

**OZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKÓW FILTRACJI GRUNTÓW SŁABOPRZEPUSZCZALNYCH, PÓLPRZEPUSZCZALNYCH I PRAKTYCZNIE NIEPRZEPUSZCZALNYCH**

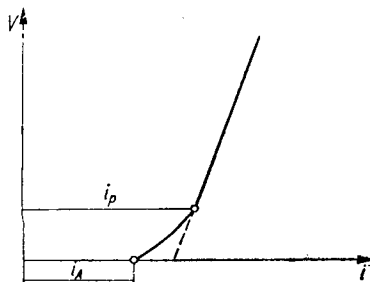
UKD 551.491.7:624.131.2:627.88:622.5:624.131.137:624.131.434

Wykaz oznaczeń:

- $k$  — współczynnik filtracji,  $LT^{-1}$
- $F$  — przekrój próbki gruntu,  $L^2$
- $a$  — przekrój rurki pomiarowej,  $L^2$
- $l$  — długość próbki gruntu  $L$
- $\Delta h = (h_1 - h_2)$  — obniżenie poziomu wody w rurce pomiarowej,  $L$
- $\Delta t = (t_2 - t_1)$  — czas trwania filtracji,  $T$
- $i$  — spadek hydrauliczny, określony jako strata ciśnienia wody  $\Delta h$  na długości  $l$
- $i_A$  — początkowy spadek hydrauliczny,
- $i_p$  — graniczny spadek hydrauliczny,
- $h_c$  — wznios kapilarny,  $L$
- $h_{o1}, h_{o2}$  — ciśnienia wody stosowane podczas badania filtracji w rurce poziomej,  $L$
- $n$  — porowatość,
- $m$  — nachylenie prostej,
- $x$  — długość strefy zawilgocenia gruntu podczas badania filtracji w rurce poziomej,  $L$
- $v_s$  — rzeczywista prędkość filtracji,  $LT^{-1}$
- $Q$  — ilość wody,  $L^3$
- $Sw$  — powierzchnia właściwa,  $L^2F^{-1}$
- $\gamma_s$  — ciężar właściwy gruntu,  $FL^{-3}$
- $\eta$  — lepkość wody w puazach,
- $g$  — przyspieszenie ziemskie,  $LT^{-2}$
- $u$  — wielkość stała,
- $(Ok' d')$  — wielkość iloczynu określona z siatki RRS,  $L^2F^{-1}L$
- $d'$  — wielkość średnicy cząstek, której zawartość wraz mniejszymi stanowi według wykresu 36,8%,  $L$
- $f$  — współczynnik zależny od kształtu cząstek.

1. WSTĘP

Właściwości filtracyjne gruntów mają podstawowe znaczenie przy inżyniersko-geologicznej i hydrogeologicznej ocenie terenu. W zagadnieniach inżyniersko-geologicznych wielokrotnie określają one współpracę układu obiekt inżynierski — podłoże budowlane. Określenie wartości współczynników fil-



Ryc. 1. Zależność prędkości filtracji  $V$  od spadku hydraulicznego  $i$  dla itu o małej wilgotności, wg S. A. Rozy (10).

Fig. 1. Dependence of permeability velocity  $V$  upon hydraulic gradient  $i$  for clay disclosing low moisture content, according to S. A. Roza (10).

tracji nabiera szczególnego znaczenia przy ocenie warunków filtracji:

- w rejonach osi i przyczółków budowli piętujących,
- warstw uszczelniających zbiorników wodnych,
- odwodnień kopalń odkrywkowych, obiektów budowlanych, a także stateczności zboczy, przebiegu procesów deformacji filtracyjnych gruntów itp.

W tych warunkach, zależnie od budowy geologicznej, może zaistnieć konieczność przeprowadzenia badań współczynników filtracji dla gruntów spoistych. Grunty spoiste o współczynnikach filtracji mniejszych od  $1 \times 10^{-3}$  cm/sek, zgodnie z klasyfikacją Z. Pazdry (9) należy zaliczyć do gruntów słabo, półprzepuszczalnych i nieprzepuszczalnych. Mimo dużego praktycznego znaczenia badań własności filtracyjnych tych gruntów, zagadnienia te w odróżnieniu od gruntów sypkich nie znalazły należytego odzwierciedlenia w literaturze fachowej. Dotychczasowe badania nie rozwiązują całkowicie problematyki filtracji od strony teoretycznej, jak i metodyki badań. Ruch wody w gruntach spoistych jest zagadnieniem bardzo złożonym i zależy nie tylko od uziarnienia gruntu, składu mineralnego, stopnia zagęszczenia, wilgotności początkowej, ale niezmiernie ważną rolę odgrywają procesy fizyko-chemiczne zachodzące na kontakcie fazy stałej i ciekłej.

Przeprowadzone dotychczas badania, między innymi przez S. A. Rozę (10), G. M. Bieriezkę (1), J. V. Nagy'ego, G. Karadi'ego — 1961 (fide G. M. Bieriezka (1) i J. Kuźniar (7)), wskazują na to, że filtracja w gruntach spoistych nie przebiega całkowicie zgodnie z prawem Darcy. Ruch wody może nastąpić dopiero po przekroczeniu pewnego tzw. początkowego spadku hydraulicznego ( $i_A$ ). Po przekroczeniu wielkości tego spadku zależność prędkości filtracji od spadku hydraulicznego wyraża się na pewnym odcinku linią krzywą i dopiero po osiągnięciu przez spadek wielkości tzw. granicznego spadku ( $i_p$ ), otrzymujemy zależność prostoliniową, wobec tego dla wartości  $i > i_p$  można już zastosować liniowe prawo filtracji (ryc. 1). Aby więc mogła się rozpocząć filtracja wody w gruntach spoistych musi zostać przezwyciężony opór lepkości wody związanej, wypełniającej pory gruntu.

Z zagadnieniem filtracji z punktu widzenia zasad filtrującej wody łączy się bezpośrednio problem metodyki oznaczania współczynników filtracji. Ogólnie, obecnie stosowane metody określania współczynników filtracji, można podzielić na następujące grupy metod (A. Cassagrande, R.E. Fadum — 1939/40, fide A.R. Jumikis — 4):

- ze zmiennym ciśnieniem wody,
- ze stałym ciśnieniem wody,
- łącznego określania współczynnika filtracji i wzniosu kapilarnego,
- z konsolidacją próbki.

Współczynniki filtracji w wyżej wymienionych metodach oblicza się w oparciu o następujące zasady:

- dla metod z zastosowaniem zmiennego ciśnienia wody, na podstawie zaobserwowanej w czasie, wielkości obniżenia poziomu wody w rurce piezometrycznej (12, 13);
- dla metod ze stałym ciśnieniem wody z równania wydatku;

- dla metod łącznego określania współczynnika filtracji i wzniosu kapilarnego na podstawie pomiarów prędkości przesuwania się linii zawilgocenia gruntu (8); (J. Brinch-Hansen, H. Lundgren — 9);
- dla metod z konsolidacją próbki w oparciu o prawo konsolidacji filtracyjnej K. Terzagiego.

Poza wyżej wymienionymi sposobami określenia współczynników filtracji istnieje szereg wzorów teoretycznych i doświadczalnych. Prawie wszystkie wzory opierają się na podstawowym prawie Poiseuille'a, a różnice pomiędzy nimi polegają głównie, na odmiennych metodach określania miarodajnych przekrojów kanalików gruntowych oraz porowatości ośrodka. W niektórych z tych wzorów jako jeden z parametrów wprowadzono powierzchnię właściwą gruntu, np. J. Kozeny, P.C. Carman — 1938, fide R.D. Cadle (3), J.A. Zamarin, fide P.P. Klimentow (5).

Ze względu na to, że omawiane grupy metod określania współczynników filtracji oparte są na odmiennych założeniach fizycznych, należy się liczyć z wpływem przyjętej metody badania na otrzymywane wartości współczynników filtracji. W celu porównania i sprawdzenia wyników uzyskanych różnymi metodami oraz podania zakresu stosowalności poszczególnych metod badawczych zostały wykonane badania współczynników filtracji na próbkach różnych rodzajów gruntów. Na ryc. 5 podano miejscowości, w których zostały pobrane próbki do badań oraz przedstawiono istotną dla własności filtracyjnych charakterystykę granulometryczną badanych próbek gruntów.

Oznaczenia współczynników filtracji przeprowadzone były na wysuszonych w 105°C, następnie rozrzuconych próbkach gruntów w moździerzu porcelanowym za pomocą tłuczka porcelanowego z nakładką gumową. Do badań używano wody destylowanej o temperaturze 20°C. Na tak przygotowanych próbkach zostały wykonane następujące badania:

- przy zastosowaniu zmiennego ciśnienia wody,
- filtracji z określeniem wielkości wzniosu kapilarnego w rurze poziomej,
- przy stosowaniu stałego ciśnienia wody.

## 2. METODA OKREŚLANIA WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI PRZY STOSOWANIU ZMIENNEGO CIŚNIENIA WODY

Przy badaniu ze zmiennym ciśnieniem wody wykorzystano rurkę Kamieńskiego o średnicy 36,7 mm która została połączona z rurką piezometryczną o średnicy 3,4 mm. Połączenie to każdorazowo było uszczelniane przez zalewanie ciekłą parafiną. Do rurki zanurzonej końcem obciążonym gazą w naczyniu z wodą umieszczano przygotowaną próbkę gruntu niewielkimi warstwami (po 1—2 cm). Przy napełnianiu zagęszcza się grunt za pomocą drewnianego ubijaka.

Po zagęszczeniu próbki gruntu w rurce na długości  $l = 10$  cm i całkowitym jej nasyceniu doprowadza się wodę za pośrednictwem rurki, piezometrycznej, w której poziom wody w miarę filtracji ulega obniżaniu.

Wychodząc z założenia, że ilość wody przefiltrowanej przez próbkę gruntu o przekroju  $F$ , jest równa objętości wody jaka ubędzie w czasie  $dt$  z rurki piezometrycznej o przekroju  $a$ . Rozpatrując powyższą równość dla wielkości nieskończenie małych otrzymuje się następujące równanie różniczkowe:

$$a \cdot dh = k \cdot i \cdot F \cdot dt \quad [1]$$

Rozwiązanie tego równania różniczkowego przez wykonanie całkowania w granicach określonych pomiarem obniżania się wody w rurce piezometrycznej od  $h_1$  do  $h_2$  w okresie czasu od  $t_1$  do  $t_2$  doprowadza do znanego wzoru:

$$k = \frac{a \cdot l}{F \cdot t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad [2]$$

Dla warunków przeprowadzonych badań stosunek  $\frac{a \cdot l}{F}$  był stały i wynosił 0,0866.

W związku z tym obliczenia zostały przeprowadzone wg wzoru:

$$k = \frac{0,0866}{t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad [3]$$

Początkową wysokość poziomu wody w rurce piezometrycznej  $h_1$  we wszystkich badaniach wynosiła 50 cm, a wielkość obniżenia poziomu wody  $h_2 - h_1$  wynosiła 10 cm.

## 3. METODA OZNACZANIA WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI I WZNIOSU KAPILARNEGO W RURZE POZIOMEJ

Metoda oznaczania współczynnika filtracji i wzniosu kapilarnego w rurce poziomej zanurzonej w basenie z wodą często stosowana jest w laboratoriach na Zachodzie, głównie w Stanach Zjednoczonych. W oparciu o wyżej podaną zasadę wykonano specjalne urządzenie i opracowano metodykę badania współczynnika filtracji i wzniosu kapilarnego. Schemat urządzenia został przedstawiony na ryc. 2. Urządzenie to składa się z rurki poziomej o długości 40 cm i średnicy 5 cm oraz zbiornika doprowadzającego wodę. Stałe ciśnienie wody utrzymywane jest przez zastosowanie przelewu. Przed przystąpieniem do badania wyznacza się ciężar próbki, jej objętość oraz ciężar właściwy dla obliczenia porowatości. Przygotowaną próbkę gruntu umieszcza się w rurce poziomej i zagęszcza się. Następnie doprowadza się wodę ze zbiornika.

Pod wpływem doprowadzonej wody następuje zwilżenie próbki wskutek działania sił kapilarnych. Biorąc pod uwagę, że jeśli następuje kapilarne podciąganie wody, to meniski rozwijają się do największej krzywizny dopuszczalnej dla wymiaru porów wytworzonych w badanej próbce. Do krzywizny menisków proporcjonalna jest wysokość podciągania kapilarnego, która dla istniejących warunków będzie miała wielkość stałą.

Po pewnym czasie badania nastąpi zawilgocenie próbki, a w odległości  $x$  uzyskamy wyraźną, prawie pionową linię, oddzielającą część gruntu suchego od zawilgoconego. Gdybyśmy wyobrazili sobie dwie rurki piezometryczne ustawione w punkcie A i B (na granicy menisków), to odpowiednie wielkości ciśnień wynoszą  $h_o$  i  $h_c$ . Różnica ciśnień wyniesie  $h_o + h_c$ . Dla dowolnej odległości  $x$ , przy pełnym nasyceniu można napisać zgodnie z prawem Darcy:

$$k \cdot i = n \cdot v_s \quad [4]$$

lub

$$k \cdot \frac{h_c + h_o}{x} = n \cdot \frac{d_x}{d_t} \quad [5]$$

stąd po scałkowaniu i uporządkowaniu otrzymamy

$$\frac{x_2^2 - x_1^2}{t_2 - t_1} = \frac{2k}{n} (h_c + h_o) \quad [6]$$

Powyższe równanie przedstawia zależność paraboliczną pomiędzy długością nasycenia  $x$  a czasem  $t$ . W trakcie badania wykonuje się pomiary przesuwania się linii zawilgocenia gruntu, dla umożliwienia wykreślenia prostej w układzie  $x^2$ ,  $t$ . Nachylenie

nie tej prostej daje wartość lewej strony tego równania. W otrzymanym równaniu mamy dwie niewiadome  $k$  i  $h_c$ , aby je wyznaczyć, po przesunięciu się linii zawilgocenia mniej więcej do połowy długości próbki, zmienia się położenie zbiornika doprowadzającego wodę, przez co zwiększamy wielkość  $h_0$ . Następnie, w dalszym ciągu prowadzi się pomiary przesuwania się linii zawilgocenia w czasie, aż do końca całej długości próbki. Uzyskuje się drugą prostą w układzie  $x^2$  od  $t$ , ale dla innego  $h_0$ . W związku z tym otrzymuje się układ dwu równań i oblicza się niewiadome  $k$  i  $h_c$ . Układ ten przedstawia się następująco:

$$m_2 = \frac{2k}{n} (hc + ho_2) \quad [7]$$

$$m_1 = \frac{2k}{n} (hc + ho_1)$$

stąd

$$k = \frac{n(m_2 - m_1)}{2(ho_2 - ho_1)} \quad [8]$$

lub

$$k = \frac{0,00834 n(m_2 - m_1)}{(ho_2 - ho_1)} \quad [9]$$

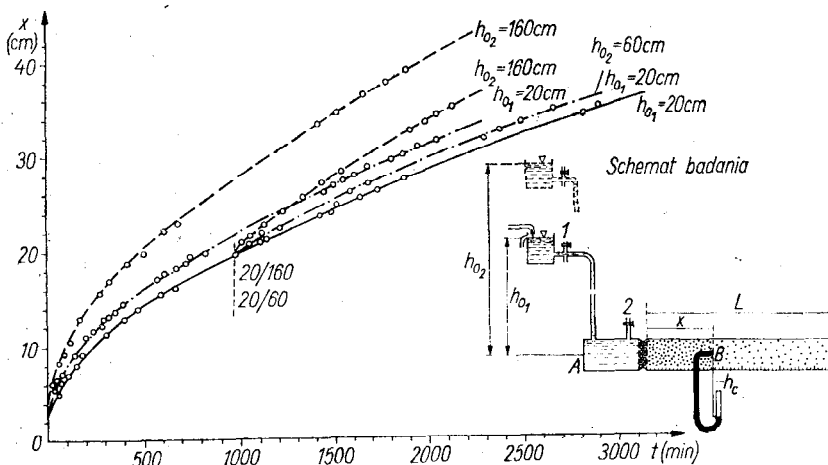
Przykładowe opracowanie wyników badania współczynnika filtracji i wzniosu kapilarnego dla próbki gliny z Solca zostało przedstawione na ryc. 2, 3. Na ryc. 2 i 3 naniesiono pomiary przesuwania się linii zawilgocenia w układzie  $x$  od  $t$  i  $x^2$  od  $t$ , przy ciśnieniu  $ho_1 = 20$  cm, 60 cm, 160 cm dla całej długości próbki oraz przy stosowaniu kombinacji ciśnień:  $ho_1 = 20$  cm,  $ho_2 = 60$  cm i  $ho_1 = 20$  cm,  $ho_2 = 160$ . Nachylenie prostych dla warunków badania ze zmianą ciśnienia w trakcie badania jest takie samo jak dla warunków badania bez zmiany ciśnie-

nia wody, na co wskazuje fakt, że odpowiednie proste są do siebie równoległe. Ponadto na ryc. 3 w tabelce zostały przedstawione parametry obliczeniowe oraz wielkości współczynników filtracji i wzniosu kapilarnego przy zmianie ciśnienia z 20 cm na 60 cm i z 20 cm na 160 cm.

Badanie współczynnika filtracji i wzniosu kapilarnego wymaga szczególnej staranności i dużego doświadczenia, bowiem w początkowej fazie badania przesuwanie się linii zawilgocenia jest nieregularne zależnie od rodzaju gruntu i wynosi od 1 do 5 cm. Jednak duża ilość pomiarów i ich naniesienie w układzie  $x$  od  $t$  lub  $x^2$  od  $t$ , pozwolą na wyeliminowanie błędnych pomiarów. Poza tym, w celu uzyskania dwóch prostych o różnym nachyleniu, niezbędne jest wytworzenie potrzebnej różnicy ciśnień ( $ho_2 - ho_1$ ), tym większej im bardziej ilasta jest badana próbka. Może okazać się, że przy zbyt małej różnicy ciśnień wielkość strefy wyrównywania się ciśnień w próbce, po zmianie ciśnienia z  $ho_1$  na  $ho_2$ , jest większa od połowy długości próbki. Ze względu na powyższe trudności badania można przeprowadzić na dwóch równoległych próbkach, co pozwoli na wyeliminowanie zmiany ciśnienia w trakcie badania.

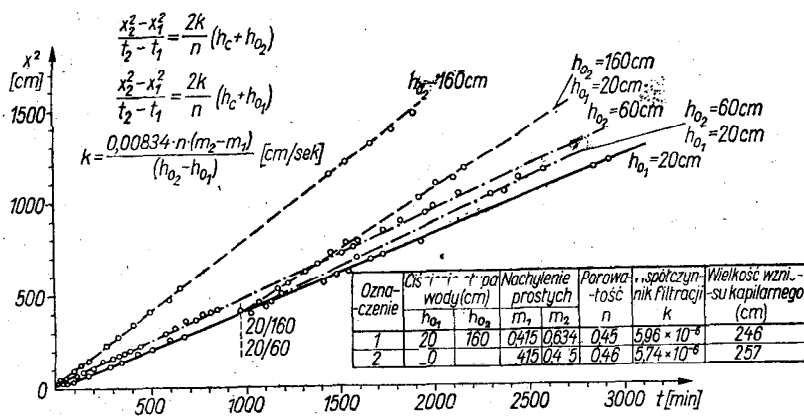
W przeprowadzonych badaniach dla próbek zawierających frakcji ilowej powyżej 10%, stosowano różnice ciśnień minimum 40–50 cm, a dla zawierających frakcji ilowej powyżej 20, 30%; 100–150 cm.

Dla sprawdzenia uzyskiwanych w tej metodzie wielkości wzniosu kapilarnego wykonane zostały oznaczenia wzniosu w rurkach pionowych o  $\Phi$  2 cm i długości 200 cm. Porowatość próbki w obydwu badaniach była zbliżona, maksymalne różnice wynosiły do 3,5%. Obserwacje dla wybranych próbek prowadzone były przez cały rok. Uzyskane wielkości wzniosu kapilarnego zostały przedstawione na ryc. 4. Wykreślone krzywe przedstawiają zależność wysokości wzniosu kapilarnego od czasu, dla wykonanych pomiarów w rurkach pionowych. Odpowiednim sym-



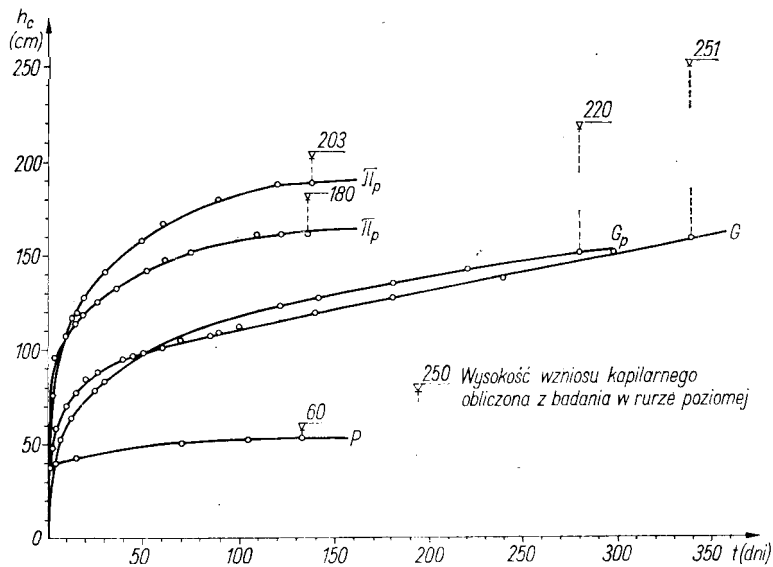
Ryc. 2. Badanie filtracji w rurze poziomej; zależność  $x$  od  $t$ .

Fig. 2. Examination of permeability in horizontal pipe; dependence of  $x$  upon  $t$ .



Ryc. 3. Badanie filtracji w rurze poziomej; zależność  $x^2$  od  $t$ .

Fig. 3. Examination of permeability in horizontal pipe; dependence of  $x^2$  upon  $t$ .



Ryc. 4. Zależność wysokości wzniosu kapilarnego od czasu.

Fig. 4. Dependence of capillary elevation upon time.

bolem oznaczono wielkości obliczeniowe wzniosu kapilarnego, otrzymane z badania w rurze poziomej. Powyższe porównanie wskazuje na to, że wielkości obserwowane są niższe od wielkości obliczeniowych. Różnice między tymi wielkościami są tym mniejsze im krótszego okresu czasu potrzeba na ustalenie się ostatecznej wielkości wzniosu kapilarnego.

#### 4. METODA OZNACZANIA WSPÓLCZYNNIKA FILTRACJI PRZY STOSOWANIU STAŁEGO CIŚNIENIA WODY

Przy wykonywaniu badania z zastosowaniem stałego ciśnienia wody wykorzystano badania w rurze poziomej. To znaczy, że po zawilgoceniu całej próbki gruntu i osiągnięciu przez nią stanu pełnego nasycenia na powierzchni przekroju próbki zaczynają się pojawiać pierwsze krople przefiltrowanej wody. Aby nastąpił proces filtracji konieczne jest wytworzenie odpowiedniego początkowego spadku hydraulicznego.

I tak na przykład dla iltu z Machowa proces filtracji rozpoczął się przy ciśnieniu hydrostatycznym równym 200 cm, po 7 dniach jego działania. Współczynniki filtracji dla tej metody zostały obliczone z równania wydatku  $Q = F \cdot k \cdot i \cdot t$ , w którym wielkość  $F$  traktowano jako powierzchnię porów i szkieletu gruntowego. Po zakończeniu badania wykonano oznaczenie wilgotności w rurze poziomej w przekroju podłużnym i w 3—4 przekrojach poprzecznych oraz określono wilgotności w momencie ukazania się pierwszych kropli przefiltrowanej wody. Oznaczenia tych wilgotności wskazują na:

- równomierny rozkład wilgotności w całej rurze poziomej z wyjątkiem strefy 2—3 cm na jej początku i końcu,
- wilgotność określona w momencie rozpoczęcia się filtracji jest zbliżona do wilgotności odpowiadającej granicy płynności.

I tak na przykład dla próbki gliny pylastej ciężkiej i iltu, wilgotność ta jest mniejsza o około 5% od granicy płynności.

#### 5. OBLICZENIE WSPÓLCZYNNIKÓW FILTRACJI NA PODSTAWIE WZORU J. KOZENY — P. C. CARMANA

Dla sprawdzenia z wynikami otrzymanymi z badań laboratoryjnych przeprowadzone zostały obliczenia współczynników filtracji na podstawie wzoru J. Kozeny — P. C. Carmana:

$$K = \frac{n^3}{(l-n)^2} \frac{g}{u \cdot \eta \cdot S_w^2 \cdot \gamma_s^2} \quad [10]$$

Powierzchnię właściwą dla poszczególnych próbek gruntów obliczono ze składu granulometrycznego

który został przedstawiony w siatce RRS, P. Rossin — E. Rammler — F. Sperling — 1933, fide E. Köster (6), H. Schubert (11) według wzoru:

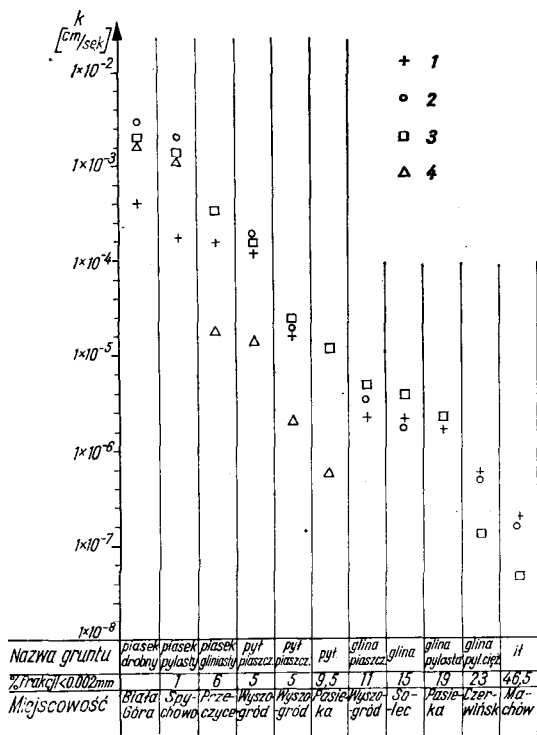
$$S_w = \frac{(Ok' \cdot d')}{d \cdot \gamma_s} \cdot f \quad [11]$$

Do obliczeń powierzchni właściwej wielkości współczynnika  $f$  przyjęte zostały wg H. Heywooda — 1933, fide E. Köster (6).

#### 6. ANALIZA WSPÓLCZYNNIKÓW FILTRACJI OKREŚLONYCH RÓŻNYMI METODAMI

Określone wyżej wymienionymi metodami wartości współczynników filtracji dla badanych próbek gruntów zostały przedstawione na ryc. 5. Przeprowadzone porównanie otrzymanych wyników wskazuje na:

- 6.1. — znaczny rozrzut wartości współczynników filtracji określonych metodami laboratoryjnymi dla próbek: piasku drobnego, piasku pylastego oraz gliny pylastej, gliny pylastej ciężkiej i iltu;
- 6.2. — wyraźną zgodność wartości współczynników filtracji określonych metodami laboratoryjnymi dla próbek: piasku gliniastego, pyłu piaszczystego, pyłu, gliny piaszczystej i gliny;
- 6.3. — dla próbek od piasku drobnego do gliny piaszczystej współczynniki filtracji określone metodą przy stosowaniu zmiennego ciśnienia wody są najniższe;
- 6.4. — największe różnice przy określaniu współczynników filtracji metodami przy zastosowaniu zmiennego i stałego ciśnienia wody wykazują próbki piasku drobnego i pylastego. Odchylenie to maleje ze wzrostem zawartości frakcji iltowej i dla próbek glin i iltu otrzymuje się pełną zbieżność pomiędzy tymi metodami;
- 6.5. — dla próbek od piasku drobnego do gliny, współczynniki filtracji określone w rurze poziomej i metodą przy zastosowaniu zmiennego ciśnienia wody są zbliżone, dla próbek gliny pylastej ciężkiej i iltu wykazują znaczne różnice;
- 6.6. — obliczone wartości współczynników filtracji wzorem J. Kozeny — P. C. Carmana są zbliżone do wartości współczynników filtracji określonych laboratoryjnie jedynie dla próbek piasku drobnego i pylastego, dla pozostałych próbek wykazują znaczny rozrzut. Wartości te są obarczone błędem wynikającym z rachunkowego obliczenia powierzchni właściwej.



Ryc. 5. Zestawienie wartości współczynników filtracji uzyskanych różnymi metodami.

1 — współczynnik filtracji określony metodą przy zastosowaniu zmiennego ciśnienia wody, 2 — współczynnik filtracji określony metodą przy zastosowaniu stałego ciśnienia wody, 3 — współczynnik filtracji określony z badania w rurze poziomej, 4 — współczynnik obliczony wzorem J. Kozeny, P. C. Carmana.

Fig. 5. Comparison of values of permeability coefficients obtained by means of various methods.

1 — permeability coefficient determined by application of changing water pressure, 2 — permeability coefficient determined by application of constant water pressure, 3 — permeability coefficient determined after examination in horizontal pipe, 4 — coefficient calculated by means of J. Kozena, P.C. Carman's formula.

#### 7. UWAGI KOŃCOWE

Analiza wyżej przedstawionego materiału doprowadza do następujących uwag końcowych:

7.1. Przeprowadzone badania oraz opracowana metoda określania współczynników filtracji gruntów słabo przepuszczalnych oraz praktycznie nieprzepuszczalnych posiada podstawowe znaczenie praktyczne. W szeregu zagadnień inżyniersko-

#### SUMMARY

Permeability properties of soils are of considerable importance for engineering-geological and hydrogeological estimation of the terrain. They determine the co-operation between the engineering object and building substratum. Determination of values of permeability coefficients is of great significance in the evaluation of filtration conditions in the areas of dam axis and dam abutments, in the beds sealing water basins, in drainage of opencast workings and buildings, as well as in stability of slopes, in processes of deformation of filtration soils, a.o.

In the article the author makes an analysis of determination of permeability coefficients of low-permeable, semi-permeable and impermeable soils by means of various methods, drawing proper conclusions that are presented in the final remarks of his paper.

-geologicznych badania te pozwalają na właściwe przyjęcie metody badania i tym samym prawidłowe określenie wartości współczynników filtracji dla różnych rodzajów gruntów.

- 7.2. Przy oznaczaniu współczynników filtracji piasków drobnych, pylastych i gliniastych, wskazane jest wykonanie badania przy zastosowaniu stałego ciśnienia wody lub badania w rurze poziomej.
- 7.3. Stosowanie dla gruntów piaszczystych zmiennego ciśnienia wody powoduje, że wartości współczynników filtracji są zaniżone, wpływ zmiennego ciśnienia wody ulega zmniejszeniu ze wzrostem zawartości frakcji ilowej.
- 7.4. Metodę oznaczania współczynników filtracji w rurze poziomej można stosować dla gruntów zawierających do 20% frakcji ilowej.
- 7.5. Wielkości wzniosu kapilarnego określone doświadczalnie w rurek pionowych są zbliżone do wielkości obliczeniowych uzyskanych przy badaniach w rurze poziomej.

#### LITERATURA

1. Bieriezkina G. M. — K woprosu izmieniennija wodopronikajemosti swiaznych gruntow ot gradienta napora. Wiest. Mosk. Universit. Geologija, 1965, nr 1.
2. Brinch Hansen J., Lundgren H. — Hauptprobleme der Bodenmechanik. 1960.
3. Cadle R. D. — Particle size. 1965.
4. Jumikis A. R. — Soil Mechanics. 1962.
5. Klimentow P. P., Pychaczew P. B. — Dinamika podziemnych wod. 1961.
6. Köster E. — Mechanische Geistes- und Bodenanalyse, Leitfaden der Granulometrie und Morphometrie. München, 1960.
7. Kuźniar J. — Modelowe badania wodopruszczalności spoistych gruntów zwałowiska w Turowszowie. Zesz. nauk. Polit. Wrocł., 1966, nr 129.
8. Means R. E., Pacher J. V. — Physical properties of soils. 1963.
9. Pazdro Z. — Hydrogeologia ogólna. Warszawa, 1964.
10. Roza S. A. — Osadki gidrotechnicznych sooruzienij na glinach s małej wlaźnostiu. Hidroteich. stroit., 1950, nr 9.
11. Schubert H. — Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe. Leipzig, 1964.
12. Ter-Stiepanian G. — Ob opriedienienij koeficienta filtracii swiaznych gruntow. Izw. AN Arm. SSR, 1960, t. XIII, nr 3/4.
13. Ter-Stiepanian G. — Nomogram for computation of permeability of cohesive soils. Geotechnique, 1962, vol. XII, No. 3.

#### РЕЗЮМЕ

Фильтрационные свойства грунтов имеют решающее значение при инженерно-геологической и гидрогеологической оценке района. Они определяют взаимодействие системы инженерный объект — основание. Определение величины коэффициентов фильтрации имеет особенно важное значение для оценки условий фильтрации на участках, прилегающих к плотинам, каскадным сооружениям, в слоях уплотняющих водоемы, при водоотливах из карьеров, сооружениях строительных объектов, расчетах устойчивости склонов, в изучении процессов фильтрационных деформаций грунтов и др.

Автор анализирует разные методы определения коэффициентов фильтрации слабопроницаемых, полупроницаемых и практически непроницаемых грунтов.