

PRĘDKOŚĆ WZNOSZENIA KAPILARNEGO W GRUNTACH NIESPOISTYCH

Małgorzata WYSOCKA*, Zenon SZYPCIO, Dariusz TYMOSIAK

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań kapilarności czynnej i prędkości podciągania kapilarnego w piaskach średnich i pospółkach o różnym stopniu zagęszczenia. Maksymalna wysokość podciągania kapilarnego (kapilarność czynna) jest odwrotnie proporcjonalna do wskaźnika porowatości e i średnicy miarodajnej d_{10} . Prędkości podciągania kapilarnego w gruntach niespoistych są duże w początkowej fazie i szybko maleją wraz z upływem czasu. Dla piasków średnich zagęszczonych stabilizacja wysokości podciągania może następować po kilkudziesięciu lub kilkuset godzinach.

Słowa kluczowe: grunty niespoiste, kapilarność czynna, prędkość wznoszenia kapilarnego.

1. Wprowadzenie

Grunt niespoisty jest ośrodkiem ziarnistym, w którym wolne przestrzenie między ziarnami tworzą kapilary. Woda w kapilarach wznosi się ponad poziom swobodnego zwierciadła. Wartość wznoszenia (podciągania) kapilarnego ponad poziom ustabilizowanego zwierciadła wody gruntowej nazywamy kapilarnością czynną (Wiłun, 2003). Różna średnica kanalików w gruncie powoduje różne prędkości wznoszenia, co powoduje unieruchomienie pęcherzyków powietrza w niektórych kanalikach (Strzelecki i in., 2008). Zatem strefa podciągania kapilarnego nie jest strefą pełnej saturacji. W górnych poziomach strefy podciągania kapilarnego stopień wilgotności jest niższy niż w strefach dolnych (Kezdi, 1980; Strzelecki i in., 2008).

Kapilarność czynna gruntu zależy głównie od składu granulometrycznego gruntu (rodzaju gruntu), porowatości, mineralogii, temperatury i zmienia się w przedziałach od kilku centymetrów dla żwirów do kilkunastu (kilkudziesięciu) metrów dla glin i łąw (Smolczyk, 2003). Zjawisko podciągania kapilarnego związane jest z oddziaływaniem międzycząsteczkowym trzech faz: stałej, ciekłej i gazowej. W strefie podciągania kapilarnego w porach gruntu występuje podciśnienie. Maksymalna wartość podciśnienia występuje na poziomie frontu zawilgocenia i zanika na powierzchni swobodnego zwierciadła wody gruntowej (Smith, 2006). W początkowej fazie podciągania kapilarnego, gdy wartość wzniosu jest mała, spadki potencjału są duże i prędkości wznoszenia kapilarnego są duże. Prędkość

wznoszenia kapilarnego maleje i całkowicie zanika, gdy wznios kapilarny osiąga maksymalną wartość równą kapilarności czynnej. Czas konieczny do osiągnięcia maksymalnej wartości wzniosu kapilarnego waha się w bardzo szerokich granicach, od kilku minut dla żwirów i piasków grubych do nawet tysiąca godzin dla gruntów drobnoziarnistych (Kezdi, 1980).

W wielu przypadkach czynniki wywołujące ruch wody w strefie podciągania kapilarnego zmieniają się cyklicznie powodując wzrost wilgotności gruntu w tej strefie. W gruntach spoistych parametry wytrzymałościowe gruntu znacząco maleją wraz ze wzrostem wilgotności, zaś w gruntach niespoistych wzrost wilgotności powoduje redukcję „spójności pozornej”. Znane są przypadki utraty stateczności skarp wywołane cyklicznym zawilgoceniem jej podstawy.

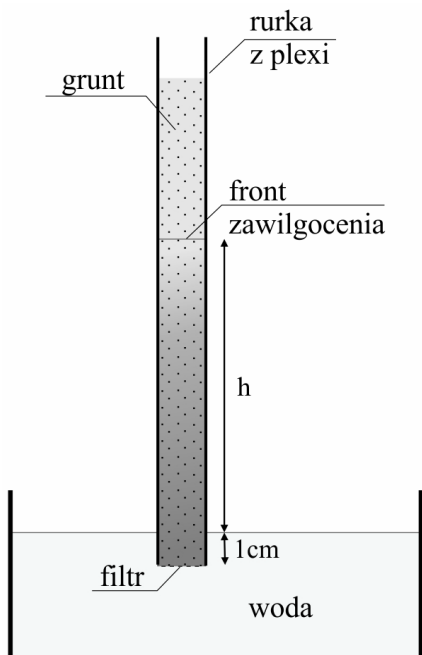
W pracy przedstawiono badania prędkości wznoszenia kapilarnego dla pospółki i piasku średniego przy różnym ich zagęszczeniu (wskaźniku porowatości). Pokazano, że dla piasków średnich zagęszczonych wznoszenie kapilarne trwa stosunkowo długo.

2. Badania wznoszenia kapilarnego

Rurę z plexiglasu o długości 1,5 m i średnicy wewnętrznej 143 mm, której dolny koniec zakończono geowłókniną napełniono do wysokości 1,0 m suchym gruntem. Suchy grunt układano warstwami o grubości około 5cm dbając o równomierne ich zagęszczenie. Tak przygotowaną rurę z gruntem zagłębiono 1 cm poniżej poziomu wody

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.wysocka@pb.edu.pl

wypełniającej duże naczynie (rys. 1). W badanych gruntach niespoistych podnoszenie się frontu zawilgocenia jest widoczne jako zmiana zabarwienia gruntu. Wysokość wzniosu kapilarnego mierzono, zgodnie ze wskazówkami Kezdiego (1980) po 5, 15, 30 minutach, 1, 2, 3, 5 godzinach i 1, 2, 3, 5 dniach.



Rys. 1. Schemat stanowiska do badań

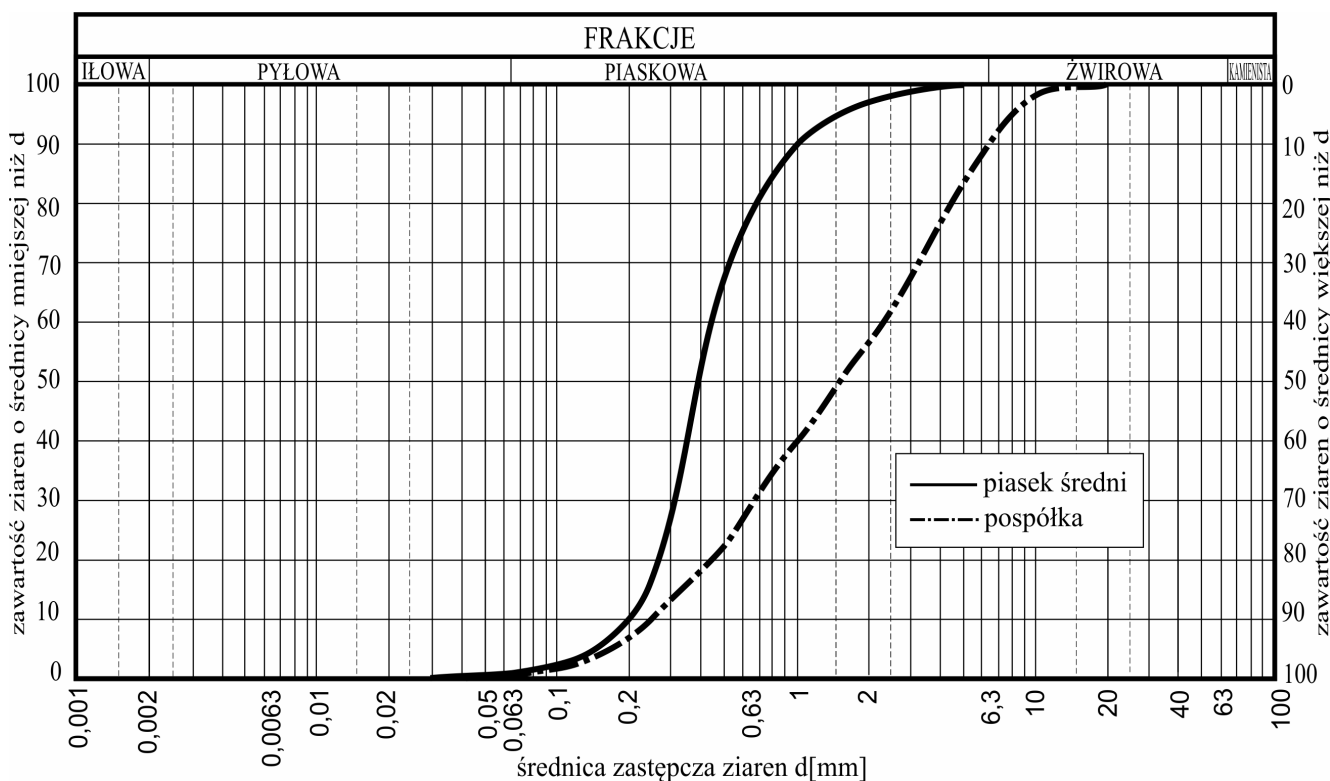
Wznoszenie kapilarne badano w piasku średnim i pospółce. Krzywe uziarnienia obu gruntów pokazano na rysunku 2. Średnica miarodajna piasku średniego $d_{10} = 0,2$ mm zaś pospółki $d_{10} = 0,26$ mm.

Piasek średni usypany w rurze miał gęstość objętościową szkieletu gruntowego $\rho_d = 1,61$ g/cm³, 1,79 g/cm³ i 1,92 g/cm³, zatem odpowiednie wskaźniki porowatości wyniosły $e = 0,656$, 0,473 i 0,395. Pospółka usypana w rurze miała gęstość objętościową szkieletu gruntowego $\rho_d = 1,78$ g/cm³, 1,90 g/cm³ i 2,04 g/cm³, zatem odpowiednie wskaźniki porowatości wyniosły $e = 0,473$, 0,395 i 0,292.

Pomierzone wartości wznoszenia kapilarnego przedstawiono w tabeli 1. W tabeli 1 podano również wartości wzniosu kapilarnego dla $t = 1000$ godzin, przyjętego jako wartość kapilarności czynnej. Podane wartości otrzymano ze wzoru (Terzaghi i Peck, 1948):

$$h_c = \frac{C}{ed_{10}} \quad [mm] \quad (1)$$

gdzie: C jest stałą zależną od kształtu ziaren i zanieczyszczenia ich powierzchni. Wartości stałej C wahają się od 10 do 50 mm². Średnica miarodajna d_{10} wyrażona jest w milimetrach, zaś e jest wskaźnikiem porowatości. Ekstrapolując przyjęto w obliczeniach $C = 39$ dla piasku średniego i $C = 22$ dla pospółki.



Rys. 2. Krzywe uziarnienia piasku średniego i pospółki

Tab. 1. Wznios kapilarny w piasku średnim i pospółce

Czas	<i>h</i> [mm]					
	Piasek średni			Pospółka		
	ρ_d [g/cm ³]			ρ_d [g/cm ³]		
	1,61	1,79	1,92	1,78	1,90	2,04
0	0	0	0	0	0	0
5'	45	57	26	38	56	50
15'	103	89	44	91	98	61
30'	146	118	63	131	142	76
1 h	174	152	86	149	176	100
2 h	211	195	104	152	184	172
3 h	223	204	127	156	186*	203
5 h	230	218	148	162	192	208
10 h	252*	256*	173	164	197	213
24 h	280*	297	231	165	203	220
48 h	283	305	269	170	206	236
72 h	287	312	278	172	209	242
96 h	288	320	282	176	214	247
120 h	290	327	296	180	218	250
1000 h	297*	412*	493*	178*	210*	290*

(*) Wartości otrzymane ze wzoru (1)

Wartości kapilarności czynnej dla różnych gruntów spotykane w literaturze przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Kapilarność czynna gruntów

Grunt	według www.nascon.pl	według Glazer (1977)
	h_c	h_c
	cm	cm
Żwir	<3	<3
Piasek gruby	3 - 15	3 - 15
Piasek średni	15 - 30	15 - 30
Piasek drobny	30 - 50	30 - 100
Piasek pylasty	50 - 200	-
Pył	200 - 500	100 - 1000
Gлина	500 - 1500	1000 - 3000
II piaszczysty	1500 - 5000	-
II	>5000	>3000

Kapilarność czynna, czyli maksymalny wznios kapilarny otrzymany z badań (tabela 1) jest większy niż podany w literaturze.

3. Prędkość wznoszenia kapilarnego

Prędkości wznoszenia kapilarnego w czasie bardzo zależą od rodzaju gruntu i wskaźnika porowatości. Trudno jest

znaleźć krzywą najlepiej aproksymującą wyniki badań. Kezdi (1980) proponuje, aby zależność wysokości wzniosu kapilarnego w czasie wyrazić krzywą o postaci:

$$h = at^b \quad (2)$$

gdzie: h jest wzniosem kapilarnym wyrażonym w milimetrach, t jest czasem w godzinach, zaś a i b są stałymi. Wartość stałej a , wyrażona w milimetrach, odpowiada wysokości wzniosu kapilarnego dla $t = 1$ godzina.

Równanie (2) można zapisać w postaci:

$$\log h = \log a + b \log t \quad (3)$$

Jest to równanie prostej w układzie współrzędnych logarytmicznych.

Przyjmując zależność wysokości wzniosu kapilarnego od czasu w postaci równania (3) dobrą aproksymację uzyskano przyjmując:

$$\log h = \log a_1 + b_1 \log t \quad \text{dla } t \leq c \quad (4a)$$

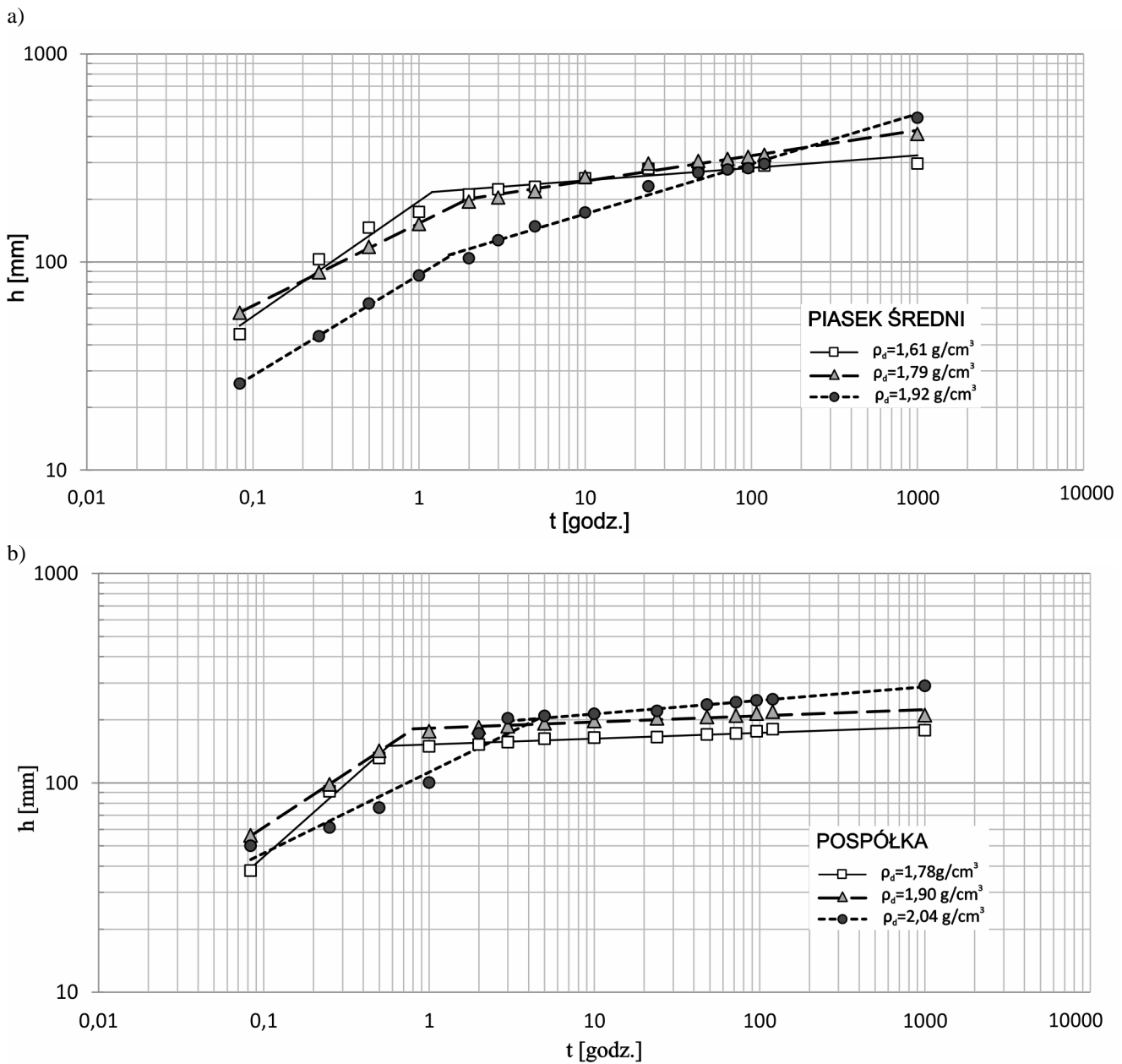
$$\log h = \log a_2 + b_2 \log t \quad \text{dla } t > c \quad (4b)$$

Wartości parametrów: a_1 , b_1 , a_2 , b_2 i c dla badanych gruntów pokazano w tabeli 3.

Wartości wzniosu kapilarnego otrzymane z badań i aproksymacje równania (4a) i (4b) pokazano na rysunku 3a dla piasku średniego i rysunku 3b dla pospółki.

Tab. 3. Parametry funkcji wzniosu kapilarnego

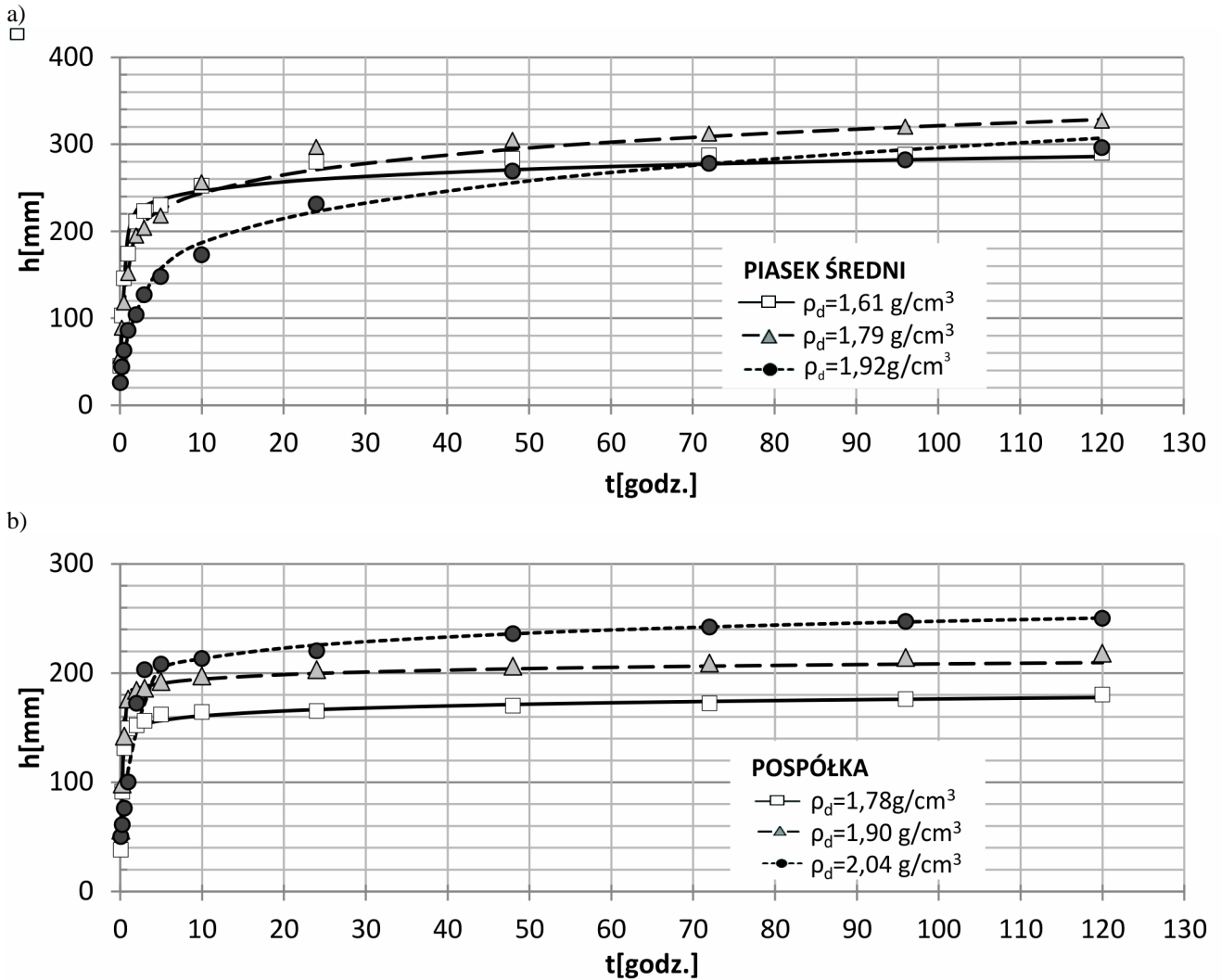
Grunt	ρ_d g/cm ³	a_1 mm	b_1 -	c godz	a_2 mm	b_2 -
Piasek średni	1,61	196,1	0,55	1,1	214,6	0,06
	1,79	153,6	0,40	1,5	184,9	0,12
	1,92	86,7	0,48	2,0	97,8	0,24
Pospółka	1,78	273,9	0,8	0,55	146,7	0,04
	1,90	202,5	0,52	0,79	181,55	0,03
	2,04	112,4	0,39	4,8	183,65	0,0648

Rys. 3. Zależność $h - t$: a) dla piasku średniego, b) dla pospółki

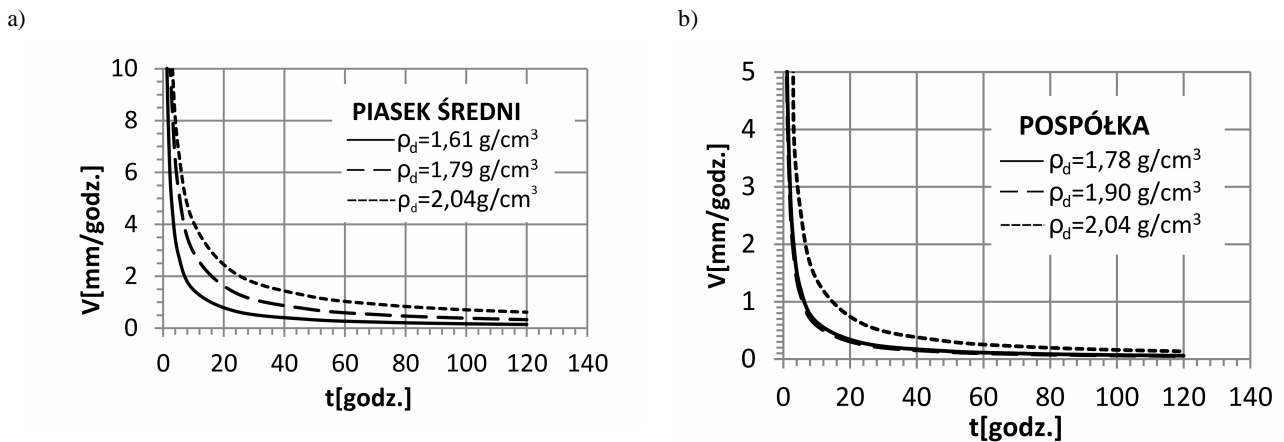
Odpowiednie krzywe opisane równaniem (3) dla piasku średniego pokazano na rysunku 4a, zaś pospółki na rysunku 4b.

Prędkość wzniosu kapilarnego otrzymano różniczkując równanie (3).

Krzywe prędkości wznoszenia kapilarnego dla piasku średniego i pospółki pokazano na rysunku 5.



Rys. 4. Zależność $h - t$: a) dla piasku średniego, b) dla pospółki



Rys. 5. Prędkość wznoszenia kapilarnego: a) dla piasku średniego, b) dla pospółki

W początkowych minutach prędkości są bardzo duże, maleją wraz z upływem czasu, zanikając dla wzniosu równego kapilarności czynnej. Prędkości wznoszenia kapilarnego zależą od rodzaju i stanu zagęszczenia gruntu.

Szybkie zmiany wysokości wznoszenia kapilarnego w początkowej fazie uniemożliwiały dokładne odczyty dla $t < 5$ minut. Zgodnie z przewidywaniem, im kapilarność czynna jest większa, tym prędkości wznoszenia kapilarnego są mniejsze. Pewne zakłócenia tej zasady, obserwowane w początkowej fazie dla pospółki, mogą wynikać z nierównomiernego jej zagęszczenia w rurze.

4. Wnioski

Kapilarność czynna będąca maksymalną wartością wzniosu kapilarnego zależy od rodzaju gruntu i jego stanu zagęszczenia. Jest ona odwrotnie proporcjonalna do wskaźnika porowatości i średnicy miarodajnej d_{10} .

Metodyka badań opisana w artykule nie może być stosowana dla gruntów zapadowych i pęczniejących, gdzie wzrost wilgotności może powodować zmiany porowatości.

Dobrą aproksymację zależności wzniosu kapilarnego w czasie otrzymuje się stosując wykładnicze funkcje zaproponowane przez Kezdiego.

Ze względu na mniejszy od jedności stopień wilgotności, badania prędkości wznoszenia kapilarnego nie mogą być stosowane do określenia wartości współczynnika filtracji.

Literatura

- Glazer Z. (1977). *Mechanika Gruntów*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
- Kezdi A. (1980). *Handbook of Soil Mechanics*. Vol. 2. Soil Testing. *Akademiai Kiado*, Budapest.
- Smith I. (2006). *Smith's Elements of Soil Mechanics*. Blackwell Publishing.
- Smolczyk U. (2003). *Geotechnical Engineering Handbook*. Volume 1. Fundamentals. *Ernst & Sohn*, Berlin.
- Strzelecki T., Kostecki S., Żak S. (2008). *Modelowanie Przepływów przez Ośrodki Porowate*. *Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne*, Wrocław.
- Terzaghi K., Peck R. B. (1948). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. *John Wiley & Sons Inc.*, New York.
- Wiłun Z. (2003). *Zarys Geotechniki*. *Wydawnictwo Komunikacji i Łączności*, Warszawa.

THE SPEED OF CAPILLARY RAISE IN GRANULAR SOILS

Abstract: The paper presents test results of capillary raise speed in medium sand or sand and gravel mix at different degree of compaction. The maximum value of capillary raise (active capillarity) is inversely proportional to void ratio (e) and grain diameter (d_{10}). The values of capillary raise speed in granular soils are high in the initial phase and then decrease over time. In medium compacted sands capillary raise may stabilise within more then ten to more then hundred hours (few days).