

Właściwości fizykochemiczne i mechaniczne wybranych gruntów spoistych Lubelszczyzny do zastosowań hydroizolacyjnych

Lucjan Gazda¹, Małgorzata Franus²

*^{1,2}Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska, e-mail:
¹l.gazda@pollub.pl, ²m.franus@pollub.pl*

Streszczenie: W artykule przedstawiono wstępną charakterystykę wybranych gruntów spoistych Lubelszczyzny możliwych do wykonywania przesłon hydroizolacyjnych stosowanych w geotechnice i budownictwie. Badania i analizę wykonano w nawiązaniu do kryteriów stosowalności materiałów na mineralne przesłony hydroizolacyjne wypracowane w ostatnich latach w Instytucie Techniki Budowlanej. Na podstawie cech petrograficznych, mineralnych, filtracyjnych, strukturalnych i mechanicznych wykazano przydatność iłłów Bychawa i Łązek Ordynacki oraz gliny pylastej Markowicze oraz nie spełnianie wszystkich kryteriów przez glinę glaukonitową Gawłówka. Wykazano, że większość parametrów określających ich kryteria przydatności wynika z ich petrografii i mineralogii. Nie wytypowano gruntu spełniającego wszystkie kryteria przydatności do tych celów, ale wykazano uzupełnianie się parametrów w poszczególnych rodzajach gruntów, co stwarza możliwość uzyskiwania materiałów kompozytowych.

Słowa kluczowe: przesłony hydroizolacyjne, grunty spoiste, minerały ilaste

1. Wprowadzenie

Wykonywanie przesłon hydroizolacyjnych z mineralnych materiałów, naturalnego, złożowego pochodzenia jest działaniem wieloaspektowo trudnym. Szczególnie wykonywanie wielkoobszarowych uszczelnień składowisk odpadów, zarówno na etapie ich realizacji jak i rekultywacji staje się bardzo odpowiedzialnym przedsięwzięciem inżynierskim oraz, co jest nie mniej istotnym, także ekonomicznym [1]. Właściwym rozwiązaniem jest użytkowanie lokalnych materiałów, o określonych właściwościach i parametrach fizykochemicznych, filtracyjnych i mechanicznych, odpowiednich do zachowania długotrwałej funkcjonalności, z reguły 30-100 lat, zabezpieczającej bezpieczeństwo geotechniczne: wytrzymałość, odkształcalność i ekologiczne: ekranowanie migracji zanieczyszczeń z realizowanych obiektów, np. składowisk odpadów niebezpiecznych, komunalnych i in. Dotychczas, poza lessem [2], nie były rozważane do tych celów grunty spoiste Lubelszczyzny. Przedstawione w referacie wstępne wyniki badań wybranych gruntów spoistych są fragmentem wyników badań podjętych w granice „Analiza przydatności surowców ilastych Lubelszczyzny do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych składowisk odpadów” Kryteria przydatności gruntów spoistych do wykonywania przesłon hydroizalacyjnych”

Zasady oceny przydatności gruntów spoistych do wykonywania mineralnych przesłon hydroizalacyjnych oraz zakresu wykonywanych badań do ich oceny opracowano w ITB [2]. Przesłony wykonywane z naturalnych gruntów mineralnych spoistych powinny charakteryzować się [1]:

- składem ziarnowym (głównie zawartość frakcji ilastej) umożliwiającym po zagęszczeniu uzyskiwanie wymaganej szczelności: współczynnik wodoprzepuszczalności $k < 10^{-9}$ m/s
- wysokimi właściwościami adsorpcyjnymi i sorpcyjnymi
- optymalną wilgotnością, konsystencją i stanem zapewniającymi dobrą urabialność i zagęszczalność
- wystarczającą wytrzymałością na ścinanie i odkształcalnością
- długotrwałością i stabilnością chemiczną, zapewniającą niezmienną wodoprzepuszczalności i parametrów mechanicznych

Pozwala to sformułować kryteria przydatności gruntów spoistych do celów hydroizolacyjnych. Podstawowym jest kryterium granulometryczne, a szczególnie zawartość frakcji ilastej min. 20% , optymalnie min. 35%.

Pomijane jest kryterium mineralogiczne, lecz z uwagi na zachowanie parametrów trwałości i minimalnego poziomu zdolności adsorpcyjnych i sorpcyjnych koniecznym jest zachowanie min. 20% zawartości minerałów ilastych, maksymalnie 15% węglanów i 5% części organicznych.

Z technologicznego punktu widzenia istotnym jest kryterium formowania, definiowane zakresem stopnia plastyczności, który powinien zawierać się w przedziale $-0,1 \leq I_L \leq 0,1$ oraz plastyczności wyznaczane w oparciu o badania Cassagrande'a. Obszaru gruntów przydatnych do wykonywania barier hydroizalacyjnych zawarty są w zakresie wskaźnika plastyczności I_L 15% do 70% i granicy płynności do 110%.

Kryterium sorpcji i adsorpcji, istotne do określenia skuteczności stabilizacji zanieczyszczeń możliwe jest do określenia pomiarami bezpośrednimi lub pośrednio na podstawie powierzchni właściwej i charakterystyki składu minerałów ilastych.

Głównym kryterium, wynikającym z unormowań prawnych [3] jest parametr szczelności, określanej współczynnikiem wodoprzepuszczalności.

Kryterium odkształcalności wyznacza wartość modułu, służącego do oceny osiadań. Moduł ściśliwości M_0 nie powinien być niższy od 5 MPa. Kryterium wytrzymałości charakteryzowane jest kątem tarcia wewnętrznego ϕ min. 3^0 i minimalną spójnością 35 kPa.

1.1. Metodyka badań

Analizie poddano cztery surowce ilaste z Lubelszczyzny (Tab. 1):

- mioceński ił z Bychawy (Wyżyna Lubelska),
- oligoceńska glina z Gawłówki (Nizina Lubartowska),
- mioceńska glina z Markowicz (Równina Biłgorajska),
- mioceński ił z Łążka Ordynackiego (Równina Biłgorajska).

Żaden z tych surowców nie był dotychczas użytkowany i rozpatrywany jako materiał hydroizolacyjny. Poza gliną z Gawłówki są one wykorzystywane w produkcji ceramiki.

Próby o naturalnej wilgotności pobierano w istniejących wyrobiskach eksploatacyjnych. W trakcie poboru prób dokonywano ich opisu makroskopowego oraz wykonywano pomiar wodoprzepuszczalności przy użyciu sondy BAT. W ramach badań laboratoryjnych wykonano analizy petrograficzne i mineralogiczne z wykorzystaniem aparatury RTG, SEM i DTA. Powierzchnię właściwą oznaczano metodą adsorpcji azotu.


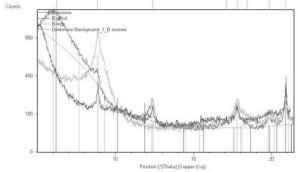
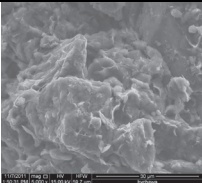

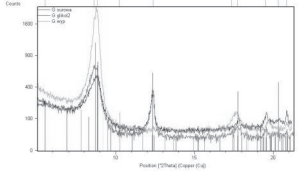
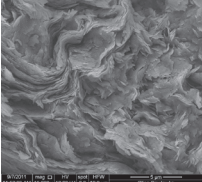

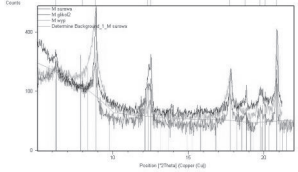
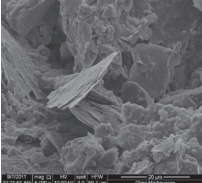
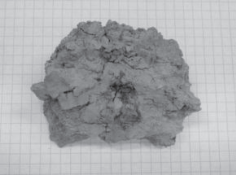
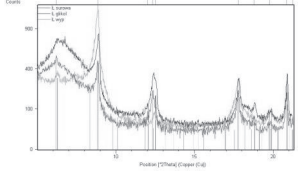
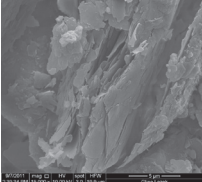
Z cech fizycznych określono wilgotność, zawartość węglanów wapnia oraz granice konsystencji Atterberga na podstawie norm [4, 5]. Badania cech mechanicznych gruntów wykonano w aparacie bezpośredniego ścinania zgodnie normą [6]. Pomiary przeprowadzono w warunkach wstępnej konsolidacji prób bez odpływu wody w czasie ścinania (CU), przy naprężeniach normalnych 120, 170 i 229 kPa. Obciążenie konsolidujące było

jednakowe dla wszystkich próbek gruntu. Jako wytrzymałość τ_f badanych próbek na ścinanie przyjęto maksymalną wartość naprężeń ścinających τ_{max} . Badania ścisłości gruntów wykonano w edometrze na podstawie normy [7].

2. Petrografia i mineralogia badanych surowców

Wykonane badania makroskopowe oraz instrumentalne badania składu mineralnego i struktury pozwoliły określić rodzaj petrograficzny surowca oraz półilościowo udział i skład minerałów ilastych, tlenków i wodorotlenków żelaza oraz węglanu wapnia, faz decydujących o wodoprzepuszczalności, aktywności powierzchniowej i trwałości tych parametrów. Wyniki badań zestawiono w formie tabelarycznej (Tabela 1, 2 i 3).

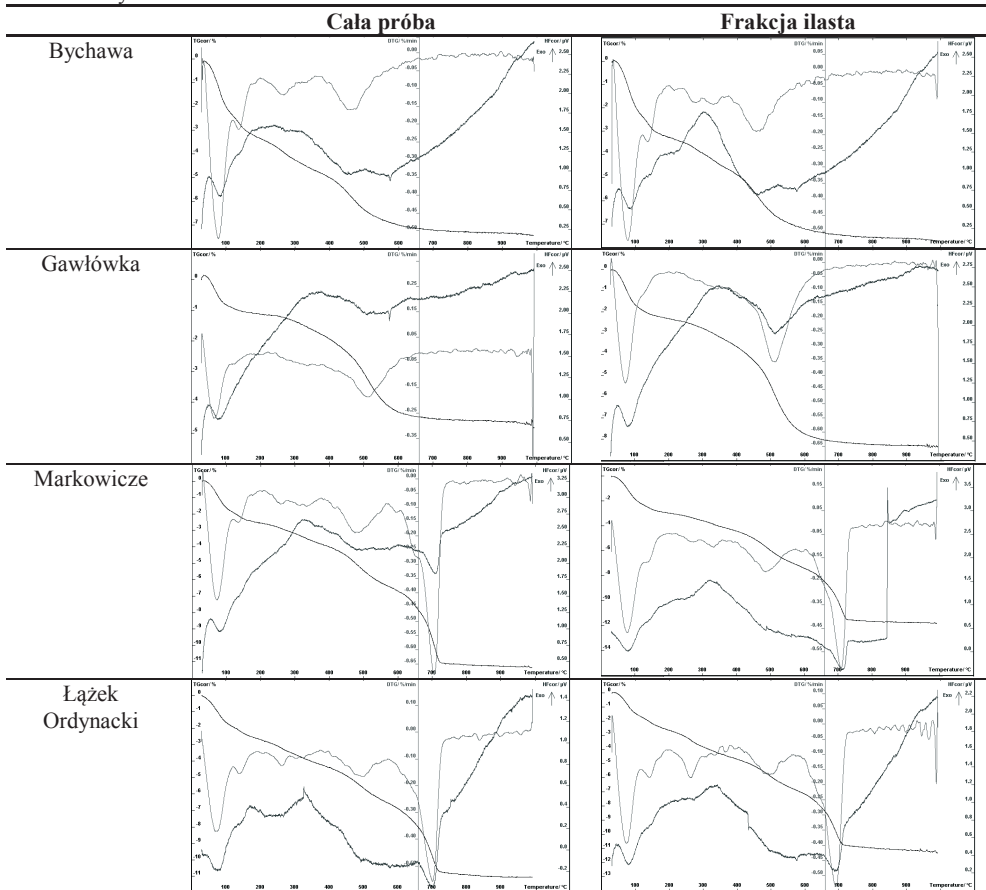
Tabela 1. Wyniki badań RTG i SEM

	Fot. makro	RTG frakcji ilastej	SEM
Bychawa			
Gawłówka			
Markowicze			
Łązek Ordynacki			

II Bychawa jest jasno rdzawo-żółtym gruntem kaolinitowo-illitowo-smektytowym, w obrazie SEM o wyraznie bardzo drobno cząsteczkowej i koloidalnej strukturze.

- Grunt Gawłówka jest zieloną gliną piaszczystą o składzie kaolinitowo-illitowym o agregatowej budowie cząsteczek ilastych. Istotnym składnikiem tej gliny jest glaukonit, który stanowi także znaczny udział części ziarnistych tego gruntu.
- Grunt Markowicze jest szarą pylastą gliną kaolinitowo-illitową z wyraźnym udziałem struktur mieszano pakietowych illit/smektyt.
- Grunt Łązek Ordynacki jest rdzawo-oliwkowym iłem kaolinitowo-smektytowo-illitowym o grubo krystalicznym pokroju cząstek ilastych.

Tabela 2. Wynik badań DTA



Na podstawie wyników analizy termicznej (Tabela 2) gruntów i wydzielonej frakcji ilastej ustalono półilościowy skład minerałów ilastych oraz aktywnych wodorotlenków żelaza i węglanu wapnia (Tabela 3). Wszystkie analizowane grunty nie zawierają istotnych ilości (mierzalnych w reakcjach analizy termicznej) substancji organicznej.

II Bychawa i Łązek Ordynacki charakteryzują się zbliżonym zestawem minerałów ilastych. Miarą zestawu minerałów ilastych jest stosunek mało aktywnego kaolinitu K do pęczniejących, aktywnych illitów J, smektytów S i struktur mieszanych illit/smektyt J-S. Udział sumy minerałów ilastych jest zdecydowanie wyższy w ile Bychawa (Tabela 3). II Bychawa jest bezwęglanowy i z wysoką zawartością aktywnych form żelaza. II Łązek Ordynacki zawiera mniej aktywnych form żelaza oraz jest wyraźnie węglanowy (10% CaCO₃).

Tabela 3. Półilościowe wyniki badań mineralogicznych

Rodzaj gruntu	Minerały ilaste [%]	K/J+J-S	FeOOH [%]	CaCO ₃ [%]
Bychawa	90	0,11	8	-
Gawłówka	50	0,66	-	-
Markowicze	50	0,25	-	10
Łązek Ordynacki	60	0,11	5	10

Glina Gawłówka zawiera ok. 50 % minerałów ilastych z dominującym kaolinitem. Znaczna część minerałów ilastych występuje w formie ziarnistych (powyżej 2μ) agregatów w formie przerostów illitu i smektytu, tworzących glaukonit. Jest to glina bezwęglanowa. Glina pylasta Markowicze jest gliną bezwęglanową, bez aktywnych form żelaza, o średniej proporcji mało aktywnego kaolinu do pęczniejącego illitu i smektytu. Mineralnie wszystkie te grunty spełniają wymogi stawiane materiałom do wykonywania przesłon hydroizalacyjnych [1, 2]. Zawierają powyżej 35% minerałów ilastych, są pozbawione substancji organicznej i są bezwęglanowe lub zawierają do 10% węglanów.

3. Właściwości wodoprzepuszczalności i aktywności powierzchniowej

Wyniki wodoprzepuszczalności przy użyciu sondy BAT oraz wyniki powierzchni rozwiniętej analizowanych gruntów zestawiono w tabeli (Tabela 4).

Tabela 4. Wyniki badań wodoprzepuszczalności i powierzchni rozwiniętej

Rodzaj gruntu	Współczynnik filtracji [m/s]	Powierzchnia rozwinięta BET [m ² /g]
Bychawa	$2,41 \times 10^{-9}$	48,08
Gawłówka	$4,73 \times 10^{-10}$	25,38
Markowicze	$1,00 \times 10^{-10}$	17,72
Łązek Ordynacki	$1,37 \times 10^{-10}$	34,31

Jedynie wartość współczynnika filtracji iltu Bychawa nieistotnie przewyższa preferowany dla materiałów hydroizalacyjnych, który określa się na poziomie 1×10^{-9} m/s. Z rodzaju petrograficznego, składu minerałów ilastych i określonej powierzchni właściwej należałoby spodziewać się wyniku zdecydowanie niższego. Brak wyraźnej korelacji wodoprzepuszczalności z rodzajem petrograficznym, składem mineralnym i powierzchnią rozwiniętą jest efektem wpływu mikroporowatości i szczelinowatości w wystąpieniu złożowym. W warunkach technicznego formowania przesłon w ramach zagęszczania lub półpłynnego formowania, korelacja ta powinna wykazywać związek z zawartością sumy minerałów ilastych, zawartością silnie pęczniejących minerałów ilastych i wielkością powierzchni rozwiniętej.

4. Badania wybranych właściwości fizycznych i mechanicznych

Najistotniejszymi parametrami określającymi użyteczność technologiczną gruntów spoistych do wykonywania przesłon hydroizalacyjnych są granice konsystencji. Parametry te są transpozycją petrografii, mineralogii oraz wilgotności naturalnej i konsolidacji tych materiałów.

Tabela 5. Wartości parametrów konsystencji

Rodzaj gruntu	Wilgotność naturalna w_n [%]	Granica płynności w_L [%]	Granica plastyczności w_p [%]	Wskaźnik plastyczności I_p [%]	Stopień plastyczności I_L [%]
Bychawa	25	52,12	24,64	27,48	0,013
Gawłówka	15	27,22	14,94	12,28	0,005
Markowicze	14	50,90	27,22	23,68	-0,558
Łązek Ordynacki	24	58,80	24,56	34,24	-0,016

Wyznaczone wartości wskaźnika plastyczności I_p oraz granice płynności w_L określają przydatność technologiczną analizowanych gruntów mineralnych do formowania przesłon hydroizolacyjnych [1, 2]. Il Bychawa i glinę Markowicze można uznać jako bardzo przydatne, a il Łązek Ordynacki, jako grunt przydatny. Glinę Gawłówka, z uwagi na niski wskaźnik plastyczności należy traktować jako nieprzydatną lub wymagającą modyfikacji przed jej użyciem.

Do charakterystyki przydatności geotechnicznej określono edometrycznie moduły ścisłości pierwotnej M_0 i wtórnej M oraz w aparacie bezpośredniego ścinania kąt tarcia wewnętrznego i spójności. Wyniki zestawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Parametry mechaniczne wybranych gruntów

Rodzaj gruntu	Moduł ścisłości pierwotnej M_0 [kPa]	Moduł ścisłości wtórnej M [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego Φ [°]	Spójność C_u [kPa]
Bychawa	4803	8824	8	61
Gawłówka	3500	16628	23	28
Markowicze	27000	79000	24	41
Łązek Ordynacki	5300	12400	8	41

Wszystkie analizowane grunty spełniają kryterium odkształcalności [2], mierzone modułem ścisłości, który wynosi ponad 5 MPa. W stanie naturalnym grunty Bychawa i Gawłówka charakteryzują się niskimi modułami, co świadczy o ich niskiej konsolidacji (parametr istotny przy charakterystyce podłoża, a mniej do oceny tworzonych warstw hydroizolacyjnych). Kryterium wytrzymałościowe spełniają il Bychawa i Łązek Ordynacki oraz glina Markowicze. Gлина Gawłówka przy bardzo wysokim kącie tarcia wewnętrznego charakteryzuje się zbyt małą spójnością, co jest wynikiem mniejszej zawartości minerałów ilastych, a przede wszystkim dużego udziału kaolinitu w stosunku do illitu i smektytu.

5. Analiza i wnioski

Badaniom poddano grunty spoiste Lubelszczyzny dotychczas nie rozpatrywane jako materiały hydroizolacyjne. Petrograficznie i mineralnie wszystkie analizowane grunty spełniają oczekiwania stawiane gruntom nieprzepuszczalnym. Potwierdzają to badania wodoprzepuszczalności sondą BAT. Uzyskany wynik współczynnika filtracji dla ilu Bychawa nie znajduje uzasadnienia w składzie minerałów ilastych i ich strukturze oraz powierzchni rozwiniętej. Jest to zapewne efekt występowania w złożu makroporowatości, co nie będzie mieć wpływu na uzyskiwania odpowiednich parametrów filtracyjnych warstw mechanicznie zagęszczanych lub formowanych przez upłynnienie tego wybitnie plastycznego gruntu. Zróżnicowanie przydatności do celów hydroizolacyjnych analizowanych gruntów wynika głównie z ich składu mineralnego oraz właściwości mechanicznych i reologicznych (granice konsystencji). Wszystkie analizowane grunty są pozbawione części organicznych, a więc o ich długotrwałej stabilności mechanicznej i ekologicznej decydować będzie głównie węglan wapnia, który stwierdzony w glinie Markowicze i ile Łązek Ordynacki nie stanowi jednak bariery stosowalności. Poza gliną Gawłówka, wszystkie analizowane grunty spełniają podstawowe kryteria stosowania do wykonywania mineralnych przesłon hydroizolacyjnych. Jednak z uwagi na szczególne właściwości glaukonitu zawartego w glinie Gawłówka [8] na tym etapie badań nie można wykluczać możliwości wykorzystania tego gruntu do tych zastosowań. Rozważyć należy możliwość wykonywania barier kompozytowych, łączących i uzupełniających kryteria przydatności mechanicznej i fizyko-

chemicznej, decydujących o długotrwałej skuteczności i stabilności parametrów barier hydroizolacyjnych. Można rozważać wykonywanie barier z dwóch rodzajów gruntów w formie warstw lub materiału uzyskiwanego z homogenizacji dwóch rodzajów gruntów.

Podziękowania

Badania finansowane z projektu nr 7550/B/T02/2011/40 „Analiza przydatności surowców ilastych Lubelszczyzny do budowy mineralnych przesłon izolacyjnych składowisk odpadów”.

Literatura

- 1 Wysokiński L. Zasady budowy składowisk odpadów. ITB, Instrukcje, Wytyczne, Poradniki nr 444/2009.
- 2 Zasady oceny przydatności gruntów spoistych Polski do budowy mineralnych barier izolacyjnych. Pod red. L. Wysokińskiego (praca zespołowa). ITB, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2007.
- 3 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. 2003 nr 61, poz. 549.
- 4 PKN-CEN ISO/TS 17892-1:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 1-Oznaczenie wilgotności.
- 5 PKN-CEN ISO/TS 17892-12:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część-Oznaczenie granic Atterberga.
- 6 PKN-CEN ISO/TS 17892-10:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 10 –Badanie w aparacie bezpośredniego ścinania.
- 7 PKN-CEN ISO/TS 17892-5:2009 – Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 5–Badanie edometryczne gruntów.
- 8 Gazda L., Franus M., Franus W., Krzowski Z. Wstępna ocena możliwości zastosowania osadów glaukonitowych Lubelszczyzny w inżynierii środowiska. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 2002.

Physicochemical and mechanical properties of selected cohesive soils of Lublin region used in waterproofing applications

Lucjan Gazda¹, Małgorzata Franus²

^{1,2}*Department of Geotechnics, Faculty of Civil Engineering and Architecture, Lublin University of Technology, e-mail: ¹l.gazda@pollub.pl, ²m.franus@pollub.pl*

Abstract: In this paper preliminary characteristics of selected cohesive soils of Lublin region that can be used in waterproofing applications in geotechnics and constructions is presented. The investigations and analysis were made according to the applicability criteria of materials used as mineral waterproofing barriers which have been elaborated in the last years in Institute of Building Techniques. On the basis of petrographical, mineral, filtering, structural and mechanical properties, the usability of slits from Bychawa and Łązek Ordynacki and powdery clay from Markowicze was confirmed, whereas glauconitic clay from Gawłówka did not meet all the criteria. The study has shown that a great number

of parameters that determine the usability criteria, are resulting from petrography and mineralogy of the soils. A perfect suitable soil for that purpose has not been found, but a complementation of parameters in particular types of soils has been detected. This result gives a possibility to obtain composite materials (multilayered and homogenized).

Keywords: waterproofing applications, cohesive soils, clay minerals