

OCENA PRZYDATNOŚCI OSADÓW DENNYCH ZBIORNIKA RZESZOWSKIEGO DO BUDOWY USZCZELNIEŃ W SKŁADOWISKACH ODPADÓW KOMUNALNYCH

USABILITY EVALUATION OF BOTTOM SEDIMENTS FROM RZESZOWSKI RESERVOIR FOR SOIL LINERS IN MUNICIPAL WASTE DISPOSAL SITES

Karolina Koś, Eugeniusz Zawisza

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono charakterystykę geotechniczną osadów dennych Zbiornika Rzeszowskiego. Sklasyfikowano je jako grunty pylaste, kilkufrakcyjne, w stanie płynnym. Zawartość części organicznych w badanych osadach przekraczała 2%, w wyniku czego zaliczają się one do gruntów organicznych. Materiał uśredniony, powstały przez zmieszanie wszystkich próbek, sklasyfikowano jako pył kilkufrakcyjny, słabo przepuszczalny, o dużej powierzchni właściwej, podwyższonej zawartości części organicznych oraz stosunkowo wysokich wartościach parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie. Na podstawie analizy przydatności badanych osadów stwierdzono, że wstępnie można je uznać za przydatne do formowania przesłon uszczelniających w składowiskach odpadów komunalnych.

Abstract. The paper presents geotechnical characteristic of bottom sediments from Rzeszowski Reservoir. They were classified as silty soils in liquid state, with organic parts content above 2%, therefore classified as organic. Averaged material, that came from mixing all sediments samples, was classified as silt with low permeability, large surface area, increased organic parts content and relatively high values of shear strength parameters. Based on carried out analysis it was stated that tested sediments can be preliminary accepted for forming soil liners in municipal waste disposal sites.

Słowa kluczowe: osady denne, charakterystyka geotechniczna, ocena przydatności, przesłony uszczelniające

Key words: bottom sediments, geotechnical characteristics, soil liners

Adres do korespondencji – Corresponding authors: mgr inż. Koś Karolina, dr hab. inż. Eugeniusz Zawisza, prof. UR, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: karolinasudyka@wp.pl.

WSTĘP

Składowisko odpadów komunalnych może zostać uznane za bezpieczne dla środowiska wodno-gruntowego, jeżeli zostanie spełniony jeden z następujących warunków [Garbulewski 2000]: składowisko zostanie zlokalizowane na obszarze, gdzie występuje naturalna bariera geologiczna lub podstawa i skarpy składowiska zostaną odpowiednio uszczelnione. Zazwyczaj występuje drugi przypadek, przede wszystkim ze względu na to, że trudno jest znaleźć warstwę naturalnych gruntów jednorodną i nieprzepuszczalną, bez spękań lub przewarstwień gruntów przepuszczalnych. Ważny element migracji zanieczyszczeń stanowi nie tylko filtracja, ale również dyfuzja. Dlatego zaleca się uszczelnienie składowiska wykładzinami gruntowymi. Najważniejszym zadaniem takiej wykładziny jest ograniczenie przenikania zanieczyszczeń w wyniku adwekcji i/lub dyfuzji. Powinna się ona zatem charakteryzować niską wodoprzepuszczalnością, dużą zdolnością adsorpcyjną, odpornością na erozję i działanie czynników chemicznych oraz podatnością na odkształcenia, ze względu na możliwość nierównomiernego osiadania. Warstwy izolacyjne w składowiskach odpadów wykonuje się najczęściej z gruntów spoiстых o odpowiednich właściwościach geotechnicznych. Jedną z możliwości jest wykorzystanie osadów dennych ze zbiorników zaporowych.

Proces zamulania, czyli sedymentacji materiału niesionego przez dopływy, występuje w każdym zbiorniku zaporowym. Intensywność tego procesu zależy od wielu czynników, takich jak powierzchnia i ukształtowanie zlewni, charakter jej użytkowania czy wielkość opadów. Sedymentujące osady mają niekorzystny wpływ na funkcjonowanie zbiornika – jeśli ich ilość jest znaczna, może zostać podjęta decyzja o przeprowadzeniu odmulania. Wydobyte wtedy osady denne mogą stanowić wartościowy pod względem geotechniczny materiał, który mógłby zostać wykorzystany do różnego rodzaju budowy ziemnych [Gwóźdź 2008, Gruchot i Sudyka 2011]. W niniejszej pracy przedstawiono ocenę przydatności osadów dennych Zbiornika Rzeszowskiego do formowania przesłon w składowiskach odpadów komunalnych.

KRYTERIA PRZYDATNOŚCI GRUNTÓW DO BUDOWY PRZESŁÓN

Podstawowe wytyczne dotyczące użytkowania gruntów podaje rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie budowy składowisk [Rozporządzenie... 2003], a dodatkowe zalecenia i kryteria dostępne są w literaturze przedmiotowej [Garbulewski 2000, Majer 2005, Drągowski i Łuczak-Wilamowska 2007, Majer i in. 2007].

Najważniejszym zadaniem wykładziny gruntowej jest uniemożliwienie migracji zanieczyszczeń poza obręb składowiska oraz infiltracji wód opadowych w głąb budowli. Stąd podstawowe znaczenie kryterium szczelności. Określa ono minimalną wartość współczynnika filtracji sztucznej bariery mineralnej $k = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ oraz jej minimalną miąższość – 0,5 m.

Kryterium granulometryczne określa taką zawartość frakcji, która po odpowiednim zagęszczeniu warstwy uszczelniającej umożliwi uzyskanie wymaganego współczynnika wodoprzepuszczalności. Zalecenia dotyczą maksymalnego wymiaru ziarn oraz zawartości cząstek drobnych.

Kryterium mineralogiczne określa między innymi ilość i rodzaj minerałów ilastych, które są istotne ze względu na odporność chemiczną, wielkość sorpcji oraz ocenę reakcji

odciek–grunt, ponieważ wody odciekowe składowiska mogą zmieniać właściwości gruntów. Majer i in. [2007] zalecają, by zawartość minerałów ilastych była większa niż 20%, a zawartość węglanów nie przekraczała 15%.

Kryterium plastyczności zwraca uwagę na techniczny aspekt formowania przesłon mineralnych. Grunty o odpowiednim wskaźniku plastyczności dobrze się formuje, uzyskując jednocześnie wysoką wartość współczynnika filtracji – poniżej $10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Doświadczenia wykazały, że takie efekty (dobre formowanie, najlepsze właściwości filtracyjne) zapewniają grunty o wskaźniku plastyczności od 7 do 30 [Gwóźdź 2008]. W przypadku gruntów o niskim wskaźniku plastyczności trudno jest uzyskać wymaganą wodoprzepuszczalność, natomiast grunty o wysokich wartościach tego parametru są trudne do wbudowania.

Kryterium wpływu wody na zachowanie się gruntu charakteryzuje kilka parametrów: skurcz liniowy, aktywność koloidalna, szybkość rozmakania, ciśnienie pęcznienia oraz wskaźnik pęcznienia. Wartości tych parametrów informują o wpływie wody na zachowanie się gruntu. Grunty przydatne powinny cechować się wartością aktywności koloidalnej powyżej 0,4 oraz takimi wartościami pozostałych parametrów, które zapewnią odpowiednie właściwości deformacyjne.

Kryterium sorpcji wiąże się z określeniem, czy grunt jest dobrym sorbentem. Badanie wykonywane jest metodą sorpcji błękitu metylowego, dzięki któremu uzyskuje się wartość powierzchni właściwej gruntu. Przesłonę musi cechować zdolność adsorbowania zanieczyszczeń występujących w odciekach, dlatego jako przydatne określane są grunty, które najlepiej sorbują jony stanowiące zagrożenie dla środowiska.

Przesłony gruntowe powinny charakteryzować się odkształcalnością, która pozwoli na przenoszenie różnych osiadań. Minimalna wartość modułu ściśliwości dla gruntów przydatnych ustalono na poziomie $M_0 = 5 \text{ MPa}$.

Ostatnie kryterium istotne przy projektowaniu konstrukcji składowiska stanowi kryterium wytrzymałościowe. Określa ono minimalne wartości kąta tarcia wewnętrznego (3°) oraz spójności gruntu (35 kPa).

ZBIORNIK RZESZOWSKI

Stopień Wodny Rzeszów został zbudowany w roku 1973 z myślą o zapewnieniu prawidłowej eksploatacji ujęć wody dla miasta Rzeszowa oraz do celów rekreacyjno-sportowych. Dolina rzeki została przegrodzona zaporą ziemną z centralnie usytuowanym jazem ruchomym. Zbiornik wodny utworzony przez spiętrzenie wód rzeki Wisłok pierwotnie miał pojemność $1,8 \text{ mln m}^3$ i powierzchnię zalewu $68,2 \text{ ha}$ [www.krakow.rzgw.gov.pl]. Po kilkunastu latach eksploatacji na skutek zamulenia zbiornik stracił ponad 40% pojemności. W latach osiemdziesiątych podjęto działania mające na celu ograniczenie załadowania powierzchni zbiornika poprzez odpowiednie ukierunkowanie przepływu przez jaz oraz zwiększenie prędkości wody przepływającej przez zbiornik. Wykonano również modernizację dwu przesł jazowych, w wyniku czego przepływ w normalnych warunkach odbywa się pod zasuwami, co miało uruchomić procesy samoodmulenia zbiornika w rejonie jazu. Pomimo podjętych działań zbiornik nadal ulegał zamulaniu. W latach 1995–1997 przeprowadzono prace odmulające i usunięto 161 tys. m^3 osadów. Mimo to sytuacja na zbiorniku nie uległa poprawie. Obecnie zbiornik jest załadowany w około 60% i systematycznie się zamula. Przestał tym samym spełniać

swoje funkcje – obecnie działa tylko ujęcie wody „Zwieńczyca”, zlokalizowane w cofce zbiornika. W ciągu ostatnich kilku lat toczy się dyskusja między władzami i mieszkańcami Rzeszowa a ekologami na temat odmulania. Teren Zbiornika Rzeszowskiego zakwalifikowany jest do Obszaru Natura 2000 ze względu na różnorodność występujących tam gatunków ptaków i gadów. Z tego powodu ekologodzy wielokrotnie blokowali prace mające na celu odmulenie. Jednak dalsze zamulanie zagraża zarówno funkcjonowaniu zbiornika, jak i żyjącym na jego terenie zwierzętom. Szacuje się, że w wyniku przeprowadzonego odmulania może zostać wydobytych około 1,5 mln m³ osadów [www.tvp.pl/rzeszow].

METODYKA BADAŃ

Próbki osadów pobrano w czerwcu 2010 roku, czerpakiem z łodzi, z czterech miejsc oznaczonych na rys. 1 jako punkty 1, 2, 3 i 4, tj. w cofce zbiornika, powyżej i poniżej wlotu potoku Strug do zbiornika oraz przy stopniu.



Rys. 1. Lokalizacja poboru próbek osadów dennych ze Zbiornika Rzeszowskiego [www.rzeszow.pl]
 Fig. 1. Location of bottom sediments sampling from Rzeszowski Reservoir [www.rzeszow.pl]

Badania przeprowadzono na poszczególnych próbkach pobranych osadów oraz na materiale uśrednionym otrzymanym przez zmieszanie wszystkich próbek. Zakres badań obejmował oznaczenie składu granulometrycznego, podstawowych parametrów fizycznych oraz wytrzymałości na ścinanie. Skład uziarnienia oznaczony został metodą aerometryczną w dwóch powtórzeniach zgodnie z normą [PKN... 2009]. Wilgotność naturalną oznaczono metodą suszarkową w temperaturze 105°C w dwóch powtórzeniach. Gęstość właściwą szkieletu określono metodą piknometru. Powierzchnię właściwą oznaczono metodą sorpcji błękitu metylowego zgodnie z normą [PN-B-04481:1988]. Oznaczenie zawartości części organicznych przeprowadzono metodą utleniania oraz strat prażenia, w dwóch powtórzeniach [PN-B-04481:1988]. Granicę płynności wyznaczono metodą Casagrande'a, natomiast granice plastyczności metodą wałeczowania. Wilgotność optymalna i maksymalna gęstość objętościowa szkieletu określona została w aparacie Proctora przy energii zagęszczenia 0,59 J · cm⁻³. Współczynnik filtracji oznaczono w dwóch powtórzeniach, dla próbek materiału uśrednionego. Badanie przeprowadzono w edometrach ($d = 7,5$ cm, $h = 1,9$ cm) na próbkach o wilgotności optymalnej i wskaźniku zagęszczenia $I_s = 1,00$, przy obciążeniu 12,5 kPa.

Wytrzymałość na ścinanie oznaczono w aparacie bezpośredniego ścinania [PKN... 2009] w skrzynce o wymiarach w rzucie 60 × 60 mm, z ramkami pośrednimi tworzącymi strefę ścinania o grubości 4 mm. Próbki formowano bezpośrednio w skrzynce aparatu przy wilgotności optymalnej do osiągnięcia wskaźnika zagęszczenia $I_s = 1,00$. Próbki poddawano obciążeniu o wielkości 50, 100 i 200 kPa, a następnie ścinano przy prędkości 0,1 mm · min⁻¹ do uzyskania 10% odkształcenia poziomego próbki. Obliczenia parametrów wytrzymałościowych wykonano dla wartości maksymalnych naprężeń ścinających ($\max \tau_p$).

CHARAKTERYSTYKA GEOTECHNICZNA OSADÓW DENNYCH

Charakterystykę uziarnienia oraz wartości parametrów geotechnicznych poszczególnych próbek osadów oraz materiału uśrednionego zestawiono w tab. 1. Uziarnienie badanych próbek odpowiadało głównie pyłom, lokalnie pyłom ilastym. Pyły charakteryzowały się zawartością frakcji piaskowej od około 5 do 12%, pyłowej od 80 do 86%, a ilowej około 9%, incydentalnie powyżej 7%. Wskaźnik uziarnienia wyniósł od około 11 do 13, zatem można określić badany materiał jako kilkufrakcyjny. W przypadku próbki osadów sklasyfikowanej jako pył ilasty zawartość frakcji piaskowej wynosiła 8%, pyłowej około 76%, a ilowej ponad 15%. Wskaźnik uziarnienia sięgał 11, jest to zatem również materiał kilkufrakcyjny.

Gęstość właściwa szkieletu wynosiła od 2,58 do 2,62 g · cm⁻³ i nie wykazywała różnicowania między wydzielonymi rodzajami osadów. Zawartość części organicznych pyłów wahała się od 2,4 do 3,3%, natomiast dla pyłów ilastych była nieznacznie wyższa i kształtowała się na poziomie 3,5%. Większe wartości uzyskano z oznaczenia strat prażenia – od około 2,8 do prawie 5,0%. Wilgotność naturalna dla obu rodzajów osadów dennych była wysoka i przekraczała 70%.

Granica płynności pyłów wynosiła od około 44 do 50%, natomiast granica plastyczności od około 28 do 32%. W przypadku pyłów ilastych wartości te były nieznacznie wyższe i sięgały odpowiednio ponad 51% oraz około 33%. Wskaźnik plastyczności kształtował się na poziomie od około 15 do 18% i nie wykazywał różnicowania w obu

Tabela 1. Parametry geotechniczne próbek osadów dennych oraz materiału uśrednionego
 Table 1. Geotechnical parameters of sediments samples and averaged material

| Parametr Parameter | Symbol | Jednostka Unit | Próbka osadów numer Soil sample number | | | | Materiał uśredniony Averaged material |
|---|--------------|----------------------------------|---|-------|-------|-------|--|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Zawartość frakcji Fraction content: | | | | | | | |
| piaskowej – sand 2–0,063 mm | Sa | % | 8,0 | 7,0 | 4,5 | 11,5 | 9,0 |
| pyłowej – silt 0,063–0,002 mm | Si | | 76,5 | 86,0 | 86,0 | 79,5 | 83,0 |
| iłowej – clay < 0,002 mm | Cl | | 15,5 | 7,0 | 9,5 | 9,0 | 8,0 |
| Wskaźnik różnoziarnistości Uniformity coefficient | C_U | – | 11,0 | 11,4 | 12,5 | 13,0 | 12,5 |
| Nazwa gruntu wg Name according to PN-EN ISO 14688-2:2004 | – | – | clSi | Si | Si | Si | Si |
| Wilgotność naturalna Natural moisture content | w_n | % | 87,6 | 86,1 | 70,3 | 80,5 | – |
| Gęstość właściwa szkieletu Specific density | ρ_s | $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | 2,616 | 2,582 | 2,617 | 2,623 | 2,609 |
| Straty prażenia – Ignition loss | I_z | % | 4,95 | 3,87 | 2,88 | 3,75 | – |
| Zawartość części organicznych Organic parts content | I_{om} | % | 3,51 | 2,42 | 2,36 | 3,32 | 2,85 |
| Powierzchnia właściwa Specific surface area | S_t | $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ | – | – | – | – | 702,4 |
| Wilgotność optymalna Optimum moisture content | w_{opt} | % | – | – | – | – | 27,0 |
| Maksymalna. gęstość objętościowa szkieletu Maximum dry density by Proctor's method | ρ_{d_s} | $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | – | – | – | – | 1,402 |
| Granica płynności Liquid limit | w_L | | 51,4 | 43,6 | 44,1 | 50,4 | – |
| Granica plastyczności Plastic limit | W_P | % | 33,5 | 28,8 | 28,3 | 32,1 | – |
| Wskaźnik plastyczności Plasticity index | I_P | | 17,9 | 14,8 | 15,8 | 18,3 | – |
| Wskaźnik konsystencji Consistency index | I_c | – | –2,02 | –2,87 | –1,66 | –1,64 | – |
| Współczynnik filtracji Permeability coefficient | k_{10} | $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ | – | – | – | – | $2,0 \cdot 10^{-9}$ |
| Kąt tarcia wewnętrznego Angle of internal friction | φ | ° | – | – | – | – | 26,4 |
| Spójność – Cohesion | c | kPa | – | – | – | – | 39,5 |

rodzajach osadów. Wskaźnik konsystencji wszystkich próbek wynosił znacznie poniżej 0,25, były one zatem w stanie płynnym.

Uziarnienie materiału uśrednionego odpowiadało pyłom o zawartości frakcji piaskowej 9%, pyłowej 83% oraz ilowej 8%. Wskaźnik uziarnienia tego materiału sięgał 12,5, podobnie było w przypadku poszczególnych próbek osadów, materiał ten można więc określić jako kilkufrakcyjny. Wartość powierzchni właściwej okazała się wysoka i przekraczała $702 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Wilgotność optymalna materiału uśrednionego wynosiła 27%, a maksymalna gęstość objętościowa szkieletu $1,40 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Współczynnik filtracji kształtował się na poziomie $2,0 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, co pozwalało uznać badany materiał za słabo przepuszczalny. Wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności były znaczne i sięgały odpowiednio ponad 26° oraz 39 kPa.

Podsumowując, osady denne Zbiornika Rzeszowskiego sklasyfikowano jako grunty pylaste kilkufrakcyjne w stanie płynnym. Zawartość części organicznych w badanych osadach przekraczała 2%, przez co zaliczały się one do gruntów organicznych. Materiał uśredniony sklasyfikowano jako pył kilkufrakcyjny słabo przepuszczalny, o dużej powierzchni właściwej i podwyższonej zawartości części organicznych. Przy wilgotności optymalnej i dużym zagęszczeniu ($I_s \approx 1,00$) odznacza się on stosunkowo wysokimi wartościami parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie.

OCENA PRZYDATNOŚCI BADANYCH OSADÓW DENNYCH DO USZCZELNIENÍ

Zestawienie parametrów geotechnicznych osadów dennych Zbiornika Rzeszowskiego oraz kryteriów przydatności do budowy przesłon uszczelniających zawiera tab. 2. Oceny przydatności przedmiotowych osadów do formowania przesłon uszczelniających w składowiskach odpadów komunalnych dokonano, odnosząc uzyskane wartości poszczególnych parametrów do odpowiednich wartości kryterialnych. Wymogi najistotniejszego kryterium szczelności można uznać za spełnione. Przy zagęszczeniu odpowiadającym $I_s = 1,00$ uzyskana wartość współczynnika filtracji osadów dennych wyniosła $2,0 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Badane osady odpowiadają zaleceniom dotyczącym maksymalnego wymiaru ziarn, ale cechuje je zbyt mała zawartość frakcji ilowej. Zgodnie z kryterium granulometrycznym, według różnych źródeł, najlepsze właściwości filtracyjne, gdy chodzi o warstwy izolacyjne, mają grunty zawierające powyżej 20% frakcji ilowej. Analiza uziarnienia wykazała, że materiał uśredniony zawiera tylko 8% frakcji ilowej. Zarówno wg Garbulewskiego [2000] (rys. 2), jak i Majer i in. [2007] (rys. 3) badany materiał należy uznać za nieprzydatny bez uzdatnienia.

Kryterium dotyczące wpływu wody na zachowanie się gruntu określa między innymi wartość aktywności koloidalnej, która dla omawianych osadów wyniosła od 1,1 do ponad 2. Zgodnie z nomogramem (rys. 4) badane osady można uznać za bardzo aktywne.

Ogólne zalecenia dotyczące wartości wskaźnika plastyczności (7–30) dla badanych osadów dennych są spełnione. Jednak według nomogramu (rys. 5), który uwzględnia również wartość granicy płynności, badane osady znajdują się poza obszarem gruntów przydatnych pod względem plastyczności.

Tabela 2. Zestawienie parametrów geotechnicznych osadów dennych Zbiornika Rzeszowskiego oraz kryteriów przydatności do budowy przesłon

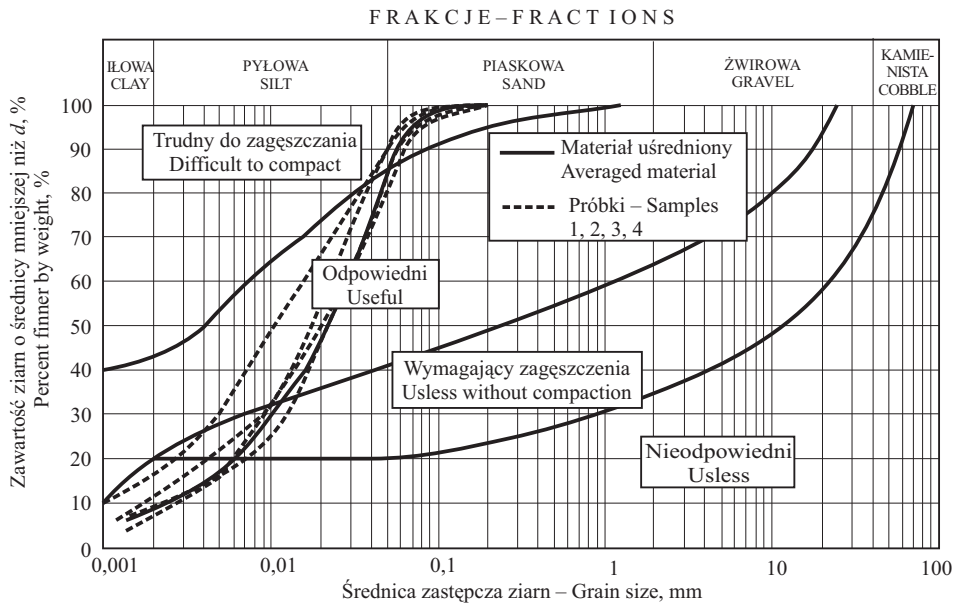
Table 2. Comparison of geotechnical parameters of bottom sediments from Rzeszowski Reservoir and usability criteria

| Parametr Parameter | Symbol | Jednostka Unit | Kryteria przydatności według: Usability criteria acc. to: | | | Parametry badanych osadów dennych Parameters of tested bottom sediments |
|--|-----------|-------------------|--|---------------|-----------------------------|--|
| | | | Garbulewski 2000 | Majer 2005 | Majer i in. 2007 | |
| Zawartość frakcji Fraction content: | | | | | | |
| piaskowej – sand 2–0,063 mm | Sa | % | | – | | 9,0 (4,5–11,5) |
| pyłowej – silt 0,063–0,002 mm | Si | | Wg rys. 2 Acc. to fig. 2 | – | Wg rys. 3 Acc. to fig. 3 | 83,0 (76,5–86,0) |
| iłowej – clay < 0,002 mm | Cl | | | >20 | 8,0 (7,0–15,5) | |
| Zawartość cząstek Particles content: < 0,075 mm | – | % | >30 | >60 | – | 94,5 92,5-98,0 |
| Maksymalny wymiar ziarn Maximum grain dimension | – | mm | 25–50 | – | – | 0,3 |
| Zawartość części organicznych Organic parts content | I_{om} | % | <5 | <5 | <5 | 2,36–3,51 |
| Aktywność wg Skemptona Skempton activity | A | – | – | – | Wg rys. 4 Acc. to fig. 4 | 1,15–2,11 |
| Granica płynności Liquid limit | w_L | % | – | >30 | Wg rys. 5 Acc. to fig. 5 | 43,6–51,4 |
| Wskaźnik plastyczności Plasticity index | I_P | | – | >15 | | |
| Współczynnik filtracji Permeability coefficient | k_{10} | $m \cdot s^{-1}$ | – | 10^{-10} | $\leq 10^{-9}$ | $2,0 \cdot 10^{-9}$ |
| Kąt tarcia wewnętrznego Angle of internal friction | φ | ° | – | – | >3 | 26,4 |
| Spójność – Cohesion | c | kPa | – | – | >35 | 39,5 |

Wymogi kryterium sorpcji można uznać za spełnione – uzyskana wartość powierzchni właściwej była wysoka, co świadczy o dobrych właściwościach sorpcyjnych badanych osadów dennych.

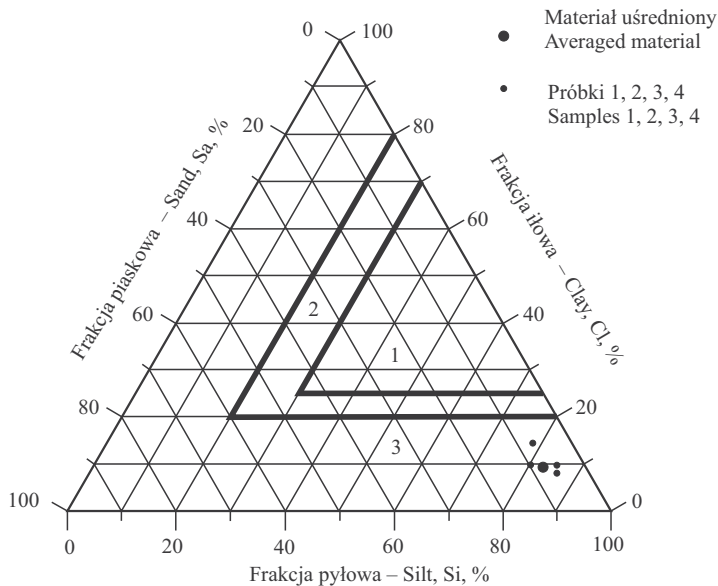
Parametry wytrzymałości na ścinanie materiału uśrednionego okazały się wyższe od wymaganych, dlatego również wymagania kryterium wytrzymałościowego należało uważać za spełnione.

Na podstawie wyników badań, przeprowadzonej analizy oraz oceny waloryzacyjnej przedstawionej w pracy Majer i in. [2007] osady denne Zbiornika Rzeszowskiego uzyskały 42 punkty, lecz ze względu na wartość współczynnika filtracji zgodnie z nomogramem (rys. 6) znajdują się poza obszarem gruntów przydatnych.



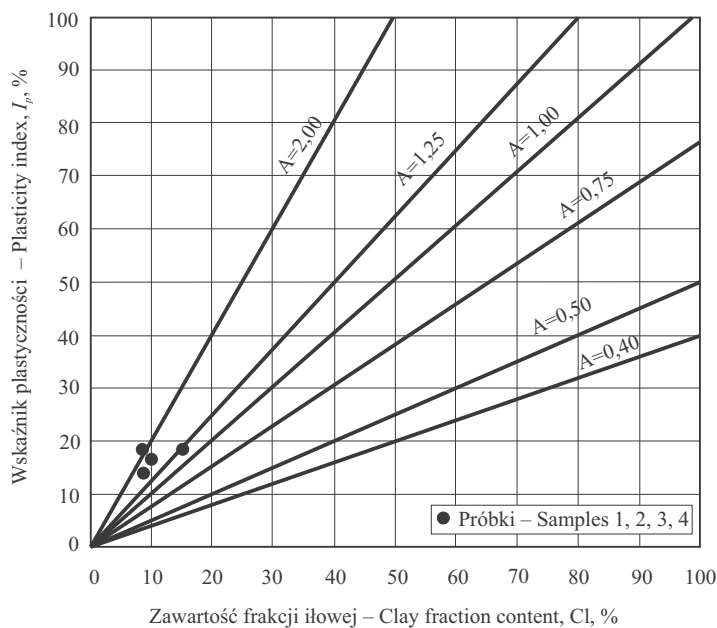
Rys. 2. Ocena przydatności gruntów do budowy wykładzin mineralnych pod względem uziarnienia [Garbulewski 2000]

Fig. 2. Soil's usability evaluation for mineral soil liners considering graining [Garbulewski 2000]



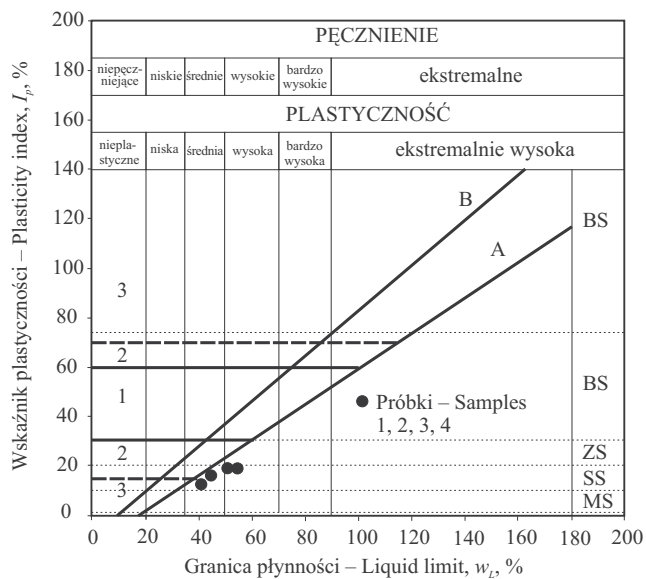
Rys. 3. Ocena przydatności gruntów do budowy wykładzin mineralnych pod względem uziarnienia: 1 – bardzo przydatne, 2 – przydatne, 3 – nieprzydatne bez uzdatnienia [Majer i in. 2007]

Fig. 3. Soil's usability evaluation for mineral soil liners considering graining: 1 – very useful, 2 – useful, 3 – useless without improving [Majer et al. 2007]



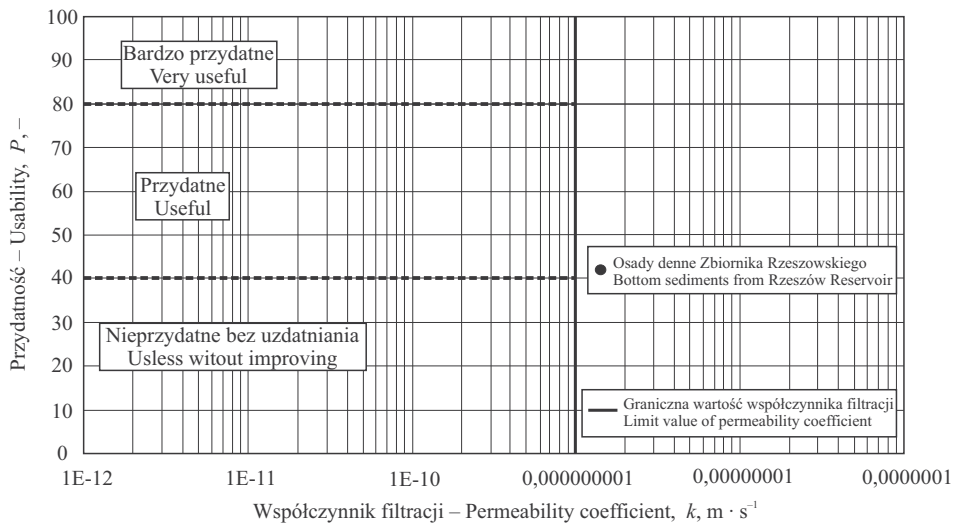
Rys. 4. Nomogram aktywności [Majer i in. 2007]

Fig. 4. Activity nomogram [Majer and others 2007]



Rys. 5. Nomogram plastyczności : 1 – bardzo przydatne, 2 – przydatne, 3 – nieprzydatne bez uzdatnienia [Majer i in. 2007]

Fig. 5. Plasticity nomogram: 1 – very useful, 2 – useful, 3 – useless without improving [Majer and others 2007]



Rys. 6. Nomogram do oceny przydatności gruntów [Majer i in. 2007]

Fig. 6. Nomogram for soil's usability evaluation [Majer and others 2007]

Osady dennego Zbiornika Rzeszowskiego można dopuścić do wykorzystania na uszczelnienia w składowiskach odpadów, mimo że znalazły się poza obszarem gruntów przydatnych. Liczba uzyskanych punktów jest wystarczająca, a wartość współczynnika filtracji jest tego samego rzędu, co wymagana. Należy zaznaczyć, że ze względu na brak badań w analizie nie uwzględniono skurczu liniowego oraz zawartości węgla wapnia, które – jak można wnosić – podwyższyłyby liczbę uzyskanych punktów.

PODSUMOWANIE

W przypadku przeprowadzenia odmulania Zbiornika Rzeszowskiego wydobyte osady dennego mogą zostać wykorzystane jako materiał konstrukcyjny do celów inżynierskich. Na podstawie uzyskanych wyników badań właściwości geotechnicznych tych osadów wolno stwierdzić, że charakteryzują się one ogólnie korzystnymi wartościami większości parametrów kryterialnych, dlatego należy je wstępnie uznać za przydatne do formowania przesłon uszczelniających w składowiskach odpadów komunalnych. Polepszenie właściwości geotechnicznych omawianych osadów dennych da się osiągnąć przez dodanie odpowiednich materiałów, takich jak bentonit lub środki wiążące, których procentową zawartość w powstałej mieszance powinno się wyznaczyć na podstawie badań laboratoryjnych. Dla określenia wpływu dodatku tego typu materiałów na uzdatnienie omawianych osadów dennych planuje się przeprowadzenie odpowiednio zaprogramowanych badań.

PIŚMIENNICTWO

- Drągowski A., Łuczak-Wilamowska B., 2007. Zasady wstępnej oceny przydatności gruntów spoistych Polski do formowania mineralnych barier izolacyjnych. *Geologos* 11, 447–454
- Garbulewski K., 2000. Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów komunalnych. Wyd. SGGW Warszawa
- Gruchot A., Sudyka K., 2011. Usability evaluation of bottom sediments from backwater of Czorsztyn – Niedzica reservoir in geotechnical engineering. *Geologija* 53, 20–27
- Gwóźdź R., 2007. Właściwości osadów spoistych Jeziora Rożnowskiego w aspekcie ich geotechnicznego wykorzystania. Rozprawa doktorska. Maszynopis. Politechnika Krakowska Kraków.
- Gwóźdź R., 2008. Właściwości geotechniczne osadów zdeponowanych w Jeziorze Rożnowskim oraz możliwości ich wykorzystania do budowy przesłon mineralnych w składowiskach odpadów komunalnych. *Czas. Techn.* 1-Ś, 13–23
- Majer E., 2005. Ocena właściwości przesłonowych ilów do budowy składowisk odpadów. Rozprawa doktorska. Maszynopis. Instytut Techniki Budowlanej Warszawa
- Majer E., Łuczak-Wilamowska B., Wysokiński L., Drągowski A., 2007. Zasady oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy mineralnych barier izolacyjnych. Red. L. Wysokiński. Instytut Techniki Budowlanej Warszawa
- PKN-CEN ISO/TS 17892. Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. 2009
- PN-B-04481:1988. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. Wyd. Normalizacyjne Alfa Warszawa
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać szczególne typy składowisk odpadów. *Dz.U.* z 2003 r. Nr 61, poz. 549.
- www.krakow.rzgw.gov.pl
- www.tvp.pl/rzeszow

Autorzy dziękują wykonawcom grantu nr NN305 295037 „Ocena możliwości wykorzystania zbiornikowych osadów dennych” za pomoc w pozyskaniu materiału badawczego z masy Zbiornika Rzeszowskiego.

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.12.2012