

Granulaty bentonitowe jako uszczelnienia mobilnych zapór przeciwpowodziowych

Piotr Wrona^a, Wojciech Panna^{b,*}, Stanisław Lipiński^c, Maciej Woźniak^{b,d}

^a Szkoła Główna Służby Pożarniczej ul. J. Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa; Jednostka Ratowniczo-Gaśnicza nr 2 w Tarnowie ul. Błonie, 33-100 Tarnów, Polska

^b Reakcja sp. j. ul. Piaski 91, 32-071 Kamień; PPUH PanCerKow, ul. Piaski 91, 32-071 Kamień, Polska

^c Szkoła Główna Służby Pożarniczej, ul. Juliusza Słowackiego 52/54, 01-629 Warszawa, Polska

^d Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, al. Adama Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

Historia artykułu

Zgłoszony: 11 grudnia 2020

Poprawiony: 29 grudnia 2020

Zaakceptowany: 2 stycznia 2021

Opublikowany online:

2 stycznia 2021

Abstrakt

Bentonity i inne surowce smektytowe są szeroko stosowane w wielu gałęziach przemysłu. Autorzy niniejszej pracy dokonali analizy przydatności bentonitowych granulatów pęczniących w celu ich użycia jako uszczelnień w mobilnych zaporach przeciwpowodziowych. Do tego celu dokonano analizy porównawczej parametrów pęcznienia i uziarnienia trzech dostępnych na rynku granulatów a następnie wykonano próbę makroskopową pęcznienia na specjalnie do tego celu przygotowanym stanowisku badawczym. Wykonane badania wykazały, że nie tylko udział składnika pęczniącego – smektytu – znacząco wpływa na doszczelnianie układu, ale determinuje go przede wszystkim rozkład wielkości granul i rodzaj smektytu.

Słowa kluczowe: mobilne zapory przeciwpowodziowe, bentonity, uszczelnienia bentonitowe

Wstęp

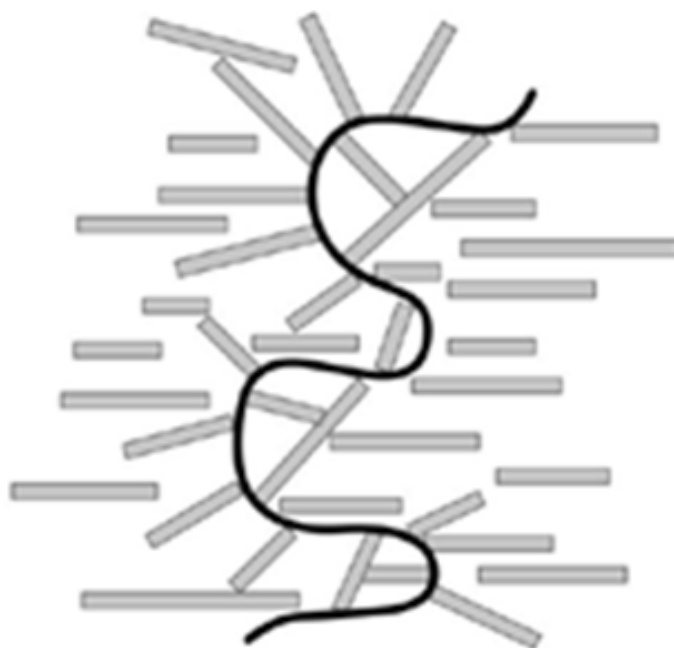
Głównymi sposobami ochrony przeciwpowodziowej są: odpowiednie planowanie przestrzenne pod zabudowę, regulacja rzek, budowa i renowacja obiektów inżynierskich regulujących przepływ wody, a także obiektów i urządzeń zabezpieczających przed powodzią, przygotowanie systemów edukowania i ostrzegania ludności itd. [1]. W wielu przypadkach są one niewystarczające, dlatego konieczne jest zastosowanie rozwiązań doraźnych, realizowanych bezpośrednio przed akcją przeciwpowodziową lub w jej trakcie. Rozwiązaniami stosowanymi obecnie są przede wszystkim: układanie worków z piaskiem i zastosowanie rękawów przeciwpowodziowych [2].

Nie stwierdzono danych w literaturze i dostępnych ofertach handlowych na temat rozwiązań technologicznych bazujących na wykorzystaniu kopaliny zawierających smektyty (minerały pęczniące w środowisku wodnym) w przeciwpowodziowych zaporach mobilnych, choć ich właściwości hydroizolacyjne są znane od starożytności [3, 4]. Na rynku stosowanych obecnie uszczelnień przeciwwilgociowych i przeciwwodnych występują m.in. maty bentonitowe, które – jak wydaje się – mogłyby być zastosowane jako element rozbudowanego systemu przeciwpowodziowego [5].

Bentonity to skały ilaste, powstałe wskutek montmorillonitizacji szkliwa wulkanicznego występującego w osadach piroklastycznych (tufach i tufitach) [6]. Z chemicznego punktu widzenia zawierają one głównie glinokrzemiany wapnia, sodu, potasu, które występują w postaci smektytu – minerału ilastego. Pokrewnymi bentonitom skałami i surowcami są ility bentonitowe, montmorillonitowe itp.

Smektyty podczas kontaktu z wodą lub parą wodną wykazują bardzo dużą zdolność do pęcznienia. W przypadku swobodnego dostępu do wody smektyty mogą zwiększyć swoją objętość nawet kilkunastokrotnie. Powodem takiego zjawiska jest budowa pakietowa smektytów. Pakiety połączone są ze sobą tylko słabym wiązaniem międzycząsteczkowym van der Waalsa, dzięki czemu mogą się one rozsuwać, umożliwiając wchodzenie między nie cząsteczek wody. Zachodzi proces sorpcji wody między pakietami, w wyniku czego tworzą się warstwy monomolekularne [7, 8]. Bentonity w określonych warunkach ulegają rozproszeniu na płytkowe, płaskie cząstki o wysokości rzędu 1 nm oraz długości rzędu tysięcy nm. Dzięki temu montmorillonit wykazuje bardzo dobre właściwości barierowe zarówno w kontekście oddziaływań z cieczami, jak i gazami. Rozmiar i ułożenie płytek powoduje wydłużenie drogi migrujących cząstek przez tworzenie szczelnego systemu ząbajających się płytek. Model penetracji wody pomiędzy pakietami znany jest w literaturze jako „spacer pijaka” z uwagi na krętą drogę migracji wody między cząstkami stałymi (rys. 1).

* Autor korespondencyjny: wojpan3702@gmail.com



Rysunek 1. Wydłużenie drogi dyfuzji cieczy i gazów w wyniku omijania płytek montmorililonitu

Zjawisko sorpcji wody przez minerał z jednej strony powoduje rozwarstwianie się pakietów wynikiem czego jest wydłużenie drogi dyfuzji, z drugiej zaś wywołuje zmniejszenie gradientu stężeń cząsteczek wody między warstwą spęczniałego bentonitu a otoczeniem ze strony „wodonośnej” [9].

Trudno wyobrazić sobie zastosowanie bentonitu jako głównego elementu mobilnych zapór przeciwpowodziowych. Mogą one jednak służyć do eliminowania nieszczelności w miejscach połączeń pomiędzy elementami zapór, tworząc warstwę uszczelniającą, lub do wypełniania przestrzeni pomiędzy elementami konstrukcji a podłożem. Taką możliwość przewiduje m.in. konstrukcja stelażowego systemu przeciwpowodziowego firmy Reakcja sp. j. (P.424809) [10]. W tym celu należy wykonać np. z geowłókniny rękaw o niewielkim przekroju (do 10 cm, nazywany roboczo „kiszka”), do którego wsypuje się zgranulowany bentonit. Celem pracy jest ocena przydatności ogólnodostępnych granulatów bentonitowych do uszczelniania mobilnych zapór przeciwpowodziowych.

Materiał badawczy

Do badań przeznaczono trzy próbki bentonitów dostępnych na rynku o granulacji 0–4 mm. Założono, że próbki te powinny charakteryzować się możliwie dużą różnicą we właściwościach pęczniących. W związku z tym do badań wybrano:

- Próbka 1. Średniej jakości żwirek bentonitowy (tzw. koci żwirek);
- Próbka 2. Wysokiej jakości żwirek bentonitowy;
- Próbka 3. Bentonitowy granulaty hydroizolacyjny.

W celu ustalenia wpływu granulacji materiałów na filtrację przez kiskę bentonitową wszystkie materiały zmielono w młyńnię kulowym w czasie 30 min. i wymieszano z wyjściowym materiałem w stosunku 1:1. Następnie zostały one poddane próbie makroskopowego przeciekania przez zaporę.

Metodyka badań

Charakterystyka próbek

Wyznaczenie zawartości smektytu metodą spektrofotometryczną adsorpcji błękitu metylenowego

Pod pojęciem zawartości smektytu rozumie się określoną w procentach, przybliżoną zawartość tego minerału w próbce skały ilastej, wykazującego wysoką zdolność sorpcji błękitu metylenowego [11]. Próbkę przeprowadza się w formę sodową przy użyciu pirofosforanu sodu i wody. Później próbkę zdyspergowanego bentonitu suszy się, a następnie wprowadza do kolby roztwór błękitu metylenowego o stężeniu określonym w normie PN-85/H-11003 [12]. Następnie oddziela się cząstki bentonitu zaadsorbowanym błękitem metylenowym od pozostałego, odbarwionego roztworu i fotokolorymetrycznie oznacza się pozostały w roztworze błękit metylenowy [13]. W badaniach do wyznaczenia absorpcji światła z barwnych roztworów wykorzystano spektrofotometr T70 UV/VIS firmy PG Instruments Ltd. Przygotowanie próbek do oznaczeń polegało na ich wysuszeniu

w temperaturze ok. 110°C, a następnie zmieleniu do uziarnienia nieprzekraczającego 0,1 mm. Metoda badania z użyciem błękitu metylenowego polegała na dyspersji próbek surowców przy użyciu pirofosforanu sodu i wody, adsorpcji błękitu metylenowego z jego roztworu o ustalonym stężeniu, odsączeniu cząstek stałych od pozostałego roztworu i określeniu absorbancji przy długości fali 470 nm, a następnie odczytaniu z krzywej wzorcowej procentowej zawartości smektytu w próbce odpowiadającej tej absorbancji.

Oznaczenie wskaźnika pęcznienia W_p (według normy PN-85/H-11003 [12])

Wskaźnik pęcznienia W_p to ilość wody, którą może zaabsorbować materiał. Do pomiaru odważa się 2 g materiału pęczniejącego i wprowadza się go porcjami do cylindra, w którym znajduje się 100 cm³ wody destylowanej. Po upływie dwóch godzin odczytuje się wartość wytrąconego osadu na dnie cylindra miarowego. Wskaźnik pęcznienia oblicza się według wzoru:

$$W_p = \frac{V}{100 - W} \cdot 100$$

gdzie:

W – wskaźnik pęcznienia [cm³],

W^p – zawartość wody w bentonicie [cm³],

V – objętość wytrąconego osadu [cm³].

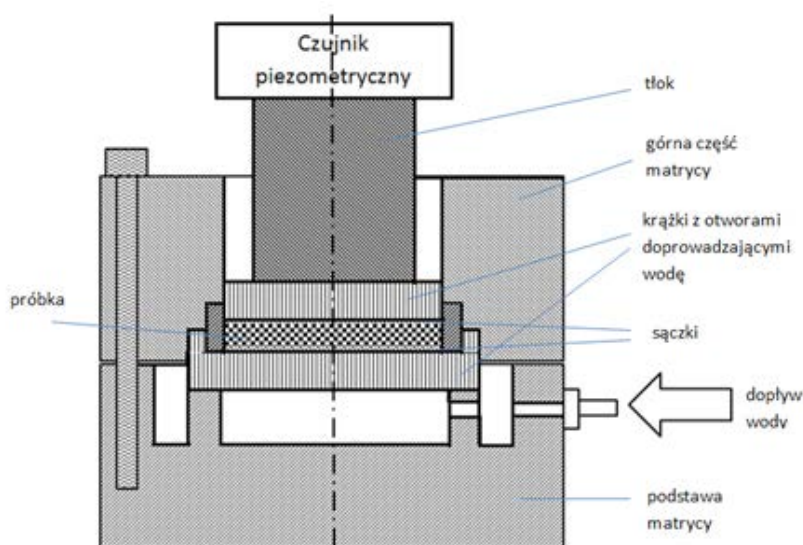
Ciśnienie pęcznienia

Do badań przeznaczają się po 15 g proszków uzyskanych wcześniej z materiałów pęczniejących, które następnie prasuje się

jednoosiowo pod ciśnieniem 20 MPa w matrycy o średnicy 60 mm. Otrzymane w ten sposób pastylki o gęstości pozornej 1,5–1,7 g/cm³ umieszcza się w matrycy przedstawionej na rysunku 2. Pomiar polega na doprowadzeniu wody destylowanej do matrycy znajdującej się pomiędzy stemplami prasy wytrzymałościowej – co powoduje zapoczątkowanie pęcznienia próbki znajdującej się pomiędzy stalowymi krążkami z otworami umożliwiającymi stały dopływ wody – oraz analizie siły nacisku na czujnik piezometryczny prasy wytrzymałościowej. Oprogramowanie prasy pozwala na rejestrację nacisku próbki na czujnik w funkcji czasu. Dzięki temu możliwe jest określenie maksymalnej siły nacisku, którą następnie przelicza się na ciśnienie pęcznienia próbki. Do badań przeznaczono po 15 g uzyskanych wcześniej proszków smektytowych, które następnie sprasowano jednoosiowo pod ciśnieniem 20 MPa w matrycy o średnicy 60 mm. Wskutek tego działania otrzymano pastylki o gęstości 1,6–1,65 g/cm³. Umieszczane one były w matrycy i poddawane badaniu ciśnienia pęcznienia. Badania wykonano przy użyciu prasy wytrzymałościowej ZwickRoell2000.

Skład granulometryczny

Analiza sitowa według normy PN-86/M-94001 [14] polega na rozdzieleniu badanego materiału na frakcje ziarnowe określane rozmiarami oczek odpowiednich sit. Odbyna się to na zestawie sit o wzrastającym od dołu wymiarze oczek. Na powierzchni górnego sita umieszczana jest badana próbka. Zestaw sit jest zamknięty od dołu szczelnym pojemnikiem, a od góry pokrywą. Liczba sit i rozmiar



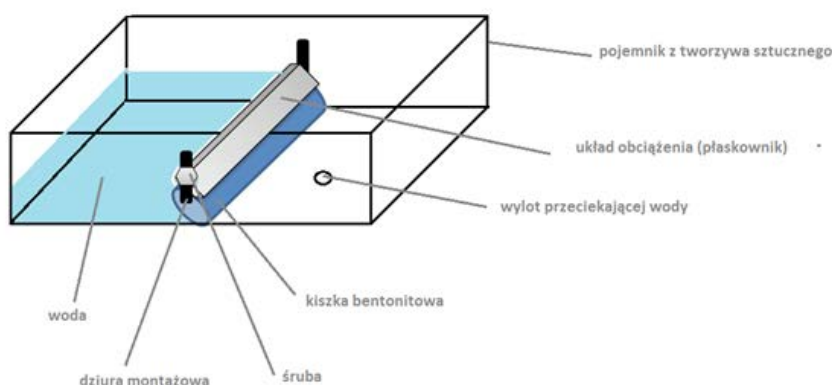
Rysunek 2. Przyrząd do pomiaru ciśnienia pęcznienia przy użyciu prasy wytrzymałościowej

oczek stosowanych w analizie zależy od uziarnienia materiału i celu przeprowadzenia badań. Materiał, który przechodzi przez oczka danego sita, stanowi nadawę do następnego sita. Analizę sitową wykonano przy użyciu wstrząsarki laboratoryjnej LPzE-2e firmy Morek Multiserv. Została ona przeprowadzona na sucho przy użyciu zestawu sit o wielkości oczek kwadratowych o bokach przedstawionych w tabeli 1. Wynikiem badań jest procentowy udział masy w granulacie bentonitowym pozostającej na sitach po 5-minutowym wytrząsaniu granulatu podanych na najwyższe sito zestawu.

Próba makroskopowa przeciekania przez zapórę

W celu weryfikacji zdolności kieszki bentonitowej do wykorzystania w systemach przeciwpowodziowej opracowano układ badawczy, który został przedstawiony na rysunku 3. Jego głównym elementem jest pojemnik wykonany z tworzywa sztucznego, do którego wkłada się poprzecznie na dno

kiszkę bentonitową. Następnie przy użyciu układu mocującego, składającego się z otworów mocujących, śrub i płaskownika umieszczonego nad kiszką trwale klinuje ją w pojemniku. Samo badanie polega na zalewaniu powierzchni po jednej ze stron do poziomu wysokości kieszki bentonitowej, makroskopowej obserwacji zachowania się kieszki oraz pomiarze objętości wody przesączonej w jednostce czasu. Ta ostatnia czynność może odbywać się np. w cylindrze miarowym umieszczonym pod otworem wywierconym na dnie zbiornika po stronie „chronionej” przez uszczelniający element wypełniony bentonitem. Badane granulaty wsypano do rękawów uszytych z agrowłókny o gramaturze 80 g/m² i zawiązywano kiszkę sznurkiem. Umieszczone w pojemniku kieszki dociskano kształtką metalową, a następnie przestrzeń po jednej ze stron zalewano po koronę kieszki. Po 5, 10 i 30 minutach odczytywano objętość wody przelanej do cylindra miarowego lub w przypadku jej większej ilości – do zlewki szklanej.



Rysunek 3. Poglądowy schemat układu badawczego do przeprowadzenia makroskopowej próby przeciekania przez zapórę

Wyniki i dyskusja

Charakterystyka próbek

Charakterystyka próbek wykazała, że granulaty posiadają znaczną zawartość smektytu (tabela 1). W przypadku próbki 1 jest ona wyraźnie niższa od pozostałych i wynosi 62%. Pozostałe granulaty

zawierały go 77% (Próbka 2) i 78% (Próbka 3). Ma to odzwierciedlenie w wynikach wskaźnika pęcznienia. Parametr ten jest najwyższy w przypadku próbki o najwyższej zawartości smektytu.

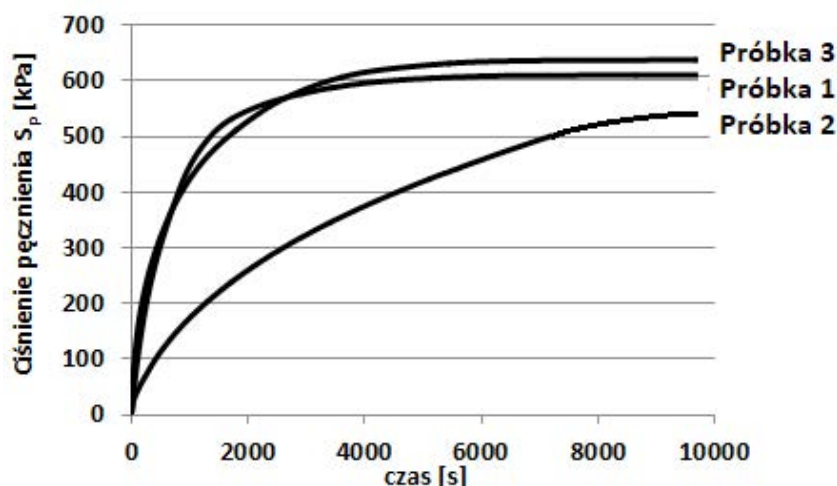
Wyniki ciśnienia pęcznienia już nie korelują w prosty sposób z zawartością smektytu. Może mieć na to wpływ charakter smektytu (najprawdopodobniej w przeważającej części wapniowy) w przypadku próbki 1.

Tabela 1. Właściwości badanych granulatu ilastych

| Parametr | Próbka 1 | Próbka 2 | Próbka 3 |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Zawartość smektytu (%) | 62 | 77 | 78 |
| Wskaźnik pęcznienia (%) | 21 | 36 | 38 |
| Max ciśnienie pęcznienia (kPa) | 605 | 540 | 630 |

Zostało bowiem stwierdzone, że odmiana wapniowa smektytów odpowiada za dużo bardziej spontaniczny charakter krzywej przyrostu ciśnienia pęcznienia, a także znacznie wyższe wartości tego ciśnienia w porównaniu z odmianą sodową [15]. Stąd

przyrost pęcznienia próbki o najmniejszej zawartości smektytu w przedziale czasowym do 1000 s w przypadku próbki 1 jest najwyższy (rys. 4).



Rysunek 4. Przyrost ciśnienia pęcznienia w zależności od czasu

Analiza granulometryczna

Analiza sitowa wykazała, że najgrubszą granulacją charakteryzuje się próbka 1. Pozostałe dwie próbki są znacznie bardziej drobnoziarniste z tym, że próbka 3 wykazuje znacznie większy

udział frakcji poniżej 2 mm. Zaobserwowano następującą zależność: znaczny udział ziaren poniżej 2 mm powoduje wyższe wartości gęstości nasypowej. Może to być spowodowane bardziej szczelnym wypełnianiem przestrzeni przez drobne ziarna, które uzupełniają szczeliny między ziarnami grubymi.

Tabela 2. Procent masowy frakcji ziarnowych pozostałych na sitach o określonej wielkości oczka

| Wielkość oczka sita [mm] | 3,2 | 2 | 1,6 | 1,25 | 0,8 | 0,63 | 0,2 | < 0,2 |
|--------------------------|-----|----|-----|------|-----|------|-----|-------|
| Próbka 1 | 26 | 59 | 12 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| Próbka 2 | 0 | 56 | 16 | 18 | 5 | 2 | 1 | 2 |
| Próbka 3 | 0 | 29 | 25 | 22 | 9 | 7 | 5 | 3 |

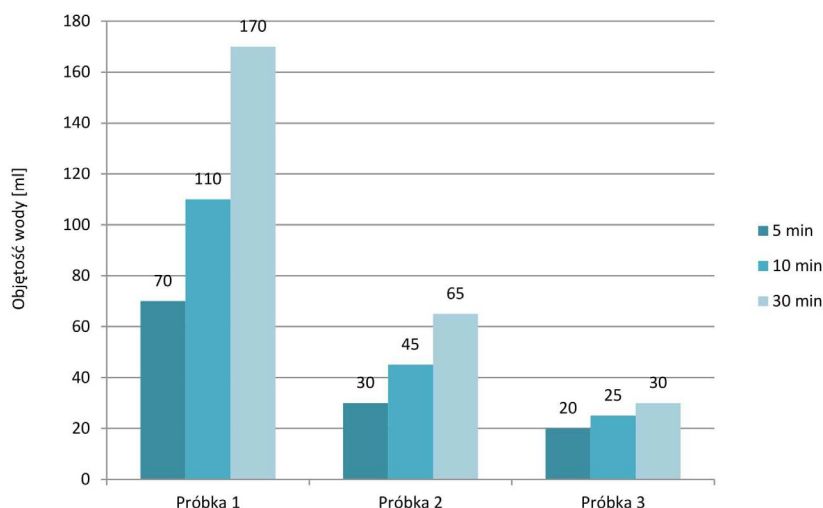
Próba filtracji

Próba makroskopowa filtracji przez zaporę wykazała, że najlepiej doszczelniającym granulatem jest próbka 3, dla której ilość przesączonej przez kieszkę wody wykazuje najniższy przyrost w czasie. Wyniki badań próbek wykazały, że granulat ten zawiera najwięcej smektytu, tj. 78% (porównywalnie z próbką 2) i charakteryzuje się najdrobniejszą granulacją. Wynik 30 ml wody przesączonej przez zaporę z kieszki o wysokości 7 cm i długości 30 cm w czasie 30 min. wydaje się być zadowalający z punktu widzenia doszczelniania zapór wykonanych w głównej mierze z nieprzepuszczalnej dla wody folii. Warto podkreślić, że przekrój kieszki z 7 cm pod wpływem wody po 30 min. wzrósł do 9 cm (przyrost o 2 cm), co uwidacznia możliwość doszczelnienia układu (rys. 5).

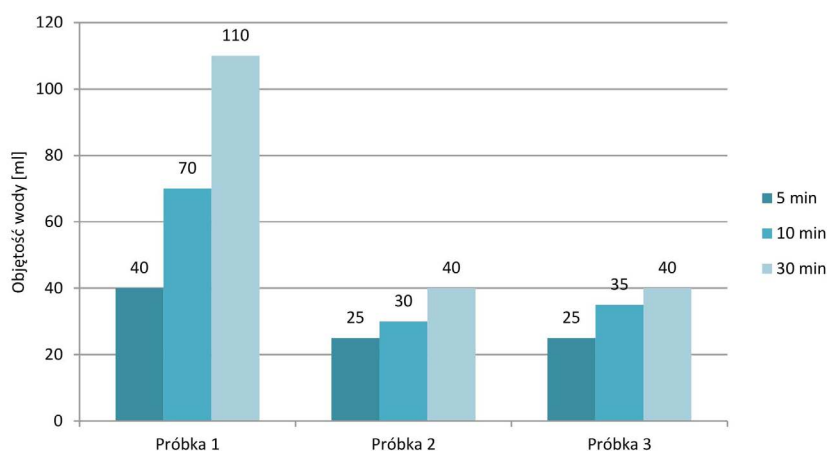
Zadowolające wyniki przesączenia przez zaporę osiągnęła również próbka 2, w której wartość filtracji przez kieszkę w czasie 30 min. wynosiła 65 ml. Znacznie zaś gorszy wynik osiągnął granulat reprezentujący próbkę 1. Warto jednak nadmienić, że istnieją znaczne różnice pomiędzy tymi granulatami w rozkładzie ziarnowym i zawartością smektytu w próbkach. Aby ustalić wpływ tego pierwszego parametru na próbki, przeprowadzono test makroskopowy dla granulatów wymieszanych w stosunku masowym 1:1 z ich zmielonymi odpowiednikami (rys. 6). Wyniki tych badań wykazały znaczną poprawę barierowości dla próbek 1 i 2 oraz jej pogorszenie dla próbki 3. Wynika z tego, że dodatek zmielonych próbek poprawił efektywne upakowanie surowca w dwóch pierwszych próbkach, natomiast zbyt duży udział drobnych frakcji ziarnowych w próbce 3 spowodował

pogorszenie upakowania z uwagi na wystąpienie oddziaływań elektrostatycznych (w szczególności odpychających) pomiędzy drobnymi cząstkami.

Należy zauważyć, że w pracy nie poddano analizie wpływu filtracji wzdłuż materiału agrowłókniny, co może stanowić znaczny stopień całkowitej filtracji przez kieszkę.



Rysunek 5. Wyniki próby makroskopowego przeciekania przez zaporę wyjściowych granulatów



Rysunek 6. Wyniki próby makroskopowego przeciekania przez zaporę granulatów wymieszanych w stosunku 1:1 z ich zmielonymi odpowiednikami

Wnioski

Badania opisywane w niniejszej pracy udowadniają, że bentonit dzięki swoim unikalnym właściwościom jest bardzo dobrym hydroizolatorem aktywnym. Może być przez to wykorzystywany do doszczelniania mobilnych, hybrydowych zapór przeciwpodziowych. Konstrukcje, które umożliwiają jego zastosowanie mogą zatem wykorzystać jego atrybuty. Przeprowadzone badania wykazują, że najważniejszymi parametrami bentonitu, które mają wpływ na doszczelnienie zapory są jego granulacja oraz

zawartość higroskopijnego smektytu i jego rodzaj. Bardziej korzystne jest użycie bentonitu sodowego z uwagi na jego podwyższoną zdolność wbudowywania się cząsteczek wody pomiędzy pakiety [15]. Na rynku istnieje wiele granulatów, które spełniają przedstawione wymagania.

Wyniki przeprowadzonych badań stanowią podstawę do rekomendacji przeprowadzenia dalszych eksperymentów, już w laboratoriach zakładowych, nad optymalnym składem granulometrycznym, w celu uzyskania jak najlepszych parametrów pęcznienia w makroskali. Optymalizacja ta będzie zapewne

związana z maksymalnym współczynnikiem upakowania przestrzennego (maksymalna gęstość nasypowa). Nie można jednak wykluczyć, że znaczny wpływ na pęcznienie może mieć stosunkowo duże rozwinięcie powierzchni (w skali makro), umożliwiające możliwie najszybszy proces inicjacji pęcznienia jak największej ilości dostępnych dla wody granул. Sugeruje to konieczność modelowania procesu pęcznienia, co może być przedmiotem dalszych badań.

Wkład Autorów

Koncepcja, Piotr Wrona i Wojciech Panna; metodologia, Piotr Wrona i Wojciech Panna; walidacja, Stanisław Lipiński i Wojciech Panna; analiza formalna, Wojciech Panna; zasoby, Maciej Woźniak i Wojciech Panna; przechowywanie danych, Wojciech Panna; pisanie – przygotowanie wersji wstępnej, Wojciech Panna; pisanie – redakcja i rewizja, Stanisław Lipiński i Maciej Woźniak; nadzór, Stanisław Lipiński i Maciej Woźniak; pozyskiwanie finansowania, Maciej Woźniak.

Przypisy

1. Bednarczyk S, Jarzębińska T, Mackiewicz S, Wołoszyn E. Vademecum ochrony przeciwpowodziowej. Gdańsk: Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej; 2006. [Internet; cytowane 5 stycznia 2021]. Dostępne na: <https://docplayer.pl/4135934-Vademecum-ochrony-przeciwpowodziowej.html>.
2. Riegert D, Ślosorz Z, Radwan K, Rakowska J, Porycka B, Abgarowicz I, Suchorab P. Doraźne metody ochrony stosowane podczas powodzi ze szczególnym uwzględnieniem rękawów przeciwpowodziowych. Józefów: Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy; 2012.
3. Koch D. Bentonites as a basic material for technical base liners and site encapsulation cut-off walls. *Applied Clay Science*. 2002;21(1–2):1–11. doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-1317\(01\)00087-4](https://doi.org/10.1016/S0169-1317(01)00087-4).
4. Panna W, Wyszomirski P, Motyka J. Bentonit z Kopernicy jako materiał do zastosowań hydroizolacyjnych. *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN*. 2012;83:131–145.
5. Szarugiewicz C. Zastosowania bentonitowych materiałów hydroizolacyjnych Cetco Poland Sp. z o.o. w budownictwie ziemnym. *Zeszyty Naukowe. Inżynieria Środowiska [Uniwersytet Zielonogórski]*. 2007;133(13):399–410.
6. Wyszomirski P, Lewicka E. Bentonity jako uniwersalny surowiec wielu dziedzin przemysłu. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*. 2005;21(3):5–19.
7. Laird DA, 1996. Model for crystalline swelling of 2:1 phyllosilicates. *Clays and Clay Minerals*. 1996;44(4):553–559. doi: <https://doi.org/10.1346/CCMN.1996.0440415>.
8. Murray HH. Applied clay mineralogy: occurrences, processing and application of kaolins, bentonites, palygorskite-sepiolite, and common clays. *Applied Clay Mineralogy*. Amsterdam: Elsevier Science; 2007.
9. Churchman GJ, Gates WP, Theng BKG, Yuan G. Clays and clay minerals for pollution control. In: Bergaya F, Theng B.K.G., Lagaly G, redaktor. *Handbook of clay science*. Amsterdam–Tokyo: Elsevier; 2006. p. 625–676.
10. Panna W. Element systemu przeciwpowodziowego. Zgłoszenie Patentowe nr P.424809. Przyjęty 2018-03-08.
11. Meier LP, Kahr G. Determination of the cation exchange capacity (CEC) of clay minerals using the complexes of copper (II) ion with triethylenetetraamine. *Clays and Clay Minerals*. 1999;47(3):386–388. doi: <https://doi.org/10.1346/CCMN.1999.0470315>.
12. PN-85/H-11003 Odlewnicze materiały formierskie. Bentonit odlewniczy.
13. Kościółko H, Wyrwicki R, redakcja. *Metodyka badań kopaliny ilastych*. Warszawa–Wrocław: Państwowy Instytut Geologiczny; 1996.
14. PN-86/M-94001 Sita tkane kontrolne o oczkach kwadratowych.
15. Panna W, Wyszomirski P, Szumera M. Swelling pressure of natural and modified smectite-bearing clay raw materials. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 2015;51(1):127–135. doi: <https://doi.org/ppmp150112>.

Bentonite granulates as a seals for mobile flood barriers

Abstract

Bentonites and other smectite raw materials are widely used in many industries. The authors of the study analyzed the suitability of swelling granulates for their use as a seals in mobile flood barriers. For this purpose, a comparative analysis of the swelling and granulation parameters of three samples available on the market was performed. This results was compared with a macroscopic swelling test, which was realized on the specially prepared test stand. The carried out research shows that not only the content of the swelling minerals – mainly smectite – affect on the sealing of the system, but also they are determine by granules size distribution and the type of smectite.

Keywords: mobile flood barriers, bentonites, bentonite seals, hybrid flood barriers
