

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska nr 54, 2011: 275–284
(Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. 54, 2011)

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences No 54, 2011: 275–284
(Sci. Rev. Eng. Env. Sci. 54, 2011)

Magdalena NOWAKOWSKA, Kazimierz GARBULEWSKI

Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie
Department of Geotechnical Engineering WULS – SGGW

Mieszanka łu i węgla aktywnego jako materiał do uszczelniania składowisk odpadów **Clay-activated carbon blend as a material to liner of landfill**

Słowa kluczowe: składowiska odpadów, uszczelnienie mineralne, bariera chemiczna, mieszanka łuowo-węglowa

Keywords: landfills, mineral liner, chemical barrier, clay-carbon blend

Wprowadzenie

Składowiska odpadów – budowle uważane za potencjalnie największe źródło zanieczyszczenia środowiska, zwłaszcza gruntowo-wodnego, stanowią konstrukcje inżynierskie powszechnie występujące w infrastrukturze gospodarki odpadami komunalnymi i przemysłowymi. W przypadku awarii lub braku systemu drenażowego w składowisku odcieki z odpadów, zawierające substancje chemiczne o stężeniach wielokrotnie przekraczających wartości dopuszczalne (Fronczyk 2008, Nowakowska 2009), mogą łatwo dostać się do użytkowanego poziomu wód podziemnych (źródeł wód pitnych). Jednym z kluczowych

warunków zabezpieczenia środowiska jest lokalizowanie składowisk w miejscach, gdzie w podłożu występują bariery geologiczne (ciągłe warstwy osadów o przepuszczalności hydraulicznej $k < 1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ i miąższości 5 lub 1 m, odpowiednio w przypadku składowisk odpadów niebezpiecznych i składowisk innych niż niebezpieczne i obojętne) lub/ i wykonanie niezawodnego w działaniu systemu uszczelniającego podstawę i skarpy składowiska. Do uszczelnienia dna składowiska stosuje się wykładziny gruntowe, geomembrany, wykładziny bentonitowe (Garbulewski i Wolski 1996), przy czym najskuteczniejszym zabezpieczeniem są wykładziny wykonane z gruntów drobnoziarnistych (gliny, łu), zawierających co najmniej 20% frakcji ilastej, i odznaczające się wskaźnikiem plastyczności $I_p > 10\%$. Grunty te, po zagęszczeniu warstwami o miąższości nieprzekraczającej przed zagęszczeniem 0,25 m, powinny charakteryzować

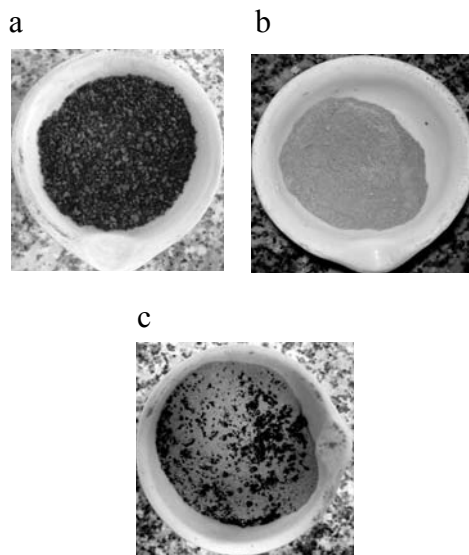
się przepuszczalnością $k < 1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. W przypadku braku lub trudności z uzyskaniem na miejscu budowy odpowiednich gruntów można grunty miejscowe uzdatnić przez dodanie 3–4% bentonitu lub innego drobnego materiału naturalnego lub sztucznego, na przykład polimerowego. Miąższość wykładzin wynosi zwykle od 0,5 do 1,5 m. Do zagęszczenia warstw stosuje się ciężkie (około 20-tonowe) walce statyczne okółkowane, z kołkami długości około 0,2 m, wnikającymi w całą zagęszczaną warstwę gruntu. Zagęszczany grunt powinien charakteryzować się wilgotnością optymalną (w_{opt}) lub większą o 2–3% (Garbulewski 2000, Instrukcja... 2009).

W doborze materiałów na uszczelnienia mineralne coraz częściej, poza wymaganiami hydraulicznymi, bierze się pod uwagę wymagania fizyczno-chemiczne, dotyczące zdolności wód podziemnych i odcieków do samooczyszczania, to znaczy zmniejszania stężenia zanieczyszczeń w wyniku sorpcji, wytrącania, reakcji chemicznych i innych procesów do takiego stopnia, że kiedy (jeżeli w ogóle) zanieczyszczenia dotrą do użytkowanego poziomu wód, ich stężenia będą mniejsze od dopuszczalnych.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, których celem było zwiększenie zdolności sorpcyjnej gruntów drobnoziarnistych (iłów) stosowanych do budowy uszczelnień mineralnych przez dodanie materiałów o dużej aktywności sorpcyjnej. Badania obejmowały określenie powierzchni właściwej, zdolności do pęcznienia, zagęszczalności, przepuszczalności hydraulicznej i wytrzymałości na ścinanie mieszanki łu z węglem aktywnym.

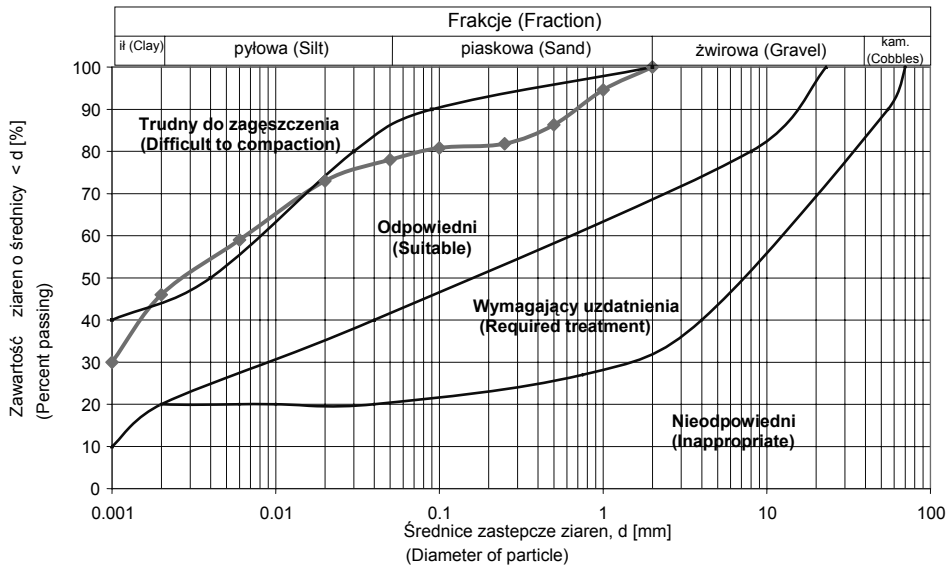
Charakterystyka badanych materiałów

W badaniach laboratoryjnych zastosowano łu, węgiel aktywny i mieszankę łu z węglem aktywnym w proporcji wagowej 8 : 2 (rys. 1). Badany łu zawierał ponad 50% frakcji łuwej (rys. 2), w której głównym składnikiem mineralnym był beidellit (tab. 1). Węgiel aktywny charakteryzował się wartościami wskaźników różnoziarnistości (C_U) i krzywizny (C_C), wynoszącymi odpowiednio 1,6 i 0,9. Minimalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego tego materiału wynosiła $0,32 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, a maksymalna była równa $0,46 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (Piotrowski 2009).



RYSUNEK 1. Próbkę badanych materiałów: a – węgiel aktywny, b – łu, c – mieszanka łuowo-węglowa

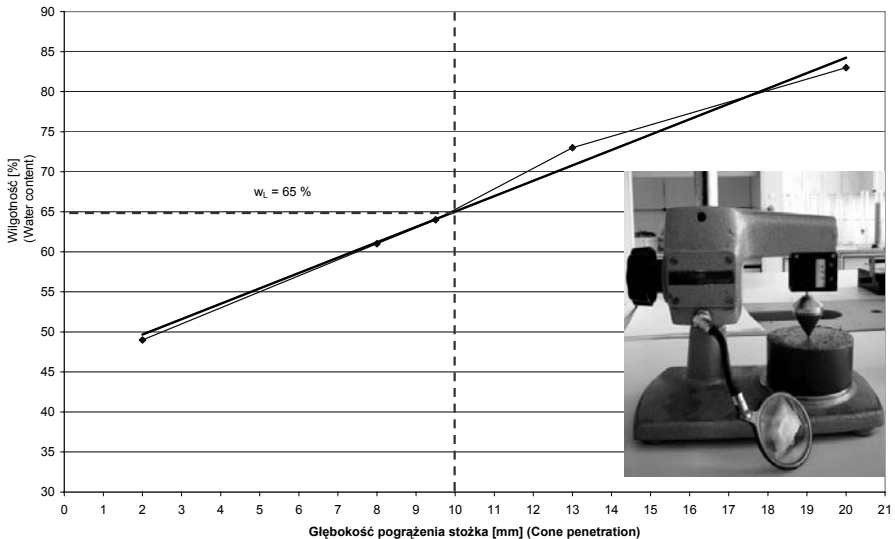
FIGURE 1. Sample of material tested: a – activated carbon, b – clay, c – clay-carbon blend



RYSUNEK 3. Ocena przydatności mieszanki iłowo-węglowej do budowy wykładzin gruntowych
 FIGURE 3. Assessment of the usefulness of clay-carbon blend to construct a landfill liner

25 uderzeniom miseczki Casagrandego o podstawę aparatu to granica płynności, która wynosiła 76%. Wykres zależności wilgotności od głębokości pogrążenia

stożka w mieszance iłowo-węglowej przedstawia rysunek 4. Wilgotność mieszanki, odpowiadająca głębokości pogrążenia stożka 10 mm, wynosiła 65%.



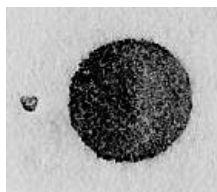
RYSUNEK 4. Wyniki badania mieszanki iłowo-węglowej w aparacie ze spadającym stożkiem
 FIGURE 4. Results of the test on clay-carbon blend using the falling cone apparatus

Badania własne – wyniki i analiza

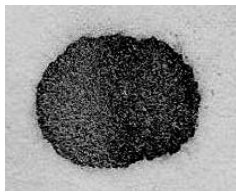
Powierzchnia właściwa

Badania powierzchni właściwej przeprowadzono, stosując metodę sorpcji błękitu metylenowego według normy PN-88/B-04481 (Leszczyńska 2006, Fronczyk i in. 2007). Do przeprowadzenia badań sporządzono roztwór błękitu metylenowego, którego miano wynosiło 0,007943 g. Naważki próbek do badań przygotowane były zgodnie z normą, czyli dla ilów – 2 g, dla gruntów mało spoistych – około 8 g. W przypadku mieszanki ilowo-węglowej ze względu na większy udział ilu stosowano naważki 2-gramowe. Wyniki badań powierzchni właściwej metodą sorpcji błękitem metylenowym (rys. 5) zestawiono w tabeli 2.

a



b



RYSUNEK 5. Krople roztworu ilu i błękitu metylenowego na bibule filtracyjnej: a – cała ilość barwnika zaadsorbowana przez il, b – wyczerpane zdolności sorpcyjne ilu (plamka z błękitnym halo)
FIGURE 5. Drops of the clay-methylene blue solution on filter paper: a – the entire amount of dye adsorbed by the clay, b – to exhaust the clay sorption capacity (with a blue halo spot)

Powierzchnia właściwa ilu, wynosząca 279,1 m²·g⁻¹, odnosi się do rozdrobnionego materiału i zawartości w nim 46,4% wagowych minerału ilastego z grupy montmorillonitu (beidelit). Powierzchnia właściwa minerałów z tej grupy waha się od 700 do 800·10³ m²·kg⁻¹ (Grabowska-Olszewska 1980). Wartość powierzchni właściwej węgla aktywnego wynosiła 447,5 m²·g⁻¹. Dane z literatury wskazują, że wartość tego parametru waha się w przedziale od 200 do 1500 m²·g⁻¹. W przypadku badań mieszanki 80% ilu i 20% węgla aktywnego otrzymano wartość powierzchni właściwej równą 303,1 m²·g⁻¹. Dodanie 20% wagowych węgla spowodowało zwiększenie powierzchni właściwej ilu o 8,6%.

Pęcznienie

Badania swobodnego pęcznienia przeprowadzono metodą Holtza-Gibbsa (Holtz i Gibbs 1956, Grabowska-Olszewska 1998) dla tych samych próbek ilu, węgla aktywnego i mieszanki ilowo-węglowej, dla których wykonane były badania powierzchni właściwej. W badaniach zastosowano cylindry o pojemności 100 ml; naważki gruntu określano, stosując cylinder 10 ml (rys. 6). Wyniki badania zestawiono w tabeli 3.

TABELA 2. Zestawienie wyników badań powierzchni właściwej

TABLE 2. Summary of results of specific surface area tests

Próbka Sample	MBC Sorption capacity	Całkowita powierzchnia właściwa S_v [m ² ·g ⁻¹] Total specific surface area
Il/Cly	13,3	279,1
Węgiel aktywny Activated carbon	21,4	447,5
80% ilu i 20% węgla aktywnego Clay – activated carbon blend	14,5	303,1

TABELA 3. Wyniki badania swobodnego pęcznienia metodą Holtza-Gibbsa

TABLE 3. Test results of free swelling using Holtz-Gibbs method

Próbka Sample	Wzrost objętości [ml] Volume increase	Swobodne pęcznienie [%] Free swelling	Uśredniony wynik swobodnego pęcznienia [%] The median score of free swelling
H/Cly	16	60	65
	17	70	
Węgiel aktywny Activated carbon	10	0	0
	10	0	
80% ilitu i 20% węgla aktywnego Clay – activated carbon blend	15	50	45
	14	40	



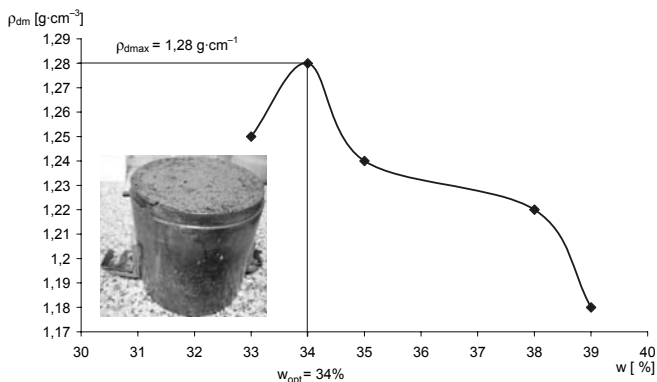
RYSUNEK 6. Badanie swobodnego pęcznienia
FIGURE 6. Free swelling test

Węgiel aktywny jest materiałem niepęczniącym i w mieszance z ilitem zmniejsza jego zdolność swobodnego pęcznienia do wartości równej 45%.

Zagęszczalność

Badanie zagęszczalności mieszanki ilitowo-węglowej przeprowadzono w mechanicznym aparacie Proctora. W tym celu zastosowano cylinder o pojemności 1 dm³ i ubijak o masie 2,5 kg, spadający z wysokości 320 mm, co daje energię zagęszczania równą 0,59 J·cm⁻³. W cylindrze mieszankę gruntu układano warstwami (3 warstwy) i kolejno zagęszczano 25 uderzeniami ubijaka. Z przeprowadzonych badań zagęszczalności w aparacie Proctora metodą normalną wynika (rys. 7), że maksymalną gęstość objętościową szkieletu mieszanki ilitowo-węglowej (maksymalne

RYSUNEK 7. Krzywa zagęszczalności mieszanki ilitowo-węglowej
FIGURE 7. Compaction curve of clay-carbon blend



zagęszczenie) można otrzymać przy wilgotności optymalnej równej 34%.

Wytrzymałość na ścinanie

Na podstawie badań w aparacie ze spadającym stożkiem określono wytrzymałość na ścinanie mieszanki łu z węglem aktywnym, stosując wzór (Hansbo 1957):

$$\tau_{fc} = K_c m_c \frac{g}{d_c^2} \quad (1)$$

gdzie:

τ_{fc} – wytrzymałość na ścinanie określona spadającym stożkiem [kPa],

K_c – stała zależna od kąta wierzchołkowego i rodzaju gruntu, równa 0,25,

m_c – masa stożka [g],

g – przyspieszenie ziemskie, równe 9,81 $m \cdot s^{-2}$,

d_c – głębokość pograżenia stożka [mm].

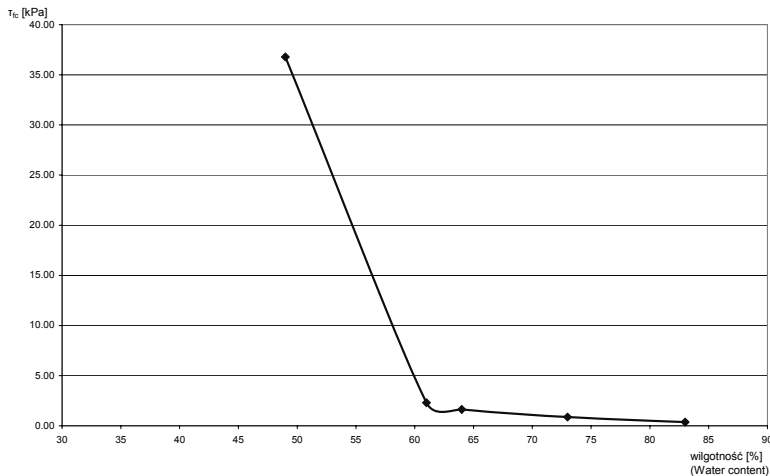
W wyniku obliczeń otrzymano zależność wytrzymałości na ścinanie od wilgotności w postaci wykresu przedstawionego na rysunku 8. Wytrzymałość na ścinanie

mieszanki ılowo-węglowej wynosi 2–3 kPa przy wilgotności większej od 60% i około 35 kPa przy wilgotności 50%.

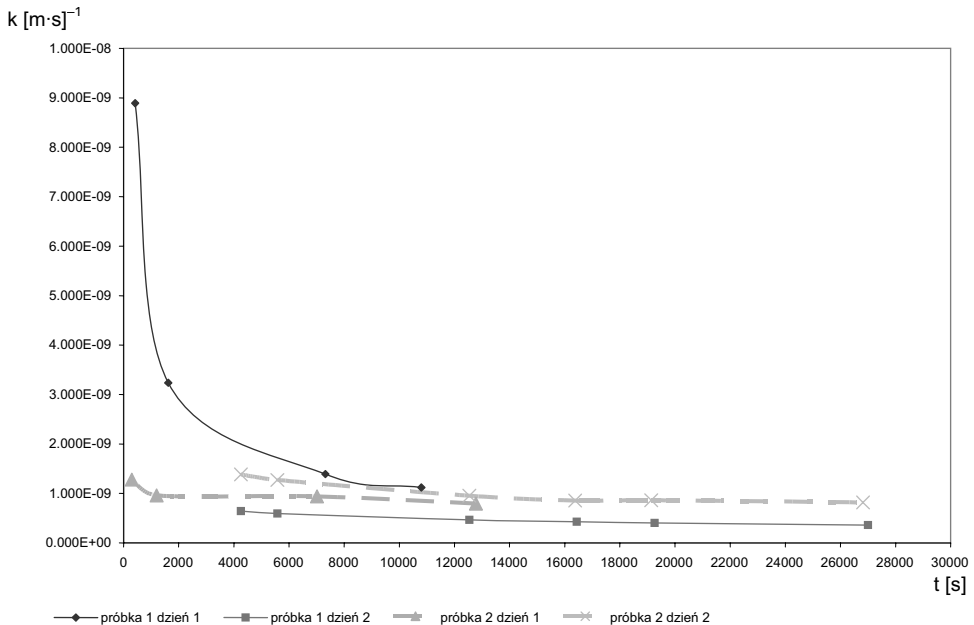
Przepuszczalność hydrauliczna

Przepuszczalność hydrauliczną mieszanki ılowo-węglowej zbadano w przystosowanym edometrze, stosując próbki o wilgotności optymalnej wycięte z zagęszczonego w aparacie Proctora materiału. W celu uzyskania całkowitego nasycenia mieszanki obserwacje przepływu wody prowadzono przez tydzień dla dwóch próbek – jednej obciążonej tylko ramką: 12,5 $kN \cdot m^{-2}$, a drugiej obciążonej dodatkowym obciążeniem: 25,0 $kN \cdot m^{-2}$. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 9.

Na podstawie wykonanych wykresów można przyjąć wartość przepuszczalności hydraulicznej równą dla pierwszej próbki $3,6 \cdot 10^{-10} m \cdot s^{-1}$, a dla drugiej próbki $7,9 \cdot 10^{-10} m \cdot s^{-1}$. Obydwie wartości są mniejsze od wymaganej ($k \leq 1,0 \times 10^{-9} m \cdot s^{-1}$) dla uszczelnień mineralnych



RYSUNEK 8. Wytrzymałość na ścinanie mieszanki ılowo-węglowej z badania spadającym stożkiem
 FIGURE 8. Shear strength clay-carbon blend from fall cone test



RYSUNEK 9. Wyniki badań przepuszczalności hydraulicznej mieszanki iłowo-węglowej dla próbki 1. pod obciążeniu 12,5 kPa i próbki 2. pod obciążeniem 25 kPa
 FIGURE 9. Results of hydraulic conductivity tests for the 1. sample with a loading 12.5 kPa and for 2. sample with 25 kPa loading

składowisk zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 roku.

Z przeprowadzonych badań przepuszczalności hydraulicznej wynika, że mieszanka iłowo-węglowa pod względem przepuszczalności będzie stanowiła odpowiednią barierę hydrauliczną zabezpieczającą środowisko przed szkodliwymi odciekami.

Wnioski

Celem badań, których wyniki przedstawione są w artykule, było sprawdzenie możliwości zwiększenia zdolności sorpcyjnej gruntów drobnoziarnistych (iłów) stosowanych do budowy uszczel-

nień mineralnych przez dodanie materiału o dużej aktywności sorpcyjnej – węgla aktywnego, w stosunku wagowym 8 : 2. Wyniki badań uzasadniają następujące najważniejsze wnioski:

1. Mieszanka iłowo-węglowa z 20-procentowym wagowym udziałem węgla może być wykorzystywana do uszczelnienia składowisk odpadów, bowiem po zagęszczeniu spełnia kryterium hydrauliczne $k < 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Z badań przepuszczalności hydraulicznej mieszanki w edometrze uzyskano wartości k_{10} w zakresie od $1,6 \cdot 10^{-10}$ do $8,5 \cdot 10^{-10} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. Dodanie węgla aktywnego do łu w ilości 20% wagowych powoduje zwiększenie jego powierzchni właściwej z $279,1 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ do wartości $303,1 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. Wobec tego mieszanka iłowo-węglowa

będzie materiałem o większych niż il zdolnościach do zatrzymywania zanieczyszczeń w wyniku sorpcji i innych mechanizmów.

3. Mieszanka ilowo-węglowa nie wykazała dużych zdolności do pęcznienia. Badanie przeprowadzono metodą Holtza-Gibbsa. Z przeprowadzonej oceny pod względem granulometrycznym wynika, że mieszanka ilowo-węglowa jest materiałem odpowiednim do budowy uszczelnień składowisk odpadów. Wilgotność, która gwarantuje maksymalną gęstość objętościową szkieletu mieszanki, czyli wilgotność optymalna, wynosi dla badanej mieszanki 34%. Granica płynności (w_L), określona za pomocą aparatu Casagrandego i spadającego stożka, wynosi dla badanej mieszanki ilowo-węglowej odpowiednio 76 i 65%.

Literatura

- FRONCZYK J. 2008: Wykorzystanie mieszanek zeolitowo-piaskowych w przepuszczalnych barierach reaktywnych w rejonie składowisk odpadów. Praca doktorska. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, Warszawa.
- FRONCZYK J., GARBULEWSKI K., LESZCZYŃSKA M., KIEDRYŃSKA L. 2007: Zastosowanie metody adsorpcji błękitu metylenowego w badaniach powierzchni właściwej wybranych sorbentów. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 10, 1: 45–57.
- GARBULEWSKI K. 2000: Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych. Rozprawy Naukowe i Monografie. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- GARBULEWSKI K., WOLSKI W. 1996: Urządzenie składowisk odpadów w gminach. W: Ochrona i zrównoważony rozwój środowiska wiejskiego. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1980: Metody badań gruntów spoistych. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1998: Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- HANSBO S. 1957: A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall-cone test. *Swedish Geotechnical Institute, Proc.* 14: 5–47.
- HOLTZ W.G., GIBBS H.J. 1956: Engineering properties of expansive clays. *Trasact. ASCE* 121.
- Instrukcja nr 444, 2009: Zasady budowy składowisk odpadów. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
- LESZCZYŃSKA M. 2006: Zastosowanie zeolitów w konstrukcjach przepuszczalnych barier reaktywnych. Praca magisterska. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska SGGW, Warszawa.
- NOWAKOWSKA M. 2009: Uszczelnienie mineralne jako bariera chemiczna – badania eksperymentalne. Praca magisterska. Wydział Inżynierii i Kształtowania Środowiska, SGGW, Warszawa.
- PIOTROWSKI G. 2009: Wielowarstwowe przepuszczalne bariery reaktywne w neutralizacji odcieków ze składowisk odpadów. Praca magisterska. Międzywydziałowe Studium Ochrony Środowiska, SGGW, Warszawa.
- PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntów.
- 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.

Summary

Clay-activated carbon blend as a material to liner of landfill. Landfills are objects that can contaminate groundwater (drinking water sources) and surrounding land due to the influx of harmful leachate. Therefore, it is essential to isolate the groundwater environment from the landfill impact. This can be done through the clay liner constructed

in the bottom of landfill. In order to improve the sorption capacity of clay the clay-activated carbon blend in weight proportion 8 : 2 is proposed. To check the properties of blend the index properties, swelling, compaction, shear strength and hydraulic conductivity tests were carried out. Moreover, the tests of specific surface area of blend were included to the investigation program. The tests results presented in this paper allow to drawn

conclusion that the clay-carbon blend is suitable material for construction of the landfill liner.

Authors' adress:

Magdalena Nowakowska, Kazimierz Garbulewski
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland
e-mail: kazimierz_garbulewski@sggw.pl