w strefie zainteresowań procesy geodynamiczne muszą być uwzględniane przy wyborze lokalizacji, projektowaniu, wykonawstwie i likwidacji składowisk. W trakcie dokumentowania warunków geologiczno-inżynierskich należy dokonać rejestracji tych zjawisk oraz przedstawić prognozę ich rozwoju. Szczególnie istotne będą ruchy masowe (osuwiska, obrywy, spęływania), zjawiska krasowe, deformacje powierzchni terenu związane z eksploatacją górnictwem, deformacje filtracyjne gruntu, wypieranie podłoża. Rozpoznanie tych procesów wymagać będzie zastosowania odpowiednich do rozwoju zjawiska metod badawczych.

Z doświadczeń autora opartych na dokonanych ocenach oddziaływania na środowisko dużej liczby składowisk wynika, że niedostrzeżenie rozwijających się czynnych procesów geodynamicznych w strefie składowiska są przyczyną zaburzeń w jego pracy, a nawet wystąpieniem poważnych awarii. Powinien być spełniony, od dawna

składany postulat, aby prowadzić w trakcie eksploatacji składowiska nadzór geologiczny lub geotechniczny.

Osobne zagadnienie stanowi niebezpieczeństwo powodzi i podtopień w rejonach składowisk.

### Wnioski

□ Gospodarka odpadami w Polsce daleko odbiega od standardów europejskich. Zbyt mało odpadów jest wykorzystywanych gospodarczo, a unieszkodliwianie odbywa się w zasadniczej mierze poprzez składowanie.

□ Z danych statystycznych i dokonywanych ocen oddziaływania na środowisko wynika, że struktura składowania w Polsce jest wyjątkowo niekorzystna. Przy występowaniu wielkich w skali europejskiej składowisk, istnieje duża liczba składowisk małych, o powierzchni poniżej 3 ha. Większość eksploatowanych składowisk nie ma odpowiednich izolacji, infrastruktury i usprzętowania. Wszystkie te czynniki powodują, że oddziaływanie składowisk na środowisko, szczególnie geologiczne, jest niekorzystne.

□ Małe składowiska, lokalizowane przypadkowo, bez uwzględnienia uwarunkowań środowiskowych, stanowią w większości, jak to wynika z ocen autora, poważne zagrożenie dla środowiska najczęściej ze względu na brak odpowiednich barier izolacyjnych, urządzeń technicznych, dozoru i monitoringu oddziaływania. Postuluje się, aby szczególnie w zakresie odpadów komunalnych, budować składowiska duże w skali jednego powiatu, a nie gminy, jak to jest obecnie praktykowane.

□ Doliny rzeczne wymagają specjalnej ochrony, a w ich obrębie nie powinny być lokalizowane składowiska odpadów. Obecnie istniejące składowiska odpadów niebezpiecznych należy zlikwidować, zrehabilitować i zagospodarować.

□ Przy projektowaniu składowisk obserwuje się niedostateczne rozpoznanie właściwości materiału deponowanego, co powoduje, że często trudno jest określić stopień zagrożenia materiału dla środowiska oraz możliwości wykorzystanie jego konstrukcyjnych właściwości.

□ Brak jest jednoznacznych, wypracowanych w Polsce, kryteriów ocen izolacyjnych właściwości gruntów podłoża jako naturalnych barier izolacyjnych i nie ujednoczona jest metodyka badań gruntów przeznaczonych na mineralne bariery izolacyjne.

□ W dokumentowaniu warunków geologiczno-inżynierskich szczególną uwagę należy zwrócić na możliwości występowania czynnych procesów geodynamicznych. Procesy te należy rejestrować, prognozować ich dalszy rozwój i odpowiednio przeciwdziałać.

□ Dokumentowanie warunków geologiczno-inżynierskich, jego zakres i dokładność rozpoznania powinno zależeć od określonego ustawą rodzaju składowiska. Należy również różnicować wymogi co do właściwości izolacyjnych podłoża.

□ Wybór optymalnej lokalizacji składowiska, po uwzględnieniu czynników ekonomicznych i innych niż geologiczne kryteriów środowiskowych powinien być dokonany na podstawie prac studialnych geologiczno-inżynierskich i hydrogeologicznych, opracowanych w formie dokumentacji.

□ Likwidacja i zagospodarowanie składowiska, powinna być tak przeprowadzona, aby wyeliminować nie-

korzystne jego oddziaływanie na środowisko. Obszar w strefie składowisk należy monitorować.

### Literatura

- BAŻYŃSKI J., DRĄGOWSKI A., FRANKOWSKI Z., KACZYŃSKI R., RYBICKI S. & WYSOKIŃSKI L. 1999 — Zasady sporządzania dokumentacji geologiczno-inżynierskich. Państw. Inst. Geol.
- BURKHARD G., EGLOFFSTEIN TH. & MAUBEUGE KENT P. 1997 — Porównanie systemów uszczelnień składowisk odpadów — próba interpretacji pojęcia porównywalności (równoważności). Mat. Konf. Nauk.-Tech. nt. Geotechnika w budowie składowisk odpadów. Wyd. Inst. Tech. Bud., Pułtusk 22–24 października 1997 r.
- DEMBICKI E. & SCHLOSSER F. 1997 — Ulepszanie podłoża gruntowego. Mat. Konf. Nauk.-Tech. nt. Geotechnika w budowie składowisk odpadów. Wyd. Inst. Tech. Bud., Pułtusk 22–24 października 1997 r.
- DRĄGOWSKI A. 1997 — Problemy ze składowaniem odpadów komunalnych w świetle dokonywanych ocen oddziaływania na środowisko. Mat. Konf. Nauk.-Tech. nt. Geotechnika w budowie składowisk odpadów. Wyd. Inst. Tech. Bud., Pułtusk 22–24 października 1997 r.: 97–106.
- DRĄGOWSKI A. 1998a — Algorytm wyboru lokalizacji składowisk na przykładzie województwa warszawskiego. VIII Międz. Konf. nt. Budowa bezpiecznych składowisk odpadów. Wyd. Grupa Konsultingowo-Projektowa Abrys. Wisła 25–27 luty 1998: 67–78.
- DRĄGOWSKI A. 1998b — Grunty antropogeniczne w badaniach geologiczno-inżynierskich. Mat. II Ogólnopol. Symp. nt. Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce w Kiekrzu k. Poznania 28–30 maja 1998 r.: 125–131.
- DRĄGOWSKI A. 2000 — Problemy ochrony środowiska w badaniach geologiczno-inżynierskich. Mat. Sem. nt. Aktualne problemy geologiczno-inżynierskich badań podłoża budowlanego i zagospodarowania terenu. Warszawa, listopad 1999.
- DRĄGOWSKI A., CABALSKI K. & RADZIKOWSKI M. 2002 — Badania bezpośrednie procesów samouszczelniania się składowisk mokrych na przykładzie składowiska w Przeworsku. Prz. Geol., 50: 975–979.
- FRANKOWSKI Z. 1998 — Warunki lokalizacji składowisk odpadów niebezpiecznych. VIII Międz. Konf. nt. Budowa bezpiecznych składowisk odpadów. Wyd. Grupa Konsultingowo-Projektowa Abrys. Wisła 25–27 luty 1998: 89–99.
- GARBULEWSKI K. 2000 — Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych, 2000. Wyd. SGGW.
- Geotechnika** składowisk odpadów. Projektowanie i roboty zabezpieczające. Zalecenia techniczne. 1994 — Niemieckie Stowarzyszenie Geotechniczne. Geoteko, Warszawa.
- Instrukcja** 337/95 — Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych. Wyd. Inst. Tech. Bud., Warszawa, 1995.
- Instrukcja** 339/96 — Badania szczelności izolacji mineralnych składowisk odpadów. Wyd. Inst. Tech. Bud., Warszawa, 1996.
- Instrukcja** 340/96 — Projektowanie wykonywanie badań do lokalizacji składowisk odpadów komunalnych. Wyd. Inst. Tech. Bud., Warszawa, 1996.
- KAZIMIERSKI B. & SADURSKI A. (eds.) 1999 — Monitoring osłony ujęć wód podziemnych, metody badań. Państw. Inst. Geol.
- ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 2000 — Hy neogeńskie w Mszczonowa jako materiał izolacyjny dla składowisk odpadów. IV Konf. Nauk.-Tech. nt. Aktualne problemy naukowo-badawcze budownictwa.
- Projekt** Rozporządzenia Ministra Środowiska wersja z dnia 15 kwietnia 2002 w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów.
- Rocznik** statystyczny — Ochrona Środowiska, 2001 — Wyd. GUS.
- Rozporządzenie** Ministra Środowiska z dn. 19 grudnia 2001 r. w sprawie szczegółowych wymagań jakim powinny odpowiadać dokumentacje hydrogeologiczne i geologiczno-inżynierskie.
- SZYSZKOWSKI P. (ed.) 2000 — Metody badania i rozpoznawania wpływu na środowisko gruntowo-wodne składowisk odpadów stałych. Wyd. El-Press, Warszawa.
- Ustawa** z dnia 27 kwietnia 2001 r. — O odpadach. Dz. U. Nr 62 poz. 628.
- Ustawa** z dnia 27 kwietnia 2001 r. — Prawo ochrony środowiska. Dz. U. Nr 62 poz. 627.
- WYSOKIŃSKI L. 1997 — Modernizacja i rekultywacja składowiska odpadów komunalnych. Mat. Konf. Nauk.-Tech. Geotechnika w budowie składowisk odpadów, Pułtusk. Wyd. Inst. Tech. Bud., Warszawa.