

RAFAŁ GWÓZDŹ*

OZNACZENIE WŁAŚCIWOŚCI FILTRACYJNYCH
GRUNTÓW SPOISTYCH FORMOWANYCH
METODĄ HYDRAULICZNĄ NA PRZYKŁADZIE
OSADÓW JEZIORA ROŻNOWSKIEGOTHE MARKING OF FILTRATION CHARACTERISTICS OF
COHESIVE SOILS FORMATTED USING THE HYDRAULIC
METHOD ON THE EXAMPLE OF ROŻNOWSKIE LAKE

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych gruntów spoistych współcześnie deponowanych w Jeziorze Rożnowskim. W szczególności zwrócono uwagę na właściwości izolacyjne, określane przede wszystkim przez współczynnik filtracji, które mają istotne znaczenie przy formowaniu hydrotechnicznych budowli ziemnych. Próbkę do oznaczenia wybranych właściwości gruntu przygotowano wg metody hydraulicznej (rozmycie gruntu w wodzie, a następnie poddanie procesowi sedymentacji i powolnego osuszenia). W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że współczynnik filtracji dla gruntów uformowanych metodą hydrauliczną wynosi ok. $1,5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Metodę hydrauliczną można uznać za alternatywną podczas wznoszenia hydrotechnicznych budowli ziemnych z gruntów spoistych deponowanych w Jeziorze Rożnowskim.

Słowa kluczowe: grunty nasypowe, współczynnik filtracji, przewodność hydrauliczna, przesłony mineralne

Abstract

The article depicts results of the laboratory research of cohesive soils accumulated in Rożnowskie Lake. The attention was particularly drawn towards its isolation characteristics shown by coefficient of permeability which have a paramount factor in the hydrotechnical formation of the embankment. The samples chosen to reveal the characteristics of the soil were prepared according to hydraulic method. As a result of undertaken research it was concluded that the coefficient of permeability for the soils formatted through hydraulic method is approximately $1.5 \cdot 10^{-8}$ m/s. Therefore, we can consider the hydraulic method as an alternative for the hydrotechnical ground constructions from cohesive soils accumulated in Rożnowskie Lake.

Keywords: embankment soils, coefficient of permeability, hydraulic conductivity, mineral layers

* Dr inż. Rafał Gwóźdź, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

W XX wieku w Polsce wybudowano na rzekach kilkadziesiąt zbiorników wodnych. Było to związane m.in. ze zwiększonym zapotrzebowaniem na wodę pitną, jak również z dynamicznie rozwijającym się przemysłem. Ogółem powstały 43 zapory ziemne i betonowe o wysokości powyżej 15 m oraz wiele mniejszych [3]. W zbiornikach wybudowanych na rzekach górskich występuje zjawisko akumulacji rumowiska niesionego przez wodę zwane również procesem załadowania. Stanowi to duży problem w prawidłowym funkcjonowaniu tych obiektów, ujemnie wpływając na zdolności retencyjne, co w konsekwencji przekłada się na ich długowieczność. Utrudnia to również prowadzenie właściwej gospodarki wodnej, hamuje rozwój turystyki i obniża jakość wód w zbiornikach, gdyż w deponowanych osadach mogą gromadzić się zanieczyszczenia. Analiza stanu załadowania zbiorników retencyjnych w dorzeczu górnej Wisły wykazała, że średnie roczne załadowanie wynosi 0,052–1,359 mln m³/rok [9], natomiast najpoważniej ten problem uwidacznia się w zbiorniku rożnowskim zbudowanym na rzece Dunajec.

Duży zakres i znaczenie załadowania zbiornika rożnowskiego były przyczynkiem do podjęcia badań doświadczalnych mających na celu rozpoznanie i ocenę właściwości osadzonego w cofce materiału gruntowego. Poznanie właściwości geotechnicznych osadu mogłoby mieć w przyszłości wpływ na podjęcie decyzji co do możliwości zagospodarowania tych gruntów przy formowaniu budowli ziemnych. W latach 90. ubiegłego wieku powstała koncepcja rewitalizacji Jeziora Rożnowskiego. Zakładano, że część osadów zdeponowanych w cofce zbiornika można by wykorzystać m.in. do nadbudowy brzegów i budowy niskich zapór przeciwrumowiskowych zlokalizowanych w strefie przedcofkowej. Autor niniejszego artykułu w ramach prowadzonych badań naukowych zwrócił szczególną uwagę na rozpoznanie właściwości osadów i ich wykorzystanie m.in. do wznoszenia hydrotechnicznych budowli ziemnych.

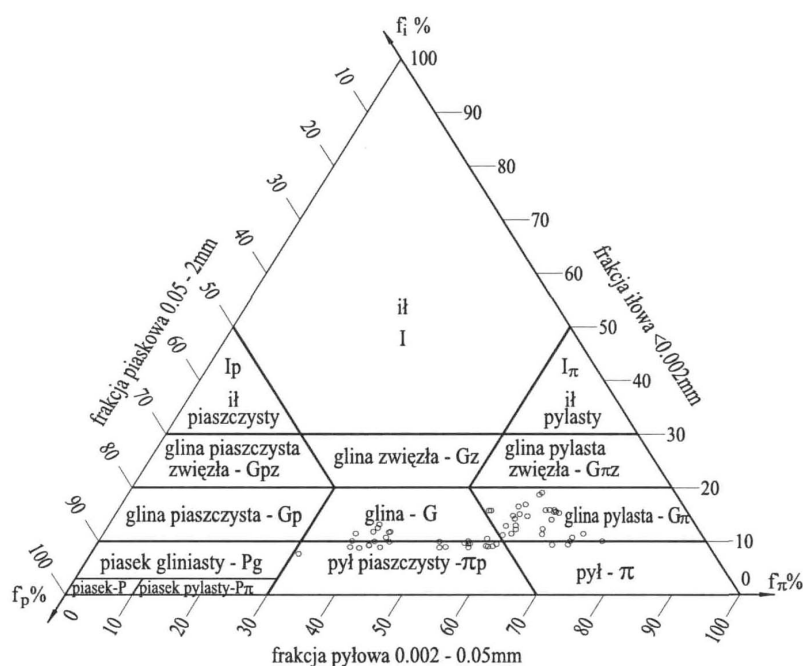
Podczas wznoszenia budowli ziemnych dąży się do tego, by wykorzystać niemal każdy rodzaj materiału gruntowego dostępny na miejscu budowy. W wypadku gruntów, które mają nie najlepsze właściwości, realizuje się różne metody modyfikacji osadu tak, by uzyskać najlepszy materiał do wbudowywania, spełniający parametry założone w projekcie. Często konstrukcję budowli uzależnia się od właściwości materiałów miejscowych. Gdy chodzi o zapory ziemne, do budowy zewnętrznych części nasypu, tzw. części statycznej zapory, można wykorzystać grunty kamieniste, gruboziarniste i drobnoziarniste niespoiste. Grunty spoiste są wbudowywane w rdzenie zapory i mają za zadanie ograniczyć filtrację wody przez korpus. Do końca XIX wieku wszystkie zapory ziemne były wykonywane metodą tradycyjną, czyli grunt wydobyty ze złoża wbudowywano mechanicznie przez sypanie i zagęszczanie kolejnych warstw. W 1904 roku na rzece Snake River wzniesiono pierwszą namywaną zaporę ziemną Idaho o wysokości 25 m [8]. Pozwoliło to na używanie do budowy zapór gruntów drobnoziarnistych pylastych i lessów, wcześniej uważanych za materiał nieprzydatny.

Przy doborze materiału na zapory wznoszone metodą hydrauliczną można korzystać z zaleceń norm amerykańskich lub rosyjskich [8]. Dla zapór jednorodnych najodpowiedniejsze są grunty piaszczysto-pylaste, zawierające nie więcej niż 15% cząstek poniżej 0,01 mm. W wypadku zastosowania tej metody do wznoszenia rdzeni nieprzepuszczalnych w zaporach można używać gruntów o drobniejszym uziarnieniu. Udział frakcji najdrobniejszych, poniżej 0,002 mm, nie powinien przekraczać kilkunastu procent. W wypadku utwo-

rów gliniastych metoda hydrauliczna może być jednak uciążliwa do stosowania ze względu na niski współczynnik filtracji. Przy formowaniu nasypów tą metodą namyty grunt stanowi wewnętrzne wypełnienie budowli, natomiast zewnętrzne elementy konstrukcyjne są formowane z gruntów gruboziarnistych, które mają za zadanie zapewnić stateczność budowli. W wypadku formowania elementów szczelnych zapór ziemnych zaleca się stosowanie gruntów charakteryzujących się współczynnikiem filtracji $k < 10^{-7}$ m/s [8].

2. Opis badań doświadczalnych

W artykule przedstawiono wyniki własnych badań doświadczalnych [4], których celem było odwzorowanie w warunkach laboratoryjnych procesu formowania nasypu metodą hydrauliczną. Następnie oznaczono wybrane właściwości powstałego gruntu, m.in. współczynnik filtracji, gęstość i porowatość. Materiał do badań został pobrany z dna zbiornika różnowskiego w okolicy Tęgoborzy. Wykonano 11 otworów badawczych penetrometrem ręcznym do maksymalnej głębokości ok. 3 m p.p.t. i pobrano materiał gruntowy do badań laboratoryjnych w celu szczegółowego rozpoznania rodzaju zdeponowanych osadów. Stwierdzono, że dominującymi gruntami są pyły, pyły piaszczyste, gliny pylaste i gliny (rys. 1). Występują również cienkie wkładki piasków pylastych i gliniastych oraz glin pylastych zwięzłych przechodzących w il. Średnia procentowa zawartość poszczególnych frakcji gruntowych wyniosła: $f_p = 27\%$, $f_{II} = 60\%$, $f_i = 13\%$.

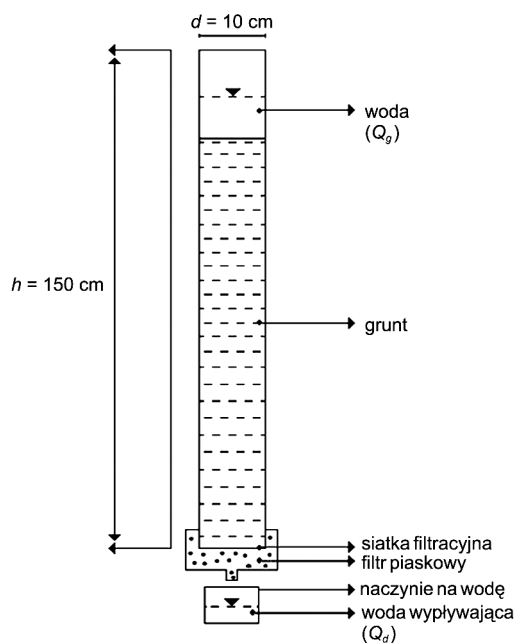


Rys. 1. Trójkąt Fereta dla gruntów spoistych zdeponowanych w cofce Jeziora Rożnowskiego

Fig. 1. Feret Triangle for cohesive soil deposited in Rożnowskie Lake

Według normy europejskiej PN-EN ISO 14 688-1 [1] osady cofkowe zbiornika różnowskiego reprezentowane są przez pyły piaszczysto-ilaste, pyły ilaste i ły piaszczysto-pylaste. Badany grunt charakteryzuje się typowym dla tego rodzaju utworów uwarstwieniem, które uwidacznia się przez zmianę barwy oraz uziarnienie frakcjonalne, związane z cyklami powodziowymi. W składzie mineralnym dominują głównie kwarc i minerały ilaste reprezentowane przez illit i kaolinit oraz śladowe ilości pakietów pęczniących montmorillonitu wapniowego. Występuje również minimalna zawartość części organicznych – ok. 1,0–3,0%, co klasyfikuje zdeponowane osady na granicy gruntów mineralnych i organicznych.

W kolejnym etapie badany grunt dokładnie wymieszano z wodą do całkowitego zniszczenia struktury gruntu, a następnie wleto do dwóch plastikowych rur o średnicy wewnętrznej 100 mm, wysokości 1500 mm i objętości 11 775 cm³ (rys. 2). Rury zostały umieszczone na podstawach wypełnionych piaskiem średnioziarnistym i zabezpieczone od góry pokrywą chroniącą grunt przed nadmiernym parowaniem wody. Przez otwór umieszczony w dnie podstawy woda spływała do naczynia szklanego.



Rys. 2. Schemat kolumny filtracyjnej do przygotowania próbek gruntu metodą hydrauliczną

Fig. 2. Diagram of filtration column for preparation of samples with hydraulic method

Od momentu napełnienia kolumn gruntem obserwowano proces grawitacyjnego odsączania się wody z gruntu. Dokonywano pomiaru, w kolejnych odstępach czasu, objętości wody wypływającej z dna próbki (Q_d) oraz objętości wody, która gromadziła się nad próbką (Q_g) w wyniku zachodzącego procesu osadzania się cząstek gruntu (rys. 2).

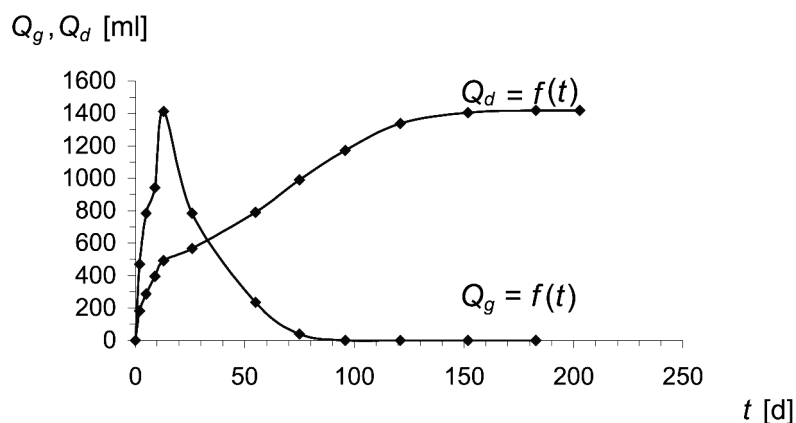
W pierwszym etapie znaczna ilość wody gromadziła się nad próbką, a następnie powoli wnikała w grunt. Jak zauważono, po 26 dobach objętość gruntu zmniejszyła się o ok. 20%

i ustabilizowała do wysokości próbki $h = 1,2$ m. Po ok. 75 dniach woda nad próbką zanikła i następował już tylko powolny odpływ wody przez dno. Proces widocznego wypływu wody z próbki zakończył się po ok. 6 miesiącach. Analiza pomiaru objętości wody wypływającej z próby gruntu w czasie pozwoliła na oszacowanie współczynnika filtracji, przy upraszczającym założeniu, że spadek hydrauliczny jest bliski 1. W momencie ustabilizowania się wysokości gruntu $h = 1,20$ m wartość współczynnika filtracji $k_{10} = 2,34 \cdot 10^{-8} - 1,52 \cdot 10^{-8}$ m/s, a wartość średnia $1,93 \cdot 10^{-8}$ m/s (tab. 1).

Tabela 1

Wyniki badania odsączenia się wody w teście doświadczalnym

| Czas t [d] | Wysokość próbki h [m] | Objętość wody | | Spadek hydrauliczny J | Współczynnik filtracji k [m/s] | Współczynnik filtracji dla $T = 10^\circ\text{C}$ k_{10} [m/s] |
|-----------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|---|
| | | nad próbką Q_g [ml] | pod próbką Q_d [ml] | | | |
| 0,0 | 1,50 | 0,0 | 0 | | | |
| 1,9 | 1,44 | 471,0 | 182 | 1,04 | $1,34 \cdot 10^{-7}$ | $1,06 \cdot 10^{-7}$ |
| 4,9 | 1,40 | 785,0 | 287 | 1,07 | $8,03 \cdot 10^{-8}$ | $6,33 \cdot 10^{-8}$ |
| 9,0 | 1,25 | 942,0 | 396 | 1,1 | $5,92 \cdot 10^{-8}$ | $4,66 \cdot 10^{-8}$ |
| 13,0 | 1,22 | 1413,0 | 491 | 1,15 | $4,85 \cdot 10^{-8}$ | $3,82 \cdot 10^{-8}$ |
| 26,0 | 1,20 | 785,0 | 567 | 1,08 | $2,97 \cdot 10^{-8}$ | $2,34 \cdot 10^{-8}$ |
| 55,0 | 1,20 | 235,5 | 791 | 1,03 | $2,07 \cdot 10^{-8}$ | $1,63 \cdot 10^{-8}$ |
| 75,0 | 1,20 | 39,3 | 989 | 1,00 | $1,94 \cdot 10^{-8}$ | $1,52 \cdot 10^{-8}$ |
| 95,9 | 1,20 | 0 | 1172 | | | |
| 121,0 | 1,20 | 0 | 1338 | | | |
| 151,8 | 1,20 | 0 | 1405 | | | |
| 182,8 | 1,20 | 0 | 1419 | | | |



Rys. 3. Wykres przedstawiający przebieg procesu odsączenia się wody z gruntu w teście nr 1

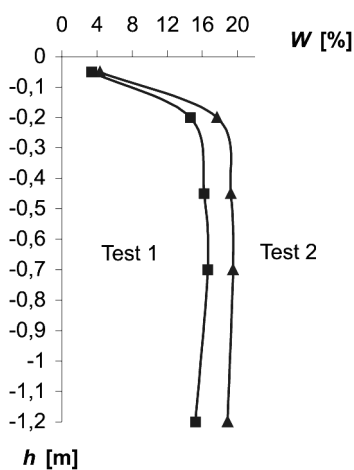
Fig. 3. Graph showing the process of draining water from soil in test nr 1

Po dwóch latach grunt został wyjęty z plastikowych kolumn, wykonano profil wilgotnościowy i oznaczono gęstość objętościową ρ , a następnie obliczono gęstość objętościową szkieletu gruntowego ρ_d , porowatość n i wskaźnik porowatości e (tab. 2).

Tabela 2

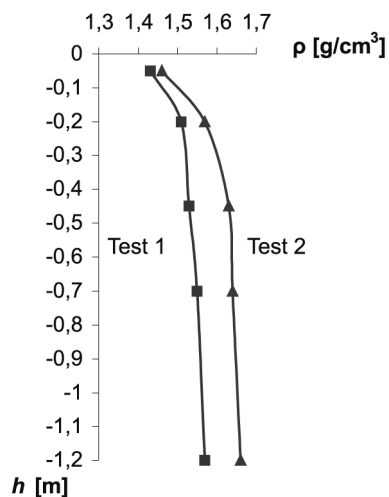
Własności fizyczne gruntu powstałego w testach doświadczalnych

| | Głębokość h [m] | Wilgotność naturalna w [%] | Gęstość objętościowa ρ [g/cm ³] | Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego ρ_d [g/cm ³] | Porowatość n | Wskaźnik porowatości e |
|--------|----------------------|------------------------------------|--|---|-------------------|--------------------------------|
| Test 1 | -0,05 | 4,35 | 1,46 | 1,40 | 0,44 | 0,79 |
| | -0,2 | 17,67 | 1,57 | 1,33 | 0,40 | 0,67 |
| | -0,45 | 19,24 | 1,63 | 1,37 | 0,38 | 0,61 |
| | -0,7 | 19,47 | 1,64 | 1,37 | 0,37 | 0,60 |
| | -1,2 | 18,88 | 1,66 | 1,40 | 0,37 | 0,58 |
| Test 2 | -0,05 | 3,4 | 1,43 | 1,38 | 0,45 | 0,83 |
| | -0,2 | 14,63 | 1,51 | 1,32 | 0,42 | 0,74 |
| | -0,45 | 16,2 | 1,53 | 1,32 | 0,42 | 0,71 |
| | -0,7 | 16,6 | 1,55 | 1,33 | 0,41 | 0,69 |
| | -1,2 | 15,23 | 1,57 | 1,36 | 0,40 | 0,67 |



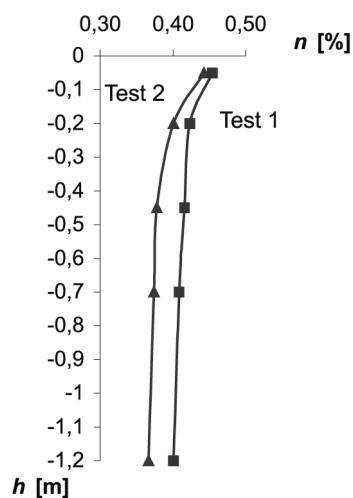
Rys. 4. Wykres zależności wilgotności gruntu od głębokości

Fig. 4. The relationship between water content of soil and depth



Rys. 5. Wykres zależności gęstości objętościowej gruntu od głębokości

Fig. 5. The relationship between bulk density of soil and depth



Rys. 6. Wykres zależności porowatości gruntu od głębokości

Fig. 6. The relationship between porosity of soil and depth

W celu graficznej prezentacji wyników sporządzono wykresy wilgotności, gęstości objętościowej oraz porowatości gruntu od głębokości, przyjmując za zero strop próbki (rys. 4–6). Analizując rysunek 4, zauważono, że do głębokości 0,2–0,3 m wilgotność gruntu gwałtownie spada z ok. 16–18% do 3–4%, a poniżej wilgotność zmienia się już nieznacznie. Można stąd wnioskować, że w strefie przypowierzchniowej zachodzi znacznie szybszy proces parowania, co powoduje przesuszenie osadu, natomiast w strefie głęb-

szej wilgotność gruntu zmienia się znacznie wolniej. Wilgotność gruntu na początku testu mieściła się w przedziale 80–85%, po ok. 6 miesiącach, w momencie widocznego zaniku wypływu wody z próbki wynosiła ok. 60%, natomiast po 2 latach uzyskała wartość w przedziale 15,2–19,5%.

Wraz z głębokością wzrasta gęstość objętościowa gruntu, a obniża się porowatość, co jest zapewne konsekwencją naturalnego zagęszczania się osadu (rys. 5 i 6). Powstały grunt charakteryzuje się niską wartością gęstości objętościowej szkieletu gruntowego – ok. 1,32–1,4 g/cm³ oraz wysoką porowatością – rzędu 0,37–0,45.

W celu określenia wskaźnika zagęszczenia namytych gruntów oznaczono w warunkach laboratoryjnych maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego, przy wilgotności optymalnej, wg metody I Proctora zgodnie z PN-88/B-04481 (zastosowano mały cylinder o objętości 1 dm³, ubijak lekki o masie 2,5 kg, zagęszczano 3 warstwy gruntu po 25 uderzeń).

Uzyskana wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego (przy wilgotności optymalnej równej 19,5–22,6%) wynosi 1,53–1,59 g/cm³, natomiast maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego dla osadu powstałego metodą hydrauliczną mieści się w przedziale 1,32–1,40 g/cm³. Zatem przybliżona wartość wskaźnika zagęszczenia I_s wynosi ok. 0,85–0,87.

Badania współczynnika filtracji wykonano w aparacie trójosiowego ściskania dla trzech próbek o średnicy ok. 70 mm i wysokości 95–127,5 mm, pobranych z gruntu powstałego w teście nr 2, z głębokości 0,05 m, 0,6 m i 1,0 m. Badania realizowano przy różnych wartościach spadku hydraulicznego, zgodnie z metodyką zalecaną przez Heada [6]. W pierwszym etapie próbki poddano procesowi saturacji, wprowadzając od dołu wodę odpowiednio. Zasadnicze badanie współczynnika filtracji było prowadzone przy różnych wartościach spadku hydraulicznego w przedziale od ok. 3 do 40. Przepływ wody był z dołu ku górze, wartość ciśnienia dolnego była stała, natomiast przepływ był regulowany tylko przez zmianę ciśnienia górnego. Ciśnienie w komorze utrzymywano na stałym poziomie ok. 10–20 kPa wyższym od ciśnienia dolnego.

Badanie przy zadanym spadku hydraulicznym trwało aż do momentu ustalenia się wielkości przepływu w czasie. Prędkość filtracji obliczono, wykorzystując następującą formułę

$$v = \frac{dQ}{dt \cdot A} \quad (1)$$

gdzie:

- dQ – objętość wody filtrującej przez próbkę gruntu w czasie dt [cm³],
- dt – czas, po jakim przefiltrowała woda o objętości dQ [s],
- A – powierzchnia próbki [cm²].

Otrzymane wyniki współczynnika wodoprzepuszczalności przedstawiono w tab. 3. Pokazują one wyraźną różnicę uzyskanych wartości współczynnika filtracji dla strefy przy powierzchniowej w porównaniu z wartościami uzyskanymi dla głębokości 0,6 i 1,0 m. Ma to, oczywiście, związek ze zmniejszającą się w profilu pionowym porowatością osadu.

Porównując średnią wartość współczynnika filtracji uzyskanego w badaniach trójosiowego ściskania dla próbki z głębokości 0,6 i 1,0 m, która wynosi $1,51 \cdot 10^{-8}$ m/s, ze średnią wartością uzyskaną przy spadku hydraulicznym ok. 1 podczas odsączania się wody w kolumnie plastikowej równą $1,93 \cdot 10^{-8}$ m/s, widzimy dużą zgodność otrzymanych wyników.

Tabela 3

**Wartości współczynnika filtracji gruntów formowanych metodą hydrauliczną
uzyskane w aparacie trójosiowego ściskania**

| Lp. | Spadek hydrauliczny J | Współczynnik filtracji k [m/s] | Współczynnik filtracji dla $T = 10^{\circ}\text{C}$ k_{10} [m/s] |
|---|-------------------------|----------------------------------|--|
| Próbka 1 – glina pylasta głębokość – 0,05 m $d = 69,5$ mm, $h = 113,7$ mm | 3,5 | $1,39 \cdot 10^{-5}$ | $1,05 \cdot 10^{-5}$ |
| | 3,6 | $1,31 \cdot 10^{-5}$ | $9,85 \cdot 10^{-6}$ |
| | 5,6 | $1,40 \cdot 10^{-5}$ | $1,05 \cdot 10^{-5}$ |
| | 5,6 | $1,29 \cdot 10^{-5}$ | $9,70 \cdot 10^{-6}$ |
| | śr. arytmetyczna | $1,12 \cdot 10^{-5}$ | $8,42 \cdot 10^{-6}$ |
| Próbka 2 – glina pylasta głębokość – 0,6 m $d = 70,0$ mm, $h = 127,5$ mm wskaźnik zagęszczenia $I_s \sim 0,85$ | 39,9 | $2,58 \cdot 10^{-8}$ | $1,94 \cdot 10^{-8}$ |
| | 31,9 | $2,26 \cdot 10^{-8}$ | $1,70 \cdot 10^{-8}$ |
| | śr. arytmetyczna | $2,42 \cdot 10^{-8}$ | $1,82 \cdot 10^{-8}$ |
| Próbka 3 – glina pylasta głębokość – 1,0 m $d = 70,4$ mm, $h = 95,0$ mm wskaźnik zagęszczenia $I_s \sim 0,87$ | 21,4 | $1,50 \cdot 10^{-8}$ | $1,13 \cdot 10^{-8}$ |
| | 32,4 | $1,65 \cdot 10^{-8}$ | $1,24 \cdot 10^{-8}$ |
| | śr. arytmetyczna | $1,58 \cdot 10^{-8}$ | $1,19 \cdot 10^{-8}$ |

Dla celów porównawczych przedstawiono wyniki współczynnika filtracji uzyskane przy wyższych wartościach wskaźnika zagęszczenia dla gruntów formowanych metodą tradycyjną, tj. przez zgęszczanie kolejnych warstw metodą ubijania przy wilgotności optymalnej. Szczegółowo są one opisane w pozycjach [4, 5].

Tabela 4

**Wartości współczynnika filtracji gruntów formowanych metodą ubijania
w cylindrze Proctora**

| Rodzaj gruntu | Wskaźnik zagęszczenia I_s | Współczynnik filtracji k [m/s] | Współczynnik filtracji dla $T = 10^{\circ}\text{C}$ k_{10} [m/s] |
|---------------|-----------------------------|----------------------------------|--|
| Pył | 0,92 | $1,03 \cdot 10^{-8}$ | $7,89 \cdot 10^{-9}$ |
| | 0,95 | $4,73 \cdot 10^{-9}$ | $3,64 \cdot 10^{-9}$ |
| | 1,00 | $6,63 \cdot 10^{-10}$ | $5,10 \cdot 10^{-10}$ |
| Gлина pylasta | 0,92 | $5,89 \cdot 10^{-9}$ | $4,53 \cdot 10^{-9}$ |
| | 0,95 | $2,07 \cdot 10^{-9}$ | $1,59 \cdot 10^{-9}$ |
| | 1,00 | $2,64 \cdot 10^{-10}$ | $2,03 \cdot 10^{-10}$ |

3. Wnioski końcowe

W cofce zbiornika różnowskiego współcześnie są deponowane głównie grunty drobnoziarniste, spoiste wykształcone jako pyły, pyły piaszczyste, glina pylasta i gliny, charakteryzujące się teksturą warstwową i zawartością części organicznych do 3%.

Uformowany metodą hydrauliczną grunt cechuje się stosunkowo niską wartością wskaźnika zagęszczenia – ok. 0,85–0,87.

Uzyskane wartości współczynnika filtracji rzędu $1,5 \cdot 10^{-8}$ m/s dla próbek gruntu powstałych w badaniach doświadczalnych spełniają minimalne kryteria wodoprzepuszczalności zalecane dla ziemnych konstrukcji hydrotechnicznych [8], dlatego metodę hydrauliczną można by wykorzystać jako alternatywną przy formowaniu np. wałów przeciwpodziowych lub zapór wstecznych w rejonie zbiorników retencyjnych, używając do tego celu materiału pobranego z dna zbiornika.

Literatura

- [1] Norma PN-EN ISO 14 688-1 Badania geotechniczne. Oznaczenia i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- [2] Norma PN-B-04481:1998 (PN-88/B-04481) Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
- [3] Depczyński W., Szamowski A., *Budowle i zbiorniki wodne*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1999.
- [4] Gózdź R., *Właściwości osadów spoistych Jeziora Rożnowskiego w aspekcie ich geotechnicznego wykorzystania*, rozprawa doktorska, archiwum PK, Kraków 2007, maszynopis.
- [5] Gózdź R., *Właściwości geotechniczne osadów zdeponowanych w Jeziorze Rożnowskim oraz możliwości ich wykorzystania do budowy przesłon mineralnych w składowiskach odpadów komunalnych*, Czasopismo Techniczne, z. 1-Ś/2008, Wyd. PK, Kraków 2008.
- [6] Head K.H., *Manual of soil laboratory testing*, Vol. 2, Pentech Press, London 1995.
- [7] Klimczyk J., *Kształtowanie właściwości filtracyjnych lessów i ich mieszanek z materiałami wiążącymi i uszczelniającymi*, rozprawa doktorska, archiwum PK, Kraków 2002, maszynopis.
- [8] Sobczak J., *Zapory z materiałów miejscowych*, PWN, Warszawa 1975.
- [9] Stanowski J., *Hydrologiczno-fizjograficzne kryteria w prognozie załadowania zbiorników retencyjnych w dorzeczu górnej Wisły*, rozprawa doktorska, archiwum PK, Kraków 1993, maszynopis.
- [10] Wiłun Z., *Zarys geotechniki*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1987.