

Edyta Majer

Metodyka doboru gruntu w ramach projektowania mineralnych przesłon izolacyjnych składowisk odpadów

Methodology of assesment of soil for designig of compacted clay liners (CCLs) in landfills

Streszczenie: Artykuł podsumowuje wyniki badań wykonanych w laboratorium w ramach oceny przydatności gruntów do formowania przesłon mineralnych oraz rezultaty badań i obserwacji prowadzonych w czasie budowy uszczelnień na składowiskach odpadów. W ramach badań zbadano kształtowanie się w procesach budowlanych właściwości 6 różnowiekowych ilów. Badane iły w sensie mechaniki gruntów były rozumiane jako grunt antropogeniczny, nasypowy. W artykule przedstawiono związki między wybranymi parametrami gruntów, technologią budowy a jakością przesłon mineralnych zbudowanych z ilów.

Słowa kluczowe: składowisko, ił, przepuszczalność, zagęszczenie, właściwości przesłonowe, kryteria przydatności, metody formowania

Abstract: The study summarizes the laboratory test results made for the assessment of soil utility for CCLs and the results of observations made during CCLs construction of some landfills. The changes of properties six types of clay during construction were investigated. All investigated clays were treated as man – made ground in according to soil mechanics. The study presents the correlations between determined properties of soils, technology of construction and the quality of CCLs.

Key words: landfill, compacted clay, permeability, compaction, quality control, sealing properties, utility criteria, methods of construction.

Wstęp

Dotychczasowe doświadczenia w projektowaniu i budowie mineralnych przesłon izolacyjnych doprowadziły do sformułowania wniosku o konieczności wykonywania na każdym składowisku przesłony mineralnej. Z tego też powodu obszary

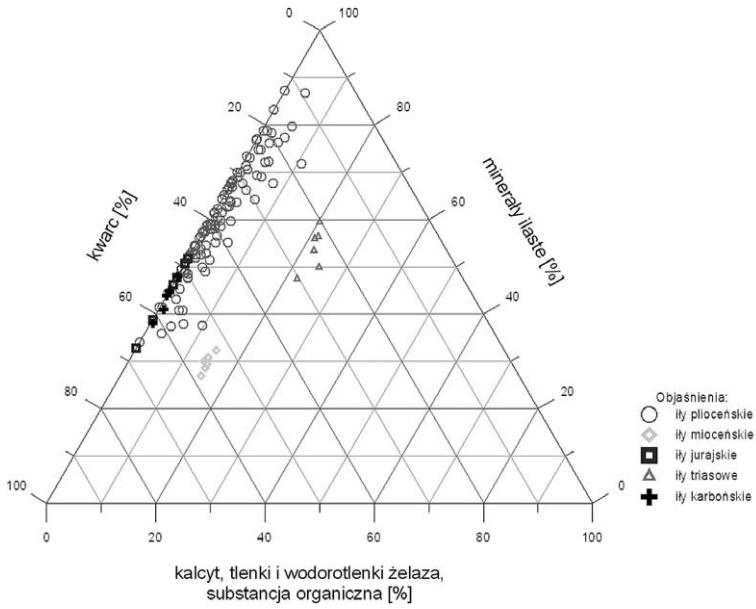
składowisk, które nie posiadają wystarczająco szczelnej bariery geologicznej w podłożu, muszą być dodatkowo uszczelnione. Stąd potrzeba wykonywania mineralnych przesłon izolacyjnych. Aktem prawnym dotyczącym bezpośrednio budowy składowisk jest rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Rozporządzenie... 2003). Rozporządzenie zawiera minimalne wymagania, które muszą być spełnione, podając jedynie graniczne wartości współczynnika filtracji i miąższości dla wykonywanych przesłon. Definiuje przesłony mineralne, o których mowa w artykule, jako sztuczne bariery geologiczne. W literaturze zagranicznej sztuczne bariery geologiczne są określane jako compacted clay liners – CCLs (Daniel, 1998; Daniel, Korner, 1995). Doświadczenia wskazują na to, że współczynnik filtracji nie jest jednoznacznym parametrem określającym właściwości przesłony gruntu, gdyż w warunkach istniejących w przesłonie ilowej zachodzą inne procesy, które dominują nad przepływem konwekcyjnym. Stąd podawanie tylko wartości współczynnika filtracji nie wystarcza do opisu właściwości przesłonowych, jak to określa rozporządzenie. Trzeba uwzględnić mineralogię, współczynnik dyfuzji, parametry sorpcji oraz podatność ilów na zmiany objętości i wilgotności (Allen, 2001; Arch, 1998).

Kryteria przydatności

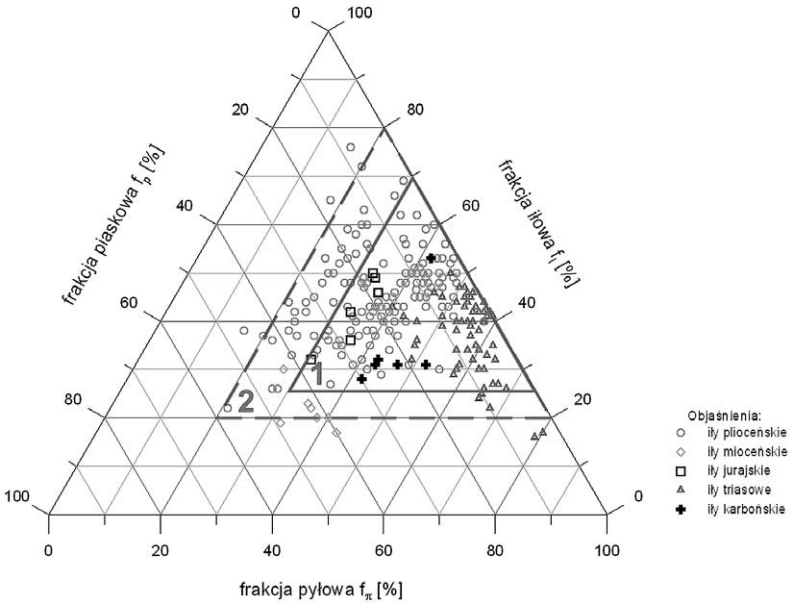
Wykorzystywane do budowy przesłon mineralnych grunty powinny spełniać określone cechy służące do projektowania przesłon mineralnych, które nazwano kryteriami przydatności. W celu oceny właściwości gruntów zweryfikowano i ustalono 9 kryteriów przydatności gruntów do budowy przesłon mineralnych.

Kryterium prawne. Kryterium to zależy od aktualnego przepisu prawnego (jeśli istnieje) i zmienia się wraz z jego zmianą. Przepisy podają minimalne wartości, które musi spełnić przesłona. Zazwyczaj odmienne przepisy stosowane są dla składowisk odpadów niebezpiecznych i odmienne dla składowisk odpadów komunalnych i obojętnych. Przepisy polskie wymagają wykonania przesłony mineralnej, w przypadku braku bariery geologicznej, o współczynniku filtracji $k \leq 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ i miąższości 0,5 m bez względu na rodzaj składowiska.

Kryterium mineralogiczne. Analizując skład mineralny badanych gruntów, opracowano trójkąt mineralogiczny, którego boki stanowią odpowiednio: minerały ilaste, kwarc, pozostałe składniki (ryc. 1). Ustalono, że ilość minerałów ilastych, którą zawiera grunt, powinna być wyższa od 20%. Stwierdzono, że nie można odrzucić gruntu jako nieprzydatnego z uwagi na skład mineralny, ponieważ rodzaj minerałów ilastych jest istotny ze względu na odporność chemiczną i wielkość sorpcji oraz przy projektowaniu przesłon wielomineralnych (Allen, 2001), a także przy ocenie reakcji odciek–grunt. Kryterium mineralogiczne zakłada konieczność indywidualnej oceny proporcji udziału minerałów ilastych i akceptacji ich składu jako zadowalającego.



Ryc. 1. Skład mineralny badanych gruntów
 Fig. 1. Mineral content of clays



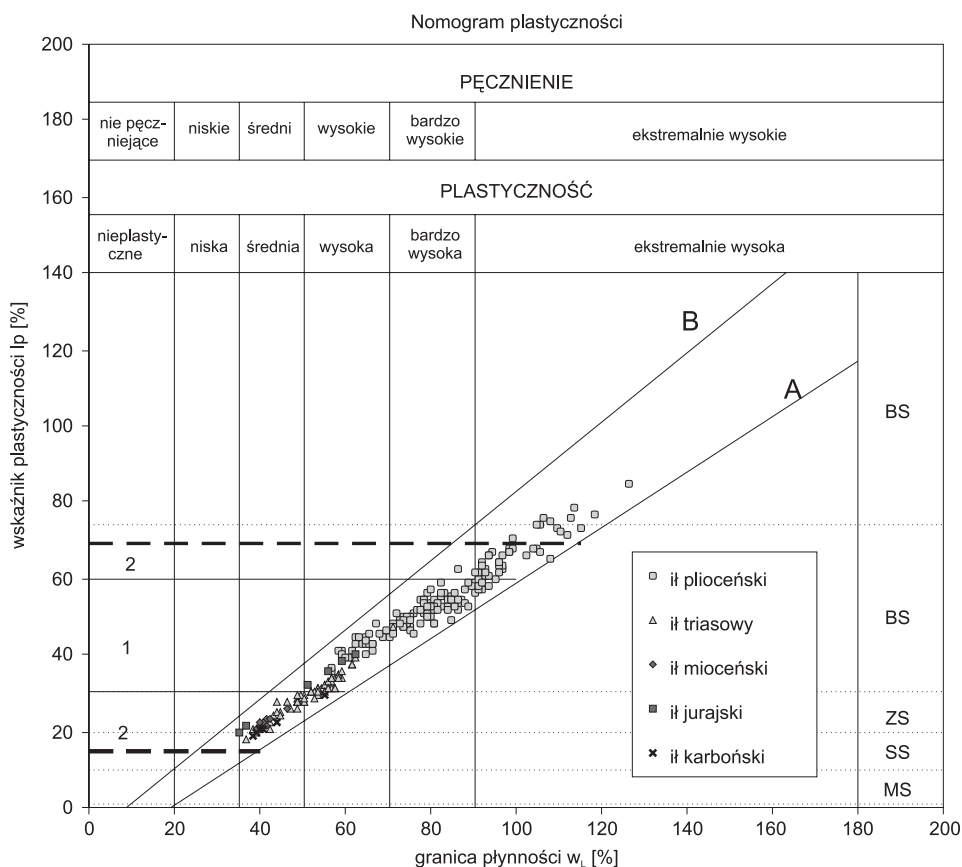
Ryc. 2. Ustalone obszary gruntów o bardzo korzystnych i dopuszczalnych właściwościach do budowy przesłon mineralnych
 1 – bardzo korzystne, 2 – dopuszczalne

Fig. 2. Feret graph and areas of sealing soil used for CCLs
 1 – very good for CCLs, 2 – acceptable for CCLs

Kryterium granulometryczne. Kryterium to jest często definiowane w literaturze oraz przez niektóre przepisy. Jest jednym z najważniejszych kryteriów, które wykorzystujemy przy ocenie przydatności gruntu. Na trójkącie Fereta wydzielono obszary gruntów przydatnych do budowy przesłon mineralnych (ryc. 2). Z doświadczenia z budowy przesłon wynika, że 20% zawartości frakcji ilowej jest niezbędne do uzyskania przesłony o poprawnej jakości.

Kryterium plastyczności. Kryterium to wyznaczono w oparciu o diagram Casagrande'a (ryc. 3). Analogicznie jak w przypadku kryterium granulometrycznego wydzielono dwa obszary gruntów, waloryzując ich przydatność ze względu na wskaźnik plastyczności i wilgotność granicy płynności. Granice obszaru gruntów przydatnych wyznacza wskaźnik plastyczności w zakresie od 15% do 70% oraz linia A.

Kryterium szczelności. Jest to główne kryterium oceny przydatności gruntu oraz wykonanej przesłony. Proponuje się, aby kryterium szczelności określać war-



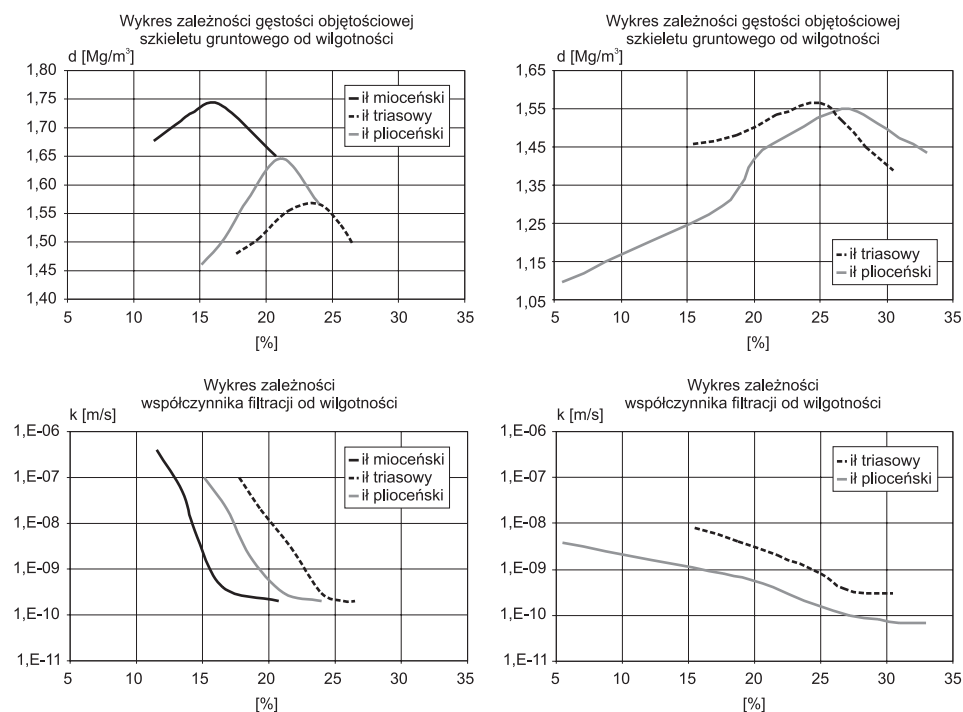
Ryc. 3. Nomogram plastyczności wybranych gruntów z zaznaczonym obszarem gruntów stosowanych do budowy przesłon mineralnych

1 – bardzo korzystne, 2 – dopuszczalne

Fig. 3. Plasticity graph and areas of sealing soil used for CCLs

1 – very good for CCLs, 2 – acceptable for CCLs

tością przesłonowości, np.: 30 czy 100 lat, ponieważ łączy w sobie dwa elementy. Jeden to filtracja wody, drugi – dyfuzyjny transport zanieczyszczeń. Filtracja jest ilościowo określana przez współczynnik filtracji, a dyfuzja za pomocą efektywnego współczynnika dyfuzji. Zazwyczaj graniczną wartość współczynnika filtracji określa przepis. Zwykle wymagana wartość współczynnika filtracji to $k \leq 1 \times 10^{-9}$. Efektywny współczynnik dyfuzji D^* jest określany eksperymentalnie lub na podstawie danych z literatury dla konkretnego jonu. Obecnie prowadzone są badania nad określeniem ogólnego efektywnego współczynnika dyfuzji dla mieszaniny jonów. Natomiast badania filtracji miały na celu określenie, przy jakiej wartości wilgotności i zagęszczenia grunt uzyskuje kryterialną (graniczną) wartość k . Na wykresach przedstawiono wyniki badań k wykonanych dwoma metodami w zależności od zagęszczenia (ryc. 4). Badania wykonano w konsolidometrze i w specjalnie przystosowanym do badań filtracji aparacie Proctora. Niezależnie od metody badania i rodzaju gruntu obserwuje się stały spadek wartości k wraz ze wzrostem zagęszczenia. Wartość k maleje do momentu uzyskania przez grunt wartości wilgotności optymalnej w_{opt} . Powyżej wilgotności optymalnej wartość k ulega nieznacznym zmianom, stabilizując się przy wartości granicznej. Porównując optima z osiągnięciem granicznego k , ustalono, że stabilizację k uzyskuje się przy wartości $w_{opt} + 2\%$.

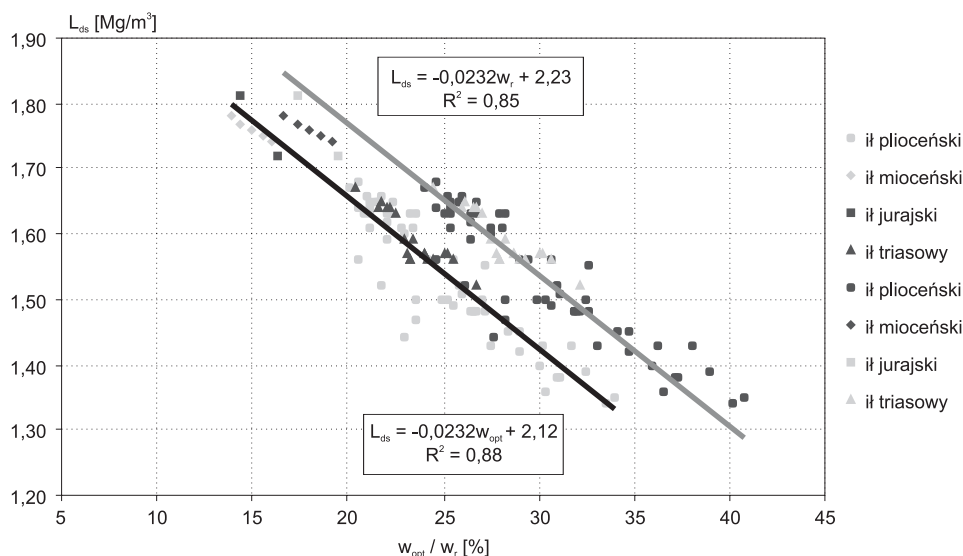


Ryc. 4. Zmiany współczynnika filtracji w zależności od zagęszczenia: a) metoda konsolidometryczna, b) metoda zmiennego spadku hydraulicznego w aparacie Proctora
 Fig. 4. Changes of hydraulic conductivity depending on compaction: a) consolidation cell permeameter, b) falling – head test. Compaction cell permeameter

Kryterium formowania. W kryterium formowania rozumianym jako kryterium technologiczne wydzielono dwa elementy: wyznaczenie wilgotności formowania oraz stanu gruntu, który jej odpowiada. Badania miały na celu określenie szybkiej metody oceny właściwości gruntu, przy której należy formować przesłonę. Wynikało to z faktu, że w trakcie procesu formowania przesłony nie ma czasu na długotrwałe badania wilgotności optymalnej. Stąd zaproponowano przełożenie w_{opt} na stan gruntu, który w warunkach budowy można łatwo kontrolować, np.: metodą wałeczkowania. Na podstawie wykonanych badań wyznaczono obszar optymalnych wartości wilgotności formowania i optymalnego stopnia plastyczności (ryc. 5, 6). Na rycinie 5 przedstawiono zależność w_{opt} od r_{ds} oraz zależność w_r od r_{ds} . Wilgotność równowagi została ustalona eksperymentalnie i wynosi $1,20 \times w_{opt}$. Na wykresie widać dwie proste, równoległe względem siebie, oddalone o 5% r_{ds} , które wyznaczają przedział wilgotności formowania. Przedział ten ustalono na $w_{opt} \leq w_f \leq 1,20 \times w_{opt}$.

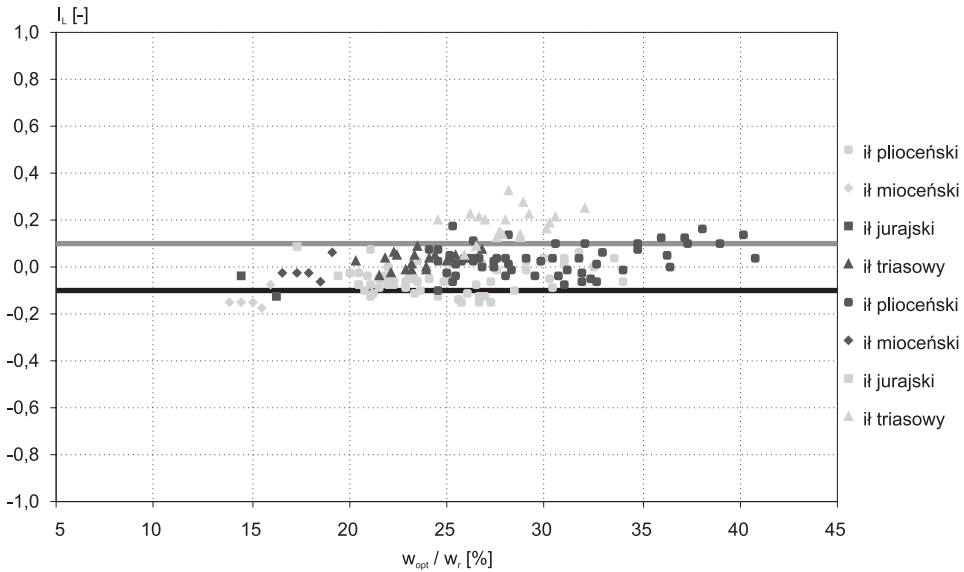
Na rycinie 6 przedstawiono zależność w_{opt} od I_L oraz zależność w_r od I_L . Proste widoczne na wykresie odpowiadają przedziałowi wilgotności formowania i wyznaczają przedział optymalnego stopnia plastyczności. Przedział ten ustalono na $-0,1 \leq I_L \leq 0,1$.

Wartości I_L , które przyjmowały badane grunty podczas formowania, mieściły się w wyznaczonym przedziale wartości optymalnych. Odpowiadające stopniowi plastyczności wartości w_{opt} zawierały się w szerokim zakresie od 15 do 40%, co od-



Ryc. 5. Korelacja maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_{ds} z wilgotnością optymalną w_{opt} lub wilgotnością równowagi w_r

Fig. 5. Correlation between maximum dry density and optimal water content or equilibrium water content



Ryc. 6. Przedział optymalnych wartości stopnia plastyczności I_L w zależności od wilgotności optymalnej w_{opt} i wilgotności równowagi w_r

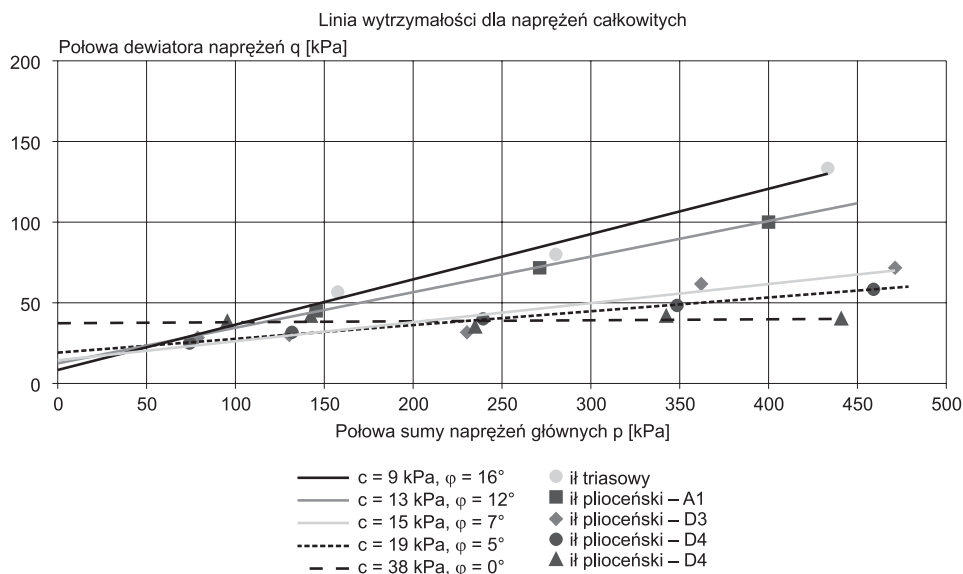
Fig. 6. Range of optimal values of liquidity index

powiadało r_{ds} 1,40–1,65 Mg/m³. Duży rozrzut wartości w_{opt} i r_{ds} wynikał ze zmian uziarnienia gruntu. Stwierdzono, że niewielkie zmiany składu procentowego frakcji piaskowej i pyłowej powodują znaczne różnice w uzyskiwanych wartościach w_{opt} i r_{ds} . Stąd wynikały trudności w ustaleniu przedziału wilgotności formowania. Z zależności tych można wysnuć generalny wniosek, który powinien znaleźć się w specyfikacjach technicznych dotyczących technologii formowania przesłon, że w przypadku budowy przesłon mineralnych wilgotność optymalna, wilgotność formowania, maksymalna gęstość są złą miarą oceny zagęszczenia przesłony. Wynika to z faktu dużej zmienności w_{opt} i r_{ds} przy stałym przedziale wartości stopnia plastyczności, dlatego przełożenie w_{opt} na optymalny I_L wydawało się istotne.

Kryterium wytrzymałościowe. Kryterium to wyrażają: kąt tarcia wewnętrznego φ i spójność c lub wytrzymałość gruntu na ścinanie „bez odpływu” c_u , które są istotne dla nośności przesłony. Na rycinie 7 zaprezentowano wyznaczone wartości parametrów wytrzymałościowych dla gruntów wbudowanych w przesłony na wybranych składowiskach.

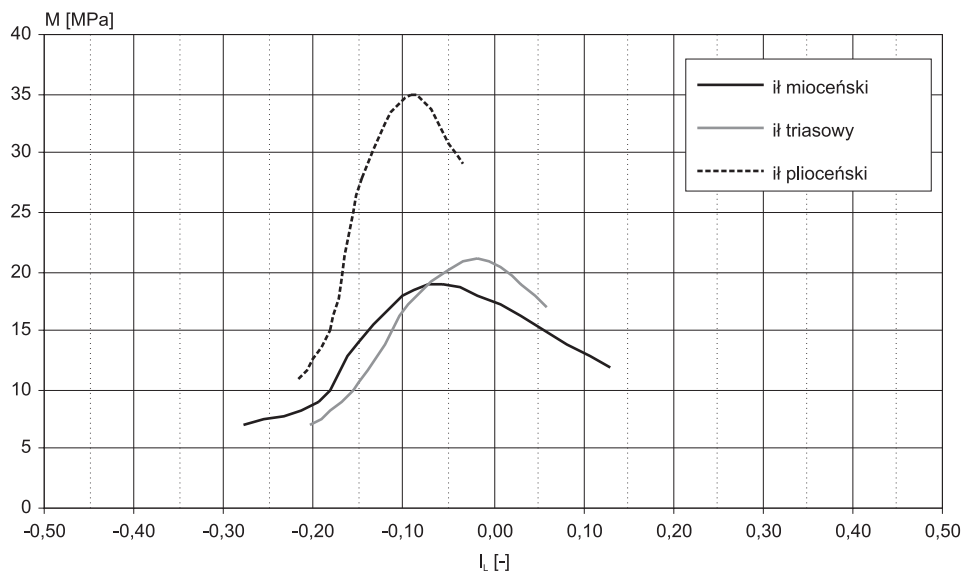
Wartości te zależą od rodzaju gruntu, przyjętej technologii i stanu gruntu. Minimalne wartości tych parametrów określono na $\varphi=3^\circ$, $c=35\text{kPa}$, $c_u=50\text{kPa}$. Nie zostały podane parametry efektywne, ponieważ, jak wynika z badań, są one bardzo zbliżone do całkowitych.

Kryterium odkształcenia. Kryterium to wyznacza wartość modułu, który mierzone różnymi metodami. Moduł mierzy się w terenie za pomocą płyty statycznej VSS lub płyty dynamicznej, w laboratorium metodą konsolidometryczną lub w



Ryc. 7. Zestawienie badań wytrzymałościowych badanych gruntów – metoda CIU
Fig. 7. Shear strength parameters – CIU method

edometrze. Na rycinie 8 podano zależność modułu ściśliwości od stopnia plastyczności. Zakresy modułów uzyskane dla gruntów przy wilgotności formowania



Ryc. 8. Zależność zagęszczenia od modułu ściśliwości i stopnia plastyczności
Fig. 8. Relationship between compaction, consolidometer modulus and liquidity index

mieszczą się w przedziale 15–35 MPa. Minimalną wartość modułu odkształcenia ustalono na $E_{\min}=5\text{MPa}$.

Kryterium sorpcji. Badania wykonane metodą sorpcji błękitu metylenowego określają jedynie, które grunty są dobrymi sorbentami, a które charakteryzują się niską sorpcją. Te proste badania pozwalają na szybką ocenę materiału. W przypadku projektowania przesłon jednomineralnych wybieramy grunt, który najlepiej sorbuje jony stanowiące zagrożenie dla środowiska. W przypadku projektowania przesłon wielomineralnych możemy ustalić profil gruntowy przesłony. Profil jest ustalany w ten sposób, że najwyżej znajduje się grunt najlepiej sorbujący zanieczyszczenia, a najniżej grunt, który charakteryzuje się najniższą sorpcją (Allen, 2001). Z badań sorpcji jonów z rzeczywistego odcieku przez ility wynika, że sorbowanie określonego jonu jest podobne dla wszystkich poddanych badaniu gruntów. Wyników tych nie potwierdzają badania na roztworach modelowych, gdy w roztworze znajduje się tylko jeden jon. Doświadczenia wykazały, że wykonywanie trudnych i czasochłonnych badań sorpcji na roztworach modelowych nie odzwierciedla procesów sorpcji zachodzących w przesłonie przy reakcji z odciekiem.

Ocena przesłonowości

Oprócz wyżej wymienionych kryteriów istotą projektowania przesłon mineralnych jest ocena jej skuteczności, trwałości, określenie miąższości i technologii formowania, która ma duży wpływ na jakość przesłony. Wyprowadzone kryteria przydatności dały podstawę do zdefiniowania terminu przesłonowość. Przesłonowość to zdolność do zatrzymywania frontu zanieczyszczeń rozpuszczonych w wodzie przemieszczających się przez przesłonę na drodze dyfuzji i filtracji. Miarą przesłonowości jest czas t przejścia zanieczyszczeń przez przesłonę. Do projektowania przesłon mineralnych z uwzględnieniem czasu przejścia zanieczyszczeń przez przesłonę zaproponowano wzór:

$$t = \frac{S}{V_f + V_d} \left[\frac{\frac{g}{\text{cm}^2}}{\frac{g}{\text{rok} \times \text{cm}^2}} = \text{rok} \right]$$

gdzie:

V_f – transport zanieczyszczeń wynikający z filtracji [$\text{g}/\text{rok} \times \text{cm}^2$]; V_d – transport zanieczyszczeń wynikający z dyfuzji [$\text{g}/\text{rok} \times \text{cm}^2$]; S – pojemność sorpcyjna przesłony [g/cm^2]; t – czas przesłonowości [rok].

Podany algorytm przesłonowości traktowany jest jako ilościowy parametr oceny szczelności i trwałości przesłony. Czasy przejścia zanieczyszczeń przez przesłonę mineralną obliczono dla 3 wybranych przesłon: kwatery K1 (B1) i kwatery K2 (B2) składowiska odpadów niebezpiecznych w Tarnowskich Górach oraz składowiska w Miasteczku Śląskim (C2). Wyniki obliczeń przedstawione

Tabela 1. Wyniki obliczeń przesłonowości według zaproponowanego algorytmu
 Table 1. Sealing properties calculations results according to defined algorithm

Rodzaj przesłony	[cm]	[m/s]	[g/rok×cm ²]	[m ² /s]	[g/rok×cm ²]	[g/rok×cm ²]	[g/cm ²]	[rok]
B1	150	1×10 ⁻¹²	1×10 ⁻⁵	7×10 ⁻¹⁰	0,17	0,17	34	205
B2	100	1×10 ⁻¹⁰	2×10 ⁻⁵	2×10 ⁻⁹	0,50	0,50	23	67
C2	50	1×10 ⁻¹²	4×10 ⁻⁴	7×10 ⁻¹⁰	0,25	0,25	8	23

w tabeli 1 pokazują, jak zmieniająca się grubość warstwy mineralnej, a także rodzaj użytego iltu wpływa na przesłonowość. Najniższy wynik uzyskano dla przesłony B2 o grubości 50 cm, to jest 23 lata. 10-krotnie większy wynik uzyskano dla przesłony B1 o miąższości 150 cm, który wyliczono na 205 lat.

Wartości kryterialne

W tabeli 2 zestawiono średnie z badań wykonanych dla wybranych gruntów. Porównano je z wymaganiami dla gruntów proponowanymi przez różnych autorów i wyznaczonymi wartościami kryterialnymi proponowanymi przez autorkę. Wartości kryterialne rozumiane są tu jako graniczne wartości kryteriów przydatności, które powinien spełnić grunt wbudowywany w przesłonę. Zaprezentowane zestawienie tabelaryczne pokazuje, że:

- nie istnieją uniwersalne wymagania stosowane we wszystkich krajach,
- występuje zgodność co do przedziałów wartości, jednak nie we wszystkich przypadkach autorzy rozpatrują te same cechy,
- podane w tabeli wartości są tylko zaleceniem, zaś grunt i przesłona muszą spełniać wymagania przepisów, jeśli takie istnieją.

Na podstawie wyznaczonych kryteriów przydatności oraz doświadczeń z budów stwierdzono, że do ustalenia przydatności gruntu i oceny jakości przesłony nie jest konieczne wykonywanie wszystkich badań na każdym etapie projektowania i budowy składowiska. Zaproponowano, aby do projektu budowlanego ocenić grunt według kryterium mineralogicznego, granulometrycznego, plastyczności oraz ocenić czas zdolności przesłony do zatrzymywania zanieczyszczeń. Natomiast do projektu wykonawczego należy ocenić grunt według kryterium formowania, przepuszczalności, wytrzymałości i odkształcenia.

Podsumowanie

W Zakładzie Geotechniki ITB problematyką budowy składowisk, doboru gruntu na przesłony mineralne zajmujemy się od wielu lat. W ramach prowadzonych badań zebrano liczne materiały i doświadczenia, które próbowano podsumować w artykule. Jednocześnie w ramach zdobytych doświadczeń opracowano 4 instrukcje ITB (Wysokiński, 1995; Wysokiński, Łukasik, 1996; Wysokiński, Łukasik, 1996a;

Tabela 2. Zestawienie wartości kryterialnych i wyników badań wybranych ilów na tle wymagań według różnych autorów
 Table 2. Requirements for soils used for CCLs according to international and polish standards and some literature

Kryterium przydatności	Jednostka	Wyniki badań										Kryteria wg wyników badań Autorki				
		ITB Wysokinski L. [1995]	Daniel D.E., Koerner R.M. [1995]	Daniel D.E. [1998]	Benson C.H. in. [1992, 1998]	Rowe R.K. in. [1995]	Bagchi A. [1990]	EPA 530-R-93-017 [1993]	Arch J. [1998]	NRA ¹	II pliocencki		II mioceński	II jurajski	II triasowy	II karboński
Współczynnik filtracji	m/s	10^{-9}	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$10^{-9} - 10^{-10}$	$10^{-9} - 10^{-10}$	$1 \times 10^{-9} \leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	3×10^{-10} (k) 6×10^{-11} (p) 4×10^{-10} (i) 5×10^{-10} (iw)	1×10^8 (f) 8×10^{10} (k) 2×10^6 (i)	9×10^9 (r) 8×10^{-10} (k)	6×10^9 (r) 7×10^{10} (k) 7×10^{10} (m) 5×10^{10} (i)	5×10^9 (f)	10^{-10}
Wskaźnik plastyczności	%	> 20	$\geq 7-10$	$\geq 12-15$	≥ 10	> 7	≥ 15 (10-15)	> 10	10-30	$\geq 6-12$ ≤ 65	54,81	22,77	31,10	30,12	21,90	≥ 15 (D) ≥ 30 (BK)
Granica płynności	%	> 30	-	-	17-70	-	≥ 30 (25-30)	-	< 90	≤ 90	83,27	41,74	50,08	52,50	42,93	≥ 30
Stopień plastyczności przy wilgotności formowania	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,06-0,03	-0,14-0,00	-0,08-0,03	0,03-0,18	-	-0,1 - 0,1
Zawartość węgla wapnia	%	≤ 1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	4,58	0	11,98	0,24	≤ 15
Zawartość części organicznych	%	≤ 20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,31	1,06	0	1,44	9,42	≤ 5
Zawartość frakcji ilowej	%	≥ 20	$\geq 10-20$	$\geq 20-25$	$\geq 10-20$	15-20	≥ 25 (18-25)	-	> 10	> 10	46	22	43	38	34	≥ 20 (D) ≥ 25 (BK)
Zawartość frakcji drobnych (suma frakcji pyłowej i ilowej)	%	> 60	$\geq 30-50$	≥ 50	≥ 50	-	≥ 50 (40-50)	≥ 30	> 30	-	82	57	76	94	79	≥ 60

Kryterium przydatności	Jednostka	ITB Wysokiniński L. [1995]	Daniel D.E. [1998]	Benson C.H. i in. [1992 ⁴ , 1998]	Rowe R.K. i in. [1995]	Bagchi A. [1990]	EPA 530-R-93-017 [1993]	Arch. J. [1998]	NRA ¹	Wyniki badań					Kryteria wg wyników badań Autorki
										Il plioceni	Il mioceński	Il jurajski	Il triasowy	Il karboński	
Zawartość frakcji zwirowej	%	brak	-	-	-	-	-	<10	-	0	0	0	0	6	≤10
Zawartość minerałów ilastych	% wag.	-	-	-	15–20	-	-	-	-	60	30	45	54	43	≥20
Aktywność wg Skemptona	-	-	-	-	≥0,3	-	-	-	-	1,23	1,08	0,72	0,82	0,65	dowolna
Pojemność sorpcyjna	g/100g	-	-	-	≥10	-	-	-	-	22	7	4	11	3,6	dowolna
Powierzchnia właściwa	m ² /g	-	-	-	-	-	-	-	-	467	157	91	222	75	dowolna
Wskaźnik pęcznienia	%	-	-	-	-	-	-	-	-	10,0	3,4	5,2	5,8	3,9	≥5

(r) – metoda rury poziomej; (k) – metoda konsolidometryczna; (i) – metoda infiltrometru dwupiersieniowego; (iw) – metoda infiltrometru dwupiersieniowego z możliwością zadawania wysokiego spadku hydraulicznego; (p) – metoda zmiennego spadku hydraulicznego w małym cylindrze z badania Proctora; (m) – metoda Magga; (BK) – bardzo korzystne; (D) – dopuszczalne, ¹National Rivers Authority za Jones E.J. i in. 1995, ²geomembrana, ³dla składowisk odpadów przemysłowych i toksycznych, ⁴za Daniel D.E. 1998

Wysokiński, Łukasik, Majer, 2003 – Instrukcja ITB nr 339/2003; Majer, Wysokiński, 2005). Trzy pierwsze instrukcje zostały nagrodzone przez Ministra Infrastruktury w roku 1996. Stanowiły one w tym czasie jedyny materiał techniczny pozwalający prawidłowo budować składowiska odpadów. W przygotowaniu są jeszcze dwie instrukcje, które zamkną cały cykl instrukcji opracowywanych w Zakładzie Geotechniki, związanych z tematyką składowisk odpadów.

Literatura

- Allen A., 2001. Containment landfills: the myth of sustainability. *Engineering Geology* 60.
- Arch J., 1998. Clay barriers in landfills in *Environmental interactions of clays. Clays and environment*. Springer, Berlin.
- Bagchi A., 1990. Design, construction and monitoring of sanitary landfill. John Wiley & Sons, New York.
- Benson C.H., Zhai H., Rashad S.M., 1992. Assessment of construction quality control measurements and sampling frequencies for compacted soil liners. *Environmental Geotechnics*, Report 92-6, University of Wisconsin, Department of Civil and Environmental Engineering, Madison.
- Daniel D.E., 1998. Landfills for solid and liquid wastes. *Proceedings of the Third International Congress on Environmental Geotechnics*. Balkema, Rotterdam.
- Daniel D.E., Koerner R.M., 1995. *Waste Containment Facilities. Guidance for Construction. Quality Assurance and Quality Control of Liner and Cover Systems*. Published by ASCE Press, New York.
- Jones R.M, Murray E.J., Rix D.W., Humphrey R.D., 1995. Selection of clay for use as landfill liners. *Proceedings of the Symposium on Geotechnics Related to the European Environment. Waste Disposal by Landfill – GREEN 93*. Balkema, Rotterdam.
- Majer E., 2003. Właściwości przesłonowe ilów do budowy składowisk odpadów. *Materiały z IX Konferencji: „Problemy zagospodarowania odpadów mineralnych”*. Wisła, 9–12 czerwca.
- Majer E., Wysokiński L., 2005. Badania gruntów i kontrola jakości wykonanych z nich przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów. *Cykl wydawniczy ITB: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 411*, Warszawa.
- Rowe R.K., Quigley R.M., Booker J.R., 1995. *Clayey barrier systems for waste disposal facilities*. E & FN SPON, London.
- 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. nr 22, poz. 251 z 5 marca 2001 roku*.
- Solid Waste Disposal Facility Criteria. Technical Manual – 1993. EPA530-R-93-017*, U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (www.epa.gov).
- Wysokiński L., 1995. Instrukcja ITB nr 337. *Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych*, ITB Warszawa.
- Wysokiński L., Łukasik S., 1996. Instrukcja ITB nr 339/96. *Badania szczelności izolacji mineralnych składowisk odpadów*. ITB, Warszawa.
- Wysokiński L., Łukasik S., 1996a. Instrukcja ITB nr 340/96. *Projektowanie i wykonywanie badań do lokalizacji składowisk odpadów komunalnych*. ITB, Warszawa.
- Wysokiński L., Łukasik S., Majer E., 2003. Instrukcja ITB nr 339/2003. *Badania gruntów do budowy przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów*. ITB, Warszawa.

Zadroga B., Olańczuk-Neyman K., 2001. Ochrona i rekultywacja podłoża gruntowego. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.