

Mieszanki gruntowe w konstrukcjach składowisk odpadów

Beata Łuczak-Wilamowska¹



Soil mixtures in construction of landfills. Prz. Geol., 58: 898–902.

Abstract. Soil mixtures are simple and cheap solutions for bettering of soils in building engineering. They also can be used in constructing of sealing beds of landfills. Soils that may be used for mineral sealing beds of landfills must meet both official regulations and criteria elaborated by experienced researchers. Experiments showed, that minor additions of clay (or selected clay minerals) to sand can seal a loose soil without any drop in its strength abilities. Such a soil mixture is very well compactable and achieves low values of porosity, hence, low values of permeability.

Keywords: soil mixtures, waste disposal, landfill, clay, sand

Pojęcie *mieszanka gruntowa* jest znane od ponad sześćdziesięciu lat. Pierwsze zastosowania mieszanek w zabiegach polepszających właściwości gruntów – polegających głównie na ich stabilizacji – przeprowadzono na obszarze Polski w budownictwie drogowym. Wynikało to zarówno z uwarunkowań klimatycznych naszego kraju, jak i z powszechnego stosowania ścieralnych (betonowych i asfaltowych) nawierzchni dróg.

Z biegiem czasu tego typu zabiegi zaczęto stosować również w składowaniu odpadów. W tym przypadku polepszanie polega na dodaniu do siebie i homogenizacji dwóch gruntów antropogenicznych w celu bezpiecznego (pod względem stateczności) składowania odpadów. Działania takie towarzyszyły m.in. realizacji projektu składowania odpadów (odsączonych po flotacji barytu) na hałdzie odpadów powęglowych w Boguszowie-Gorcach pod koniec lat 80. XX w. (Kaczyński i in., 1989).

W ostatnich latach prowadzone są eksperymenty dotyczące doboru gruntów odpowiednich do zastosowania w konstrukcjach składowisk odpadów, gdzie obligatoryjnie, jako warstwy mineralnego uszczelnienia, należy stosować grunty o właściwościach izolacyjnych. Jest to niezbędne z punktu widzenia bezpieczeństwa i stateczności budowli, którą jest składowisko odpadów. Jako utwory spełniające wymogi należy rozumieć grunty nieprzepuszczalne (współczynnik filtracji $k \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s), w których zachodzą procesy samooczyszczania wód odciekowych oraz wykazujące odpowiednie właściwości mechaniczne.

W artykule przedstawione zostaną efekty badań laboratoryjnych prowadzonych na mieszankach gruntowych w celu konstruowania warstw mineralnego uszczelnienia składowisk odpadów.

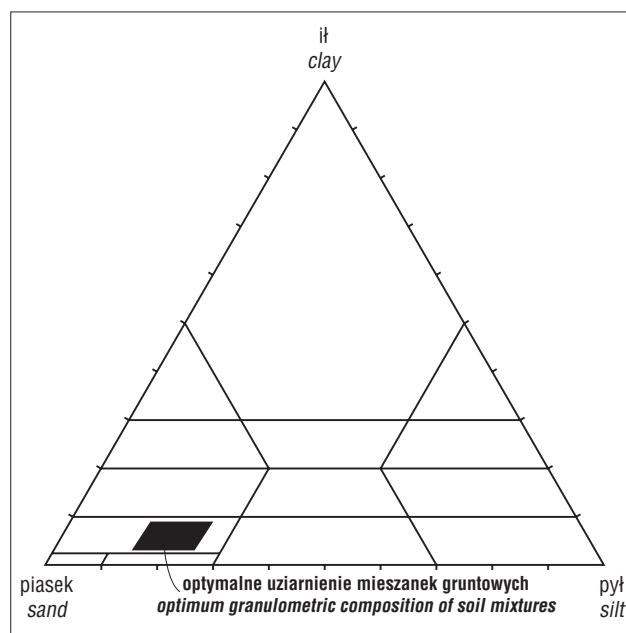
Kryteria przydatności gruntów oraz warunki ich stosowania

Mieszanki gruntowe tworzy się w konkretnych celach, na potrzeby np. drogownictwa – jeśli w otoczeniu budowli w środowisku geologicznym nie występują (w strefie opłacalności ekonomicznej) grunty o odpowiednim składzie granulometrycznym – takim, który nie powoduje tworzenia się wysadzin w podłożu i podbudowie drogi – to z dostępnych gruntów o znanej i odpowiedniej charakterystyce

uziarnienia można stworzyć grunt antropogeniczny spełniający warunek wysadzinowości (ryc. 1).

Jak wiadomo, grunty o szerokim spektrum uziarnienia – lub o pełnym uziarnieniu – generalnie lepiej się zagęszczają. Ziarna i cząstki szczelniej wypełniają przestrzeń, a co za tym idzie, osiągają wyższe wartości parametrów mechanicznych oraz wykazują niższą porowatość i wskaźnik porowatości. To pociąga za sobą zmniejszenie wartości współczynnika filtracji, który jest głównym i w zasadzie jedynym rygorystycznie wymaganym kryterium regulowanym przez *Rozporządzenie ministra środowiska* z dn. 24 marca 2003 r. Oprócz tego parametru w rozporządzeniu wymienione są także wymagania dotyczące rozprzestrzenienia warstwy izolacyjnej w zależności od rodzaju składowanych odpadów.

Znacznie więcej istotnych właściwości gruntu, które należy brać pod uwagę podczas lokalizacji i konstrukcji konkretnego obiektu, wymienionych jest w różnego rodzaju



Ryc. 1. Kryterium przydatności gruntów w drogownictwie (wg Wiłuna, 1987)

Fig. 1. Criterion of suitability of soils in road-building (after Wiłun, 1987)

¹Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; b.luczak@uw.edu.pl

ju wytycznych i instrukcjach odnoszących się do budowania bezpiecznych składowisk odpadów (Drażowski & Łuczak-Wilamowska, 2007a, b; Majer & Łuczak-Wilamowska, 2009)

Przydatność gruntów pod kątem tworzenia z nich warstw mineralnego uszczelnienia składowisk odpadów według różnych autorów określana jest różnymi parametrami charakteryzującymi właściwości gruntów w konstrukcjach składowisk odpadów. Zestawienie najczęściej wykorzystywanych parametrów podano w tabeli 1.

W zależności od szeroko rozumianych warunków geologicznych i przyrodniczo-klimatycznych, każdy z autorów wyróżnia i uzasadnia możliwość wykorzystania gruntów podając własne kryteria przydatności. Generalnie jednak dobór gruntów wykorzystywanych do formowania konstrukcji składowiska zależy w głównej mierze od rodzaju odpadów, które mają być składowane. Każdy projektowany obiekt stanowi odrębne zadanie konstrukcyjne i wyma-

ga indywidualnego rozwiązania (Drażowski & Łuczak-Wilamowska, 2007b).

Tworzenie mieszanek gruntowych

Jak już wcześniej wspomniano, mieszanki gruntowe powinny odpowiadać konkretnym kryteriom, w zależności od celu w jakim mają być wykorzystane. Przygotowywanie ich należy więc rozpocząć od określenia wymagań, jakie musi spełnić grunt wykorzystywany do izolowania i/lub konstrukcji albo poprawienia pewnych właściwości, takich jak ścieralność, pylenie, zagęszczalność, nasiąkliwość. Wymogi, jakie powinny spełniać warstwy mineralnego uszczelnienia składowisk odpadów, przedstawiono w tabeli 1.

Kolejnym krokiem jest określenie jakości i podstawowych parametrów gruntów jakie mamy do dyspozycji w konkretnych warunkach geologicznych, ekonomicznych i

Tab. 1. Kryteria przydatności gruntów stosowanych do uszczelniania składowisk odpadów według poszczególnych autorów (wg Majera i in., 2007)

Table 1. Criteria of suitability of soils applied for sealing of landfills according to individual authors (after Majer et al., 2007)

Kryterium przydatności <i>Criterion of usability</i>	Jednostka <i>Unit</i>	ITB (1995)	Daniel D.E. & Korner R.M. (1995)	Rowe R.K. i in. (1995) Rowe R.K. et al. (1995)	EPA 530-R-93-017	NRA	Majer E. (2005)	Łuczak-Wilamowska B. (1997)
Współczynnik filtracji <i>Permeability</i>	m/s	10^{-9}	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$10^{-9}-10^{-10}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	$\leq 1 \times 10^{-9}$	10^{-10}	$\leq 1 \times 10^{-9}$
Granica płynności <i>Liquid limit</i>	%	> 30	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	≤ 90	≥ 30	nr* nc*
Wskaźnik plastyczności <i>Plasticity index</i>	%	> 20	$\geq 7-10$	> 7	> 10	$\geq 6-12 \leq 65$	≥ 15	7-27
Zawartość frakcji ilowej <i>Clayey fraction content</i>	%	≥ 20	$\geq 10-20$	15-20	nr* nc*	> 10	≥ 20	nr* nc*
Zawartość części drobnych (suma frakcji ilowej i pyłowej) <i>Content of fine particles (sum of clayey fraction and silt fraction)</i>	%	> 60	$\geq 30-50$	nr* nc*	≥ 30	nr* nc*	≥ 60	nr* nc*
Zawartość frakcji żwirowej <i>Content of gravel fraction</i>	%	brak lack	$\leq 30-50$	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	≤ 10	brak lack
Zawartość minerałów ilastych <i>Content of clay minerals</i>	%	nr* nc*	nr* nc*	15-20	nr* nc*	nr* nc*	≥ 20	nr* nc*
Zawartość węgla wapnia <i>Content of calcium carbonate</i>	%	≤ 1	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	≤ 15	nr* nc*
Zawartość części organicznych <i>Organic matter</i>	%	≤ 2	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	≤ 5	nr* nc*
Aktywność wg Skemptona <i>Activity of Skempton</i>	[-]	nr* nc*	nr* nc*	≥ 0.3	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*
Pojemność sorpcyjna <i>Capacity of sorption</i>	g/100g	nr* nc*	nr* nc*	≥ 10	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*
Wskaźnik porowatości <i>Porosity index</i>	[-]	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	< 0.35
Wskaźnik pęcznienia <i>Swell index</i>	%	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	nr* nc*	≥ 5	nr* nc*

nr* – nie rozpatrywano

nc* – not considered

lokalizacyjnych budowli. Podstawowym parametrem, który z dużą dokładnością można oszacować nawet makroskopowo, jest rodzaj gruntu – dzięki temu uzyskuje się informacje dotyczące struktury uziarnienia, w tym zawartości cząstek i minerałów ilastych. Badania laboratoryjne pozwalają na dokładne określenie podstawowych składników ziarnowych i mineralnych gruntów, którymi dysponujemy. Jeśli żaden z nich osobno nie spełnia założonych wymagań, można przystąpić do projektowania mieszanki gruntowej. Jednym ze sposobów tworzenia mieszank jest odpowiedni dobór proporcji stałych składników mineralnych. Warunkiem koniecznym jest więc również określenie wilgotności analizowanych gruntów. Jest to niezbędne do określenia proporcji, w jakich mają być użyte poszczególne grunty – dokonuje się tego poprzez przeliczenie suchej masy składników na ich procentowy udział w mieszance gruntowej. Następnie można przystąpić do tworzenia mieszank w laboratorium. Po przygotowaniu odpowiednich porcji składników należy je połączyć i zhomogenizować.

Mieszanki gruntowe do izolowania i konstrukcji składowisk odpadów

Do utworzenia mieszank gruntowych do celów izolacyjno-konstrukcyjnych składowisk odpadów wybrano ility miopliocenijskie (ilty serii poznańskiej) pochodzące z kopal-

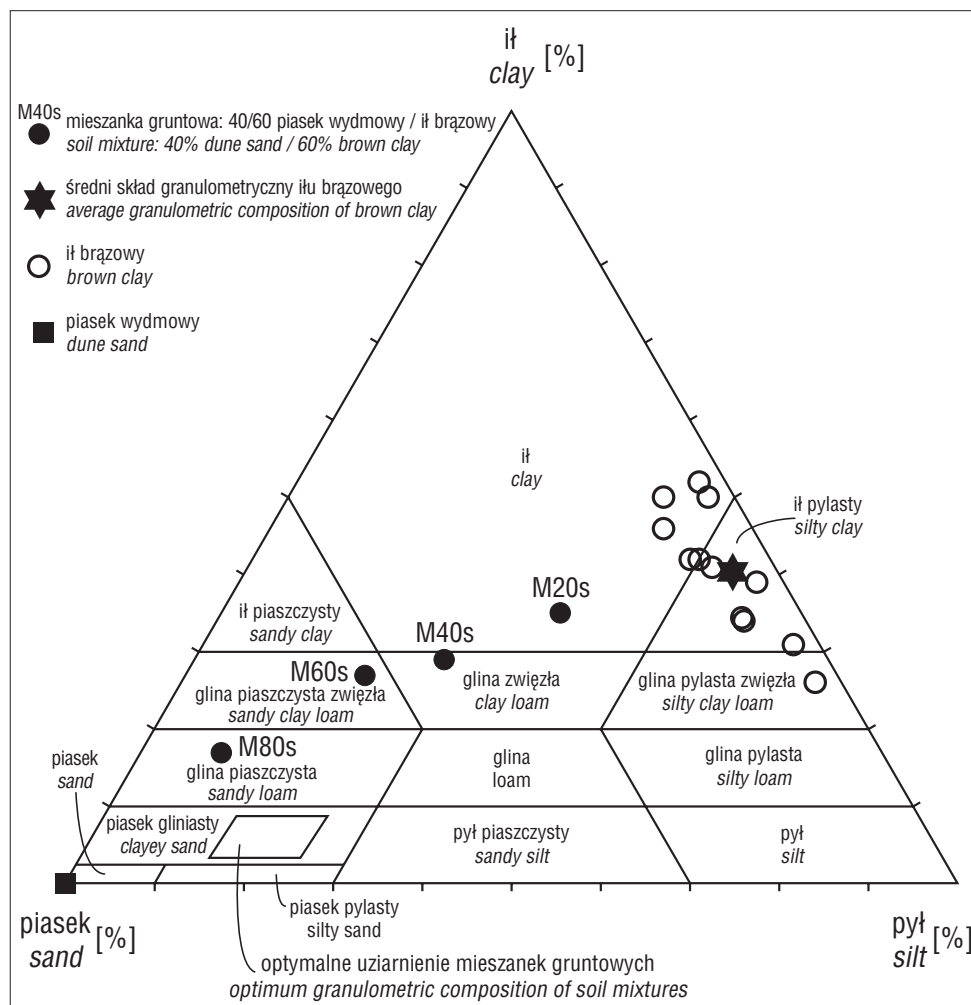
ni w Budach Mszczonowskich i czwartorzędowy piasek wydmy z okolic Mariewa w otulinie Kampinoskiego Parku Narodowego.

Składniki połączono w proporcjach ilt–piasek: 80:20, 60:40, 40:60 oraz 20:80. Dla porównania właściwości badanych mieszank gruntowych w zestawieniach wyników badań przedstawiono również wartości parametrów ich składników wyjściowych (100% piasku i 100% iltu).

Podstawowe parametry fizyczne

Skład granulometryczny, będący jednym z głównych parametrów, został przedstawiony na tle podziału gruntów według normy PN-86/B-02480 na trójkącie Fereta (ryc. 2).

Wraz ze zmianą struktury uziarnienia modyfikacji ulegają poszczególne parametry plastyczności (granica plastyczności, granica płynności, wskaźnik plastyczności – ryc. 3). Ze wzrostem zawartości piasku w mieszance gruntowej wartości tych parametrów maleją. Podobnie dzieje się z właściwościami sorpcyjnymi gruntu względem błękitu metylenowego. Wyniki tego badania są miarą wielkości powierzchni właściwej minerałów ilastych zawartych w gruncie, dostarczają także danych na temat wiązania zanieczyszczeń przez środowisko gruntowe oraz procesu samoczyszczania wód odciekowych pochodzących ze składowanych odpadów (ryc. 4).

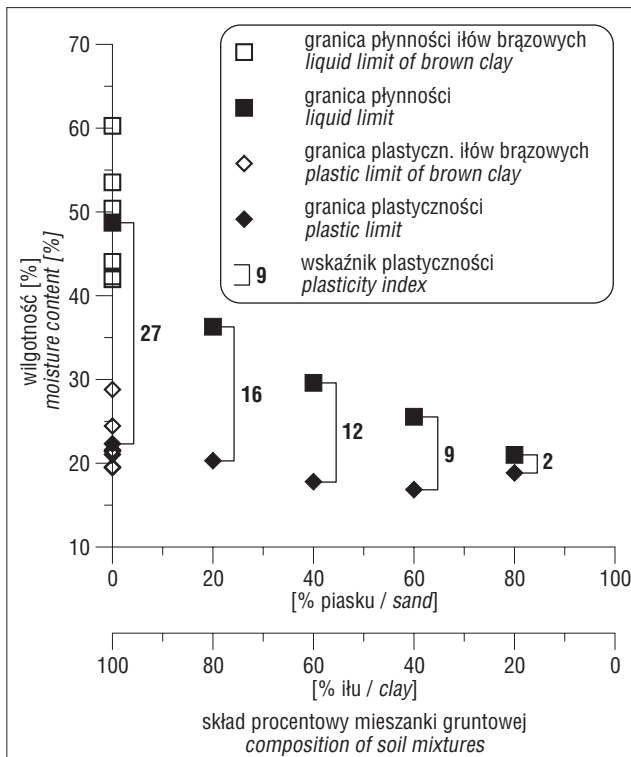


Ryc. 2. Uziarnienie mieszank gruntowych i ich składników
Fig. 2. Granular composition of the soil mixtures and their components

Powyższe parametry charakteryzują mieszanki gruntowe stosowane jako bariery izolacyjne w konstruowaniu składowisk odpadów. Drugą bardzo ważną grupą właściwości w budowie składowisk są właściwości mechaniczne. Warunkują one geometrię obiektu, jego pojemność oraz stateczność, a co za tym idzie bezpieczeństwo całej konstrukcji.

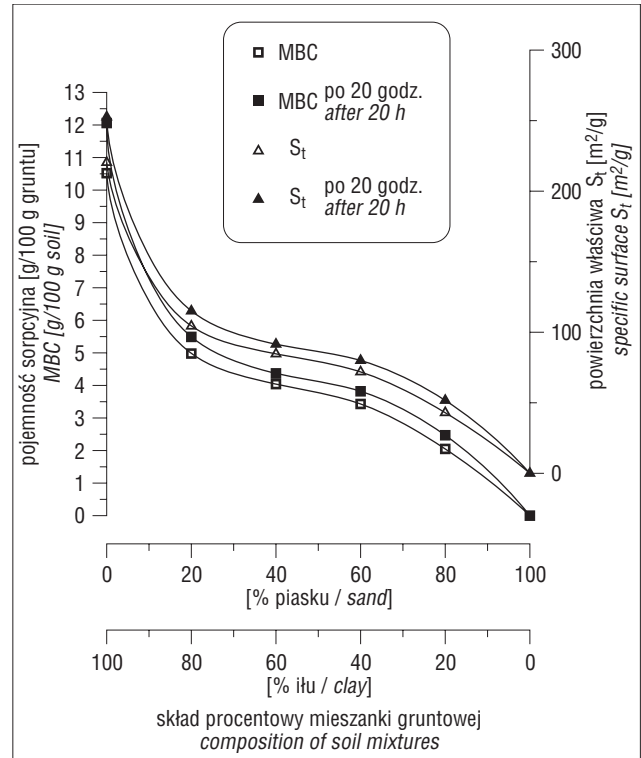
Kolejnym istotnym parametrem jest zagęszczalność przygotowanych mieszanek gruntowych. Można ją scharakteryzować jako zależność maksymalnej wartości gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od wilgotności optymalnej (ryc. 5 i 6). Wraz ze wzrostem zawartości piasku w mieszance gruntowej maksymalna wartość gęstości objętościowej szkieletu gruntowego nieznacznie rośnie, osiągając wartość maksymalną dla mieszanki o najwyższej zawartości dodanego piasku (20% iltu i 80% piasku). Ta sama mieszanka wykazuje także najwyższe wartości odporności na ścinanie (Łuczak-Wilamowska, 2006) i najniższe wartości współczynnika filtracji – jednak, tak jak w przypadku całej serii przygotowanych mieszanek gruntowych, mieszczą się one w wymaganych przedziałach.

Podobne wyniki dają również eksperymenty tworzenia mieszanek gruntowych przeprowadzane przez innych badaczy – przykładem może być praca Gustafssona (2001), który po dodaniu bentonitu (4–10%) do piasku osiągnął zbliżone rezultaty. Nawet niewielki dodatek bentonitu poprawia właściwości izolacyjne piasku, pozwalając mu jednocześnie na zachowanie wysokich walorów mechanicznych. Badania prowadzone przez Al-Rawasa i współautorów (2006) skłaniają do analogicznych wniosków, z tym że przy bardzo małym (5 i 10%) dodatku attapulgitu (minerał iltasty) do piasku nie udało się określić granicy plastycz-



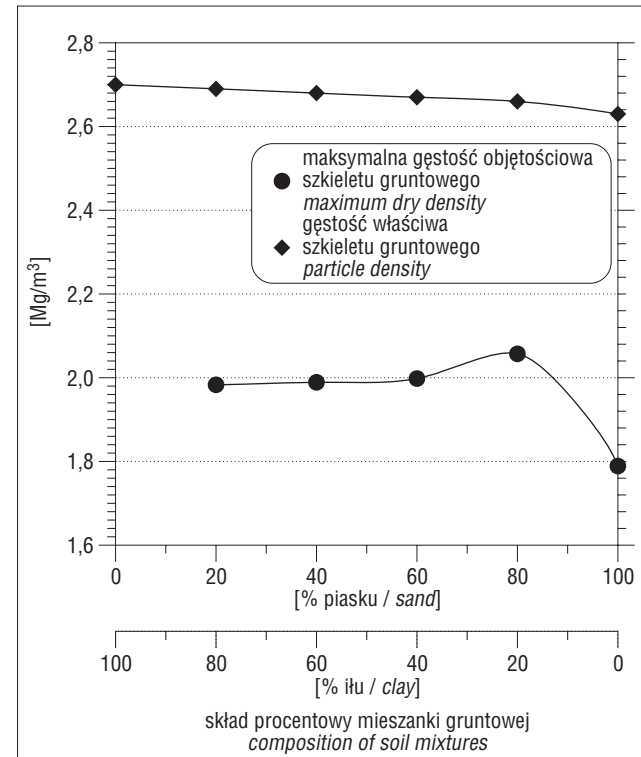
Ryc. 3. Parametry plastyczności mieszanek gruntowych i ich składników

Fig. 3. Parameters of plasticity of the soil mixtures and their components



Ryc. 4. Pojemność sorpcyjna i powierzchnia właściwa mieszanek gruntowych oznaczone metodą sorpcji błękitu metylenowego

Fig. 4. Methylene Blue Capacity and specific surface area of the soil mixtures



Ryc. 5. Zmienność maksymalnej gęstości objętościowej i gęstości właściwej szkieletu gruntowego od składu mieszanek gruntowych

Fig. 5. Variation of maximum dry density and particle density along with the compositions of the soil mixtures

ności mieszanek gruntowych. Natomiast mieszanki te wykazywały znacznie większe wartości maksymalnych gęstości objętościowych szkieletu gruntowego niż w przypadku surowego iltu.

Podsumowując można stwierdzić, że już niewielkie ilości iltu dodane do piasku pozwalają otrzymać grunt antropogeniczny o parametrach spełniających wymagania mineralnej warstwy izolacyjnej podścielającej składowiska odpadów. Wymaga to jednak szczegółowych badań składników i utworzonej mieszanki gruntowej oraz – w celu prześledzenia zmienności parametrów – badań serii mieszanek gruntowych.

Wnioski

1. Tworzenie mieszanek gruntowych stanowi prosty i tani sposób poprawienia właściwości gruntów o konkretnym przeznaczeniu. Kryteria przydatności gruntu powinny być określone ze względu na rodzaj przedsięwzięcia.

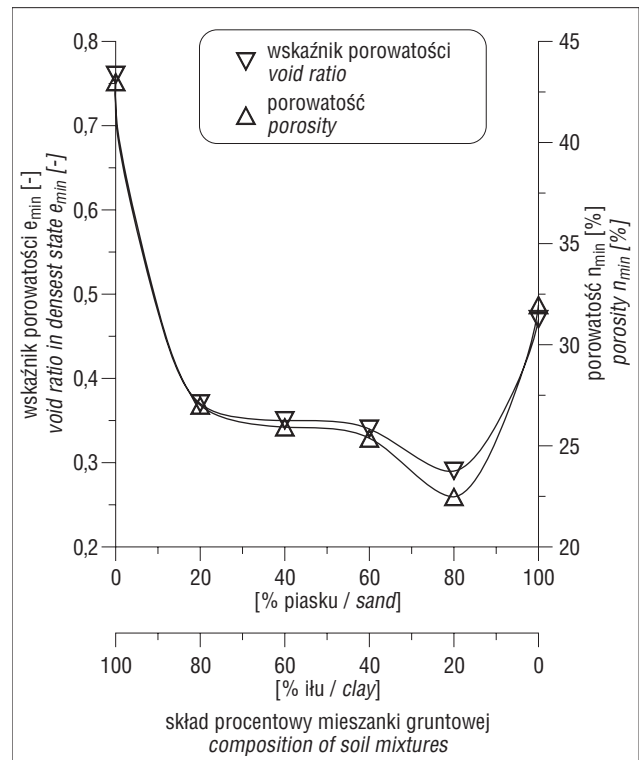
2. Seria mieszanek gruntowych, sporządzonych z iltu neogeńskiego serii poznańskiej oraz piasku wydmowego, wykazuje pogorszenie właściwości sorpcyjnych, obniżenie parametrów plastyczności, porowatości i wskaźnika porowatości, które postępują wraz ze wzrostem zawartości piasku w mieszance gruntowej. Mieszanka ta wykazuje natomiast wzrost maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego aż do osiągnięcia wartości maksymalnej w przypadku prób o największej zawartości piasku (M80p).

3. Minimalna wartość porowatości i wskaźnika porowatości wpływają na obniżenie współczynnika filtracji. Spośród wykonanej serii mieszanek gruntowych mieszanka M80p charakteryzowała się najniższą wartością współczynnika filtracji, będącego głównym kryterium przydatności gruntu do formowania barier izolacyjnych składowisk odpadów.

4. Utwory piaszczyste mogą stanowić podłoże lub elementy konstrukcyjno-izolacyjne składowiska odpadów po dodaniu do nich niewielkiej porcji iltu, zhomogenizowaniu i zagęszczeniu w formie warstwy. Potwierdzają to cytowane w artykule przykłady.

Literatura

- AL-RAWAS A.A., MOHAMEDZEIN Y.E.-A., AL-SHABIBI A.S. & AL-KATHEIRI S. 2006 – Sand-Attapulgite clay mixtures as a landfill liners. *Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 24: 1365–1383.
- DANIEL D.E. & KOERNER R.M. 1995 – Waste Containment Facilities. Guidance for Construction, Quality Assurance and Quality Control of Liner and Cover Systems. ASCE Press, New York.
- DRAĞOWSKI A. & ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 2007a – Zasady wstępnej oceny przydatności gruntów spoistych Polski do formowania mineralnych barier izolacyjnych. [W:] Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce. *Mat. III Ogólnopolskiego Sympozjum WPGIwP*. Puszczkowo 31.05–01.06.2007.
- DRAĞOWSKI A. & ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 2007b – Grunty spoiste surowcem do formowania mineralnych barier izolacyjnych – zasady wstępnej oceny ich przydatności. *Górn. Odkryw.*, 7: 9–12.
- GUSTAFSSON M. 2001 – Classification of key parameters of sand/bentonite mixtures for use as liners for sanitary landfills, <http://www.ais32.ncc.se/Allm-dok/USA-artikelslutling%malins.pdf>.
- ITB 1995 – Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych. Instrukcja Instytutu Techniki Budowlanej 337.
- KACZYŃSKI R., DRAĞOWSKI A., PINIŃSKA J., DOBAK P., ŁUCZAK B., ŁUKASZEWSKI P., WASILJEW J. & WRÓBLEWSKI J.



Ryc. 6. Zależność wartości porowatości i wskaźnika porowatości od składu mieszanki gruntowej (przy maksymalnym zagęszczeniu)
Fig. 6. Relationship of the values of porosity and void ratio along with the compositions of the soil mixtures (by maximum compaction)

1989 – Właściwości fizyczno-mechaniczne gruntów podłoża, mieszanek gruntowych i odpadów poflotacyjnych z Zakładów Przeróbki Barytu w Boguszowie składowanych w terenie o złożonych warunkach inżyniersko-geologicznych. Uniwersytet Warszawski (materiały niepublikowane).

ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 1997 – Modelowanie właściwości iltów neogeńskich z Mszczonowa jako warstw izolacyjnych. Praca doktorska. Arch. Wydziału Geologii UW, Warszawa.

ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 2006 – Wytrzymałość na ścinanie mieszanek gruntowych ilt-piasek. *Zesz. Nauk. Politechniki Białostockiej, Budownictwo*, 28: 201–211.

MAJER E. 2005 – Ocena właściwości przesłonowych iltów do budowy składowisk odpadów. Praca doktorska. Arch. ITB Warszawa.

MAJER E. & ŁUCZAK-WILAMOWSKA B. 2009 – Zasady oceny przydatności gruntów spoistych do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych. [W:] *Problemy geotechniczne i środowiskowe z uwzględnieniem podłoża ekspansywnych*. XV Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej. Bydgoszcz, 7–10 lipca 2009 r.

MAJER E., ŁUCZAK-WILAMOWSKA B., WYSOKIŃSKI L. & DRAĞOWSKI A. 2007 – Zasady oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy mineralnych barier izolacyjnych. Wydawnictwo ITB, Warszawa.

Norma PN 86/B-02080 – grunty budowlane.

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.

U.S. EPA 1993 – Solid Waste Disposal Facility Criteria. Technical Manual. (EPA 530-R-93-017). U.S. Environmental Protection Agency.

WIŁUN Z. 1987 – *Zarys geotechniki*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 28.06.2010 r.

Po recenzji akceptowano do druku 26.07.2010 r.