

Ćwiczenie nr 7:

Wyznaczanie współczynnika filtracji

Celem ćwiczenia jest prezentacja przepływu cieczy w ośrodku porowatym oraz wyznaczenie współczynnika filtracji.

1. Wprowadzenie

1.1. Część teoretyczna

Ruch cieczy w ośrodku porowatym nazywamy **filtracją** lub przesączaniem. Ruch ten odbywa się w wolnych przestrzeniach pomiędzy strukturą materiału – w drożnych porach. Ruch taki możliwy jest dzięki różnicy ciśnień między dwoma przekrojami w ośrodku porowatym. Opis takiego ruchu jest niezmiernie trudny i dlatego w praktyce wprowadzono model matematyczny opisujący ruch cieczy w ośrodku porowatym, w którym natężenie przepływu Q jest równe wielkości rzeczywistej, natomiast pole powierzchni przekroju poprzecznego F jest określone nie jako suma powierzchni porów, lecz jako fikcyjna powierzchnia zawierająca również powierzchnię wypełnioną przez ziarna gruntu. Średnią prędkość przemieszczania się cieczy można określić wykorzystując równanie ciągłości:

$$Q = F \cdot v \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (1)$$

gdzie:

Q - natężenie przepływu; [m^3/s],

F - pole powierzchni przekroju poprzecznego przewodu; [m^2],

v – średnia prędkość przepływu; [m/s].

Rzeczywiste prędkości ruchu cieczy w drożnych porach są oczywiście znacznie większe ponieważ pole powierzchni zajmowanej przez pory jest tylko częścią przyjmowanego w obliczeniach pola powierzchni F . W większości przypadków dla ośrodka gruntowego, podczas rozpatrywania ruchu wody prędkości przepływu są bardzo małe i kwalifikuje się go jako **ruch laminarny**. Przyjmuje się, że górną jego granicą jest liczba Reynoldsa $Re \leq 5$ określana z zależności:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} [-] \quad (2)$$

gdzie:

Re – liczba Reynoldsa; [-],

v - średnia prędkość przepływu; [m/s],

d - średnica miarodajna ziaren; [m],

ν - kinematyczny współczynnik lepkości; [m^2/s].

Pod pojęciem **średnicy miarodajnej ziaren** gruntu d rozumie się wielkość d_{10} z krzywej uziarnienia, rozumianą jako średnicę ziaren gruntu rozdzielającą na wykresie uziarnienia ziarna drobniejsze – stanowiące 10% wagi całej próbki.

W zakresie ruchu laminarnego prędkość przepływu cieczy w ośrodku porowatym v określa **prawo Darcy**:

$$v = k \cdot i \quad (3)$$

gdzie:

v – prędkość przepływu cieczy w ośrodku porowatym; [m/s],

k – współczynnik filtracji; [m/s],

i – spadek hydrauliczny; [-].

Z powyższego wzoru wynika, że *współczynnik filtracji jest liczbowo równy prędkości przepływu wody w ośrodku porowatym, jeżeli spadek wynosi 1*. Wartość współczynnika filtracji zależy od **rodzaju ośrodka porowatego, wielkości uziarnienia, ciężaru, lepkości i temperatury cieczy**.

Spadek hydrauliczny wyznacza się jako iloraz różnicy poziomów zwierciadła cieczy pomiędzy dwoma przekrojami przepływu wody Δh oraz odległości między tymi przekrojami L :

$$i = \frac{\Delta h}{L} \quad (4)$$

gdzie:

Δh – różnica wysokości między zwierciadłami cieczy w badanych przekrojach; [m],

L – odległość między badanymi przekrojami; [m].

W odniesieniu do ośrodka gruntowego, w zależności od cieczy w nim przepływającej może wykazywać różne wartości współczynnika filtracji. Dążąc do określenia filtracyjnej zdolności podłoża gruntowego niezależnej od fizycznych własności cieczy, wprowadzono pojęcie **współczynnika wodoprzepuszczalności**. Wyznacza się go ze wzoru:

$$X = \frac{k \cdot v}{g} [m^2] \quad (5)$$

gdzie:

k – współczynnik filtracji; [m/s],

v - kinematyczny współczynnik lepkości; [m²/s],

g – przyspieszenie ziemskie; $g = 9,81$ [m²/s].

Współczynniki filtracji i przepuszczalności są miernikami własności filtracyjnych ośrodka porowatego. Jakkolwiek wszystkie grunty będąc ośrodkiem porowatym posiadają zdolność przewodzenia wody, jednak te z nich, które zdolne są filtrować minimalne ilości wody, przyjęto nazywać *gruntami nieprzepuszczalnymi*. Pod względem przepuszczalności, przepływu czy eksploatacji wód podziemnych znaczenie mają grunty charakteryzujące się współczynnikiem filtracji większym od $k \geq 10^{-3}$ m/s. W tabeli 1 przedstawiono wartości współczynników filtracji dla podstawowych rodzajów gruntu.

Badania współczynnika filtracji prowadzone są w temperaturze 10°C. W przypadku prowadzenia badań w innych temperaturach wartość współczynnika filtracji należy przeliczyć wg zależności:

$$k_{10} = k_t \frac{v_t}{v_{10}} \quad [m/s] \quad (6)$$

gdzie:

k_t – współczynnik filtracji w temperaturze t °C; [m/s],

k_{10} – współczynnik filtracji w temperaturze 10 °C; [m/s],

v_t - kinematyczny współczynnik lepkości w temperaturze t °C; [m²/s],

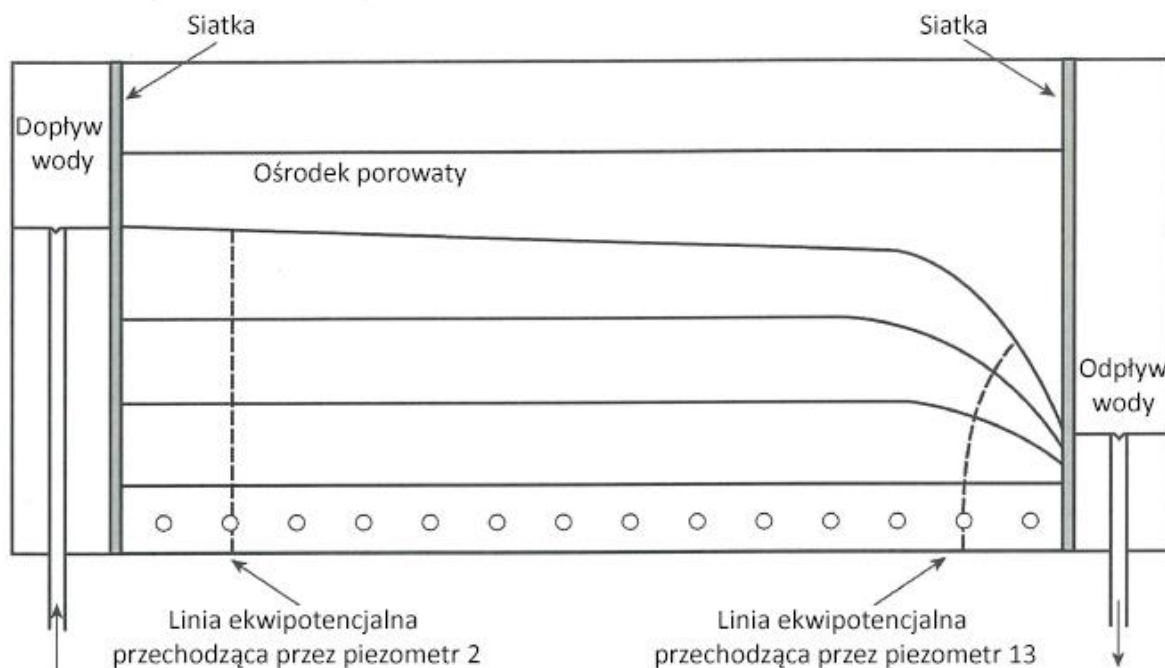
v_{10} - kinematyczny współczynnik lepkości w temperaturze 10 °C; [m²/s].

Tabela 1. Wartości współczynników filtracji dla ośrodków gruntowych.

Rodzaj gruntu	Współczynnik filtracji k_{10} [m/s]
Dobrze przepuszczalne: rumosze, żwiry, żwiry piaszczyste, gruboziarniste piaski (równomiernie uziarnione), skały masywne z gęstą siecią drobniejszych szczelin	$>10^{-4}$
Średnio przepuszczalne: piaski średnioziarniste, piaski drobnoziarniste (równomiernie uziarnione), piaski gruboziarniste ilaste, less, słabo spojone kruche piaskowce, skały masywne z rzadką siecią drobnych szczelin	$10^{-5} - 10^{-4}$
Słabo przepuszczalne: piaski pylaste, piaski gliniaste, mułki, piaskowce	$10^{-6} - 10^{-5}$
Półprzepuszczalne: gliny piaszczyste, namuły, łupki spękanne, skały masywne ze śladami spękań	$10^{-7} - 10^{-6}$
Nieprzepuszczalne: ropy, ropyłupki, skały masywne niespękanne	$<10^{-7}$

2. Opis stanowiska badawczego

Schemat stanowiska przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badania przepływu laminarnego i turbulentnego

3. Przebieg ćwiczenia

Ćwiczenie polega na obserwacji ruchu wody w ośrodku porowatym, wyznaczeniu toru ruchu oraz prędkości przepływu i spadku hydraulicznego. Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika filtracji dla badanego ośrodka porowatego.

1) Odkręcić zawór doprowadzający wodę i ustalić stałą wartość przepływu, tak by zwierciadło znajdowało się pod górnym poziomem piasku. Zjawisko filtracji wystąpi gdy zachowana będzie różnica ciśnień między miejscem doprowadzenia i odprowadzenia wody. Początek przepływu się ustali. Zmierzyć temperaturę wody T i odczytać kinematyczny współczynnik lepkości ν .

2) Po lewej stronie stanowiska do ośrodka porowatego wstrzyknąć barwnik (wcisnąć podajnik w piasek od frontu przy szybie), na 3 różnych głębokościach (co 10 cm). Za pomocą pisaka na szybie narysować przebieg linii przepływu barwnika. Jednocześnie wykonać pomiar czasu t , w jakim barwnik przemieści się od lewej do prawej strony badanego ośrodka. Następnie zmierzyć również drogę przepływu s . Wyznaczyć prędkość przepływu V .

3) Narysować linie ekwipotencjalne dla punktów stałego ciśnienia na wysokości piezometru 2 i 13, tak by przecinały się z liniami przepływu pod kątem prostym. Odczytać wartość ciśnienia na piezometrze 2 i 13 – h_I oraz h_{II} . Zmierzyć odległość między wybranymi piezometrami L . Wyznaczyć wartość spadku hydraulicznego i .

4) Dla otrzymanych wyników wyznaczyć współczynnik filtracji k oraz k_{10} .

5) Pomiary powtórzyć kilka razy przy innym poziomie zwierciadła wody doprowadzanej.

5) Wykonać wykres zależności $V(i)$.

6) Wszystkie wartości zmierzone wprowadzić do tabeli wyników (Załącznik 1).

4. Sprawozdanie

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów, należy wykonać sprawozdanie wg. wzoru poniżej:

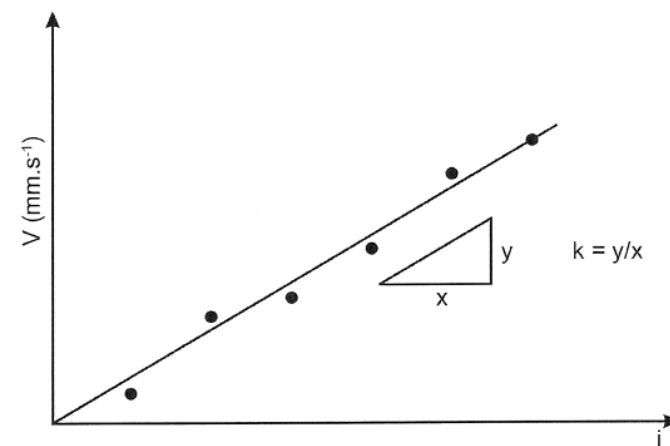
- Przebieg ćwiczenia (krótki, wypunktowany)
- Opis badanych wielkości (zastosowane wzory + objaśnienia)
- Przykład obliczeń (dla każdej z badanych wielkości)
- Wyniki (uzupełniona tabela wyników)
- Wnioski

Załącznik 1. Tabela wyników

T [°C]	v [m ² /s]	t [s]	s [m]	V [m/s]	h _I [m]	h _{II} [m]	Δh [m]	L [m]	i	k [m/s]	k ₁₀ [m/s]	k _{10śr} [m/s]

$$V = \frac{s}{t} \left[\frac{m}{s} \right], \Delta h = h_I - h_{II} [m], i = \frac{\Delta h}{L}, k = \frac{V}{i} \left[\frac{m}{s} \right], k_{10} = k \cdot \frac{v}{v_{10}} \left[\frac{m}{s} \right]$$

v₁₀ = m²/s



Załącznik 2. Kinematyczny współczynnik lepkości wody w zależności od temperatury.

Temperatura	Kinematyczny współczynnik lepkości - ν	Temperatura	Kinematyczny współczynnik lepkości - ν
[°C]	[m ² /s]	[°C]	[m ² /s]
0	$1,7923 \cdot 10^{-6}$	20	$1,0068 \cdot 10^{-6}$
1	$1,7314 \cdot 10^{-6}$	21	$0,9829 \cdot 10^{-6}$
2	$1,6728 \cdot 10^{-6}$	22	$0,9600 \cdot 10^{-6}$
3	$1,6191 \cdot 10^{-6}$	23	$0,9381 \cdot 10^{-6}$
4	$1,5674 \cdot 10^{-6}$	24	$0,9167 \cdot 10^{-6}$
5	$1,5188 \cdot 10^{-6}$	25	$0,8963 \cdot 10^{-6}$
6	$1,4728 \cdot 10^{-6}$	26	$0,8765 \cdot 10^{-6}$
7	$1,4285 \cdot 10^{-6}$	27	$0,8575 \cdot 10^{-6}$
8	$1,3862 \cdot 10^{-6}$	28	$0,8391 \cdot 10^{-6}$
9	$1,3465 \cdot 10^{-6}$	29	$0,8213 \cdot 10^{-6}$
10	$1,3081 \cdot 10^{-6}$	30	$0,8042 \cdot 10^{-6}$
11	$1,2718 \cdot 10^{-6}$	35	$0,7268 \cdot 10^{-6}$
12	$1,2369 \cdot 10^{-6}$	40	$0,6612 \cdot 10^{-6}$
13	$1,2035 \cdot 10^{-6}$	45	$0,6046 \cdot 10^{-6}$
14	$1,1717 \cdot 10^{-6}$	50	$0,556 \cdot 10^{-6}$
15	$1,1414 \cdot 10^{-6}$	55	$0,5138 \cdot 10^{-6}$
16	$1,1122 \cdot 10^{-6}$	60	$0,4768 \cdot 10^{-6}$
17	$1,0841 \cdot 10^{-6}$	70	$0,4151 \cdot 10^{-6}$
18	$1,0574 \cdot 10^{-6}$	80	$0,3668 \cdot 10^{-6}$
19	$1,0315 \cdot 10^{-6}$	90	$0,3279 \cdot 10^{-6}$
20	$1,0068 \cdot 10^{-6}$	100	$0,2961 \cdot 10^{-6}$