

DOPLYW WODY DO STUDZIEN W ŚWIETLE LICZBY REYNOLDSA

UKD 551.491.56:628.112.1/.2:552.517

Zagadnienia filtracji stanowią stale przedmiot licznych rozważań i badań. Jednym z praktycznych problemów filtracji jest sprawa dopływu wody do studzien ujmujących wodę z gruntów sypkich. Prędkość napływu wody na filtr studni jest wielkością równoznaczną z prędkością filtracji określoną prawem Darcy'ego. W wyniku badań nad ruchem wody w ośrodkach porowatych zostało stwierdzone, że zależność między średnią prędkością filtracji a spadkiem hydraulicznym i własnościami ośrodka porowatego określona prawem Darcy'ego jest słuszna tylko w pewnym ograniczonym zakresie. Wyróżnić można przy tym dolną i górną granicę ważności prawa Darcy'ego, między którymi to granicami zawiera się zakres stosowalności tego prawa.

Dolna granica ważności prawa Darcy'ego związana jest z zanikaniem ruchu i ma znaczenie teoretyczne, gdyż przyjmuje się, iż prawo to jest ważne co do minimalnych wartości prędkości filtracji dopóki istnieje przepływ wody w złożu filtracyjnym. Istotne znaczenie praktyczne ma górna granica stosowalności prawa Darcy'ego, po przekroczeniu której filtracja zmienia swój charakter i przestaje obowiązywać liniowa zależność między spadkiem hydraulicznym i prędkością filtracji.

Istnieje pogląd, oparty na analogii między przepływem wody przez rurki o małej średnicy a przepływem wody w gruncie, według którego liniowa zależność między spadkiem hydraulicznym a prędkością filtracji związana jest z laminarnym charak-

WARTOŚCI LICZBY REYNOLDSA

Nr studni	Średnica miarodajna d_{10} mm	Prędkość napływu v m/sek	Liczba Reynoldsa Re
1	0,22	0,00041	0,069
2	0,10	0,00050	0,038
3	0,08	0,00077	0,047
4	0,14	0,00086	0,092
5	0,14	0,00130	0,139
6	0,50	0,00133	0,508
7	0,34	0,00139	0,362
8	0,34	0,00176	0,458
9	0,36	0,00142	0,391
10	0,52	0,00177	0,703
11	0,26	0,00156	0,310
12	0,20	0,00198	0,303
13	0,15	0,00131	0,150
14	0,56	0,00131	0,561
15	0,15	0,00057	0,065
16	0,11	0,00153	0,129
17	0,13	0,00130	0,129
18	0,33	0,00139	0,351
19	0,22	0,00048	0,081
20	0,84	0,00175	1,124
21	0,25	0,00130	0,248
22	0,18	0,00130	0,179
23	0,30	0,00127	0,291
24	0,28	0,00090	0,193
25	0,40	0,00206	0,630
26	0,27	0,00065	0,134
27	0,20	0,00079	0,121
28	0,11	0,00086	0,072
29	0,27	0,00086	0,178
30	0,21	0,00130	0,209
31	0,16	0,00145	0,177
32	0,50	0,00127	0,486
33	0,40	0,00202	0,616
34	0,50	0,00277	1,058
35	1,00	0,00225	1,720
36	0,38	0,00175	0,509
37	0,31	0,00230	0,546
38	0,26	0,00304	0,605
39	0,30	0,00086	0,197
40	0,27	0,00138	0,285
41	0,18	0,00120	0,165
42	0,45	0,00151	0,519
43	0,89	0,00110	0,750
44	0,27	0,00208	0,430
45	0,42	0,00169	0,542
46	0,31	0,00098	0,232
47	0,65	0,00173	0,860
48	0,40	0,00183	0,560
49	0,30	0,00057	0,131
50	0,80	0,00108	0,661
51	0,15	0,00117	0,134
52	0,35	0,00149	0,400
53	0,50	0,00078	0,297
54	0,35	0,00266	0,712

terem przepływu i wobec tego granica występowania ruchu laminarnego stanowi jednocześnie górną granicę stosowności prawa Darcy'ego. Ponieważ przy przepływie przez rury kryterium istnienia strugi laminarnej stanowi liczba Reynoldsa, to i ilościowe określenie górnej granicy stosowności prawa Darcy'ego oparte zostało o liczbę Reynoldsa. Zgodnie z danymi ustalonymi doświadczalnie prawo Darcy'ego obowiązuje w ośrodkach porowatych w zakresie od momentu rozpoczęcia się ruchu cieczy do wartości prędkości przepływu, gdy liczba Reynoldsa osiąga wartość około 5 (różni autorzy podają różne wartości liczby Reynoldsa).

Dla przykładu I. V. Nagy i G. Karádi (3) stwierdzają, że w złożach filtracyjnych występuje:

a) ruch laminarny przy $Re < 5$,

b) stan przejściowy (ruch bądź laminarny, bądź burzliwy) przy $Re = 5 \div 200$,

c) ruch burzliwy przy $Re > 200$.

Zjawiska zachodzące przy przepływie cieczy w złożu filtracyjnym są złożone, a zagadnienia związane z mechaniką ruchu wody w gruncie trudne do ujęcia. W świetle najnowszych badań stwierdzono, że górna granica stosowności prawa Darcy'ego nie jest równoznaczna z granicą występowania ruchu laminarnego, ponieważ nie każda laminarna struga filtrująca podporządkowuje się prawu liniowej filtracji, a więc laminarność filtrującej strugi może być zachowana jeszcze wówczas, gdy przepływ nie stosuje się już do prawa Darcy'ego. Schneebeli (4) na podstawie doświadczeń stwierdził, że ruch burzliwy w złożu filtracyjnym pojawiał się dopiero wtedy, kiedy liczba Reynoldsa osiągała wartość $40 \div 60$, gdy odstępstwo od prawa Darcy'ego występowało już przy $Re = 2 \div 5$.

Nie wnikając w dalsze szczegóły rozważań nad górną granicę stosowności prawa Darcy'ego, autor podaje w niniejszej pracy wartości liczby Reynoldsa dla średnich prędkości napływu wody na filtr, obliczone dla 54 studzien wierconych.

Wartości liczby Reynoldsa obliczone zostały ze

wzoru:
$$Re = 10 \frac{6v \cdot d_e}{\nu}$$
 gdzie:

v — prędkość napływu wody na filtr, m/sek.,

d_e — średnica miarodajna, m,

ν — współczynnik lepkości kinematycznej, cSt.

Średnia wartość prędkości napływu wody na filtr obliczona została dla każdej studni na podstawie maksymalnej wydajności pomiarowej próbnego pompowania (1, 2).

Wartości liczby Reynoldsa, wobec dużych na ogół różnic w składzie granulometrycznym przewierconych gruntów warstw wodonośnych badanych studzien, obliczono przy największych, stwierdzonych w pionie studni wartościach średnicy miarodajnej d_{10} . Daje to w rozpatrywanych przypadkach najbardziej niekorzystne, maksymalne wartości liczby Reynoldsa.

Współczynnik lepkości kinematycznej przyjęto dla wody o temperaturze 10°C — $\nu = 1,3081$ cSt.

Wyniki obliczeń zostały podane w tabeli. Obliczone wartości liczby Reynoldsa, przy prędkościach napływu wody na filtr studzienny i średnicach miarodajnych ziarn gruntu zestawionych w tabeli dla 54 przebadanych studzien zawierają się w granicach $0,038 - 1,720$.

Pomimo iż wartość prędkości napływu wyznaczona została w każdym przypadku przy maksymalnej wydajności pomiarowej próbnego pompowania (z zasady większej od wydajności eksploatacyjnej studni), a średnica miarodajna ziarn gruntów warstwy wodonośnej przyjęta została w maksymalnej wartości stwierdzonej w pionie otworu studziennego, to jednak wartości liczby Reynoldsa nie przekraczają 2.

W świetle wszelkich kryteriów (jak wykazują badania autora) wpływ wody do studzien ujęciowych, mający miejsce w warunkach naturalnych w warstwach wodonośnych składających się z gruntów sypkich, nie wykraczał poza granicę stosowności prawa Darcy'ego.

LITERATURA

1. Kępiński A. — Prędkości napływu wody na filtr studzienny w świetle próbnego pompowań pomiarowych. Gosp. wodna 1966, nr 9.
2. Kępiński A. — Podział warstw wodonośnych w zależności od warunków dopływu wody do studzien. Prz. geol. 1966, nr 10.
3. Nagy I. V., Karádi G. — Untersuchungen über den Gültigkeitsbereich des Gesetzes von Darcy. Oesterreichische Wasserwirtschaft 1961, nr 12.
4. Schneebeli G. — Experiences sur la limite de validité de la loi de Darcy et l'apparition de la turbulence dans un ocoulement de filtration. La Houille Blanche 1955, nr 2.