

$$m = \frac{V_p}{V} \quad (13.1)$$

Współczynnik porowatości zawarty jest w granicach $0 < m < 1$.

W gruncie tzw. "fikcyjnym", zbudowanym z kulistych ziarn jednakowej średnicy, współczynnik porowatości zależy od konfiguracji ziarn oraz zmienia się w granicach $0,259 < m < 0,476$.

W tablicy 13.1 podano orientacyjne wartości współczynnika porowatości m dla niektórych gruntów rzeczywistych.

Tablica 13.1

Nazwa gruntu	Współczynnik porowatości m	Nazwa gruntu	Współczynnik porowatości m
Żwir ($2 < d < 20$ mm)	0,30 ÷ 0,40	Gлина piaszczysta	0,35 ÷ 0,50
Piasek ($0,06 < d < 2$ mm)	0,30 ÷ 0,45	Grunt gliniany	0,40 ÷ 0,55
Grunt piaszczysty	0,35 ÷ 0,45	Torf	0,60 ÷ 0,80

Współczynnik porowatości wyznaczany jest w drodze doświadczalnej.

W zależności od struktury rozróżniamy:

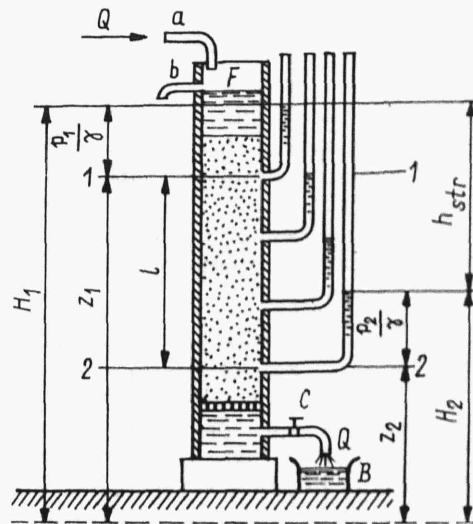
- 1) grunty jednorodne, jeżeli struktura gruntu we wszystkich punktach jest jednakowa,
- 2) grunty niejednorodne, jeżeli struktura zależy od położenia punktu w gruncie.

Grunt nazywamy izotropowym, jeżeli filtracyjne właściwości gruntu nie zależą od kierunku ruchu wody gruntowej. Jeżeli taka zależność istnieje, to grunt nazywa się anizotropowym.

W dalszych rozważaniach zajmiemy się podstawowymi zagadnieniami filtracji wód w jednorodnych i izotropowych gruntach.

13.4. PODSTAWOWE PRAWO FILTRACJI

Podstawowe prawo filtracji, zwane prawem Darcy ustalono w 1856r. na podstawie doświadczeń nad przepływem wody przez grunt piaszczysty. Urządzenie doświadczalne służące do badania filtracji stanowi naczynie w kształcie walca pionowego o stałym przekroju F , wypełnione badanym gruntem, leżącym na specjalnej siatce (rys.13.2). Z boku walca dołączone są rurki piezometryczne. Woda doprowadzona jest do walca od góry rurką a . W celu utrzymania stałego poziomu zwierciadła wody nad warstwą gruntu nadmiar wody jest odprowadzany rurką b .



Rys.13.2

W dolnej części naczynia znajduje się rurka c zaopatrzona w zawór do odprowadzania wody. Woda przepływa przez badany grunt do naczynia B, w którym mierzy się wydatek Q wody.

Przyjmując ustalony przepływ wodny w jednorodnym gruncie obserwujemy w piezometrach liniowy spadek ciśnienia na długości drogi filtracji l między przekrojami 1-1 i 2-2.

Wysokość strat można wyrazić z równania Bernoulliego

$$h_{str} = H_1 - H_2 = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \right).$$

W tym przypadku $v_1 = v_2$.

Wielkości z_1 i $\frac{p_1}{\gamma}$ oznaczają wysokość położenia i wysokość piezometryczną (ciśnienia) w przekroju 1-1, analogicznie wielkości z_2 i $\frac{p_2}{\gamma}$ w przekroju 2-2.

Spadek linii ciśnienia jest równy

$$I = \frac{h_{str}}{l}.$$

Na podstawie licznych doświadczeń nad ruchem laminarnym ustalono, że wydatek filtracyjny Q jest proporcjonalny do przekroju poprzecznego F badanego gruntu i do spadku linii ciśnienia I , a więc

$$Q = k F I. \quad (13.2)$$

Współczynnik proporcjonalności k nazywamy współczynnikiem filtracji, który zależy od rodzaju gruntu, wielkości i kształtu ziarn, ciężaru właściwego i lepkości cieczy.

Ze wzoru (13.2) można wyznaczyć za pomocą przedstawionego na rys.13.2 urządzenia współczynnik filtracji k , mierząc wydatek Q , przekrój poprzeczny F oraz spadek linii ciśnienia $I = \frac{h_{str}}{l}$.

Ponieważ iloraz $\frac{Q}{F}$ wyraża prędkość v , to na podstawie wzoru (13.2) otrzymamy podstawowe prawo filtracji, zwane prawem Darcy w postaci

$$v = k I. \quad (13.3)$$

We wzorze tym prędkość filtracji v jest liniową funkcją spadku linii ciśnienia I . Jak wynika ze wzoru Darcy współczynnik filtracji k ma wymiar prędkości v , tj. m/s , cm/s .

Przy nieliniowym spadku ciśnienia na długości l prawo Darcy wyrazimy w postaci różniczkowej.

$$v = -k \frac{dh}{dl}. \quad (13.4)$$

Znak minus oznacza, że prędkość skierowana jest przeciwnie do kierunku wzrostu ciśnienia.

Na podstawie doświadczeń ustalono, że ruch wód gruntowych podlega liniowemu prawu Darcy w zakresie małych liczb Reynoldsa

$$Re = \frac{v d}{\nu} \leq 4 \div 6,$$

gdzie: v - prędkość filtracji,
 ν - kinematyczny współczynnik lepkości,
 d - średnica ziarn gruntu.

Współczynnik filtracji k można wyrazić następującą zależnością (tabl.13.2)

$$k = k_p \frac{\gamma}{\mu} = k_p \frac{g}{\nu}.$$

We wzorze tym k_p nazywamy współczynnikiem przepuszczalności, k_p ma wymiar powierzchni m^2 lub cm^2 .

Współczynnik przepuszczalności k_p zależy wyłącznie od fizycznych własności gruntu.

Tablica 13.2

Nazwa gruntu	Średnie wartości k [m/s]	Nazwa gruntu	Średnie wartości k [m/s]
Glina	$10^{-8} \div 6 \cdot 10^{-8}$	Grunt piaszczysty pulchny	$10^{-5} \div 6 \cdot 10^{-5}$
Glina piaszczysta	$10^{-7} \div 6 \cdot 10^{-7}$	Piasek drobnoziarnisty	$10^{-5} \div 6 \cdot 10^{-5}$
Grunt piaszczysty zwarty	$10^{-6} \div 6 \cdot 10^{-6}$	Piasek gruboziarnisty	$10^{-4} \div 6 \cdot 10^{-4}$

13.5. RÓŻNICZKOWE RÓWNANIE FILTRACJI WÓD PODZIEMNYCH

Równania klasycznej hydrodynamiki nie dadzą się bezpośrednio zastosować do ruchu cieczy przez oddzielne pory gruntu na skutek różnej wielkości i kształtu ziarn, rozmaicie względem siebie ułożonych. W zagadnieniach ruchu wód podziemnych rozważamy średnie wartości ciśnienia i prędkości filtracji przez makroskopowo małe przekroje, lecz równocześnie duże w porównaniu z porami gruntu.

W tym przypadku rzeczywisty grunt zastępujemy takim gruntem fikcyjnym, w którym opór hydrauliczny, będzie równy oporowi gruntu rzeczywistego.

Z liniowego prawa filtracji wynika, że strata ciśnienia jest proporcjonalna do prędkości w pierwszej potęgze.

Wzór Darcy (13.4) w przestrzennym układzie współrzędnych prostokątnych możemy przedstawić w postaci:

$$\begin{aligned}
 v_x &= -k \frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{\partial(kh)}{\partial x}, \\
 v_y &= -k \frac{\partial h}{\partial y} = -\frac{\partial(kh)}{\partial y}, \\
 v_z &= -k \frac{\partial h}{\partial z} = -\frac{\partial(kh)}{\partial z}.
 \end{aligned}
 \tag{13.5}$$