

Ocena właściwości izolacyjnych iłów beidellitowych z KWB „Bełchatów” metodą badań konsolidacji

Sebastian Kowalczyk*



Evaluation of beidellite clay insulation properties from brown coal mine “Bełchatów” by using consolidation tests. *Prz. Geol.*, 53: 776–780.

Summary. Beidellite clay from brown coal mine “Bełchatów” is a potential material for use in insulation geo-barriers. The characteristic feature of this type of soils is its significant variability, which requires testing of permeability parameters before application as an insulation geo-layer. Coefficient of permeability of cohesive soils can be effectively define on the basis of consolidation tests, which are carried out at a constant rate of loading (CL) with a simultaneous measurement of a pore water pressure. Obtained results allow specifying permeability changes related to decreasing soil porosity. Permeability analysis of green clay samples, which were taken in the area of Kleszczow Trough, is presented in this paper. Tests were carried out on natural structured samples (NNS) and prepared soil pastes. Impact of structural factors and soil saturation on obtained permeability coefficient profiles is shown and discussed in this paper on the basis of obtained consolidation test results.

Key words: coefficient of permeability, permeability, consolidation, beidellite clay

W ostatnich latach notuje się wzrost zainteresowania właściwościami gruntów rozpatrywanych jako potencjalny materiał do tworzenia nieprzepuszczalnych przesłon i barier izolacyjnych. Pod tym kątem były również analizowane zróżnicowane litologicznie i genetycznie grunty występujące w nadkładzie złoża węgla brunatnego w kopalni KWB Bełchatów. Od początku lat 90. na terenie kopalni prowadzone jest selektywne składowanie nadkładu. W ten sposób powstają składowiska, które traktować można jako złoża wtórne gromadzące wyselekcjonowane surowce mineralne. Ich właściwości są jednak makroskopowo odmienne w stosunku do występujących *in situ*; zanim grunt znajdzie się na zwałowisku musi bowiem przejść przez system KTZ (koparka–taśmociąg–zwałowarka), podczas którego zmieniają się jego niektóre cechy istotne z punktu widzenia oceny cech izolacyjnych (Wróblewski, 1984; Majer, 2002).

Według instrukcji ITB nr 337 dotyczącej projektowania przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych materiały do przesłon mineralnych powinny mieć małą przepuszczalność rzędu 10^{-9} m/s. Stosowane na izolacje mineralne materiały muszą mieć wysoki stopień plastyczności. Na przesłony filtracyjne nadają się grunty wykazujące co najmniej następujące właściwości fizyczne:

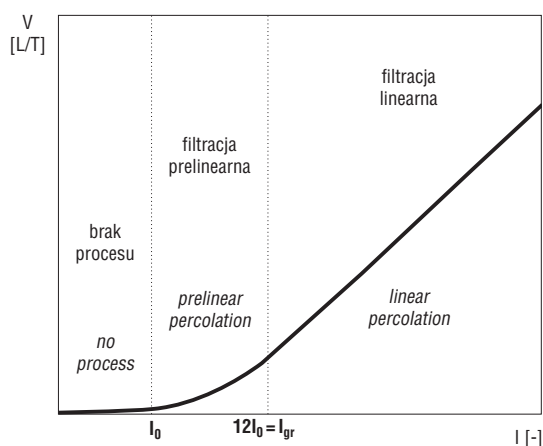
- zawartość cząstek ilastych nie mniejsza niż 20%,
- brak frakcji grubszych, 60% materiału powinno być drobniejsze od frakcji piaszczewej,
- wskaźnik plastyczności 20%,
- granica płynności 30%,
- zawartość węgla wapnia do 10%,
- zawartość substancji organicznej do 2%.

Jednak głównym zadaniem stawianym przed materiałem, który potencjalnie ma być użyty do budowy przesłon mineralnych jest niska wartość współczynnika filtracji. Ona jest podstawowym czynnikiem determinującym izolacyjność ośrodka.

W niniejszym artykule przeanalizowane zostaną metodyczne uwarunkowania oceny właściwości izolacyjnych iłów na podstawie interpretacji badań konsolidacyjnych.

Materiał badawczy

Jako materiał do badań właściwości izolacyjnych wybrano zielone iły beidellitowe z Rowu Kleszczowa. Są to osady neogenu serii poznańskiej, zaliczane według podziału stosowanego w KWB „Bełchatów” do tzw. kompleksu ilasto-piaszczystego. Występują one w warstwach o znacznie zróżnicowanej miąższości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Zarówno strop, jak i spąg kompleksu charakteryzuje się urozmaiconym reliefem o dużych deniwelacjach. Budowa kompleksu jest zdecydowanie dwudzielna. Jednostka dolna (A) jest zbudowana z osadów piaszczystych zawierających soczewy iłów. Na niej zalega przekraczając jednostka górna (B) tworząca ciągle horyzont składający się z siedmiu zespołów osadowych (Wilczyński, 1992) różnych litologicznie i wykazujących ciągle przejścia facjalne. Iły w obrębie tego kompleksu mają charakterystyczne zabarwienie w odcieniach od szarzielonego po zielononiebieski. Według wyników badań Wyrwickiego (1993, 1996) oraz dokumentacji geologicznych i informacji służb geologicznych kopalni, podstawowym minerałem ilastym budującym iły zielone, występujące w Rowie Kleszczowa, jest beidellit. Czynnikiem istotnym dla właściwości izolacyjnych jest także marginalna zawartość węgla wapnia, z wyjątkiem jednego zespołu litologicznego, w którym CaCO_3 tworzy białe



Ryc. 1. Schemat faz filtracji w gruntach spoiwystych
Fig. 1. Phases of permeability in cohesive soils — diagram

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; s.kowalczyk@uw.edu.pl

skupienia wielkości od kilku milimetrów do kilku centymetrów (B_3).

Materiał do badań został pobrany ze ścian wykopu eksploatacyjnego z głęb. 104 m p.p.t., jako próbki o nienaruszonej strukturze. Próbki znajdowały się w stanie półzwarłym lub twardoplastycznym. Pod względem litologicznym utwory te zalicza się do iłów.

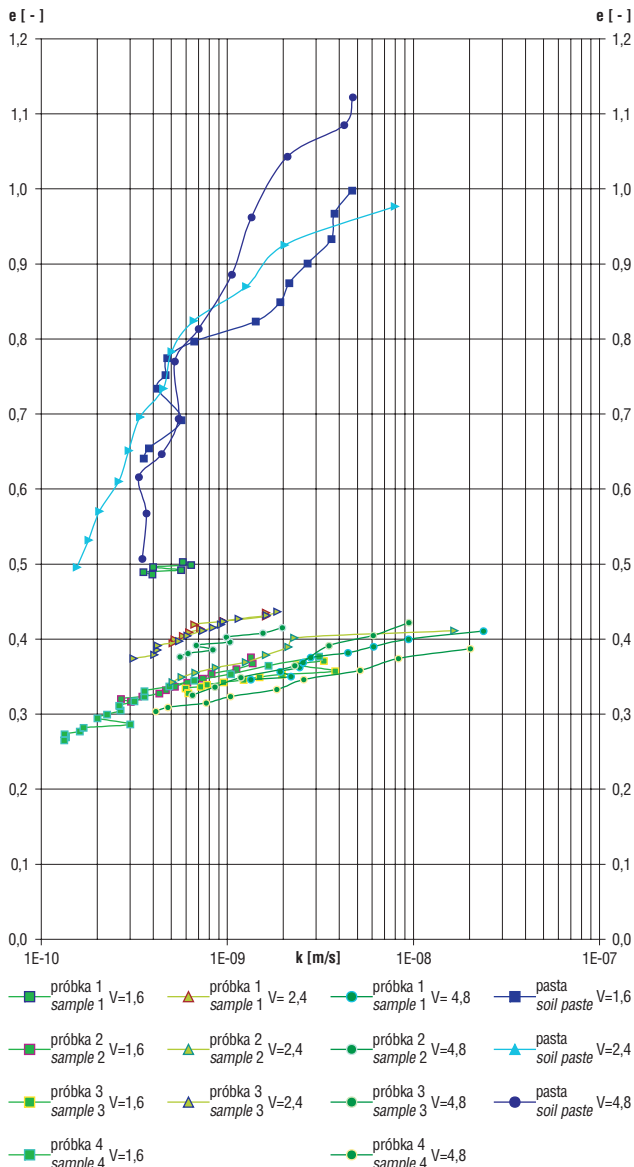
Uwarunkowanie przepuszczalności w gruntach spoistych

Przepuszczalnością ośrodka gruntowego nazywamy zdolność przepływu wody w stanie pełnego nasycenia. Jest ona przede wszystkim zależna od uziarnienia, porowatości, struktury i tekstury, wilgotności, składu mineralnego — w szczególności minerałów pęczniejących. Proces pęcznienia zaburza przebieg filtracji. Zdolność niektórych minerałów ilastych do zwiększenia wymiarów cząstek na skutek ich kontaktu z wodą powoduje zmianę wielkości porów, a

tym samym przekroju przestrzeni porowej, w której odbywa się przepływ.

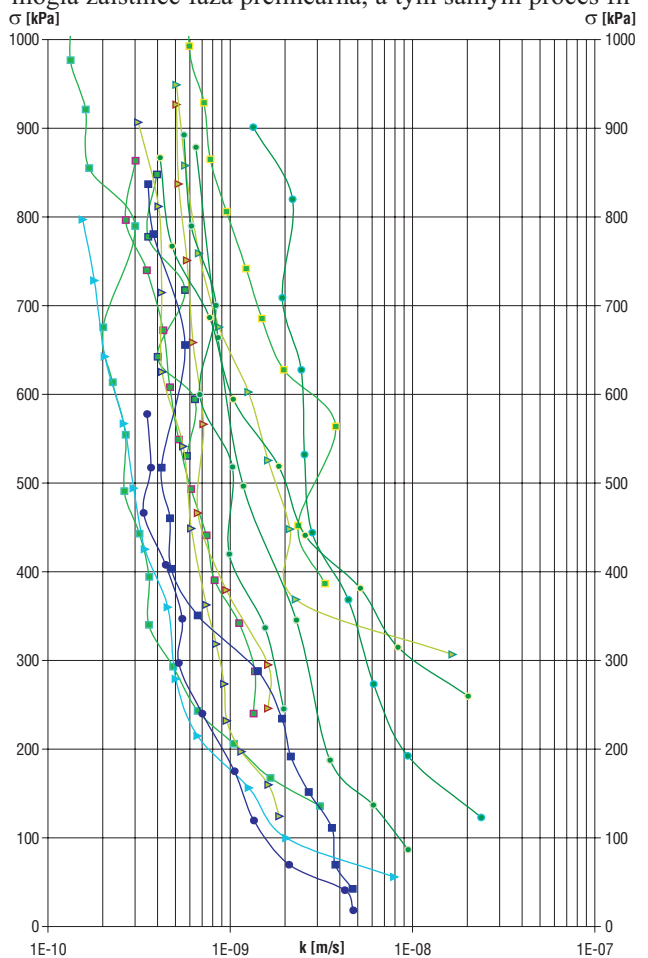
Powszechnie przyjmowaną miarą przepuszczalności jest współczynnik filtracji k . Do jej badania w gruntach o współczynniku filtracji niższym niż 10^{-5} m/s stosuje się metody o zmiennym spadku hydraulicznym lub wykorzystuje się pośrednie zależności wynikające z teorii konsolidacji. W badaniach konsolidacyjnych prowadzonych z ciągłym przyrostem obciążenia jest wzbudzone ciśnienie porowe, które kształtuje spadek hydrauliczny w próbce. Wielkość gradientu hydraulicznego kształtuje uruchamianie przepływu — początkowo w porach większych a następnie, wraz ze wzrostem gradientu ciśnienia, proces filtracji odbywa się także mikroporami (przestrzenią porową o średnicach od 0,1 do 10 mm). Pory o przekroju mniejszym od 0,1 mm — ultrapory nie biorą udziału w przepływie wody gdyż są całkowicie wypełnione przez wodę związaną. Oprócz uwzględniania tych fizykalnych uwarunkowań, badania filtracji powinny być programowane w nawiązaniu do obciążenia jakiego będzie poddany grunt w warunkach polowych (np. jako bariera izolacyjna na wypełnionym odpadami składowisku).

W analizach teoretycznych zakładamy najczęściej, że próbka jest w pełni nasycona i przez cały czas badania zachowuje się zgodnie z liniowym prawem filtracji Darcy. W gruntach spoistych to założenie nie jest do końca prawdziwe. Proces filtracji ma bardziej złożony przebieg. Ma on dwie fazy: prelinearną i linearną (ryc. 1). By w ogóle mogła zaistnieć faza prelinearna, a tym samym proces fil-



Ryc. 2 Zmiana współczynnika filtracji na tle zmian wskaźnika porowatości

Fig. 2 Distribution of coefficient of permeability versus void ratio changes



Ryc. 3 Zmiana współczynnika filtracji w funkcji przyrostu naprężenia

Fig. 3 Distribution of coefficient of permeability related to stress increase

tracji, musi zostać przekroczony tzw. początkowy spadek hydrauliczny I_0 . Jego wartości są bardzo zróżnicowane w zależności od stanu i rodzaju gruntu. Skrajnie I_0 może przekraczać 10, ale w gruntach nie skonsolidowanych i pastach wykazuje zazwyczaj znikomo małe wartości między 0 a 0,1 (Ossowski, 1985). Przyjmuje się że faza preliniarna wiąże się z przedziałem spadków hydraulicznych I_0 do 12 I_0 , a zależność pomiędzy prędkością filtracji i spadkiem hydraulicznym jest wtedy krzywoliniowa. Proces filtracji w tej fazie ma ścisły związek ze stanem nasycenia i zjawiskami fizyczno-chemicznymi zachodzącymi na kontakcie fazy stałej i ciekłej. Im niższy jest stopień nasycenia tym wyższe wartości przyjmuje I_0 . W fazie linearnej filtracja odbywa się zgodnie z prawem Darcy'ego.

Określanie współczynnika filtracji w badaniach konsolidacyjnych

Badania konsolidacyjne są pośrednią metodą określania współczynnika filtracji k . Jest on zależny od współczynnika konsolidacji c_v oraz od modułu ścisłości gruntu M_0 . Konsolidacja charakteryzuje proces równoczesnego zmniejszania zawartości wody oraz objętości porów i dlatego jej przebieg jest uwarunkowany przepuszczalnością gruntu.

Dla wyznaczenia współczynnika konsolidacji niezbędne jest wzbudzenie i utrzymanie ciśnienia porowego w próbce. Wartość tego ciśnienia jest zależna od wilgotności gruntu, prędkości obciążenia oraz zmian porowatości wynikających z postępującego w trakcie badania odkształcenia pionowego próbki. Te odkształcenia odzwierciedlone są w formule obliczania wartości c_v [1] poprzez uwzględnienie zmian długości drogi drenażu H . Jednak wpływ H na otrzymane wartości c_v jest niewielki i maleje w trakcie badania w porównaniu z ciśnieniem porowym, które odgrywa dominującą rolę w kształtowaniu całego procesu.

Zaletą testu konsolidometrycznego jest stosunkowo krótki czas prowadzenia badania, które można przeprowadzić w kilka godzin. Niewątpliwym ograniczeniem tej metody badawczej jest fakt, że w celu wyznaczenia parametrów (c_v , k) konieczny jest wiarygodny pomiar ciśnienia wody w porach gruntu. Trzeba zadbać, aby układ pomiarowy nie był zapowietrzony i był szczelny. Aby otrzymane wyniki były miarodajne — stopień nasycenia próbki wodą powinien być bliski jedności.

Metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone na próbkach iltu zielonego o nienaruszonej strukturze NNS oraz na paście wykonanej z tego gruntu. Skład granulometryczny ustalono na drodze analizy sedymentacyjnej (areometrycznej) zgodnie z normą PN-81/B-04481. Zgodnie z tą normą wykonano badania właściwości cech fizycznych. Gęstość właściwą określono metodą piknometru, gęstość objętościową metodą pierścienia tnącego, a granicę płynności metodą Casagrande'a. Badania konsolidacji wykonano w konsolidometrze niskociśnieniowym. Przyrost obciążenia aplikowano poprzez zespół napędzający aparatu trójosiowego ściskania wykorzystując jego standardowe prędkości: 1,6; 2,4; 4,8 mm/h. Zastosowanie systemu obciążenia tego aparatu nie pozwala na uzyskanie w pełni stałej prędkości przyrostu naprężenia lub odkształcenia, lecz wielkości te są wzajemnie ze sobą powiązane i uzależnione od rodzaju odkształcalności badanego gruntu. Współczynnik konsoli-

dacji a następnie filtracji zostały określone na podstawie poniższych formuł [1], [2].

$$c_v = \frac{\Delta\sigma \cdot H^2}{2\Delta \cdot u} \quad [1]$$

$$k = \frac{c_v \cdot \gamma_w}{M_0} \quad [2]$$

gdzie:

c_v — współczynnik konsolidacji [m^2/s],

$\Delta\sigma$ — przyrost naprężenia [kPa],

H — wysokość próbki [m],

u — ciśnienie porowe [kPa],

Δt — przyrost czasu [s],

k — współczynnik filtracji [m/s]

ρ_w — ciężar właściwy wody [kN/m^3],

M_0 — moduł ścisłości pierwotnej [kPa].

Pastę gruntową przygotowano na podstawie zmodyfikowanej metody Vu Cao Mincha. Wykonano ją w następujący sposób:

- 1) grunt przeznaczony do badań suszy się do stanu powietrznosuchego,
- 2) tak przygotowana próbkę rozciera się w wodzie destylowanej,
- 3) otrzymaną zawiesinę zlewa się do naczynia przez sito o wymiarach oczek 0,075 mm,
- 4) następnie gotuje się ją przez 2 godziny,
- 5) grunt, który został na sicie o wielkości oczek 0,075 mm ponownie doprowadzono do stanu powietrznosuchego. Taką pozostałość przesiano przez sito o wymiarze oczek 0,25 mm (wg analizy areometrycznej 98–99% ziaren tej próbki ma mniejszą średnicę niż 0,25 mm). Do przesianej próbki nalano wody destylowanej i gotowano w celu usunięcia powietrza,
- 6) łączy się ze sobą obie zawiesiny i pozostawia się w spokoju na 7 dni (całkowita sedymentacja zawiesiny) a następnie dekantuje się wodę z nad osadu,
- 7) osad w stanie płynnym miesza się i wlewa do pierścieni,
- 8) osad w pierścieniach przykryto bibułą filtracyjną i poddano wstępnej konsolidacji. Obciążenie zwiększano skokowo aż osiągnięto wartość 10 kG przypadające na powierzchnię pierścienia co daje naprężenie 20 kPa. Przez cały czas dociążania gruntu pasta znajdująca się w pierścieniu była pod wodą.

Analiza wyników badań

Właściwości izolacyjne iltów rozpatrywane muszą być na tle ich charakterystyki mineralogicznej i cech fizycznych.

Skład mineralny iltów zielonych został dobrze rozpoznany (Wyrwicki, 1993, 1995; Ratajczak i in., 1992; Wysokiński, 1995; Krzynówek, 2001; Majer, 2002). Dominującymi składnikami skałotwórczymi są minerały ilaste i kwarc. W obrębie minerałów ilastych dominuje beidellit wapniowy nad kaolinitem. Inne minerały ilaste występują zaledwie w śladowej ilości lub ich brak. Sporadycznie występują: mika, skaleń, kalcyt. Iły zielone są osadem bardzo ubogim w związki żelaza. Substancja organiczna występuje w śladowych ilościach lub nie stwierdza się jej występowania. Ze względu na dużą zawartość beidellitu oraz niewielką wilgotność naturalną grunty te charakteryzują się stosunkowo dużym pęcznieniem.

Wyniki badań parametrów fizycznych analizowanych iłów zielonych przedstawiono na tle badań archiwalnych. Umożliwia to lepszą prezentację przestrzennej różnorodności analizowanej serii. Duża zmienność składu granulometrycznego (frakcja piaszkowa 2–45%, frakcja pyłowa 10–57%, frakcja iłowa 21–77%) determinuje zróżnicowanie podstawowych cech fizycznych (tab. 1). W stosowanych w Polsce tradycyjnych podziałach normowych (PN-86/B-02480) grunty te zalicza się do bardzo spoistych rzadko zwięzła spoistych i w warunkach naturalnych występują w stanie półzwardym lub twaroplastycznym.

W tej sytuacji początkowe wartości stopnia nasycenia próbek pobranych ze ścian kopalni wahały się między 0,73 a 0,90. Natomiast technika przygotowywania past umożliwia uzyskiwanie stopnia nasycenia zbliżonego do wartości 1 (tab. 2). W toku wzrastającego obciążenia w gruncie nie w pełni nasyconym następuje zmniejszenie wielkości porów oraz wzrost udziału wody w przestrzeni porowej. Zmiany S_r w toku badania można szacować na podstawie analizy przebiegu konsolidacji (Dobak, 1999). Współczynnik filtracji wyznaczano, gdy wartości stopnia nasycenia S_r były zbliżone do jedności czyli, gdy przestrzeń porowa została wypełniona wodą na skutek zmniejszania się porowatości gruntu w trakcie badania.

Z zestawionych danych widać, że w miarę przyrostu naprężenia w konsolidowanym ośrodku pogarsza się jego przepuszczalność. Wynika to ze zmniejszającej się porowatości i narastającej nadwyżki ciśnienia porowego. Rozrzut wartości współczynnika filtracji wyznaczanych przy różnych prędkościach przyrostu obciążenia jest w pastach znacząco mniejszy, aniżeli w gruntach o naturalnej strukturze. Sytuację tę można stwierdzić, gdy rozpatrujemy zmiany współczynnika filtracji zarówno w funkcji wskaźnika porowatości (ryc. 2)

jak i naprężenia (ryc. 3). W pastach uzyskujemy bardziej zbliżone do siebie wartości współczynnika filtracji.

Prędkość przyrostu obciążenia z jaką było prowadzone badanie powinna dawać odzwierciedlenie w uzyskiwanych wartościach ciśnienia porowego. Teoretycznie powstające w konsolidacji CL (CL — *continuous loading*) ciśnienie porowe (u) jest proporcjonalne do prędkości z jaką jest prowadzone badanie. Czyli, im większy jest przyrost obciążenia, tym wyższe wartości u powinniśmy otrzymywać. Dla badanych próbek NNS nie widać jednak determinującego wpływu prędkości na ich zachowanie (tab. 3). Przeciwnie jest z pastami gdzie wyraźnie jest widoczny wzrost wartości ciśnienia wody i ściśliwości od warunków badania. Pasty reagują na różne prędkości obciążenia w sposób bardziej zbliżony do rozwiązań teoretycznych niż grunty naturalne. Jest to związane z ich homogenizacją oraz nasyceniem.

Wnioski

1. Metoda konsolidacji CL (CL — *continuous loading*) jest szybkim i wrażliwym narzędziem oceny zmienności współczynnika filtracji. Pozwala ocenić wpływ stanu fazowego gruntu (porowatość, stopień nasycenia) na kształtowanie się przepuszczalności w gruntach o nienaruszonej strukturze oraz w pastach.

2. Podstawowym czynnikiem charakteryzującym właściwości filtracyjne są zmiany ciśnienia porowego w toku konsolidacji CL.

3. Na uzyskiwane podczas badania wartości ciśnienia porowego największy wpływ ma ich struktura (próbki NNS), a w przypadku pasty gruntowej — przyrost prędkości obciążenia.

Tab. 1. Zestawienie cech fizycznych
Table 1. Register of physical parameters

Źródło Source	Gęst. wł. szkieletu gruntu. Density of solid particles ρ_s [g/cm ³]	Gęst. obj. gruntu Density of soil ρ_s [g/cm ³]	Gęst. obj. szkieletu gruntu. Density of dry soil ρ_s [g/cm ³]	Wilg. natur. Natural moisture content w_n [%]	Granica skurczalności Shrinkage limit w_s [%]	Granica plastyczności Plasticity limit w_p [%]	Granica płynności Liquidity limit W_L [%] Casagrande'a	Stopień plastyczności Liquidity index I_L [-]	Wskaźnik plastyczności Plasticity index I_p [%]	Stan Consistency	Porowatość Porosity n [-]	Wskaźnik porowatości Void ratio e [-]
Mayer, 2002	2,60–2,68	2,05–2,19	1,65–1,85			21,2–23,3	59,9–71,2		38,4–47,9			0,40–0,58
Wysokiński, 1995	2,72–2,80	–	–	41,3 32,6 53,0	–	21,1–44,4	55,6–99,3			pzw/tp1	0,3–0,47	
Krzymówek, 2001	2,77 2,73–2,81	1,92–2,02	1,63 1,46–1,71		8,5–15,4	20,9–25,9	65,8–77,4	(-0,25) 90,15)	44,0–51,8	pzw/tp1	0,38–0,46	0,57–0,85
Wróblewski, 1984	2,67	2,06 2,04–2,10	1,71	20,2 18,3–21,8	20	34,5	70,5	-0,4	36	pzw	0,36	0,56
Badania wł. own	2,67–2,70	2,01–2,14	1,71–1,89	12,3–17,2	–	17,7	51,6	-0,03	33,9	pzw/tp1		

Tab. 2. Porównanie uzyskanych parametrów dla próbek NNS i past
Table 2. Comparison of selected parameters for undisturbed sample (NNS) and prepared soil paste

Rodzaj badanej próbki Kind of sample	Pocz. wskaźnik porowatości Initial void ratio e_0 [-]	Zmiana wskaź. porowatości Change of void ratio [%]	Wilgotność początkowa Initial moisture content w_0 [%]	Początkowy stopień nasycenia Initial degree of saturation S_{r0} [-]	Współczynnik filtracji Coefficient of permeability k [m/s]
NNS Undisturbed sample	0,42–0,57	15–43	12,3–17,2	0,73–0,90	$2,4 \times 10^{-8}$ $1,3 \times 10^{-10}$
Pasta Soil paste	1,10–1,16	42–59	43,9–47,1	≈ 1	$1,2 \times 10^{-8}$ $1,5 \times 10^{-10}$

Tab. 3. Zestawienie uzyskanych wartości ciśnienia porowego i wskaźnika porowatości dla różnych prędkości obciążenia. Test prowadzony dla s 0–650 kPaTable 3. Register of pore water pressure and void ratio by different rate of loading. Comparison by s 0–650 kPa

Rodzaj j próbki <i>kind of sample</i>	Prędkość badania <i>test rate</i>	Maks. ciś. porowe <i>Max. pore pressure</i> u_{max} [kPa]	Maks. wskaź. porowatości <i>Max. void ratio</i> e_{max} [-]	Min. wskaź. porowatości <i>Min. void ratio</i> e_{min} [-]	Zmienność change of void ratio e [%]
NNS undisturbed sample	1,6	5–39	0,42–0,57	0,29–0,50	13–37
	2,4	13–24	0,4800,50	0,36–0,41	19–25
	4,8	9–34	0,45–0,49	0,32–0,39	15–36
Pasta <i>Soil paste</i>	1,6	57	1,10	0,69	37
	2,4	105	1,11	0,57	49
	4,8	127	1,16	0,47	60

4. Zależność pomiędzy współczynnikiem filtracji a wskaźnikiem porowatości ma charakter quasi-logarytmiczny. Miarą tej zależności jest stosunek $\Delta e/\Delta \log k$. Nachylenie krzywej odzwierciedla m.in. stopień skonsolidowania gruntu oraz wynikający stąd wpływ struktury na zmiany przepuszczalności.

5. Wartości współczynnika filtracji dla próbek naturalnych są zawyżone z uwagi na niepełne ich nasycenie i konieczność pokonywania większych oporów filtracji w gruntach skonsolidowanych

6. W badaniach konsolidometrycznych najniższe i miarodajne wartości współczynnika filtracji uzyskuje się przy spełnieniu warunku dwufazowości ośrodka (szkielet/woda), co w gruntach NNS obserwuje się w zaawansowanym etapie badania a w pastach od początku konsolidacji.

7. Zielone ility beidellitowe wykazują bardzo dobre właściwości izolacyjne dla wykonywania z nich przesłon mineralnych (wg kryteriów przyjętych w instrukcji ITB nr 337). Właściwości te zachowywane są także w gruntach o przekształconej strukturze (nasycone, zagęszczane pasty gruntowe).

Literatura

DOBAK P. 1999 — Rola czynnika filtracyjnego w badaniach jednoosiowej konsolidacji gruntów. Wyd. IGSMiE PAN Kraków.
Instrukcja ITB nr 337 — Projektowanie przesłon izolacyjnych na składowiskach odpadów komunalnych. Warszawa 1995.

KRZYŃCZEK M. 2001 — Ocena ekspansywności gruntów spoistych występujących w nadkładzie węgla brunatnego KWB Bełchatów. Arch. Wydz. Geol. UW, nr arch. D323–1/2.

MAJER E. 2002 — Zastosowanie kopalni ilastych z KWB „Bełchatów” jako materiału do rekultywacji. Zagospodarowanie gruntów zdegradowanych, badania, kryteria oceny, rekultywacja. Konf.

Nauk.-Tech., Mrągowo, 6–8 listopada 2002 r. (nośnik elektroniczny).

OSSOWSKI J. 1985 — Współczesne metody pomiaru wodoprzepuszczalności ośrodków spoistych. Mat. III Ogólnopol. Symp. Aktualne problemy hydrogeologii. Kraków–Karniowice: 545–552.

OSSOWSKI J. 1985 — Wodoprzepuszczalność kaolinu. Mat. III Ogólnopol. Symp. Aktualne problemy hydrogeologii. Kraków–Karniowice: 553–559.

Polska Norma Budowlana (PN-88/B-04481). Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.

Polska Norma Budowlana (PN-86/B-02480). Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.

RATAJCZAK T., BAHRANOWSKI K. & OLKIEWICZ S. 1992 — Wstępna ocena właściwości powierzchniowych, jonowymiennych i kwasowych ilów poznańskich z Bełchatowa. Zesz. Nauk. AGH, Geol., 18: 117–128.

WILCZYŃSKI R. 1992 — Dotychczasowe wyniki badań podstawowych serii poznańskiej w świetle geologiczno-inżynierskich problemów prowadzenia robót górniczych w KWB „Bełchatów”.

Pr. Geol.-Miner., 26: 91–108.

WRÓBLEWSKI J. 1984 — Przemienność właściwości ilów nadwęglanych z Bełchatowa w wyniku transportu taśmowego. Sesja nt. Mechanika gruntów zastoiskowych w zastosowaniach inżynierskich. Warszawa, grudzień 1984. Wyd. NOT, Warszawa: 255–270.

WYRWICKI R. 1993 — Potrzeba ochrony beidellitowych ilów w KWB Bełchatów. Prz. Geol., 41: 612–620.

WYRWICKI R. 1995 — Opinia o ilach beidellitowych dla Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów w Rogowcu. Arch. KWB „Bełchatów”.

WYSOKIŃSKI L. 1995 — Ocena przydatności ilów beidellitowych na podstawie badań laboratoryjnych do stosowania na przesłony izolacyjne. Arch. ITB, Warszawa.

VU CAO MINH 1976 — Jednoosiowa konsolidacja gruntów z uwzględnieniem pełzania. Arch. Wydz. Geol. UW, nr arch. D152.