

BADANIA LABORATORYJNE DYSPERSYJNOŚCI I PĘCZNIENIA WYBRANYCH BENTONITÓW STOSOWANYCH JAKO BARIERY IZOLACYJNE OBIEKTÓW BUDOWLANYCH

Anna Sieczka

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań i analizę właściwości wybranych bentonitów stosowanych jako bariery izolacyjne obiektów budowlanych, w szczególności podłoża składowisk odpadów. Do badań wykorzystano trzy rodzaje bentonitów, dla których w warunkach laboratoryjnych dokonano oceny dyspersyjności oraz zdolności pęcznienia. Dyspersyjność określono metodami: „bryłkową” i „podwójnej analizy hydrometrycznej”. Wskaźniki pęcznienia wyznaczano metodą Holtza-Gibbsa i ASTM D 5890-95. Zbadano również wpływ stężenia ciekłych zanieczyszczeń (chlorków o stężeniu: 1000, 2500, 5000 i 10 000 mg·dm⁻³) na pęcznienie bentonitu. Uzyskane wyniki porównano z wartościami liczbowymi wymaganymi dla typowych materiałów bentonitowych stosowanych jako bariery izolacyjne obiektów budowlanych.

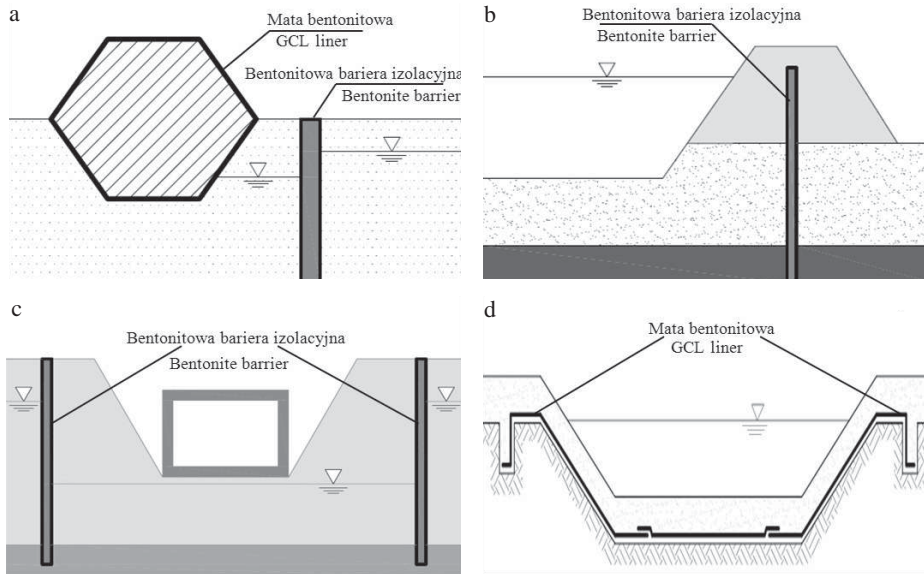
Słowa kluczowe: izolacja, uszczelnienie, bentonit, dyspersyjność, pęcznienie

WSTĘP

Bentonit, jako materiał izolacyjny, ma zastosowanie w uszczelnieniach wielu obiektów inżynierskich. W Polsce stosowany jest od lat 60. XX wieku [Piaskowski 1966]. Wodochłonność bentonitu aktywowanego oraz niska przewodność hydrauliczna sprawiają, że materiał ten z powodzeniem sprawdza się w wykonawstwie uszczelnień dużych zbiorników retencyjnych, stawów osadowych, małych oczek wodnych, basenów kąpielowych, jak również w obiektach kubaturowych, hydrotechnicznych (wały ziemne przeciwpowodziowe), do wykonywania ścian szczelinowych oraz izolacji niecki składowiska odpadów (rys. 1).

Adres do korespondencji – Corresponding author: Anna Sieczka, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Geoinżynierii, ul. Nowoursynowska 159, 02-766 Warszawa, e-mail: anna_sieczka@sggw.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2015



Rys. 1. Zastosowanie bentonitu w uszczelnieniach obiektów inżynierskich: a – składowisko odpadów, b – rdzeń w wale przeciwpowodziowym, c – ściany szczelinowe, d – uszczelnienie dna zbiornika matą bentonitową

Fig. 1. Application of the bentonite in the seals of engineering structures: a – landfill, b – impervious core in a levee, c – cut-off wall, d – GCL liner in the bottom of the reservoir

Składowiska odpadów to budowle inżynierskie szczególnie uciążliwe dla środowiska naturalnego, w tym gruntowo-wodnego. W masie składowanych odpadów zachodzą liczne procesy biologiczne, fizyczne i chemiczne, w których wyniku powstają szkodliwe i niebezpieczne związki negatywnie oddziałujące na środowisko. Powstałe na składowiskach substancje stałe, ciekłe i gazowe, dostając się do otoczenia, mogą powodować skażenie wód powierzchniowych i podziemnych, podłoża gruntowego i atmosfery. Zanieczyszczenie ośrodka gruntowo-wodnego wywołane istnieniem składowisk jest uzależnione od wielu czynników, wśród których należy wymienić: rodzaj gromadzonych odpadów i ładunek zanieczyszczeń, ilość odcieków oraz właściwości izolacyjne podłoża [Sobik 2007, Koda i in. 2013, Fan 2014, Fernández i in. 2014, Adamcová i in. 2015]. Konieczność ochrony środowiska naturalnego przed szkodliwym i destrukcyjnym wpływem składowisk łączy się bezwzględnie z potrzebą stosowania barier izolacyjnych i uszczelnień niecki materiałem o odpowiedniej przepuszczalności [Koda i in. 2004, Lipiński i in. 2007, Wysokiński, red. 2007, Koda 2010, Dominijanni i in. 2013].

Wśród systemów uszczelnień składowisk odpadów, ze względu na dużą skuteczność uszczelnienia i zalety technologiczne, dużą popularnością cieszą się maty bentonitowe. Są to wykładziny geosyntetyczno-ilaste (GCL – Geosynthetic Clay Liner), które składają się z warstwy aktywowanego bentonitu ułożonego zwykle między dwoma materiałami geosyntetycznymi. Wykładziny GCL różnią się typem zastosowanych geosyntetyków, formą i zawartością danego bentonitu, a także sposobem utwardzenia bentonitu między geosyntetykami. Najczęściej stosuje się dwa typy wykładzin. W pierwszym bentonit

wprowadzany jest luźno między geosyntetyki, wzmacniane następnie przez igłowanie lub szycie, natomiast w drugim bentonit jest „przyklejany” za pomocą substancji wiążących do geosyntetyków (tzw. wykładziny klejone). Ze względu na odmienne właściwości bentonitu i geosyntetyków w wyniku połączenia składników kompozytu uzyskuje się materiał hydroizolacyjny o projektowanej małej przepuszczalności hydraulicznej, podatny na odkształcenia i odporny na wszelkie uszkodzenia mechaniczne (przebicia). Obecnie na rynku wykonawczym wyróżnia się wiele typów produkowanych wykładzin GCL. Wśród nich można wyróżnić: wykładziny igłowane (Bentomat, Bentofix), klejone i zszywane (Claymax 500 SP) oraz klejone z geomembraną (Gundseal) [Garbulewski 2000]. W tabeli 1 zestawiono wymagania techniczne stawiane matom bentonitowym stosowanym w uszczelnieniach obiektów budowlanych.

Tabela 1. Wymagania techniczne stawiane matom bentonitowym [PN-EN 13493:2007]
Table 1. Technical requirements for bentonite mats [PN-EN 13493:2007]

Parametr – Parameter	Wartość – Value
Masa powierzchniowa	powyżej 3200 g·m ⁻²
Masa bentonitu na 1 m ² wyrobu	powyżej 3 kg
Wskaźnik pęcznienia bentonitu	powyżej 150%
Ciśnienie pęcznienia bentonitu	powyżej 200 kPa
Wilgotność bentonitu w masie bentonitowej	5–15%
Wilgotność bentonitu po 24 h swobodnego pęcznienia	powyżej 500%
Współczynnik filtracji maty bentonitowej	poniżej 5·10 ⁻¹¹ m·s ⁻¹
Kąt tarcia maty bentonitowej w kontakcie z gruntem w warunkach suchych	powyżej 20°
Kąt tarcia wewnętrznej maty bentonitowej przy pełnym nasyceniu wodą	powyżej 10°
Wytrzymałość na statyczne przebicie (met. CBR)	powyżej 2 kN
Wytrzymałość na oddzieranie	powyżej 40 kN·10 cm ⁻¹

Do najważniejszych cech mat bentonitowych, decydujących o dobrych właściwościach uszczelniających, należy zaliczyć: możliwość samonaprawy, współczynnik filtracji na poziomie 1,5 · 10⁻¹¹ m·s, bardzo dobrą wytrzymałość na rozciąganie, korzystny wskaźnik przyczepności, odporność na ścieranie, łatwość montażu, możliwość naprawy ewentualnych uszkodzeń i wykonywanie szczelnych połączeń przesłony izolacyjnej na styku z elementami z innych materiałów, jak beton czy stal.

MATERIAŁ I METODY

Charakterystyka bentonitu

Bentonit to naturalna skała ilasta osadowa powstała z rozkładu popiołów wulkanicznych w środowisku silnie zasolonym (woda morska) i alkalicznym (pH8). Głównym minerałem bentonitu jest montmorillonit, który charakteryzuje się największą spośród minerałów ilastych pojemnością wymiany jonowej oraz ekstremalną hydrofilnością. Przyjmuje się, że bentonit wysokiej jakości zawiera 70–95% montmorillonitu, a pozostałe minerały to przede wszystkim kwarc, mika i skalenie. W skład bentonitu wchodzi głównie minerały ilaste, które posiadają strukturę pakietową (warstwową). Warstwy te

łączą się w pakiety i w wyniku nawarstwienia tworzą strukturę minerału [Piaskowski 1966].

Bentonity, ze względu na dominujące w przestrzeniach międzypakietowych kationy wymienne, można podzielić na sodowe, wapniowe i rzadko występujące – magnezowe. W sytuacji gdy przeważają jony sodowe, w przestrzenie międzypakietowe może zostać zaadsorbowana znaczna ilość wody. Rezultatem tego jest pęcznienie materiału, a nawet całkowita dyspersja do krystalitu. Gdy w kompleksie sorpcyjnym dominuje magnez lub wapń, proces pęcznienia zachodzi znacznie słabiej. Do cech bentonitu sodowego, decydujących o jego przydatności w zastosowaniu do uszczelnień, należy zaliczyć przede wszystkim jego dużą zdolność pęcznienia [Pusch 2015]. Materiał ten może adsorbować 5 razy więcej wody niż wynosi jego masa. Przy pełnym nasyceniu elektrolitem zajmuje objętość 12–15 razy większą niż w stanie suchym. Bentonit sodowy w stanie wilgotnym można określić jako materiał plastyczny, odporny na przełamania i pęknięcia i charakteryzujący się granicą płynności 600–800%. Montmorillonit sodowy posiada wyjątkowo dużą powierzchnię właściwą: 700–800 m²·g⁻¹.

Bentonit w kontakcie z wodą odznacza się szczególnymi zdolnościami do pęcznienia, wyznaczonymi nawet 900%. Taka zdolność bentonitu do pęcznienia związana jest przede wszystkim z budową mikrostrukturalną i właściwościami fizykochemicznymi montmorillonitu, będącego jego głównym składnikiem. Jak pisze Garbulewski [2000], bentonit charakteryzuje się zdolnością do znacznych zmian objętości w kontakcie z wodą (pęcznienie) lub skurczu przy przesuszaniu. Intensywnie pęczniejące, silnie zdyspergowane grunty, w tym bentonit, mogą osiągać wartość swobodnego pęcznienia wynoszącą nawet 2000% [Grabowska-Olszewska, red. 1998, Grabowska-Olszewska 2001, Lewicka i Wyszomirski 2005].

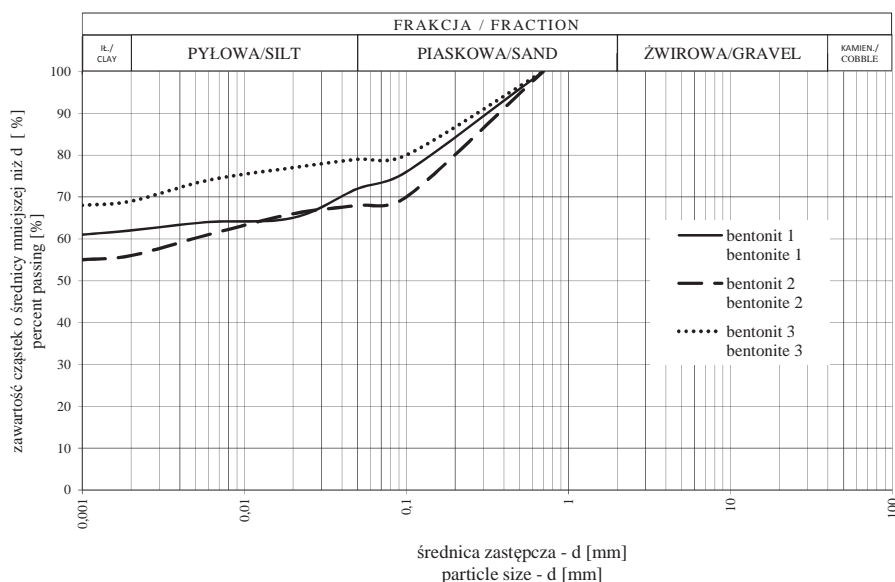
Należy mieć jednak na uwadze, że bentonit zależnie od zawartości kationów nie jest substancją obojętną pod względem chemicznym i w kontakcie z pewnymi związkami chemicznymi jest podatny na degradację [Shariatmadari i Salami 2010, Di Emidio i in. 2013]. Degradacja bentonitu sodowego może następować w wyniku takich procesów, jak: rozpuszczanie iłu, wymiana kationu sodu w przestrzeniach międzypakietowych, adsorpcja zanieczyszczeń organicznych na powierzchni zewnętrznej czy „współzawodnictwo jonów”.

W badaniach dotyczących dyspersyjności i pęcznienia, przedstawionych w artykule, wykorzystano trzy rodzaje bentonitów, nazywane w dalszej części: „bentonit 1” i „bentonit 2” (z Żębca) oraz „bentonit 3” (bentonit sodowy CETCO).

Zakres badań i metody

Dyspersyjność. Dokonując oceny dyspersyjności bentonitów wykorzystano metodę bryłki gruntu oraz metodę podwójnej analizy hydrometrycznej. Badania przeprowadzono, stosując 3 próbki dla trzech różnych bentonitów (rys. 2).

Metoda bryłki gruntu (*crumb test*) jest najłatwiejszą i najprostszą metodą oceny dyspersyjności gruntów. Po raz pierwszy została opisana przez Emersona [1967]. Badanie według tej metody polega na zanurzeniu bryłki gruntu naturalnej wilgotności i średnicy 10 mm w wodzie destylowanej lub 0,001 normalnym roztworze NaOH. Zanurzoną próbkę gruntu obserwuje się, a po 5–10 minutach grunt można zakwalifikować do jed-



Rys. 2. Krzywe uziarnienia badanych bentonitów

Fig. 2. Grain-size distributions of the tested bentonites

nego z czterech stopni reakcji gruntu. Klasyfikacja według Walkera [1997] przedstawia się następująco:

- 1) brak reakcji – brak zmętnienia wody,
- 2) nieznaczna reakcja – śladowe zmętnienie wody przy powierzchni bryłki gruntu,
- 3) średnia reakcja – łatwo zauważalne zmętnienie, zazwyczaj rozpościerające się w postaci cienkich smug na dnie zlewki,
- 4) silna reakcja – zmętnienie „pokrywa” prawie całe dno zlewki, tworząc zazwyczaj cienką warstwę; w skrajnych przypadkach cała woda znajdująca się w zlewce wykazuje zmętnienie.

Grunty wykazujące 3 i 4 stopień reakcji można zaliczyć do grupy gruntów dyspersyjnych.

Głównym problemem analizy „bryłkowej” jest niejednoznaczność wyników dla różnych warunków badania. Próbka przygotowana do analizy może być w stanie powietrzno-suchym (lub przetworzonym) i zanurzona w wodzie destylowanej lub roztworze NaOH. W zależności od tych warunków można uzyskać odmienne rezultaty badawcze. Obecnie wykorzystywane procedury identyfikacji dyspersyjności gruntów powinny być odpowiednio rewidowane, a w celu ograniczenia niespójności wyników należałoby stworzyć optymalną metodę, której stosowanie dawałoby możliwie jak najmniej niejasności i wykluczało pojawianie się mylnych interpretacji wyników analizy [Maharaj 2011]. W wyżej wymienionej metodzie grunty dyspersyjne mogą zachowywać się jak grunty niedispersyjne, wykazując brak reakcji w kontakcie z wodą [Knodel 1991].

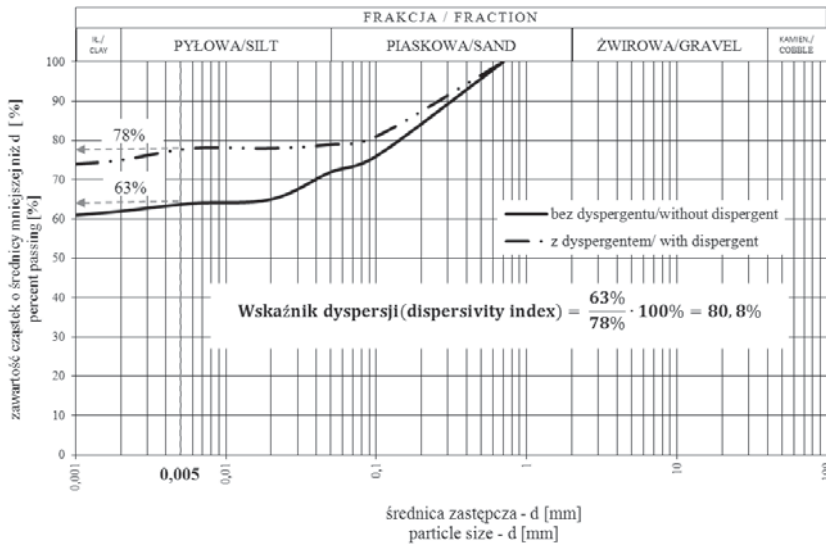
Metoda podwójnej analizy hydrometrycznej. W metodzie tej przeprowadzono podwójną analizę uziarnienia gruntu: badanie z mechanicznym mieszaniem i dodatkiem

dyspergentu oraz bez mechanicznego mieszania i dodatku dyspergentu. Badania przeprowadzono dla 3 różnych bentonitów, sporządzając 3 próby badawcze dla każdego z nich. Bentonit przesiano przez sito o średnicy oczek 1 mm. W związku z tym, że cała próbka gruntu przeszła przez sito, nie oznacza się części szkieletowych, a całość zostaje poddana analizie pod względem składu mechanicznego. Z przygotowanej próbki bentonitu odważono na wadze technicznej 40 g i wsypano do kolby o objętości 1 litra. Następnie dodano 1,5 g bezwodnego węgla sodu, który miał zapewnić całkowitą dyspersję koloidów, oraz 0,7 l wody destylowanej. Tak przygotowany roztwór postawiono na palniku gazowym i doprowadzono do wrzenia, często mieszając, a następnie gotowano przez kolejne 30 minut. Gotowanie odbywało się powoli, by nie dopuścić do wypryskiwania zawiesiny ilowej poza naczynie. Po zakończeniu gotowania kolbę wraz zawiesiną odstawiono w celu wystygnięcia do temperatury pokojowej. Ostudzoną zawiesinę przelano do cylindra o pojemności 1 litra, splukując dokładnie ścianki kolby przy użyciu tryskawki, a następnie uzupełniono wodą destylowaną do kreski. Równocześnie przygotowano roztwór poprawkowy. Do kolejnego szklanego cylindra dodano 100 ml wody destylowanej, 1,5 g Na_2CO_3 i uzupełniono wodą destylowaną do kreski. Tak sporządzony roztwór służył do określenia poprawek na menisk górny, łącznie z oznaczeniem gęstości ośrodka dyspersyjnego.

Analizę rozpoczęto w momencie, gdy temperatura w cylindrze z zawiesiną oraz w roztworze poprawkowym nie różniła się o więcej niż $0,5^\circ\text{C}$. Kolejnym etapem badania było ustalenie właściwego czasu pomiaru. W tym celu cylinder z zawiesiną zamknięto gumowym korkiem i wytrząsano przez około 30 sekund. Następnie cylinder postawiono na stole, uruchamiając stoper. Po odkorkowaniu cylindra i upływie 10–12 minut dokonano odczytów próbnych za pomocą areometru Prószyńskiego – najpierw w cylindrze z zawiesiną, a następnie w cylindrze z roztworem poprawkowym. Różnica odczytów umożliwiła określenie zawartości cząstek spławianych w badanym gruncie. Znając temperaturę roztworów oraz zawartość cząstek spławianych, określono czas prowadzenia kolejnych pomiarów. Po ponownym 30-sekundowym wytrząsaniu cylindra przystąpiono do analizy właściwej. Po ustawieniu cylindra na stole uruchomiono stoper i po upływie określonego normą czasu dokonano pomiarów z użyciem areometru – najpierw w zawiesinie, a następnie w roztworze poprawkowym. W przypadku wytworzenia się piany, wkraplano alkohol amyłowy. Areometr wyjmowano dopiero po drugim odczycie, a następnie przenoszono do roztworu poprawkowego, dodając tyle kropli alkoholu amyłowego, ile wkropiono do zawiesiny. Przy wykonywaniu kolejnych odczytów należało pamiętać, aby areometr wkładać do roztworu nie wcześniej niż 1 minutę przed wykonaniem pomiaru, ponieważ wpływa to na prawidłowość odczytu.

Różnica odczytów dała procentową zawartość cząstek o określonej średnicy wraz z cząstkami mniejszymi. Analizę składu mechanicznego bez dodatku dyspergentu przeprowadzono analogicznie do opisanej powyżej, z tą różnicą, że do zawiesiny gruntowej i roztworu poprawkowego nie dodano Na_2CO_3 oraz nie stosowano mechanicznego mieszania. Metodę wyznaczania wskaźnika dyspersji na podstawie krzywych uziarnienia przedstawia rysunek 3.

Pęcznienie. Badanie swobodnego pęcznienia według metody Holtza i Gibbsa (rys. 4) to proste i jednocześnie dostatecznie dokładne badanie służące ocenie zdolności gruntów do pęcznienia. Pęcznienie definiuje się jako procentowy przyrost objętości sproszkowa-

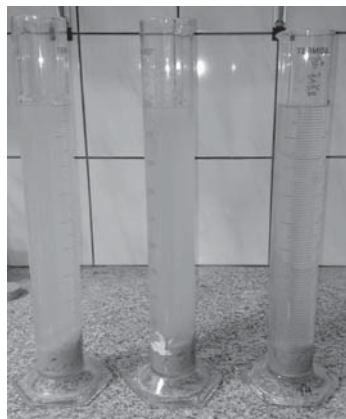


Rys. 3. Metoda wyznaczania wskaźnika dyspersji
 Fig. 3. Method of determining the dispersion index

nej próbki gruntu luźno nasypanej do cylindra wypełnionego wodą [Grabowska-Olszewska, red. 1998, Borowa i Garbulewski 2000]. Wskaźnik swobodnego pęcznienia można przedstawić za pomocą następującego wzoru:

$$FS_{HG} = \frac{V - V_0}{V_0} \tag{1}$$

gdzie: FS_{HG} – wskaźnik swobodnego pęcznienia [%],
 V – objętość próbki gruntu po spęcznieniu w cylindrze z wodą destylowaną [ml],
 V_0 – początkowa objętość próbki (zalecana wartość $V_0 = 10$ ml).



Rys. 4. Badanie swobodnego pęcznienia metodą Holtza-Gibbsa
 Fig. 4. Testing of the swell index according to Holtz- Gibbs method

Badanie swobodnego pęcznienia przeprowadzono dla 3 różnych bentonitów. Procedurę postępowania według metody Holtza-Gibbsa można opisać następująco:

- odmierzyć 10 ml bentonitu (wysuszonego, sproszkowanego i przesianego),
- do cylindra o pojemności 1000 ml wypełnionego wodą destylowaną wsypać delikatnie, bez zagęszczania i wytrząsania, przygotowaną próbkę bentonitu,
- po 24 godzinach odczytać objętość spęczniałego bentonitu w 3 cylindrach (dla 3 różnych bentonitów) i obliczyć wskaźniki swobodnego pęcznienia zgodnie ze wzorem (1).

Powyżej opisaną metodę można stosować do oceny jakości bentonitu wykorzystywanego do produkcji wykładzin geosyntetyczno-ilastych BENTIZOL [Garbulewski 2000].

Do oceny jakości bentonitu nadającego się do wykonania wykładzin GCL należy wykorzystać procedurę zgodną z normą ASTM D 5890-95, która przedstawia się następująco:

- przygotować wysuszoną próbkę bentonitu o masie 2 g, a następnie podzielić ją na 20 porcji o masie 0,1 g,
- porcje bentonitu (0,1 g) wsypać ostrożnie do cylindra o pojemności 100 ml wypełnionego wodą destylowaną, tak aby na jej powierzchni utworzył się „kurz”; pomiędzy wypywaniem kolejnych porcji stosować odstępy czasowe około 10 minut, co pozwala na odpowiednie nawilżenie i swobodne opadnięcie wcześniejszej porcji bentonitu,
- po 24 godzinach odczytać objętość spęczniałego bentonitu w cylindrze.

Badanie pozwala określić przydatność bentonitu do wykonania wykładziny GCL.

Zgodnie z normą ASTM D 5890-95 przyjmuje się, że bentonit można uznać za odpowiedni, gdy jego wskaźnik pęcznienia wynosi co najmniej $25 \text{ ml} \cdot (2 \text{ g})^{-1}$.

W celu oceny zmian właściwości swobodnego pęcznienia bentonitów w zależności od środowiska chemicznego wykonano badania z wykorzystaniem roztworów chlorków o stężeniu 1000, 2500, 5000 i $10\,000 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Procedura postępowania przy wykonywaniu badań była analogiczna do przedstawionej w normie ASTM D5890-95, z tą różnicą, że zamiast wody destylowanej zastosowano roztwory NaCl o odpowiednim stężeniu jonów Cl^- .

WYNIKI I Dyskusja

Analiza dyspersyjności

Badania wykonywane metodą „bryłkową” dla trzech prób trzech różnych bentonitów wykazały, że po 10 minutach obserwacji badany grunt nie wykazuje zdolności dyspersyjnych. Po 5 i 10 minutach obserwacji w każdym przypadku nie widać reakcji bentonitu w kontakcie z wodą. Przyczyną takiego stanu może być m.in. sposób przygotowania próbki do badania. „Bryłki” wycinane były z wcześniej zmieszanego z wodą bentonitu w stosunku 1 : 2. Dodatkowo należy pamiętać, że niektóre grunty dyspersyjne mogą wykazywać zachowania niedispersyjne w reakcji z wodą [Knodel 1991]. Na tej podstawie badany materiał nie może być określony jednoznacznie jako dyspersyjny. Dla poprawnego określenia jego właściwości dyspersyjnych konieczne było wykonanie dodatkowych badań.

Wyniki badań otrzymanych metodą „podwójnej analizy hydrometrycznej” przedstawiono w tabeli 2.

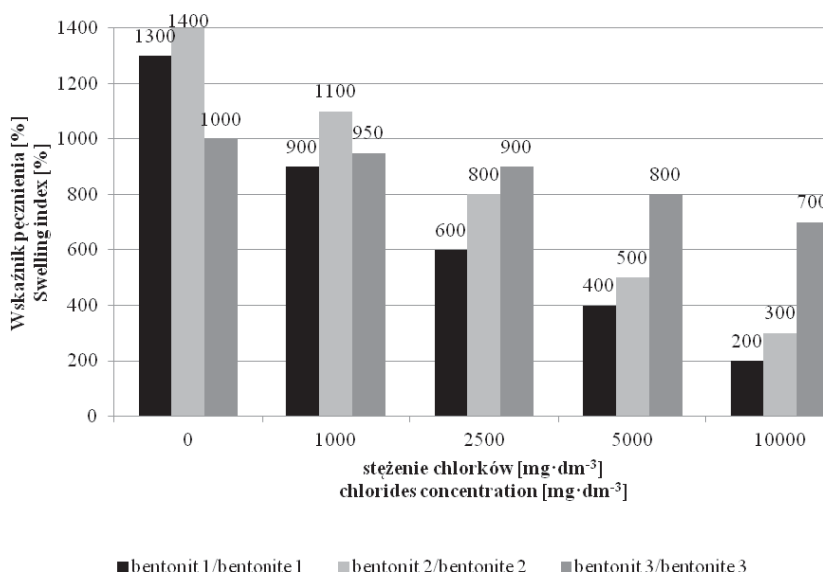
Tabela 2. Wyniki badań wskaźnika dyspersji metodą podwójnej analizy hydrometrycznej
Table 2. The test results of dispersion index measurements according to the double hydrometer test

Nr pomiaru No. of measurement	Wskaźnik dyspersyjności [%] Dispersion index [%]		
	Bentonit 1 Bentonite 1	Bentonit 2 Bentonite 2	Bentonit 3 Bentonite 3
	1	84,0	92,9
2	80,0	94,6	81,8
3	85,1	93,6	83,5
Średnia – Mean	83,0	93,7	81,3

Wskaźniki dyspersyjności badanych bentonitów mieszczą się w zakresie 81,3–93,7%, co świadczy o ich wysokiej dyspersyjności.

Analiza pęcznienia

Wyniki badań swobodnego pęcznienia metodą Holtza-Gibbsa przedstawiono na rysunku 5.



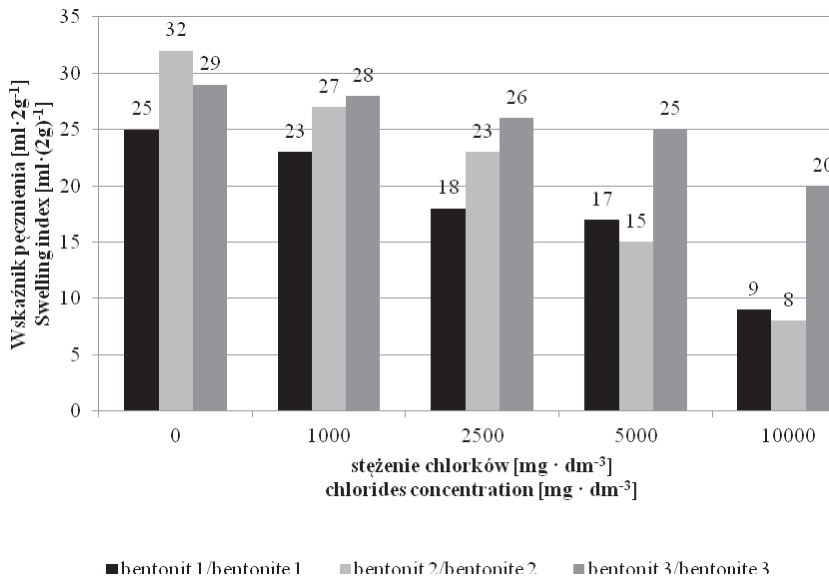
Rys. 5. Wskaźniki swobodnego pęcznienia badanych bentonitów (według Holtza-Gibbsa) [Sieczka 2012]

Fig. 5. Swelling indices of the tested bentonites (according to Holtz-Gibbs method) [Sieczka 2012]

Badania te wykazały, że [Siczka 2012]:

1. Bentonity wykazują najwyższy wskaźnik pęcznienia w wodzie destylowanej.
2. Środowisko chemiczne istotnie wpływa na wskaźnik pęcznienia – im większe jest stężenie jonów Cl^- w roztworze, tym mniejsze pęcznienie wykazuje badany materiał.
3. „Bentonit 3” nieznacznie zmniejsza swoje zdolności pęcznienia przy wzroście stężenia jonów chlorkowych w porównaniu z bentonitami 1 i 2 (z 1000% w wodzie destylowanej do 700% w roztworze Cl^- o stężeniu $10\,000\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$).
4. Najmniej odporny na działanie chlorków jest „bentonit 1”, który zmniejsza pęcznienie z 1300% (w wodzie destylowanej) do 200% (w roztworze Cl^- o stężeniu $10\,000\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) – spadek o 85%.

Zmiany zdolności pęcznienia bentonitów w zależności od środowiska chemicznego określone zgodnie z normą ASTM D 5890-95 przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wyniki badań wskaźnika pęcznienia zgodnie z ASTM D 5890-95 [Siczka 2012]

Fig. 6. Swelling indices of the tested bentonites according to ASTM D 5890-95 [Siczka 2012]

Na podstawie badań swobodnego pęcznienia według normy ASTM D 5890-95 można stwierdzić, że [Siczka 2012]:

1. Każdy z badanych bentonitów może być wykorzystany przy produkcji wykładzin bentonitowych – dla każdego przypadku wskaźnik pęcznienia w wodzie destylowanej jest wyższy lub równy wymaganej wartości normowej $25\text{ ml}\cdot(2\text{ g})^{-1}$ bentonitu.
2. Wraz ze wzrostem stężenia chlorków w roztworze obserwuje się spadek zdolności pęcznienia od 32 do $8\text{ ml}\cdot(2\text{ g})^{-1}$, przy stężeniu Cl^- od 0 do $10\,000\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$.
3. Najlepszą odporność na wpływ chlorków wykazuje „bentonit 3”, dla którego wartość wskaźnika pęcznienia przy stężeniu jonów Cl^- równym $10\,000\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ wynosi $20\text{ ml}\cdot(2\text{ g})^{-1}$.

4. Największe zmiany zdolności swobodnego pęcznienia wykazuje „bentonit 2”, dla którego obserwuje się spadek wskaźnika pęcznienia z $32 \text{ ml} \cdot (2 \text{ g})^{-1}$ w wodzie destylowanej do $8 \text{ ml} \cdot (2 \text{ g})^{-1}$ w roztworze o stężeniu Cl^- równym $10\,000 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$.

WNIOSKI

Badania laboratoryjne bentonitu, jako materiału cieszącego się szerokim zastosowaniem w produkcji materiałów do uszczelnień obiektów inżynierskich, pozwoliły na wyśnięcie następujących wniosków:

1. Cechą charakterystyczną bentonitu jest duża dyspersyjność (dla badanych bentonitów od 81,3 do 93,7%).

2. „Analiza bryłkowa” stosowana do oceny dyspersyjności gruntów nie jest metodą miarodajną przy ocenie dyspersyjności, gdyż daje odmienne wyniki, w zależności od warunków badania. Ponadto opiera się wyłącznie na analizie wizualnej, a co za tym idzie, może dawać odmienne wyniki w zależności od obserwatora. Na podstawie „analizy bryłkowej” zaklasyfikowano badane bentonity do grupy gruntów niedispersyjnych, gdyż nie stwierdzono reakcji.

3. Bentonity można zaliczyć do gruntów ekspansywnych, charakteryzujących się wybitnymi zdolnościami pęcznienia. Wskaźniki pęcznienia badanych bentonitów otrzymane metodą Holtza-Gibbsa wynoszą kolejno: 1300, 1400 i 1000%.

4. Bentonit nie jest materiałem obojętnym pod względem chemicznym – w kontakcie z zanieczyszczeniami ulega degradacji. Zaobserwowano wyraźny spadek zdolności pęcznienia wraz ze wzrostem stężenia chlorków (nawet do $8 \text{ ml} \cdot (2 \text{ g})^{-1}$ przy stężeniu Cl^- równym $10\,000 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$).

5. Badane bentonity są przydatne do wykonywania wykładzin GCL (spełniają wymaganą wartość $25 \text{ ml} \cdot (2 \text{ g})^{-1}$ zgodnie z normą ASTM D 5890-95).

PIŚMIENNICTWO

- Adamcová, D., Vaverková, M.D., Bartoň, S., Havlíček, Z., Břoušková, E. (2015). Soil contaminations in landfill: a case study of the landfill in Czech Republic. *Solid Earth Discuss.*, 7, 2927–2952.
- ASTM D 5890-95. Standard test method for swell index of clay mineral component of geosynthetic clay liners.
- Borowa, M., Garbulewski, K. (2000). Wykładziny bentonitowe (GCL) jako element uszczelnienia składowisk odpadów. Część I i II. *Gospodarka Wodna* 7, 8.
- Di Emidio, G., Verastegui, R.D.F., Bezuijen, A. (2013). Comparison of natural, polymer treated and sodium activated Ca-bentonites. In: *Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics: From Theoretical and Experimental Research to Practical Applications*. Ed. M. Manassero, A. Dominijanni, S. Foti, G. Musso. Proceedings of International Symposium TC215 ISSMGE, Torino, Italy. CRC Press, London, UK, 255–259.
- Dominijanni, A., Manassero, M., Puma, S. (2013). Osmotic phenomena in bentonites. In: *Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics: From Theoretical and Experimental Research to Practical Applications*. Ed. M. Manassero, A. Dominijanni, S. Foti, G. Musso. Proceedings of International Symposium TC215 ISSMGE, Torino, Italy. CRC Press, London, UK, 169–180.

- Emerson, W.W. (1967). A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Australian Journal of Soil Research*, 2, 211–217.
- Fan, J.J. (2014). Influence of Compact Clay Layer on the Seepage Performance of the Municipal Solid Waste Landfills. *Advanced Materials Research*, 908, 503–506.
- Fernández, D.S., Puchulu, M.E., Georgieff, S.M. (2014). Identification and assessment of water pollution as a consequence of a leachate plume migration from a municipal landfill site (Tucumán, Argentina). *Environmental Geochemistry and Health*, 36, 3, 489–503.
- Garbulewski, K. (2000). Dobór i badania gruntowych uszczelnień składowisk odpadów. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Grabowska-Olszewska, B. (2001). Wpływ pęcznienia na zmiany mikrostrukturalne bentonitów badanych metodą ESEM. *Przegląd Geologiczny*, 49, 4, 299–302.
- Grabowska-Olszewska, B., red. (1998). *Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Knodel, P.C. (1991). Characteristics and problems of dispersive clay soils. Research and Laboratory Services Division Materials Engineering Branch, United States Department Interior, Denver.
- Koda, E. (2010). Efficiency assessment of bentonite barrier surrounding sanitary landfill on the basis of quality tests, transport modeling and monitoring research. *Proceedings of the 6th International Congress on Environmental Geotechnics, II*, New Delhi, 1623–1630
- Koda, E., Skutnik, Z., Di Michele, C. (2004). Durability of vertical bentonite barrier for old sanitary landfill containment. *EU GeoEnvNet Seminar on Geoenvironmental Engineering – Transfer of Knowledge and EU's Directives to Newly Associated States*, 61–70.
- Koda, E., Osiński, P., Kołanka, T. (2013). Flow numerical modeling for efficiency assessment of vertical barriers in landfills. In: *Coupled Phenomena in Environmental Geotechnics: From Theoretical and Experimental Research to Practical Applications*. Ed. M. Manassero, A. Dominijanni, S. Foti, G. Musso. *Proceedings of International Symposium TC215 ISSMGE, Torino, Italy*. CRC Press, London, UK, 693–698.
- Lewicka, E., Wyszomirski, P. (2005). Bentonity jako uniwersalny surowiec wielu dziedzin przemysłu. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 21, 3, 5–19.
- Lipiński, M.J., Koda, E., Wdowska, M.K. (2007). Laboratory assessment of permeability of a groundwater protective barrier. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Land Reclamation*, 38, 69–79.
- Maharaj, A. (2011). The Use of the Crumb Test as a Preliminary Indicator of Dispersive Soils. *Proceedings 15th ARC on Soil Mech. and Geotech. Eng.*, Maputo, Mozambique, 299–306.
- Manassero, M., Dominijanni, A. (2010). Coupled modelling of swelling properties and electrolyte transport through geosynthetic clay liner. *Proceedings of the 6th International Congress on Environmental Geotechnics, I*, New Delhi, 260–271.
- Piaskowski, A. (1966). Pionowe przesłony wodoszczelne wykonywane z materiałów gruntowych. *Gospodarka Wodna*, XXVI, 6, 215–222.
- PN-EN 13493:2007 Bariery geosyntetyczne. Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy magazynów i składowisk odpadów stałych.
- Pusch, R. (2015). *Bentonite clay. Environmental Properties and Application*. CRC Press, Taylor & Francis Group, London.
- Shariatmadari, N., Salami, M. (2010). Effect of salt found in landfill leachate on some properties of soil-bentonite mixture as liners. *Proceedings of the 6th International Congress on Environmental Geotechnics, I*, New Delhi, 396–401.
- Sieczka, A. (2012). *Analiza zachowania się uszczelnień składowisk odpadów*. Praca inżynierska. SGGW, Warszawa.
- Sobik, K. (2007). *Badanie wpływu składowisk odpadów na środowisko gruntowo-wodne na przykładzie wybranych obiektów zlokalizowanych w obrębie zlewni Dunajca*. Rozprawa doktorska. AGH, Kraków.

- Walker, D.J.H. (1997). Dispersive soils in KwaZulu-Natal. MSc Thesis, University of Natal, Durban, South Africa.
- Wysokiński, L., red. (2007). Zasady oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy mineralnych barier izolacyjnych. Instytut Techniki Budowlanej, Dział Wydawnictw, Warszawa.

LABORATORY TESTS OF DISPERSIVITY AND SWELLING OF SELECTED BENTONITES USED AS ISOLATION BARRIERS OF ENGINEERING STRUCTURES

Abstract. The article presents the test results and the analysis of selected properties of bentonites used as isolation barriers of engineering structures, especially landfills. Three types of bentonites were used as a research material and for each of them the dispersivity and swelling ability were assessed. The dispersivity was determined by using the crumb test and the double hydrometer test. Swelling index was determined in the Holtz and Gibbs method and in the method presented in ASTM D 5890-95. The investigations of the influence of liquid pollution with various chlorides concentrations (1000, 2500, 5000 and 10,000 mg·dm⁻³) on swelling ability of bentonite were included. The results obtained were compared with values required for typical bentonite materials used as isolation barriers of engineering structures.

Key words: isolation, sealing, bentonite, dispersivity, swelling

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.12.2015

Cytowanie: Sieczko, A. (2015). Badania laboratoryjne dyspersyjności i pęcznienia wybranych bentonitów stosowanych jako bariery izolacyjne obiektów budowlanych. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 14 (4), 61–73.