

RAFAL GWÓZDŹ\*

WŁAŚCIWOŚCI GEOTECHNICZNE OSADÓW  
ZDEPONOWANYCH W JEZIORZE ROŹNOWSKIM ORAZ  
MOŻLIWOŚCI ICH WYKORZYSTANIA  
DO BUDOWY PRZESŁON MINERALNYCH  
W SKŁADOWISKACH ODPADÓW KOMUNALNYCH

GEOTECHNIC PROPERTIES OF SEDIMENT DEPOSITED  
IN THE ROŹNOWSKIE LAKE  
AND THE POSSIBILITY OF USING IT IN MUNICIPAL  
WASTE DISPOSAL SITE SOIL CONSTRUCTION

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań właściwości geotechnicznych osadów zdeponowanych w zbiorniku rożnowskim i możliwości ich wykorzystania do budowy zagęszczonych przesłon mineralnych w składowiskach odpadów. Wyniki uzyskane na podstawie badań laboratoryjnych wykazały obecność osadów spoiwych o zawartości części organicznych poniżej 3% wykształconych jako pyły, gliny i gliny pylaste. Badane grunty są odpowiednie do budowy warstw izolacyjnych w składowiskach odpadów. Ponieważ w składzie mineralnym frakcji ilowej dominują illit i kaolinit, badane osady można zastosować do formowania dolnej części przesłony mineralnej, tzw. nieaktywnej, której zadaniem jest utrzymanie długoletniej trwałości warstw uszczelnienia mineralnego. Autor proponuje, by do formowania przesłon mineralnych używać gruntów o zawartości frakcji ilowej  $f_i$  od 15 do 30%, zawartości części organicznych  $I_{om}$  poniżej 3% i wskaźniku zagęszczenia  $I_s$  powyżej 0,95.

*Słowa kluczowe: grunty nasypowe, składowiska odpadów, przesłony mineralne, współczynnik filtracji, przewodność hydrauliczna*

Abstract

The article describes the results of geotechnical properties tests of sediment deposited in Rożnowskie Lake and the possibility of using them in the construction of compacted soil liners of waste disposal sites. The results of the laboratory tests show that the types of soil which exist in the lake are silt, clay, silty clay and the sediment containing organic matter under 3%. The mineral structure of clay fraction is high in illit and kaolinit and it is advisable to use the soil in the bottom layer of waste disposal sites. This non-active bottom layer should keep the site sealed for a very long period of time. The authors advise to use the soil which contains clay fraction from 15 to 30%, organic matter under 3% and degree of compaction more then 0,95 in the construction of compacted soil liners.

*Keywords: embankment soils, landfill, mineral layers, coefficient of permeability, hydraulic conductivity*

\* Dr inż. Rafał Gwóźdź, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

Budowa sztucznych zbiorników retencyjnych stanowi naturalną przeszkodę dla materiału mineralnego transportowanego przez rzeki, szczególnie w okresach powodziowych. W wyniku tych zjawisk, intensywnie występujących w zbiornikach rzek górskich, rozwija się proces załadowania. Spośród wszystkich zbiorników zaporowych wybudowanych w rejonie południowej Polski najpoważniej problem ten uwidacznia się w zbiorniku różnowskim, zbudowanym na rzece Dunajec niedaleko Nowego Sącza. Szacuje się, że w tym zbiorniku w ciągu ok. 50 lat funkcjonowania obiektu zostało zdeponowane ok. 60 mln m<sup>3</sup> osadu [21, 25]. Duży zakres i znaczenie załadowania zbiornika różnowskiego skłoniło autora do podjęcia badań doświadczalnych mających na celu rozpoznanie i ocenę właściwości zdeponowanego w cofce osadu oraz wskazanie kierunków wykorzystania materiału gruntowego w budownictwie ziemnym, szczególnie do formowania przesłon mineralnych w składowiskach odpadów komunalnych.

Przesłony mineralne, często nazywane przesłonami ilowymi lub ekranami ilowymi, mają od wielu lat zastosowanie w budownictwie ziemnym jako sztuczne bariery hydrauliczne. Formuje się je np. przy budowie składowisk odpadów, głównie z naturalnych gruntów spoistych lub z mieszanek gruntów niespoistych i spoistych. Czasami są wzbogacone różnymi dodatkami, np. bentonitem, cementem, wapnem, popiołami lotnymi itp. Podstawową cechą przesłon ilowych jest bardzo mały współczynnik wodoprzepuszczalności, rzędu 10<sup>-9</sup>–10<sup>-10</sup> m/s.

Do lat 70. ub. wieku składowiska odpadów lokalizowano głównie w zagłębieniach poeksploatacyjnych kopalni odkrywkowych, naturalnych zagłębieniach terenu, dolinach potoków, obszarach nieużytecznych dla budownictwa. Wynikało to z małej znajomości skutków długotrwałego składowania odpadów na lądzie. Składowanie odpadów w miejscach, gdzie w podłożu występowały grunty spoiste uważane za nieprzepuszczalne, bez dodatkowych przesłon izolacyjnych okazało się w wielu przypadkach błędne [14]. Badania i obserwacje wykazały, że trudno jest znaleźć całkowicie jednorodną podłoże nieprzepuszczalne, bez spękań, przewarstwień gruntów bardziej przepuszczalnych, które stanowią uprzywilejowane drogi dla migracji zanieczyszczeń ze składowiska [17]. Proces migracji zanieczyszczeń nie zachodzi tylko na drodze filtracji opisaną liczbowo przez współczynnik filtracji. W gruntach słabo przepuszczalnych bardzo ważnym mechanizmem migracji zanieczyszczeń jest zjawisko dyfuzji. Wody odciekowe migrujące ze składowiska mogą zmieniać właściwości gruntów spoistych, co powoduje m.in. wzrost przewodności hydraulicznej [14].

Badania prowadzone w wielu krajach dotyczące metod budowy składowisk, rodzaju stosowanych materiałów izolacyjnych, negatywnego oddziaływania istniejących składowisk na środowisko naturalne doprowadziło do powstania koncepcji wielokrotnych barier zabezpieczających (ang. *Multi-Barrier-Concept*), mającej na celu całkowitą ochronę środowiska naturalnego przed negatywnymi skutkami oddziaływania składowisk odpadów [12].

Problematyka budowy składowisk w Polsce zaczęła się intensywnie rozwijać na początku lat 90. Instytut Techniki Budowlanej opracował instrukcje zawierające wytyczne dotyczące lokalizacji i typów składowisk, rodzaju stosowanych przesłon izolacyjnych i metod badania gruntów stosowanych jako warstwy izolacyjne [5–7]. W budowanych w latach 50. składowiskach nie stosowano zbyt często uszczelnień mineralnych, a jedynie

folię PEHD o grubości 2 mm. Wprawdzie folia HDPE zapewnia szczelność podłoża na żądanym poziomie, ale tylko wówczas, gdy nie jest uszkodzona, co w praktyce jest niemożliwe do osiągnięcia [20, 24]. Dopiero rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. [1] wprowadziło nakaz stosowania przesłon mineralnych jako barier przeciwfiltracyjnych dla wód odciekowych. Ustawa wymaga wykonania przesłony mineralnej o minimalnej miąższości 0,5 m i współczynnika filtracji  $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s, którą wykonuje się w taki sposób, by procesy osiadania w składowisku odpadów nie mogły jej zniszczyć, natomiast uzupełnieniem jest izolacja syntetyczna.

Przesłony mineralne [12] powinny charakteryzować się niską przewodnością hydrauliczną, dużą zdolnością adsorbcyjną opóźniającą migrację zanieczyszczeń, odpornością na działanie związków chemicznych oraz erozję. Głównym zadaniem przesłony izolacyjnej jest uniemożliwienie migracji odcieków ze składowiska do środowiska naturalnego oraz wód gruntowych do wnętrza składowiska, dlatego najczęściej spotykanym kryterium wyboru przesłony jest odpowiednio niska wodoprzepuszczalność wyrażona przez współczynnik filtracji  $k$ , zwany również współczynnikiem wodoprzepuszczalności. Praktyka inżynierska pokazała, że obok przepuszczalności są jeszcze inne ważne właściwości gruntu związane z techniczną możliwością formowania przesłon mineralnych, tzn. odpowiednie uziarnienie, wilgotność i plastyczność. Istotne są również właściwości geochemiczne gruntów wynikające ze składu mineralnego frakcji ilowej [14].

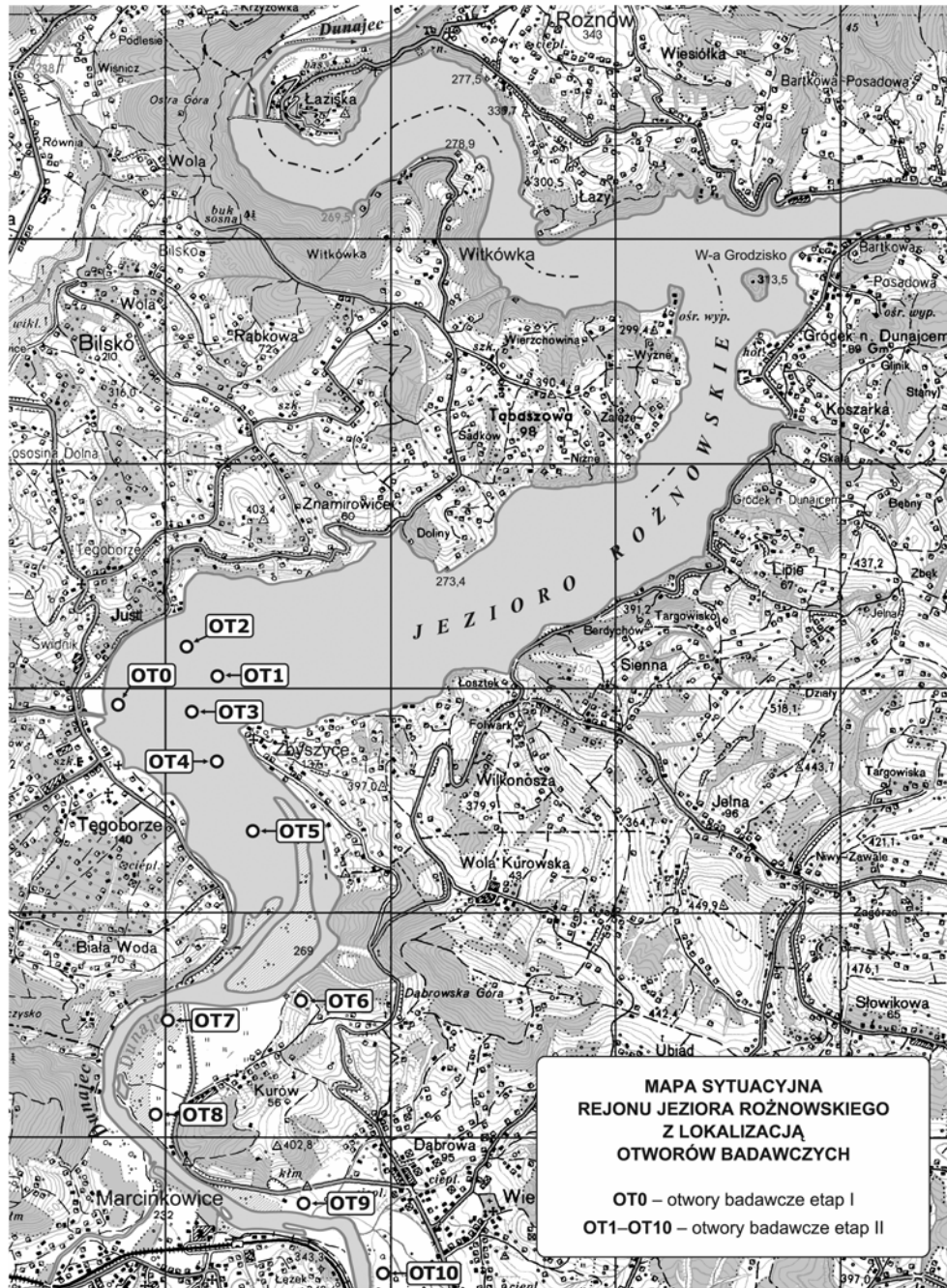
## 2. Charakterystyka badań terenowych i laboratoryjnych

W latach 2001–2005 autor wykonał badania terenowe i laboratoryjne osadów zdeponowanych w cofce Jeziora Rożnowskiego. Celem badań było szczegółowe rozpoznanie osadów dennych zgromadzonych w tej części doliny Dunajca. Badaniom poddano osady gromadzące się współcześnie w części cofkowej, bezpośrednio związane z procesem załadunku, jak również mady rzeczne zdeponowane na najniższym tarasie Dunajca, które znajdują się pod osadami dennymi. W ramach badań terenowych wykonano 11 otworów badawczych penetrometrem ręcznym do maksymalnej głębokości ok. 3 m p.p.t. z poborem próbek gruntu typu NW i NNS do badań laboratoryjnych. Zakres badań laboratoryjnych realizowanych wg PN-B-04481:1998 obejmował m.in. wykonanie analizy makroskopowej i granulometrycznej, oznaczenie składu mineralnego, wilgotności naturalnej, zawartości części organicznych, gęstości objętościowej, granic plastyczności i płynności, wilgotności optymalnej, pojemności sorpcyjnej oraz współczynnika filtracji przy wilgotności optymalnej i różnych wartościach wskaźnika zagęszczenia.

## 3. Charakterystyka osadów zdeponowanych w cofce zbiornika rożnowskiego

Analiza wyników badań składu mineralnego i właściwości fizycznych wykazała, że osady denne zbiornika rożnowskiego i pierwotne mady Dunajca reprezentowane są przez charakterystyczne typy gruntów:

- **Typ 1 – pierwotne mady Dunajca** – to pyły, pyły piaszczyste i gliny pylaste o zawartości frakcji ilowej od 7 do 13%, średnio 10% i części organicznych od 0,7 do 1,6%, średnio 1,1%, charakteryzujące się wysokim stopniem rozkładu materii organicznej.



Rys. 1. Mapa Jeziora Rożnowskiego z lokalizacją punktów badawczych

Fig. 1. The map of the Rożnowskie Lake with indicated the sampling points

Tabela 1  
Zestawienie wymagań dla gruntów używanych do budowy przesłon izolacyjnych w składownikach wg różnych autorów [20] i badań własnych

Kryteria przydatności	[m/s]	PL, UE [1, 2]	PN-B-06050 [3]	TA-Abfall [9]	EPA530-R-93-017 [10]	NRA [15]	Daniel D.E. [14]	Wysokiński L. [5]	Majer E. [20]	Badania autora osady Jeziora Roznowskiego		
										Typ 1	Typ 2	Typ 3
Współczynnik filtracji	$\leq 1 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1 \cdot 10^{-6}$	-	$\leq 5 \cdot 10^{-10}$	$\leq 1 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1 \cdot 10^{-6}$	$\leq 1 \cdot 10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	dla $I_s = 1,00$ śr. - $8,1 \cdot 10^{-10}$ od $5,3 \cdot 10^{-10}$ do $1,1 \cdot 10^{-9}$	dla $I_s = 1,00$ śr. - $5,4 \cdot 10^{-10}$ od $4,2 \cdot 10^{-10}$ do $6,6 \cdot 10^{-10}$	dla $I_s = 1,00$ śr. - $2,0 \cdot 10^{-10}$ od $1,4 \cdot 10^{-10}$ do $2,6 \cdot 10^{-10}$
Wskaźnik plastyczności	[%]	-	-	-	$> 10$	$\geq 6-12$ $\leq 65$	$\geq 12-15$	$> 20$	$\geq 15$ (D) $\geq 30$ (BK)	śr. - 11,6 10,3 - 13,6	śr. - 19,1 17,5 - 20,6	śr. - 20,8 19,6 - 22,0
Granica płynności	[%]	-	$< 65$	-	-	$\leq 90$	-	$> 30$	$\geq 30$	śr. - 32,6 30,1 - 37,0	śr. - 44,3 41,6 - 47,0	śr. - 47,3 44,6 - 49,5
Zawartość CaCO <sub>3</sub>	[%]	-	-	$\leq 15$	-	-	-	$\leq 10$	$\leq 15$	$< 1$	$< 1$	$< 1$
Zawartość części organicznych	[%]	-	$< 3$	$\leq 5$	-	-	-	$\leq 2$	$\leq 5$	śr. - 1,12 0,7 - 1,6	śr. - 1,4 0,8 - 1,8	śr. - 2,2 1,5 - 2,9
Zawartość frakcji iłowej	[%]	-	$< 30$	$\geq 20$	-	$> 10$	$\geq 20-25$	$\geq 20$	$\geq 20$ (D) $\geq 25$ (BK)	śr. - 10 7 - 13	śr. - 11 8 - 12	śr. - 15 12 - 19
Zawartość cząstek mniejszych niż 0,075 mm	[%]	-	-	-	$\geq 30$	-	$\geq 50$	$\geq 60$	$\geq 60$	w. śr. - 71 67 - 78	w. śr. - 61 45 - 74	w. śr. - 86 78 - 94
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	[g/cm <sup>3</sup> ]	-	$> 1,6$	-	-	-	-	-	-	śr. - 1,75 1,70 - 1,77	śr. - 1,61 1,57 - 1,63	śr. - 1,54 1,51 - 1,57
Wilgotność optymalna	[%]	-	-	-	-	-	-	-	-	śr. - 16,4 15,4 - 18,0	śr. - 20,8 19,8 - 22,4	śr. - 24,4 23,2 - 27,0
Pojemność sorpcyjna MBC	[g/100 g]	-	-	-	-	-	-	-	dowolna	śr. - 1,6 1,2 - 1,9	śr. - 2,0 1,7 - 2,4	śr. - 2,4 1,8 - 2,7

(D) – dopuszczalne, (BK) – bardzo korzystne, śr. – wartość średnia arytmetyczna.

- **Typ 2 – współczesne osady denne (pylaste)** – to pyły, pyły piaszczyste i gliny pylaste o zawartości frakcji iłowej od 8 do 12%, średnio 11% i części organicznych od 0,8 do 1,8%, średnio 1,4%, charakteryzujące się niskim stopniem rozkładu materii organicznej.
- **Typ 3 – współczesne osady denne (gliniaste)** – to gliny pylaste i grunty próchnicze o zawartości frakcji iłowej od 12 do 19%, średnio 15% i części organicznych od 1,5 do 2,9%, średnio 2,2%, charakteryzujące się niskim stopniem rozkładu materii organicznej.

#### 4. Ocena przydatności osadów do budowy warstw izolacyjnych w składowiskach odpadów

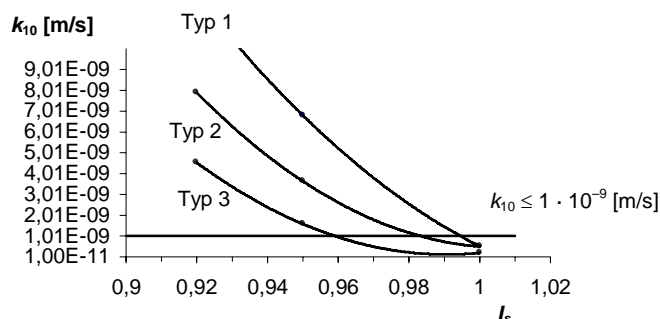
Przy ocenie przydatności gruntów do budowy warstw izolacyjnych należy w pierwszej kolejności uwzględnić wytyczne rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. [1] w sprawie budowy składowisk. Dodatkowe zalecenia możemy znaleźć w licznych publikacjach naukowych, instrukcjach, normach polskich i zagranicznych. Podają one cenne wskazówki dotyczące wybranych właściwości i zachowania się gruntów przeznaczonych do wznoszenia budowli ziemnych oraz warstw izolacyjnych w składowiskach odpadów (tab. 1).

##### 4.1. Kryterium przepuszczalności

Zalecenia wielu państw (tab. 1) dotyczące właściwości izolacyjnych przesłon mineralnych podają wartość współczynnika filtracji  $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s, przy czym najostrożniejsze w tym względzie są przepisy niemieckie, bowiem tam wymaga się, by  $k \leq 5 \cdot 10^{-10}$  m/s. Przy analizie współczynnika filtracji ważne jest nie tylko, czy badany grunt uzyskuje żądaną wartość wodoprzepuszczalności, ale niezbędne jest również podanie, przy jakiej wartości wskaźnika zagęszczenia. Jak pokazuje praktyka inżynierska, realna wartość wskaźnika zagęszczenia uzyskiwana w warunkach terenowych na wielu wybudowanych w Polsce składowiskach mieści się w przedziale 0,90–0,98 [20].

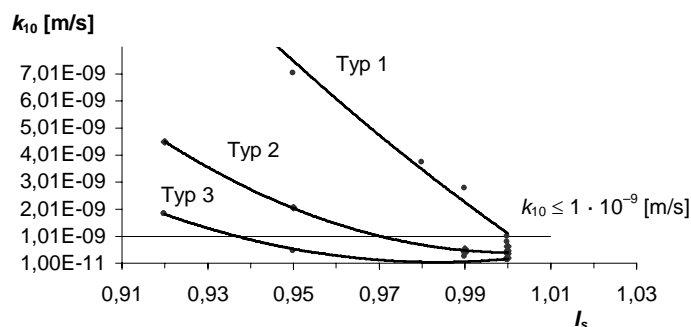
Oznaczenie współczynnika filtracji w warunkach laboratoryjnych wykonano dwoma metodami, wykorzystując do tego celu cylinder Proctora oraz edometr. Pierwszą metodą zrealizowano w prototypowym aparacie zbudowanym na bazie cylindra Proctora dla próbek o średnicy  $d = 112,9$  mm i wysokości 100 mm [19]. W drugiej metodzie przystosowano aparaturę edometryczną, a badania wykonano dla próbek o średnicy 65 mm i wysokości 20 mm. W obydwu przypadkach doświadczenia były realizowane przy zmiennym spadku hydraulicznym w zakresie od ok. 5 do 50 oraz dla różnych wartości wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  w przedziale od 0,92 do 1,0. Próbki do badań zostały uformowane przy wilgotności zbliżonej do optymalnej  $w_{opt}$  w zakresie od  $w_{opt}$  do  $w_{opt} + 3\%$ . W pierwszym etapie poddawano próbki procesowi saturacji przez ok. 100 godzin, używając wody destylowanej.

Otrzymane przez autora wyniki badań dla analizowanych gruntów (rys. 2 i 3) wykazały, że osady gliniaste współcześnie zdeponowane w zbiorniku rożnowskim (Typ 3) spełniają warunek  $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s przy wskaźniku zagęszczenia  $I_s$  z przedziału 0,94–0,96, natomiast osady pylaste (Typ 2) przy wskaźniku zagęszczenia  $I_s = 0,97$ –0,98. Mady rzeczne Dunajca (Typ 1) warunek  $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s spełniają dopiero przy wskaźniku zagęszczenia  $I_s = 0,99$ –1,00.



Rys. 2. Wykres zależności współczynnika wodoprzepuszczalności  $k_{10}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  z badań w aparacie Proctora

Fig. 2. Relationship between coefficient of permeability  $k_{10}$  and density index  $I_s$  of the Proctor apparatus



Rys. 3. Wykres zależności współczynnika wodoprzepuszczalności  $k_{10}$  od wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  z badań edometrycznych

Fig. 3. Relationship between coefficient of permeability  $k_{10}$  and density index  $I_s$  of the edometer

#### 4.2. Kryterium uziarnienia

Analizując zalecenia dotyczące przydatności gruntów ze względu na uziarnienie (tab. 1), należy stwierdzić, że najlepsze właściwości przesłonowe mają osady zawierające powyżej 20, a nawet 25% frakcji ilowej, chociaż niektórzy autorzy wymagają tylko 10%  $f_i$ . Według wytycznych stosowanych w USA [13] wystarczającym kryterium przydatności gruntów ze względu na uziarnienie jest minimum 30% obecności cząstek mniejszych niż 0,075 mm.

Autor niniejszego artykułu prowadził badania dla gruntów o zawartości frakcji ilowej od 8 do 19%. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że grunty o zawartości frakcji ilowej ok. 15% stanowią właściwy materiał do formowania warstw izolacyjnych. Uzyskiwane wartości współczynnika filtracji przy wskaźniku zagęszczenia  $I_s = 1$  są mniejsze niż  $5 \cdot 10^{-10}$  m/s, natomiast przy wskaźniku zagęszczenia  $I_s = 0,95$  poniżej  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s.

### 4.3. Kryterium mineralogiczne

Duży wpływ na właściwości gruntów spoistych ma rodzaj minerałów ilastych. Możemy wyróżnić trzy grupy minerałów, różniące się zarówno budową wewnętrzną, jak i właściwościami, tzn. grupę illitu, kaolinitu i smektytu. Minerale grupy kaolinitu charakteryzują słabą hydrofilność. Nie mają one właściwości pęczniających, są nieaktywne chemicznie, nie biorą udziału w reakcjach wymiany jonowej, dlatego praktycznie nie zmieniają swoich właściwości w wyniku kontaktu z różnymi związkami chemicznymi. Minerale grupy smektytu (np. montmorillonit) charakteryzują bardzo dużą hydrofilność, są silnie pęczniające, aktywne chemicznie, mają dużą zdolność do wymiany jonowej i sorpcji metali ciężkich. Niestety ich właściwości mogą ulegać zmianom, szczególnie w kontakcie z silnymi kwasami i zasadami, powodując zmianę struktury gruntu (trwałą agregację) i zwiększenie przewodności hydraulicznej nawet o dwa rzędy wielkości. Minerale z grupy illitu mają właściwości pośrednie między grupą kaolinitu i smektytu. Zmiana właściwości mineralogicznych i koloidalno-chemicznych zachodzi w minerałach ilastych w następującym porządku intensywności [12]:

montmorylonit sodowy > montmorylonit wapniowy > illit > kaolinit

Mineralne warstwy izolacyjne są narażone na długotrwałe działanie fizykochemiczne odcieków, dlatego zaleca się konstruowanie wielowarstwowych uszczelnień mineralnych z gruntów zawierających różne minerały ilaste. Najprostszym profilem przesłony mineralnej w składowisku odpadów powinien składać się przynajmniej z dwóch warstw gruntowych o odmiennych właściwościach [20]:

- warstwy górnej „aktywnej” zbudowanej z gruntów, w składzie których dominują minerały z grupy smektytu; jej zadaniem jest zmniejszenie stężenia wypływających odcieków dzięki dużym właściwościom sorpcyjnym i jonowymiennym,
- warstwy dolnej „nieaktywnej” zbudowanej z gruntów, w składzie których dominują minerały ilaste z grupy illitu i kaolinitu; zadaniem tej warstwy jest utrzymanie długoterminowej trwałości warstw uszczelnienia mineralnego.

W rozpatrywanych gruntach analizę mineralogiczną wykonano metodą rentgenostrukturalną. Do badań wykorzystano dyfraktometr rentgenowski PHILIPS X'PERT z monochromatyzatorem refleksyjnym. Stosowano promieniowanie charakterystyczne  $\text{CuK}_\alpha$  oraz filtr Ni. Dyfratogramy interpretowano za pomocą programu identyfikacyjnego XRAYAN z bazą minerałów ICPDS [16]. Analiza wykazała dominującą obecność illitu i kaolinitu oraz śladowe ilości montmorillonitu wapniowego. Powyższy skład fazowy frakcji ilowej ma wpływ na niskie właściwości sorpcyjne i jonowymiennie, co wyraziło się w uzyskiwanych wartościach pojemności sorpcyjnej MBC na średnim poziomie 2,2 g/100 g dla współczesnych osadów zbiornika rożnowskiego i 1,6 g/100 g dla pierwotnych mad Dunajca.

### 4.4. Kryterium plastyczności

Kryterium plastyczności jest ściśle związane z techniczną możliwością formowania przesłony mineralnych. Doświadczenia przy formowaniu przesłony mineralnych w USA wskazują, że grunty o wskaźniku plastyczności  $I_p = 10\text{--}30$  formuje się dobrze i jednocześnie uzyskuje się wysoką wartość współczynnika filtracji  $k$  poniżej  $1 \cdot 10^{-9}$  m/s. Grunty



o wskaźniku plastyczności  $I_p$  poniżej 7 mają małe właściwości plastyczne i trudno jest uzyskać wymaganą wodoprzepuszczalność. Natomiast grunty wysokoplastyczne o  $I_p > 30\%$  są trudne do wbudowania, bo przesuszone tworzą trudno urabialne bryły, a zbyt wilgotne stają się kleiste. Dodatkowo grunty wysokoplastyczne mają tendencje do nadmiernego pęcznienia i skurczu [17]. Polska Norma PN-B-06050 z 1999 r. [3] zaleca, by do formowania budowli ziemnych stosować grunty, które zawierają mniej niż 30% frakcji iłowej. Powyżej tej wartości grunty stają się trudne do urabiania, zagęszczania oraz osuszania.

Średnia wartość wskaźnika plastyczności  $I_p$  dla osadów zbiornika rożnowskiego wynosi 20,0, natomiast dla mad Dunajca 11,6. Wyższa wartość  $I_p$  dla współczesnych osadów zbiornika rożnowskiego jest związana z większą zawartością frakcji iłowej oraz z podwyższoną zawartością części organicznych.

Według klasyfikacji gruntów zaproponowanej przez NRA (ang. *National Rivers Authority*) [17] współczesne osady ze zbiornika rożnowskiego można uznać za grunty odpowiednie do formowania przesłon mineralnych, ponieważ charakteryzują się wskaźnikiem plastyczności  $I_p$  z przedziału 15–65, a pierwotne mady Dunajca za grunty wątpliwe, ponieważ wskaźnik plastyczności  $I_p < 15$ .

## 5. Podsumowanie i wnioski

Podsumowując powyższe rozważania, można stwierdzić, że osady cofkowe zdeponowane w zbiorniku rożnowskim nadają się jako materiał do wykonywania przesłon mineralnych w składowiskach odpadów. Wykorzystując osady o niższej zawartości frakcji iłowej – poniżej 15%, powinno się rozważyć wzbogacenie ich na etapie wykonawczym materiałem poprawiającym właściwości izolacyjne, np bentonitem. Ponieważ w składzie mineralnym frakcji iłowej dominuje illit i kaolinit, zaleca się używanie tych gruntów do formowania dolnej części przesłony mineralnej, tzw. nieaktywnej, której zadaniem jest utrzymanie długoletniej trwałości warstw uszczelnienia mineralnego.

Aby przesłona mineralna spełniała ustaloną w rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. [1] wartość współczynnika filtracji  $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$  m/s, a jednocześnie spełniała zalecenia polskiej normy PN-B-06050 [3], zdaniem autora powinna być wykonana z gruntu charakteryzującego się następującymi wartościami kryterialnymi: zawartością frakcji iłowej  $f_i$  od 15 do 30%, zawartością części organicznych  $I_{om}$  poniżej 3% i wskaźnikiem zagęszczenia  $I_s$  powyżej 0,95.

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów. Dz. U. Nr 61, poz. 549; Dz. U. z 5 marca 2001 r., Nr 22, poz. 251.
- [2] Dyrektywa UE 1999/31/EC z dnia 26 kwietnia 1999 r. o składowiskach odpadów. Tłumacz. OBREM 1999.
- [3] Norma PN-B-06050:1999 Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne.

- [4] Norma PN-B-04481:1998 (PN-88/B-04481) Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
- [5] Instrukcja nr 337, Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiska odpadów komunalnych, ITB, Warszawa 1995.
- [6] Instrukcja nr 339, Badania szczelności izolacji mineralnych składowisk odpadów, ITB, Warszawa 1996.
- [7] Instrukcja nr 340, Projektowanie i wykonanie badań do lokalizacji składowisk odpadów komunalnych, ITB, Warszawa 1996.
- [8] Instrukcja nr 339, Badania gruntów do budowy przesłon izolacyjnych na składowiskach, ITB, Warszawa 2003.
- [9] TA Abfall: 1991, Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Gemeinsames Ministerblatt No. 8, vom 12.03.
- [10] Solid Waste Disposal Facility Criteria. Technical Manual 1993, EPA 530-R-93-017, U.S. Environmental Protection Agency (EPA) [www.epa.gov](http://www.epa.gov).
- [11] ASTM D 2488-93: Standard Practice for Description and Identification of soils (Visual – Manual Procedure).
- [12] Brandl H., *Mineralne warstwy uszczelniające w składowiskach odpadów niebezpiecznych*, Inżynieria Morska i Geotechnika 3, Gdańsk 1993.
- [13] Daniel D.E., Korrner R.M., *Waste Containment Facilities. Guidance for Construction, Quality Assurance and Quality Control of Liner and Cover System*, Published by ASCE Press, New York 1995.
- [14] Daniel D.E., *Geotechnical practice for waste disposal*, Chapman & Hall, London 1993.
- [15] Daniel D.E., *Landfills for solid and liquid waste*, Proceedings of the Third International Congress on Environmental Geotechnics, A.A. Balkema, Rotterdam 1998.
- [16] Diduszko R., Marciniak H., *XRAYAN program do rentgenowskiej analizy fazowej*, Warszawa 1995.
- [17] Garbulewski K., *Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2000.
- [18] Gwóźdź R., *Właściwości osadów spoistych Jeziora Rożnowskiego w aspekcie ich geotechnicznego wykorzystania*, rozprawa doktorska, archiwum PK, Kraków 2007, mps.
- [19] Klimczyk J., *Kształtowanie właściwości filtracyjnych lessów i ich mieszanek z materiałami wiążącymi i uszczelniającymi*, rozprawa doktorska, archiwum PK, Kraków 2002, mps.
- [20] Majer E., *Ocena właściwości przesłonowych ilów do budowy składowisk odpadów*, rozprawa doktorska, archiwum ITB, Warszawa 2005, mps.
- [21] Sobczak J. i in., *Badania stanu zalądowania zbiornika w Rożnowie*, Archiwum PK 1985, mps.
- [22] Wacławski M., Gwóźdź R., Wawok M., *Zagadnienie określania współczynnika wodoprzepuszczalności gruntów spoistych*, Czasopismo Techniczne, z. 16-Ś/2005, Wyd. PK, Kraków 2005.
- [23] Wacławski M., Gwóźdź R., Wawok M., *Ocena przydatności wybranych mad rzecznych do budowy wierzchniej warstwy izolacyjnej wysypisk odpadów komunalnych*, Czasopismo Techniczne, z. 8-Ś/2005, Wyd. PK, Kraków 2005.

- [24] Wysockiński L., *Aktualne problemy budowy składowisk komunalnych w Polsce*, X Międzynarodowa Konferencja „Budowa i eksploatacja bezpiecznych składowisk odpadów”, Szczyrk 29 lutego–2 marca 2000, ABRYS, Poznań 2000.
- [25] Wojciechowski A., *Kompleksowe wykorzystanie osadów deponowanych przez Dunajec w Jeziorze Rożnowskim*, PIG, Warszawa 1994, mps.