Kwartalnik Geologiczny, t. 26, nr 3/4, 1982 r., str. 685–694

UKD 624.131.43:556.332.4:556.342.023:532.546

Stefan KOWALSKI

Przyczynek do poznania wpływu cech gruntu na procesy filtracji

Przedstawiono wyniki laboratoryjnych badań filtracji w gruntach nasyconych i nienasyconych wodą. W ośrodku całkowicie nasyconym filtracja przebiega bardziej stabilnie niż w częściowo nasyconym, przy czym istotną rolę mają cechy strukturalne gruntu wynikające z jego genezy, głównie równomierność uziarnienia i kulistość.

WSTĘP

Badania filtracji wody wykazywały wielokrotnie, że proces ten przebiega odmiennie zarówno w warunkach przepływu laminarnego, mieszanego czy turbulentnego, jak też w warunkach różnego nasycenia gruntów. Jak wiadomo, pojęcie nasycenia gruntu dotyczy gruntu zawierającego w przestrzeniach międzyziarnowych różne rodzaje płynów, np. wodę, i powietrze. W stosunku do wody stopień nasycenia jest określony jako część przestrzeni porowej wypełnionej wodą (J. Bear i in., 1968).

W warunkach naturalnych granicę między gruntem nasyconym i nienasyconym stanowi powierzchnia swobodna wód podziemnych. Ciśnienie hydrostatyczne na tej powierzchni równe jest ciśnieniu atmosferycznemu. Poniżej powierzchni swobodnej wód podziemnych – w strefie saturacji – ciśnienie hydrostatyczne jest wyższe od ciśnienia atmosferycznego. Powyżej tej powierzchni – w strefie aeracji – występują, pomijając okresowo pojawiające się wody infiltracyjne, tylko wody związane: kapilarna, błonkowata i higroskopijna, w których ciśnienie hydrostatyczne jest niższe od ciśnienia atmosferycznego – fig. 1 (S. Davis, R. De Wiest, 1966).

Można przypuszczać, że głównym czynnikiem wpływającym na filtrację wody jest stopień nasycenia gruntu, na który bezpośredni wpływ mają cechy strukturalne takie jak: wielkość ziarna, równomierność uziarnienia, kulistość, obtoczenie i inne. Zespół wymienionych cech zależy od typu genetycznego gruntu.

Za pomoc w badaniach oraz opracowaniu wyników autor dziękuje mgr G. Biniak z Zakładu Hydrogeologii Instytutu Nauk Geologicznych UWr.

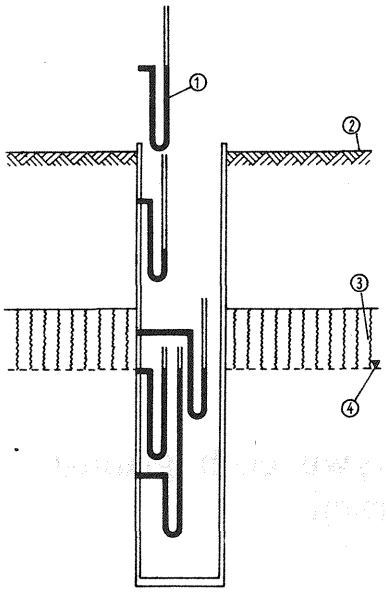

Fig. 1. Powierzchnia swobodna wód podziemnych w jednorodnym ośrodku porowatym (według R. De Wiesta *fide* B. Davis, R. De Wiest, 1966)

Free surface of groundwater in porous homogenous medium (after R. De Wiest *fide* B. Davis, R. De Wiest, 1966)

1 – ciśnienie hydrostatyczne i atmosferyczne w ośrodku skalnym o różnym stopniu nasycenia; 2 – powierzchnia terenu; 3 – strefa wzniosu kapilarnego; 4 – powierzchnia swobodna zwierciadła wód podziemnych

1 – hydrostatic and atmospheric pressure in rock medium with different degree of saturation; 2 – terrain surface; 3 – zone of capillary rise; 4 – free surface of groundwater table

WYBÓR PRÓBEK DO BADAŃ

Do badań pobrano próbki z utworów przepuszczalnych o następującej genezie:

1 – wodnolodowcowych piasków żwirowatych doliny górnego Bobru i Kaczawy (Marciszów, Kaczorów);

2 – aluwialnych piasków średnioziarnistych doliny Odry z rejonu Oławy;

3 – trzeciorzędowych i czwartorzędowych piasków średnio- i drobnoziarnistych rowu Szczercowa (z Kopalni Węgla Brunatnego w Bełchatowie);

4 – górnokredowych, pokruszonych piaskowców drobno- i średnioziarnistych z Krzeszówka.

Są to osady o równomiernym uziarnieniu – $u = 1{,}7-4{,}4$, kulistości średniej – 0,7 (0,8–0,63) i obtoczeniu – 0,43 (0,53–0,36) według wzorca Krumbeina i Sloosa (fig. 2). Z punktu widzenia środowiska filtracyjnego najkorzystniejszymi parametrami charakteryzują się aluwia rzeczne, a najmniej korzystnymi – osady trzeciorzędowe i górnokredowe. Najniższy współczynnik równomierności uziarnienia wykazują górskie osady wodnolodowcowe (piaski żwirowate). Parametry kulistości i obtoczenia są z reguły wyższe (10–20%) dla średnicy d_{60} niż d_{10}.

Z każdego stanowiska pobrano po kilka próbek, zakładając przy badaniu jednorodne własności filtracyjne gruntu. W trakcie kolejnych badań to uproszczenie okazało się słuszne.

METODA BADAŃ

Filtrację i defiltrację badano w pionowej kolumnie gruntu o znanym ciężarze objętościowym, tj. o tym samym zagęszczeniu, w warunkach:

a – nasycenia – przy stałym i zmiennym spadku hydraulicznym określono filtrację liniową (fig. 3), spadek hydrauliczny, prędkość filtracji, a także współ-

czynnik filtracji (k) jako parametr porównawczy dla stosowanych metod badawczych;

b – niepełnego nasycenia – metodą strefowego drenażu kolumny gruntu (S. Kowalski, praca w druku).

Mając na względzie wpływ kapilarności na przebieg filtracji, szczególnie w ośrodku nienasyconym, niezależnie od głównego eksperymentu wykonano oznaczenia kapilarności, przyjmując stały ciężar objętościowy gruntu.

W kolejnych doświadczeniach przy pełnym nasyceniu określono rozkład ciśnień i objętość wody, uwzględniając jej temperaturę, ciężar objętościowy oraz parowanie, a także maksymalne odpowietrzenie próbki.

Dodatkowym badanym parametrem była porowatość całkowita, która sumuje w zasadzie wpływ czynników strukturalnych gruntu. Określono ją z różnicy ciężaru objętościowego i właściwego gruntu uprzednio rozdrobnionego i wysuszonego.

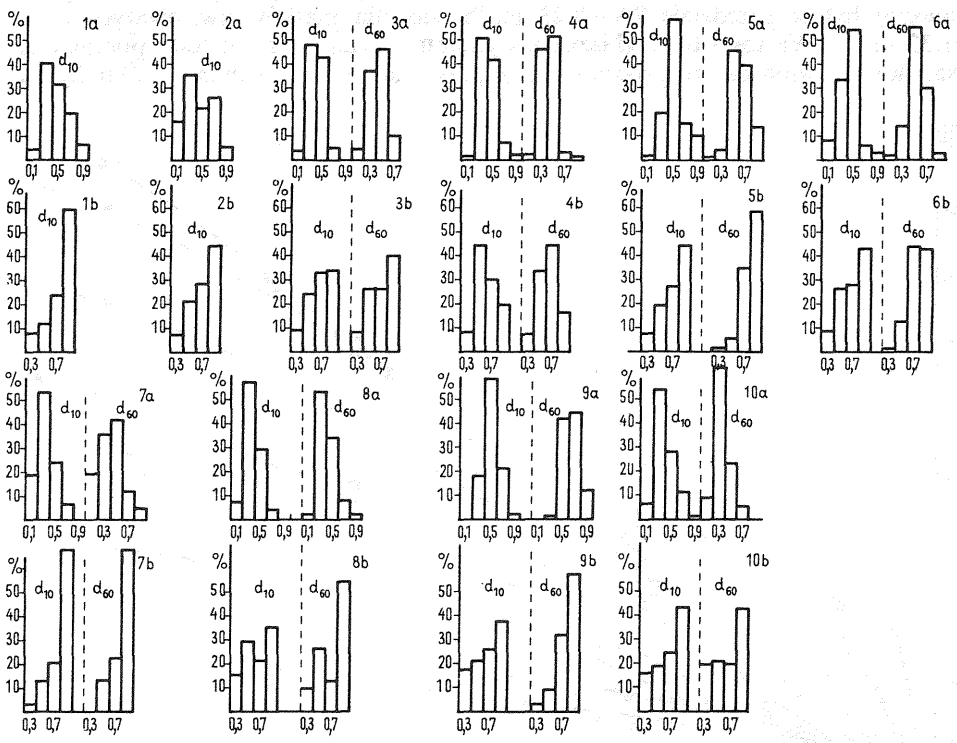

Fig. 2. Histogramy kulistości i obtoczenia ziarn piasków według wzorca Krumbeina i Sloosa
Histograms of sphericity and roundness of sand grains after Krumbein and Sloos standard

a – obtoczenie; b – kulistość; d_{10}, d_{60} – frakcje ziarn piasku; 1–10 – numery próbek: 1 – piasek średnioziarnisty pradoliny Odry (Oława); 2, 3 – piasek żwirowaty, fluwioglacjalny: 2 – doliny Bobru (Marciszów), 3 – doliny Kaczawy (Kaczorów); 4 – pokruszony piaskowiec górnoturoński (Krzeszówek); 5–7 – piasek aluwialny doliny Małej Panwi (zbiornik Turawa); 8,10 – piasek trzeciorzędowy z KWB w Bełchatowie; 9 – piasek eoliczny czwartorzędowy z KWB w Bełchatowie

a – roundness; b – sphericity; d_{10}, d_{60} – sand grain fractions; 1–10 – numbers of samples: 1 – medium-grained sand from ancient valley of the Odra River (Oława); 2, 3 – fluvioglacial gravel sand from: 2 – Bóbr River valley (Marciszów), 3 – Kaczawa River valley (Kaczanów); 4 – crushed Upper Turonian sandstone (Krzeszówek); 5 – 7 – alluvial sand from Mała Panew River valley (Turawa reservoir); 8, 10 – Tertiary sand from Bełchatów Brown Coal Mines; 9 – Quaternary eolian sand, locality an above

WYNIKI BADAŃ

I. W warunkach całkowitego nasycenia wodą, przy stałym spadku hydraulicznym (filtracja ustalona) górną granicę filtracji liniowej określał spadek hydrauliczny i_{gr} 0,11 – 0,2 (piaski żwirowate) oraz i_{gr} 0,235 (piaski średnioziarniste). Obserwowano niezbyt duży rozrzut określanych parametrów (tab. 1, fig. 3). Prędkość filtracji przy i_{gr} dla piasków średnioziarnistych wynosiła 0,12 cm/min, dla pospółek 0,09 – 0,154 cm/min, natomiast współczynnik filtracji (k) odpowiednio – 0,639 cm/min i 0,764 cm/min (9,2 i 11,0 m/db). Stwierdzono jednocześnie nieznaczny, ale systematyczny spadek wartości określanych parametrów wraz ze wzrostem spadku hydraulicznego do 1,5 m/db.

II. W warunkach całkowitego nasycenia gruntu wodą, ale przy zmiennym spadku hydraulicznym (filtracja nieustalona) przez odpowiednie ustawienie skrajnych naporów H_1 i H_2 wartość spadku hydraulicznego odpowiadała wartości dla filtracji ustalonej. Dla piasków średnioziarnistych współczynnik filtracji (k) zawarty był w przedziale 7,9 – 9,23 m/db, zaś dla piasków żwirowatych 8,5 – 11,32 m/db. Wartości te są zbieżne z wynikami obliczonymi metodą poprzednią. Nasuwa się wniosek, że proces filtracji przy stałym i zmiennym spadku hydra-

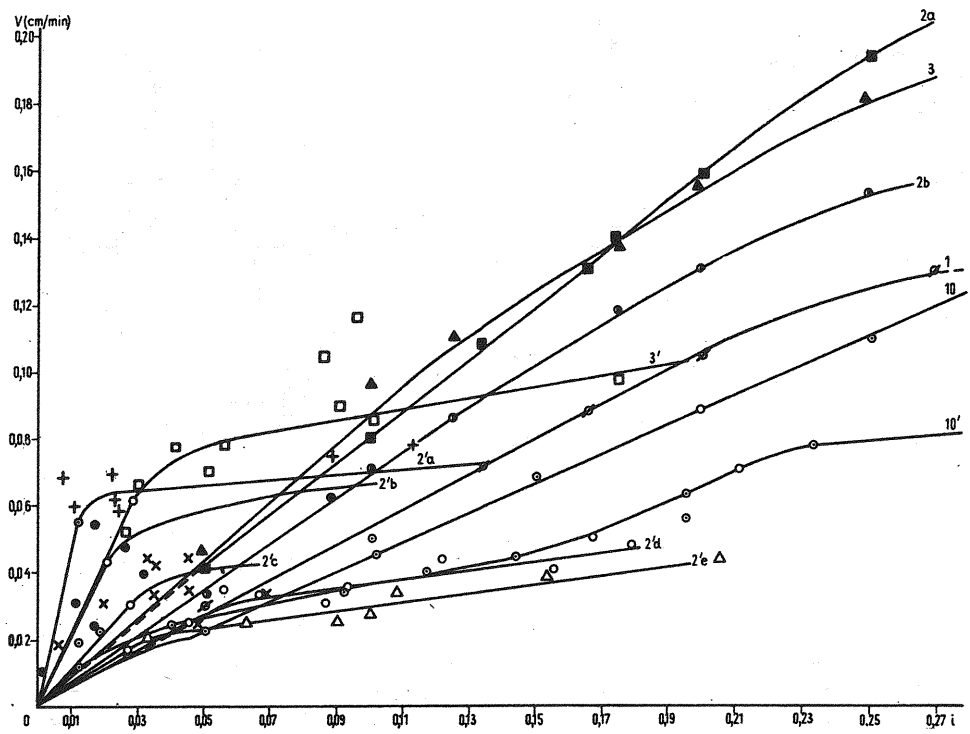

Fig. 3. Zależność prędkości objętościowej filtracji (równej ilorazowi objętości wody przez powierzchnię przekroju) i prędkości defiltracji (ośrodek nienasycony, cm/min) od spadku hydraulicznego

Interpendences of volume rate of percolation (equal to quotient of volume of water by cross-section surface) and depercolation rate (unsaturated medium, in cm/min) on hydraulic gradient

a – e – kolejne eksperymenty; numeracja próbek jak na fig. 2; cyfry z „prim" dotyczą procesu defiltracji

a – e – successive experiments; numbers of samples as given in Fig. 2; numbers with "prim" refer to depercolation process

Tabela 1

Zestawienie wyników laboratoryjnych badań gruntów

Rodzaj gruntu	Cechy strukturalne gruntu								Parametry filtracyjne – spadek hydrauliczny				Współczynnik odsączalności μ	Współczynnik kapilarności ω_k	Wysokość wzniosu kapilarnego η_k (cm)
	uziarnienie (mm)					kulistość dla d_{10}	obtoczenie dla d_{10}	porowatość	stały			zmienny			
	d_{50}	d_{60}	d_{10}	d_5	u				i_{gr}	v_{gr} (cm/min)	k (m/db)	k (m/db)			
Piaski średnioziarniste pradoliny Odry	0,350	0,370	0,220	0,190	1,68	0,768	0,466	0,364	0,1765	0,113	9,20	7,90	0,180	0,3–0,37	10,60
Piaski żwirowate, fluwioglacjalne doliny Bobru	0,900	1,400	0,440	0,350	3,10	0,718	0,436	0,336	0,111 0,130 0,2156	0,0965 0,090 0,1715	11,47 9,41	8,50 11,32 8,70	0,140	0,270	19,90
Piaski żwirowate, fluwioglacjalne, doliny Kaczawy	0,490	0,660	0,150	0,100	4,40	0,684	0,398	0,312	0,160	0.0911	8,20	7,52	0,1827	0,230	31,75
Piaski średnio- i drobnoziarniste, górnokredowe z Krzeszówka	0,280	0,380	0,102	0,080	3,73	0,622	0,411	0,327	0,75	0,037	0,546	0,525	0,112	0,23	34,00
Piaski drobnoziarniste, pyłowate, eoliczne z KWB w Bełchatowie	0,150	0,155	0,083	0,063	1,87	0,652	0,514	0,330	–	–	–	–	–	0,30	53,00
Piaski średnioziarniste, brunatne, trzeciorzędowe z KWB w Bełchatowie	0,185	0,220	0,090	0,078	2,44	0,690	0,394	0,379	0,320	0,141	6,37	8,25	0,193	0,295	16,70

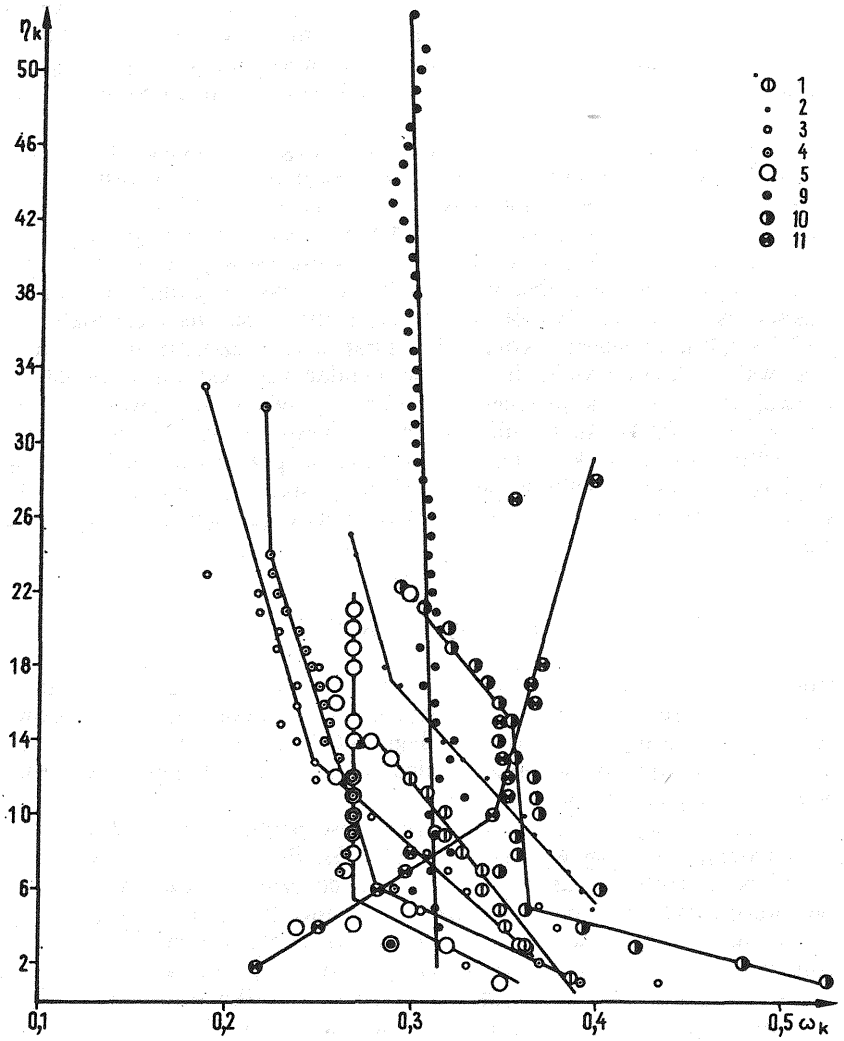

Fig. 4. Zależność między wysokością wzniosu kapilarnego (η_k) i współczynnikiem kapilarności (ω_k) badanych gruntów

Interdependence of the height of capillary rise (η_k) and capillary rise coefficient (ω_k) for the studied soils

Numeracja próbek 1–5, 9, 10 jak na fig. 2; 11 – muł z dna zbiornika Turawa

Numbers of samples 1–5, 9, 10 as given in Fig. 2; 11 – mud from floor of the Turawa reservoir

ulicznym przebiega podobnie, zaś otrzymane wyniki można przyjąć za właściwe dla ośrodka nasyconego.

III. W warunkach niepełnego nasycenia gruntu przy zastosowaniu metody strefowego drenażu kolumny gruntu obserwowano większy rozrzut punktów pomiarowych w porównaniu z wynikami badań w warunkach nasycenia. Celem uzyskania statystycznego obrazu doświadczenie powtarzano 5–10-krotnie. W kolejnych odcinkach czasu systematycznie wzrastały: spadek hydrauliczny (i) oraz

prędkość defiltracji (v), utożsamiana z odsączalnością, przy czym prędkość wzrastała wolniej. Zależność v od i przedstawiono w formie wykresu (fig. 3), który jest odmienny od odpowiedniego wykresu dla środowiska nasyconego. Zgodnie z oczekiwaniem, w pierwszej fazie eksperymentu krzywe są nachylone, a w pozostałej płaskie.

IV. Badania kapilarności w warunkach niepełnego nasycenia gruntu prowadzono na próbkach z 8 stanowisk (fig. 4). Z uwagi na zróżnicowane wysokości wzniosu kapilarnego, każde oznaczenie powtarzano 6–10-krotnie. Głównymi parametrami, które mierzono, były: wysokość wzniosu kapilarnego (η_k) i współczynnik kapilarności (ω_k). Wartości wzniosu mieszczą się w przedziale 10–50 cm, przy czym najwyższy wznios obserwowany był w piaskach pylastych i drobnych oraz piaskach żwirowatych. Współczynnik kapilarności jest na ogół mało zróżnicowany (0,2–0,38). Obliczenia korelacji kapilarności z uziarnieniem gruntu wykazały, że wskaźnikiem wysokich efektów kapilarnych jest mały współczynnik objętościowej wilgotności kapilarnej, na który wpływa dużą równomierność uziarnienia ($r_{\omega u} = -0{,}94$), mała kulistość ($r_{\omega k} = 0{,}66$) i niska porowatość ($r_{\omega p} = 0{,}67$). Ponadto najwyższą korelację w warunkach przeprowadzonego eksperymentu wykazuje współczynnik kapilarności przy średnicy ziarna $d_5 = -0{,}877$. Wykres o współrzędnych η_k i ω_k (fig. 4) wskazuje na część pętli histerezy w trakcie nasycenia.

INTERPRETACJA WYNIKÓW

Interpretację wyników badań oparto na analizie rozkładu naporu hydraulicznego w kolumnie gruntu. W tym celu zastosowano metodę własną (S. Kowalski, praca w druku), według której dla każdego odcinka czasu ($\Delta t = 10'$) należało połączyć wartości naporów w poszczególnych piezometrach przy uwzględnieniu odległości między piezometrami (fig. 5).

Na osi pionowej wykresu naniesiono wysokość próbki gruntu (H), zaś na osi poziomej ciśnienie na danej wysokości gruntu (h). Przez połączenie wskazań naporów w piezometrach w jednakowych odcinakch czasu otrzymano obraz obniżania się naporu hydraulicznego wzdłuż drenowanej kolumny gruntu. Wszystkie linie (fig. 5, linie 1) są względem siebie prawie równoległe i mają, szczególnie w fazie końcowej eksperymentu, kształt krzywej depresji. Lokalne odchylenia w ich układzie wskazują na zaburzenia defiltracji w ośrodku porowatym. Może to być wywołane dopływem wody kapilarnej zawieszonej po przekroczeniu warunków jej utrzymywania. Przez połączenie najwyższych wartości naporu w kolumnie po upływie kolejnych odcinków czasu otrzymano rozkład naporu hydraulicznego w stropie strumienia filtracyjnego w trakcie drenażu kolumny (fig. 5, linia 2). Uzyskany obraz jest linią prostą, ale odcinki prostej dla ΔH przyjętego modułu w czasie $\Delta t = 10'$ są różne.

Ponadto wykreślono rozkład naporu hydraulicznego w kolumnie gruntu całkowicie nasyconej wodą (przed rozpoczęciem drenażu – fig. 5, linia 3), a także rozkład ciśnienia nazywanego wysokością położenia (z), tj. wysokość gruntu nasyconego od podstawy do miejsc założenia pierwotnego (fig. 5, linia 4). Z wykresów wynika, że linia naporu hydraulicznego w trakcie drenażu nie pokrywa się z linią naporu charakteryzującą ośrodek nasycony. Obserwuje się powolny wzrost rozbieżności między tymi naporami – najwyższy w piaskach żwirowatych. Czy wynika to jedynie z różnicy nasycenia badanych ośrodków? Aby to wyjaśnić posłużono się analizą wzrostu wzniosu kapilarnego w tych samych odcinkach czasu

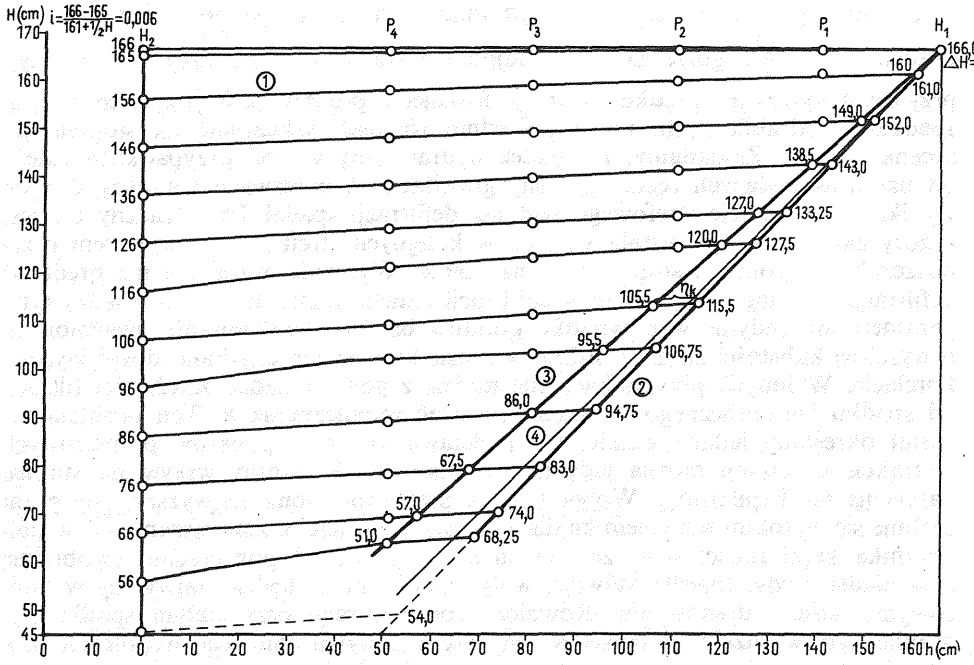

Fig. 5. Graficzna analiza przebiegu defiltracji wody z kolumny gruntu (próbka 2b – Marciszów – piasek żwirowaty)

Graphic analysis of the course of water depercolation from soil column (sample 2b from Marciszów – gravel sand)

H – wysokość kolumny gruntu; h – ciśnienie; H_1, H_2 – napory hydrauliczne w stropie i spągu kolumny gruntu (cm); $P_1 - P_4$ – rozmieszczenie piezometrów; ① – spadek naporu hydraulicznego wzdłuż drenowanej kolumny gruntu po czasie Δt; ② – rozkład naporu hydraulicznego (H_1) i kapilarnego (η_k) w stropie strumienia filtracyjnego w trakcie drenażu wody; ③ – teoretyczny rozkład naporu hydraulicznego w warunkach nasycenia gruntu; ④ – rozkład ciśnienia nazywanego wysokością położenia (z); i – spadek hydrauliczny w czasie Δt; ΔH – obniżenie naporu hydraulicznego H_1 w czasie Δt; η_k – wzniosy kapilarny w trakcie drenażu

H – height of soil column; h – pressure; H_1, H_2 – hydraulic pressures at the top and base of soil column (cm); $P_1 - P_4$ – distribution of piezometers; ① – drop of hydraulic pressure along the drained soil column after time Δt; ②–distribution od hydraulic (H_1) and caplary (η_k) pressures at the top of percolation stream in the course of water drainage; ③ – theoretical distribution of hydraulic pressure under soil saturation conditions; ④ – distribution pressure termed as height of location (z); i – gradient of water table in time Δt; ΔH – drop of hydraulic pressure H_1 in time Δt; η_k – capillary rise in the course of drainage

przy zasilaniu i drenażu (zgodnie z kształtem pętli histerezy). Okazało się, że różnice między naporami hydraulicznymi w kolumnie całkowicie nasyconej (H_n) i nienasyconej (H_{nien}) są porównywalne ze wzniosem kapilarnym po upływie kolejnych odcinków czasu (fig. 4), inaczej mówiąc: $H_n = H_{nien} + (-\eta_k)$. Zdaniem autora stopień nasycenia może wynikać z różnicy między sumą naporu hydraulicznego i kapilarnego a wysokością położenia (z) przy całkowitym nasyceniu.

Znajomość wzniosu kapilarnego jest bardzo istotna, ponieważ umożliwia określenie jego wpływu na napór hydrauliczny, będący parametrem wyjściowym dla określenia współczynników filtracji i odsączalności, charakteryzujących dwa badane ośrodki filtracyjne: nasycony i nienasycony. W ten sposób można by zinterpretować zależności między prędkościami filtracji i defiltracji a spadkiem hydraulicznym przedstawione na fig. 3. Na wykresie tym widać, że filtracja i defil-

tracja, przy podobnych spadkach hydraulicznych, odbywają się z różnymi prędkościami ($v = \frac{Q}{F}$, gdzie Q – wydajność filtracji, F – przekrój poprzeczny), przy czym wyższa jest prędkość filtracji. Różnice w prędkościach, przy tych samych spadkach hydraulicznych, mogą pośrednio również wskazywać na stopień nasycenia gruntu. Zakładamy, że spadek hydrauliczny w obu przypadkach zależy od naporów będących rezultatem siły grawitacji. Z obserwacji i analizy danych wynika, że w trakcie strefowego badania defiltracji spadek hydrauliczny nie jest z góry zakładany, lecz ustala się sam w kolejnych strefach pod wpływem przepuszczalności gruntu i stopnia jego nasycenia. Wyraźniej wzrasta i niż prędkość defiltracji v. Z tego względu przy defiltracji istnieje niższa korelacja między tymi parametrami. Jedynie w przypadku gruntów bardzo równomiernie uziarnionych o wysokiej kulistości ziarna i niskim wzniosie kapilarnym uzyskano dosyć wysoką korelację. W innych przypadkach nie można z góry zakładać zależności filtracji od spadku hydraulicznego, a zatem stosować współczynnik k. Ten problem nie został określony jednoznacznie. Na podstawie rozrzutu punktów pomiarowych w trakcie defiltracji można jedynie przypuszczać, że istotny wpływ na stopień nasycenia ma kapilarność. Wpływ ten jest prawdopodobnie najwyższy, gdy grunt cechuje się wysokim wzniosem kapilarnym przy niewielkim zmniejszaniu się współczynnika kapilarności wraz ze wzrostem odległości od powierzchni swobodnej zwierciadła wody. Inaczej mówiąc, wpływ kapilarności będzie najwyższy w końcowym stadium drenowania. Również proces filtracji przy stałym spadku hydraulicznym wskazuje, że nawet w obszarze przepływu liniowego współczynnik k stopniowo zmniejsza się przy wzroście spadków hydraulicznych.

Z kolei wpływ kapilarności na zależności v od i oraz stopień nasycenia będzie najmniejszy wówczas, gdy przy niskim wzniosie kapilarnym szybko maleje współczynnik kapilarności wraz z odległością od swobodnej powierzchni zwierciadła wody, czyli powierzchni zasilania wód kapilarnych.

Ogólnie można stwierdzić, że wpływ kapilarności w procesie defiltracji, czyli niecałkowitego nasycenia, jest wyraźny co można było przewidzieć. Posługując się uzyskanymi współczynnikami korelacji dla procesu kapilarności autor doszedł przy innej okazji do wniosku, że główną rolę dla stopnia tego wpływu odgrywa współczynnik jednorodności uziarnienia, kulistości ziarna oraz wielkość frakcji najdrobniejszej – d_5.

PODSUMOWANIE

Celem przeprowadzonych badań były obserwacje procesu filtracji w ośrodku nasyconym oraz defiltracji w ośrodku nienasyconym. W ośrodku nienasyconym rozrzut parametrów filtracyjnych dochodzi do 100% i powyżej, przy czym wyższy rozrzut notowany był w gruntach o mniejszym stopniu jednorodności i niższej kulistości ziarna.

Jednocześnie istniała zbieżność wpływu czynników strukturalnych w procesie kapilarności i drenażu. Dla gruntów o wyższym rozrzucie parametrów filtracyjnych w trakcie drenażu notowano również wyższy rozrzut parametrów kapilarności. Stąd – zdaniem autora – zaburzenia procesów drenażu prawdopodobnie należy wiązać z wpływem wód kapilarnych w ośrodku nienasyconym. Badane procesy występują powszechnie w warunkach naturalnych na przemieszczającej się granicy między strefą aeracji i saturacji. Zmiany stopnia nasycenia stanowią istotne zagadnienie w górnictwie odkrywkowym, związane m.in. z tzw. „wodami

resztkowymi". Przeprowadzone eksperymenty nie pretendują do cząstkowego nawet rozwiązania postawionych problemów. Zadaniem autora było podzielenie się dotychczasowymi wynikami własnych badań.

Instytut Nauk Geologicznych
Uniwersytetu Wrocławskiego
Wrocław, ul. Cybulskiego 30
Nadesłano dnia 15 listopada 1979 r.

PIŚMIENNICTWO

BEAR J., ZASLAVSKY D., IRMAY S. (1968) – Physical principle of water percolation and seepage. Unesco.

DAVIS S., DE WIEST R. (1966) – Hydrogeology. New York–London–Sydney.

KOWALSKI S. (praca w druku) – Badanie procesu filtracji w trakcie jej drenażu z pionowej kolumny gruntu. Acta Univ. Wratisl., Pr. Geol.-Miner.

Стефан КОВАЛЬСКИ

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ СВОЙСТВ ГРУНТА НА ПРОЦЕССЫ ФИЛЬТРАЦИИ

Резюме

Изучение фильтрации многократно показывало, что этот процесс зависим от типа потока (ламинарный, турбулентный или смешанный), а также от степени насыщенности грунта. В рассматриваемом случае под степенью насыщенности подразумевается часть порового пространства, насыщенная водой.

Имея ввиду выше сказанное, велось лабораторное изучение процесса фильтрации в зависимости от следующих свойств грунта: величины зерен, равномерности зернистости, окатанности и пористости.

Фильтрация происходила в условиях полной насыщенности — при постоянном и сменном гидравлическом градиенте и в условиях недонасыщенности — в процессе изучения капиллярной влагоемкости, а затем зонального дренажа.

В условиях дренажа фильтрационные параметры отличались большой стабильностью и сходством при установившейся и неустановившейся фильтрации. В условиях недонасыщенности наблюдался большой разброс соответствующих параметров. Нарушения были выше в грунте с неравномерной зернистостью, малой сферистостью и пористостью. Капиллярные эффекты также выше в грунтах, обладающих вышеперечисленными свойствами. Это сходство говорит о большой роли капиллярных вод, находящихся в неопределённом состоянии в условиях недонасыщенности (например в процессе дренажа).

Stefan KOWALSKI

CONTRIBUTION TO THE KNOWLEDGE OF INFLUENCE OF SOIL PROPERTIES ON THE PERCOLATION PROCESSES

Summary

The studies on percolation were often showing dependence of that process on nature of flow (laminary, turbulent, or mixed) as well as degree of soil saturation. In the present case, the degree of saturation is meant as a part of pore space infilled with water.

Taking the above premises into account, there were conducted laboratory studies on the course of percolation in dependence on the following features of soils: grain size, sorting, sphericity and roundness of grains, and porosity. The tests involved percolation proceeding under conditions of full saturation and stable or varying hydraulic gradient, and – in the case of studies on capillary water absorption and, subsequently, zonal drainage – under conditions of incomplete saturation.

Percolation parameters appeared fairly stable under drainage conditions and similar under conditions of stable and unstable percolation. In turn, the parameters were found to be markedly varying under conditions of incomplete saturation. The disturbances are greater in poorly sorted soils, weakly porous and with low sphericity of grains. Capillary effects are also higher in soils with such properties. The similarities suggest marked significance of capillary waters under conditions of incomplete saturation (e.g. during drainage).