

Ryszard Drożdżak*

PRZYRZĄD I METODA KACZYŃSKIEGO DO OZNACZANIA WSPÓŁCZYNNIKA FILTRACJI GRUNTÓW**

1. UWAGI WSTĘPNE

Właściwości filtracyjne gruntów mają podstawowe znaczenie przy inżyniersko-geologicznej i hydrogeologicznej ocenie terenu [4, 5]. W zagadnieniach inżyniersko-geologicznych wielokrotnie określają one współpracę układu obiekt inżynierski – podłoże budowlane.

Szczególnie wykorzystuje się je przy ocenie warunków filtracji [3, 4]:

- w rejonach osi i przyczółków budowli piętrzących;
- warstw uszczelniających zbiorników wodnych, a także składowisk odpadów;
- odwodnień kopalń odkrywkowych, obiektów budowlanych, także stateczności zboczy.

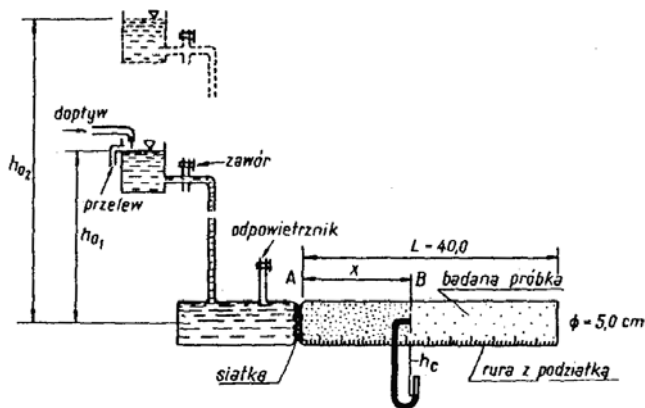
W celu wykonania planowanych w Zakładzie Inżynierii Naftowej Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH badań laboratoryjnych dotyczących wpływu chemizmu wody na wodoprzepuszczalność gruntów, powstała konieczność wyboru odpowiedniej metody pomiarowej w odniesieniu do gruntów spoistych. Uwzględniając istotne ograniczenia finansowo-techniczne zdecydowano się na wybór prostej i taniej metody pomiaru współczynnika filtracji w rurze poziomej przyrządem Kaczyńskiego [3].

2. OPIS STANOWISKA POMIAROWEGO WG METODY KACZYŃSKIEGO

Przyrząd Kaczyńskiego, którego schemat przedstawiono na rysunku 1, został zaprojektowany przez R. Kaczyńskiego [3]. Stosowany był do badania współczynnika filtracji gruntów słaboprzepuszczalnych [3, 4].

* Studia doktoranckie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca wykonana w ramach badań własnych Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH



Rys. 1. Przyrząd Kaczyńskiego do oznaczania współczynnika filtracji gruntów

Urządzenie składa się z poziomej rury o długości 40 cm i średnicy około 5 cm oraz zbiornika doprowadzającego wodę, w którym stałe ciśnienie utrzymywane jest za pomocą przelewu.

Przed przystąpieniem do pomiaru próbkę gruntu należy wysuszyć w temperaturze 105°C, następnie rozetrzeć, aby zachować naturalne uziarnienie. Próbkę gruntu po wysuszeniu umieszczamy w rurze, zagęszczając ją do stanu naturalnego. Kolejną czynnością jest określenie ciężaru właściwego i objętościowego ośrodka w celu obliczenia jego porowatości.

Po połączeniu rury ze zbiornikiem, rozpoczyna się proces zwilżania próbki w wyniku działania sił kapilarnych. Zawilgocenie postępuje od punktu A, gdzie próbka kontaktuje się z wolną wodą doprowadzoną ze zbiornika, w którym ciśnienie wynosi h_0 . Po pewnym czasie t zawilgocenie osiąga punkt B w odległości x , w którym ciśnienie wynosi h_c i nie jest znane. Zakładając, że występuje pełne nasycenie próbki wodą, określamy z prawa Darcy'ego następujące równanie [3, 4]

$$K \cdot i = n \cdot v_s \quad (1)$$

gdzie:

- K – współczynnik filtracji,
- i – spadek hydrauliczny,
- n – porowatość,
- v_s – średnia rzeczywista prędkość przepływu wody w porach,

lub w innej postaci

$$K \frac{h_0 + h_c}{x} = n \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

Po uporządkowaniu i scałkowaniu równania w granicach $x_2 - x_1$, $t_2 - t_1$ otrzymujemy

$$\frac{x_2^2 - x_1^2}{t_2 - t_1} = \frac{2K}{n} (h_0 + h_c) \quad (3)$$

Zależność między długością odcinka nasyconego x a czasem t jest funkcją paraboliczną. Pomiar prowadzimy tak, aby uzyskać wartość x i t przy różnym położeniu zbiornika $h_{02} > h_{01}$. Położenie zbiornika zmieniamy po nasyczeniu próbki do połowy jej długości. Do końcowego obliczenia współczynnika filtracji wykorzystujemy następujący układ równań:

$$m_2 = \frac{2K}{n} (h_c + h_{02}) \quad (4)$$

$$m_1 = \frac{2K}{n} (h_c + h_{01})$$

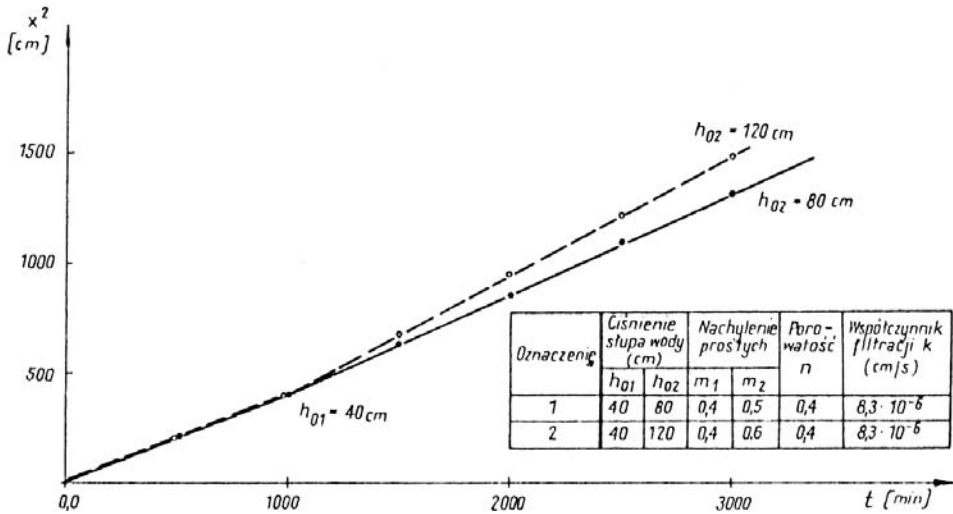
stąd

$$K = \frac{n (m_2 - m_1)}{2 (h_{02} - h_{01})} \quad (5)$$

gdzie:

- h_{02}, h_{01} – ciśnienia przy dwóch różnych położeniach zbiornika,
- m_1, m_2 – nachylenia prostych określonych przez iloraz $(x_2^2 - x_1^2)/(t_2 - t_1)$, oddzielnie dla każdego położenia zbiornika.

Sposób postępowania przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowy sposób wyznaczania współczynnika filtracji wg Kaczyńskiego

W pracach laboratoryjnych wygodnie jest wykonać pomiaru ciśnienia h i odległości x w cm, natomiast czasu t w minutach. Obliczenie K w cm/s wymaga zastosowania wzoru w postaci

$$K = \frac{0,00834n (m_2 - m_1)}{2 (h_{02} - h_{01})} \quad (6)$$

3. OPIS PRZYRZĄDU ZBUDOWANEGO NA WYDZIALE WIERTNICTWA, NAFTY I GAZU AGH WEDŁUG METODY KACZYŃSKIEGO

Budowę przyrządu do pomiaru współczynnika filtracji zaczęto od poszukiwania odpowiednich materiałów. Związane to było z potrzebą zastosowania rury o dużej przezroczystości, aby można było dokładnie obserwować front przemieszczającej się strefy nasycenia wodą. Dodatkowo materiał powinien charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością mechaniczną, aby można było wykonać dużą liczbę badań dla różnych gruntów (proces zagęszczenia gruntu oraz duża ilość samych pomiarów).

Po weryfikacji różnych materiałów dostępnych na rynku, zdecydowano się wykorzystać materiały oferowane przez firmę Masters z Gdyni, która jest przedstawicielem firmy GEORG FISCHER zajmującej się produkcją armatury z tworzyw sztucznych oraz aparaturą kontrolno-pomiarową.

W wyniku tych działań zostało zbudowane stanowisko pomiarowe z gotowych elementów dostępnych w katalogu firmy GEORG FISCHER. Elementy urządzenia starano się wykonać w sposób pozwalający zadbać o zachowanie wymiarów pierwowzoru, szczególnie w odniesieniu do średnicy i długości rury pomiarowej [3, 4].

Części stałe połączono za pomocą klejenia, natomiast połączenie rury pomiarowej ze zbiornikiem doprowadzającym wodę zapewniono przez połączenie kołnierzowe skręcane śrubami $\varnothing 10$ mm z dodatkową uszczelką gumową.

Naczynie przelewowe zamocowano na statywie i połączono ze zbiornikiem doprowadzającym wodę za pomocą giętkiego węża. Połączenie jest tak wykonane, aby możliwa była swobodna regulacja ciśnienia (h_0). W późniejszym okresie planuje się zastosowanie pompy o niewielkim wydatku do uzupełniania cieczy w naczyniu przelewowym. Na rysunkach 3–5 przedstawiono elementy przyrządu Kaczyńskiego na zbudowanym stanowisku badawczym.



Rys. 3. Widok przyrządu Kaczyńskiego na stanowisku badawczym; w punkcie zaznaczonym strzałką widać front przesuwanego się zawilgocenia



Rys. 4. Widok przyrządu Kaczyńskiego na stanowisku badawczym od strony frontowej rury poziomej



Rys. 5. Widok przyrządu Kaczyńskiego na stanowisku badawczym (zbliżenie przesuwającego się frontu zawilgocenia wraz z naniesioną skalą pomiarów)

4. WSTĘPNE BADANIA WSPÓLCZYNNIKA FILTRACJI PRZYRZĄDEM KACZYŃSKIEGO DLA WYBRANYCH MODELI GRUNTU

Do wykonania wstępnych pomiarów współczynnika filtracji przyrządem Kaczyńskiego wykorzystano grunty modelowe badane wcześniej na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH. Grunty te służyły do modelowania procesu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ropochodnych w gruntach rzeczywistych [1, 2].

Poszczególne grunty modelowe reprezentowały:

- piasek (model nr 1), który według norm [6, 7] może być zaliczony do **piasku gruboziarnistego**;
- kruszywo zamułkowe z początkowego odcinka linii produkcyjnej zakładu kruszywa (model nr 2), które według norm [6, 7] może być zaliczone do **piasku średnioziarnistego**;
- kruszywo zamułkowe ze środkowego odcinka linii produkcyjnej zakładu kruszywa (model nr 3), które według norm [6, 7] może być zaliczone do **piasku średnioziarnistego gliniastego**.

Badania laboratoryjne tych gruntów umożliwiły ich ogólną charakterystykę petrofizyczną [2]. I tak, model nr 1 o średnicy efektywnej ziarn $d_{ef} = 0,460$ mm i porowatości $n = 36,1\%$ cechuje się współczynnikiem filtracji K w granicach $10^{-4} \div 10^{-3}$ m/s, co odpowiada dobrej wodoprzepuszczalności poziomej oraz bardzo dobrej przesiąkalności pionowej [5].

Model gruntu nr 2 o średnicy efektywnej ziarn $d_{ef} = 0,186$ mm i porowatości $n = 38,8\%$ wykazuje wartości współczynnika filtracji K w granicach $10^{-5} \div 10^{-4}$ m/s, co charakteryzuje utwory o średniej przepuszczalności poziomej i bardzo dobrej przesiąkalności pionowej [5].

Model gruntu nr 3 o średnicy efektywnej ziarn $d_{ef} = 0,072$ mm i porowatości $n = 41,7\%$ cechuje się współczynnikiem filtracji K w granicach $10^{-6} \div 10^{-5}$ m/s, co odpowiada słabej wodo-przepuszczalności poziomej i bardzo dobrej przesiąkalności pionowej [5].

Dla wyżej wymienionych modeli przeprowadzono próbne badania współczynnika filtracji dla celów porównawczych, uzyskując bardzo obiecujące wyniki. Wartości te zestawiono wraz z ocenami prognostycznymi uzyskanymi wg metod pośrednich [8] w tabeli 1.

Tabela 1

Porównanie wyników oceny wartości współczynnika filtracji (w m/s) uzyskanych z badań laboratoryjnych przyrządem Kaczyńskiego z ocenami prognostycznymi według metod pośrednich oszacowanymi z 95-procentowymi przedziałami ufności

Metodyka oceny współczynnika filtracji		Grunt modelowy nr 1	Grunt modelowy nr 2	Grunt modelowy nr 3
Oceny prognostyczne uzyskane za pomocą metod pośrednich	górną granicą	7,222E-04	4,073E-04	6,207E-05
	średnią	4,595E-04	2,246E-04	3,703E-05
	dolną granicą	1,968E-04	4,194E-05	1,198E-05
Metoda Kaczyńskiego dla $t_w = 10^\circ\text{C}$	średnią	2,36E-04	4,336E-05	2,456E-05

5. PODSUMOWANIE

Metoda opisana i zastosowana przez R. Kaczyńskiego [3] może być wykorzystana w badaniach gruntów, szczególnie gruntów spoistych, gdzie istotny wpływ na filtrację wody mają zjawiska molekularno-powierzchniowe. Metodę wybrano ze względu na nieskomplikowany charakter samego pomiaru; dodatkowo przyrząd oraz sama procedura wykonania pomiaru są stosunkowo tanie.

Wstępne pomiary współczynnika filtracji przyrządem Kaczyńskiego wykazują, że istnieje duża porównywalność uzyskiwanych wyników z innymi metodami badawczymi, co przemawia za dalszym prowadzeniem badań za pomocą tego przyrządu.

LITERATURA

- [1] Fąfara Z., Ryba A.: *Przygotowanie fizycznego modelu ośrodka gruntowego do badań laboratoryjnych*. XV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i górnictwie”, Krynica, czerwiec 2004
- [2] Fąfara Z., Twardowski K.: *Uwagi dotyczące laboratoryjnego modelowania procesu rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń ropopochodnych w gruntach*. Krosno, Prace nauk.-dyd. PWSZ, z. 10, 2004
- [3] Kaczyński R.: *Oznaczanie współczynników filtracji gruntów słabo przepuszczalnych, półprzepuszczalnych i praktycznie nieprzepuszczalnych*. Warszawa, Przegląd Geologiczny, nr 10, 1969
- [4] Kozerski B.: *Zasady obliczeń hydrogeologicznych ujęć wód podziemnych. Wytyczne określania współczynnika filtracji metodami pośrednimi i laboratoryjnymi*. Warszawa, Wyd. Geologiczne 1977
- [5] Marciniak M., Przybyłek J., Herzig J., Szczepańska J.: *Laboratoryjne i terenowe oznaczanie współczynnika filtracji utworów półprzepuszczalnych*. Poznań, Wyd. Uniw. im. A. Mickiewicza 1998
- [6] PN-98/B-02481: *Geotechnika – Terminologia podstawowa, symbole literowe i jednostki miar*. Warszawa, Polski Komitet Normalizacyjny 1998
- [7] PN-98/R-04033: *Gleby i utwory mineralne – Podział na frakcje i grupy granulometryczne*. Warszawa, Polski Komitet Normalizacyjny 1998
- [8] Twardowski K., Drożdżak R.: *Pośrednie metody oceny właściwości filtracyjnych gruntów*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, 23/1, 2006