



Andrzej Batog, Maciej Hawrysz, Joanna Stróżyk

## Ocena podatności gruntów spoistych na erozję koloidalną na podstawie wyników testu kanalikowego

### Estimation of susceptibility to colloidal erosion of cohesive soils using the pinhole test

**Streszczenie:** W pracy opisano metodę prostego, bezpośredniego pomiaru dyspersyjności gruntów spoistych za pomocą testu kanalikowego (pinhole test). Test kanalikowy uważa się za najbardziej wiarygodną metodę umożliwiającą identyfikację gruntów dyspersyjnych, podatnych na erozję koloidalną. W pracy przedstawiono niektóre wyniki badań gruntów spoistych wykorzystanych do naprawy i wzmocnienia obwałowań rzeki Odry. Wykazano, że powyższe grunty należą do niedispersyjnych.

**Słowa kluczowe:** test kanalikowy, grunty dyspersyjne, grunty spoiste

**Abstract:** The paper contains the description of the test method for a direct, qualitative measurement of the dispersibility of clayey soil – pinhole test method. The pinhole test is considered the most reliable for identification dispersive clays, susceptible to colloidal erosion. Some results of investigation of cohesive soils used do reconstruction Odra river embankments are presented. It has been indicate that, presented soils are not dispersive.

**Key words:** pinhole test, dispersive soil, cohesive soil

## Wstęp

Grunty spoiste są powszechnie stosowane w geoinżynierii jako materiał do wykonawstwa elementów uszczelniających. Ze względu na swoje właściwości, wykorzystywane są szczególnie często w budowlach hydrotechnicznych, takich jak zapory ziemne i wały przeciwpowodziowe. Podatność gruntów spoistych na erozję wodną – rozmywanie przez wody płynące – i erozję koloidalną ma zasadnicze znaczenie

---

Andrzej Batog, Politechnika Wroclawska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: Andrzej.Batog@pwr.wroc.pl

Maciej Hawrysz, Politechnika Wroclawska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: Maciej.Hawrysz@pwr.wroc.pl

Joanna Stróżyk, Politechnika Wroclawska, Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, e-mail: Joanna.Strozyk@pwr.wroc.pl

szczególnie dla stateczności zboczy dolin rzecznych, skarp, wałów przeciwpowodziowych. Proces ten został unaoczniony w czasie ostatnich powodzi na Dolnym Śląsku w 1997 r.

Na erozję podatne są zwłaszcza grunty spoiste, które charakteryzują się znaczną dyspersyjnością (podatnością na erozję koloidalną). Za grunty dyspersyjne uznajemy takie grunty spoiste, których agregaty ilaste samorzutnie rozpadają się i odłączają od struktury gruntu, przechodząc do zawiesiny w obecności wody wolnej (Mitchell, Soga, 2005). Konsekwencje kontaktu gruntów dyspersyjnych z wodą mogą być bardzo dramatyczne. Ważne jest zatem właściwe rozpoznanie stopnia dyspersyjności gruntów spoistych wykorzystywanych do budowy i uszczelnień budowli hydrotechnicznych czy w wykopach budowlanych (Sherard i in., 1976; Craft, Accardi, 1984).

Na dyspersyjność gruntów wpływa wiele czynników, z których najważniejsze to (Sherard i in., 1976; Craft, Accardi, 1984; Mitchell, Soga, 2005):

- skład mineralny gruntu,
- skład kompleksu jonowymiennego,
- struktura gruntu,
- wilgotność,
- gęstość,
- chemizm wód porowych.

Doświadczenia wskazują (Mitchell, Soga, 2005), że do niszczenia struktury gruntu na skutek erozji koloidalnej dochodzi najczęściej w zaporze, wale czy skarpie zbudowanej z gruntów spoistych o niskiej lub średniej plastyczności CL i CL-CI (wg wykresu plastyczności Casagrande'a), które zawierają montmorillonit. Jak zauważono, dobrym wyznacznikiem potencjalnej erozyjności koloidalnej gruntów jest wskaźnik procentowego udziału sodu w kompleksie jonowymiennym ESP (exchangeable sodium percentage) (Craft, Accardi, 1984; Mitchell, Soga, 2005). Wartość ESP powyżej 2 wskazuje na możliwość pojawienia się dyspersji, podczas gdy ESP powyżej 10–15 sugeruje duże prawdopodobieństwo wystąpienia dyspersji gruntu spoistego. Wyznaczenie ESP wymaga określenia pojemności wymiany jonowej i ilości sodu w kompleksie jonowymiennym, zatem nie jest to ani prosta ani szybka metoda szacowania dyspersyjności gruntu.

Stosowane powszechnie pośrednie metody oceny erozyjności gruntów oparte na analizie granulometrycznej, granicach Atterberga przy ocenie dyspersyjności gruntów (podatności na erozję koloidalną) mają w zasadzie charakter tylko pomocniczy. Nie dają one zadowalających wyników i nie pozwalają poprawnie zakwalifikować gruntu jako dyspersyjny lub nie (Mitchell, Soga, 2005).

Podatność gruntu na erozję koloidalną określić można bezpośrednio w laboratorium za pomocą testu kanalikowego – pinhole test (Sherard i in., 1976a). Jest to test szybki, tani i, jak wykazano, daje jedno z najbardziej wiarygodnych wyników (Mitchell, Soga, 2005; Sherard i in., 1976a, b).

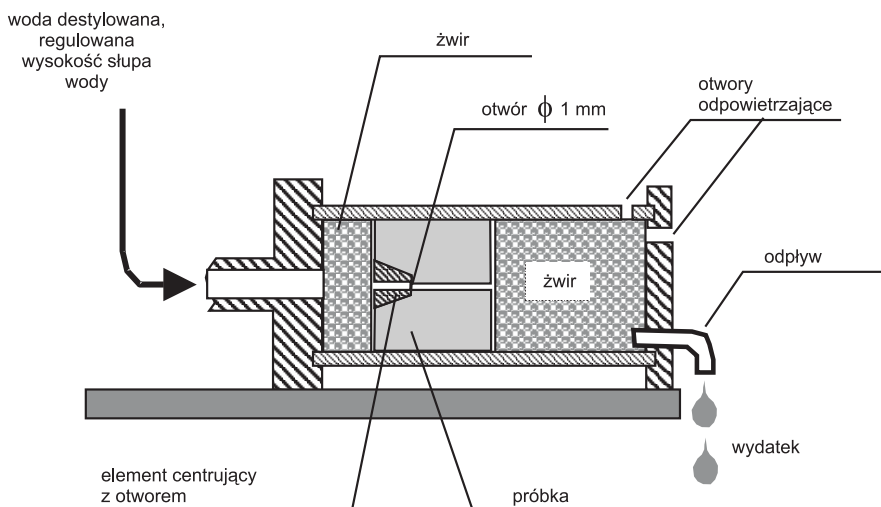
W referacie przedstawiono metodykę wykonywania omawianego testu oraz przykłady jego zastosowania do oceny dyspersyjności materiału gruntowego wykorzystywanego do uszczelnienia modernizowanych odcinków wału przeciwpowodziowego Odry.

## Charakterystyka metody badawczej

Spośród kilku metod laboratoryjnych oceny dyspersyjności test kanalikowy jest najbardziej miarodajny; jego procedury oraz kryteria oceny zostały zweryfikowane w oparciu o setki testów przeprowadzonych dla zapór ziemnych, obwałowań i innych budowli hydrotechnicznych, w których grunty spoiste stanowiące ich materiał konstrukcyjny podlegały procesom erozji wodnej. Metoda ta została przedstawiona przez Sherarda w 1976 r., następnie była udoskonalana m.in. przez Acciardi'ego w latach 1982–1984. Opis procedur badawczych i wytyczne ich realizacji są zawarte w normie ASTM: D 4547-93, 1998.

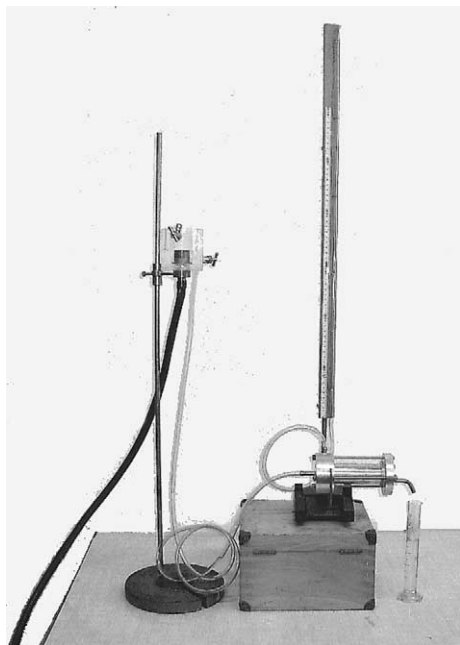
Badanie to przeprowadza się na próbkach gruntów spoistych o wilgotności i strukturze naturalnej bądź przerobionej, zawierających powyżej 12% cząstek o średnicy  $d < 0,005$  mm oraz o wskaźniku plastyczności  $I_p > 4\%$ . Zakłada się, że grunty nie spełniające tych warunków charakteryzują się nieznaczną odpornością na erozję bez względu na ich właściwości dyspersyjne.

W związku z tym, że erozja koloidalna pojawia się w gruntach spoistych, które charakteryzują się małymi współczynnikami filtracji (czasem nawet poniżej  $10^{-7}$  m/s (Mitchell, 2005), aby proces niszczenia został zapoczątkowany, w masywie gruntowym muszą pojawić się miejsca, gdzie struktura gruntu została w jakiś sposób uszkodzona – obecne są chociażby drobne szczeliny, rysy czy pęknięcia, w które może wnikać woda wolna. W teście kanalikowym ocenia się potencjalną zdolność do erozji koloidalnej w wyniku przepływu wody destylowanej o niewielkim ciśnieniu poprzez otwór – kanalik o średnicy 1 mm, wykonany igłą w próbce gruntu spoistego. Schemat komory badawczej z próbką pokazano na rycinie 1, a zdjęcie aparatu prototypowego na rycinie 2.



Ryc. 1. Schemat komory badawczej

Fig. 1. Testing chamber – schematic draft



Ryc. 2. Aparat do badania dyspersyjności  
Fig. 2. Pinhole test aparat

W trakcie badania zwiększa się stopniowo spadek hydrauliczny, jednocześnie wykonując obserwacje następujących parametrów:

- wielkości jednostkowego wydatku,
- stopnia zmętnienia wody wypływającej z próbki (sześć stopni),
- zwiększenia średnicy kanalika (przewodu hydraulicznego) w próbce i jego wygląd po zakończeniu badań.

W zależności od przyjętej metody postępowania (por. ASTM: D 4547-93, 1998) przyjmuje się trzy lub sześć kategorii dyspersyjności gruntu.

W rezultacie na podstawie uzyskanych wyników dla badanych próbek określono charakter dyspersyjności gruntu w zakresie opisanym przez sześć kategorii:

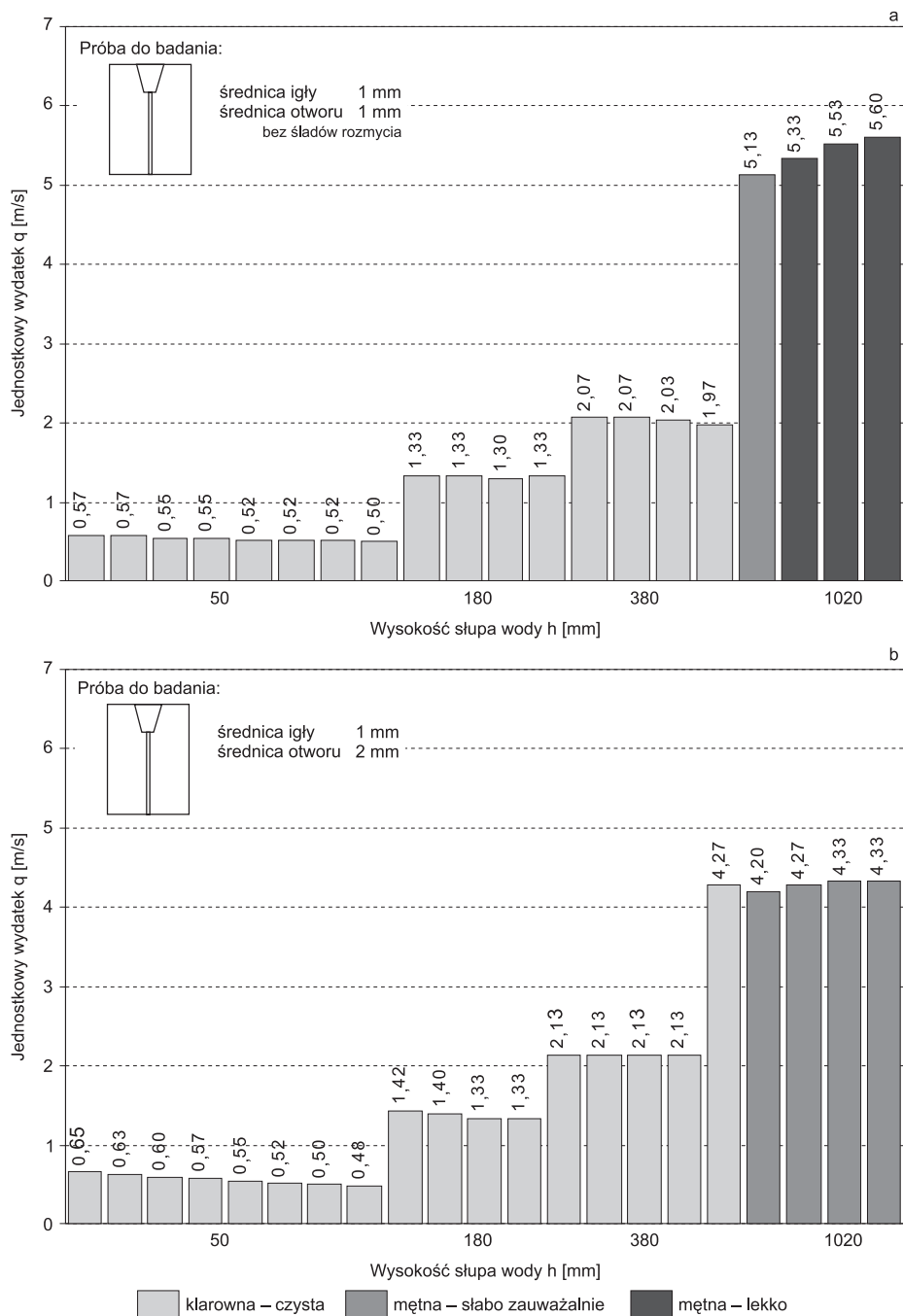
- kategoria ND1 i ND2 – grunty niedyspersyjne,
- kategoria ND3 i ND4 – grunty średnio dyspersyjne,
- kategoria D1 i D2 – grunty dyspersyjne.

## Wyniki badań własnych

Doświadczenia przeprowadzono dla materiału gruntowego wykorzystywanego do uszczelnienia modernizowanych odcinków wału przeciwpowodziowego rzeki Odry we Wrocławiu-Biskupinie.

Testy przeprowadzono na sześciu próbkach gruntów, które stanowiły grunty plejstoceniowe, spoiste, o różnym składzie granulometrycznym: piasek gliniasty, glina pylasta, glina pylasta zwięzła, glina zwięzła i dwie próby gliny piaszczystej. Według klasyfikacji Casagrande'a grunty te można zakwalifikować jako grunty o niskiej CL, średniej CI i wysokiej plastyczności CH.

W teście kanalikowym przy badaniu dyspersyjności gruntu wykorzystuje się próbki gruntu kategorii A (NNS). Badania wykorzystywane są też na próbkach o strukturze przerobionej, zagęszczonych do wymaganej wartości wskaźnika  $I_s$  (stopnia zagęszczenia) materiału gruntowego wbudowanego w obiekt inżynierski. Badania przeprowadzono więc zarówno na próbach gruntów o strukturze naturalnej, jak i przerobionej dla każdej z pobranych próbek, wykorzystując wodę destylowaną.



Ryc. 3. Wyniki badań dyspersyjności gruntu ze złoża. Warstwa dolna – piasek gliniasty  
Fig. 3. Pinhole test results for soil from Odra river embankment. Lower soil strata – clayey Sand

Badania prowadzono zgodnie z procedurą standardową – metoda A badań wg ASTM: D 4547-93, 1998. Wszystkie analizowane grunty zaliczono do gruntów niedispersyjnych, nadając im kategorię ND1 (dla 9 prób) lub sporadycznie ND2 (dla 3 prób).

Grunty zaklasyfikowane ostatecznie do kategorii ND1 – gruntów niedispersyjnych, to grunty charakteryzujące się większym udziałem frakcji ilowej – gliny zwięzłe, gliny zwięzłe pylaste i gliny pylaste. Woda wypływająca z kanalika przez cały czas trwania testu była klarowna. Oględziny otworu po zakończeniu testu i rozcięciu próby także nie wykazały śladów rozmycia. Obserwacje te potwierdzono zarówno dla prób o strukturze przerobionej, jak i naturalnej.

Grunty zaklasyfikowane do kategorii ND2 – gruntów nie dyspersyjnych, to piasek gliniasty, zarówno o strukturze przerobionej, jak i naturalnej, oraz próba gliny piaszczystej o strukturze przerobionej. Woda wypływająca z kanalika w tych gruntach przy zwiększeniu różnicy ciśnień piezometrycznych do 1020 mm przestawała być klarowna, lecz kanalik po zakończeniu testu podobnie jak w gruntach zaklasyfikowanych jako ND1, nie wykazywał śladów rozmycia. Wyniki badań przedstawiono na rycinie 3.

Przeprowadzone badania testowe potwierdziły, że test kanalikowy jest metodą szybką i stosunkowo tanią pozwalającą ocenić podatność gruntów spoistych na erozję koloidalną.

Uzyskane wyniki wykazały przydatność wszystkich gruntów wbudowanych w wały nadodrzańskie na odcinku Wrocław-Biskupin w celu ich uszczelnienia.

## Podsumowanie

Przedstawione w pracy wyniki testu kanalikowego przeprowadzonego na próbkach o strukturze naturalnej i przerobionej dają możliwość stosunkowo prostej i szybkiej oceny podatności analizowanych gruntów na erozję wodną.

Przedstawiona technika badawcza, służąca do oceny potencjalnej możliwości gruntu spoistego do podlegania erozji koloidalnej (test kanalikowy) charakteryzuje się znaczną prostotą oraz jednoznacznością procedury badawczej. Przedstawione w niniejszym referacie wyniki badań wykonanych tą metodą należą do nielicznych w naszym kraju.

Test kanalikowy może być pomocny przy ocenie jakości i przydatności materiału gruntowego do wykonywania elementów uszczelnień mineralnych konstrukcji hydrotechnicznych. W przypadku budowli już istniejących można za jego pomocą przeprowadzić jakościową prognozę rozwoju procesów zniszczenia zabezpieczeń przeciwpowodziowych.

Badania wykazały, że grunty plejstocieńskie wykorzystane do uszczelnienia wałów przeciwpowodziowych, występujące na obszarze międzywala rzeki Odry, we Wrocławiu-Biskupinie, są gruntami niedispersyjnymi.

## Literatura

- Acciardi R.G., 1982a. Quantification of Pinhole Test Equipment Hydraulic Characteristics. U. S. Bureau of Reclamation Report REC-ERC, s. 82–15.
- Acciardi R.G., 1984b. Improvements to USBR Pinhole Test Equipment Design and Test Result Evaluation, Dam Safety and Rehabilitation. 4th Annual USCOLD Lecture, Phoenix, AZ 6: 1–88.
- ASTM: D 4547-93 (1998). Standard Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by the Pinhole Test.
- Craft C.D., Acciardi R.G., 1984. Failure of pore-water analyses for dispersion. Jour. Geot. Eng. 110: 459–472.
- Mitchell J.K., Soga K., 2005. Fundamentals of soil behavior. John Wiley and Sons, New Jersey.
- Sherard J.L. i in., 1976a. Pinhole Test for Identifying Dispersive Soils. J. Geotech. Eng. Div. 102, GT-1: 69–85.
- Sherard J.L. i in., 1976b. Identification and nature of dispersive soils. Jour. Geot. Div. 102: 187–301.

