
Birių uolienu filtracijos koeficiento priklausomybė nuo vandens klampumo

Mykolas Dobkevičius,
Petras Klizas

Dobkevičius M., Klizas P. Loose rock permeability coefficient dependence on water viscosity. *Geologija*. Vilnius, 2001. No. 34. P. 38–41. ISSN 1392–110X.

The paper contains results of laboratory studies dealing with filtration coefficient dependence upon water viscosity. The filtration coefficient was determined by the Kamenski method. Water at a temperature of 0 °C to 50 °C was filtered through loose rocks of different lithology in the Kamenski tube. Water viscosity (η) depending on temperature was calculated by the formula $\eta = 1.6038e-0.0218 T$ °C. The results showed that with increase in viscosity the filtration coefficient decreased in the following dependence: $k = a\eta^{-b}$. The coefficient a in this dependence correlates with the porosity index (n):

$a = 4 \cdot 10^{-10} \cdot n^{-24.806}$, whereas the exponent $b = -0.96$ is the same for all rocks.

Keywords: permeability coefficient, viscosity coefficient, porosity coefficient, Kamenski tube

Received 8 March 2001, accepted 3 May 2001

Mykolas Dobkevičius, Petras Klizas. Department of Hydrogeology and Engineering Geology, Vilnius University, M. K. Čiurlionio 21, LT-2009 Vilnius, Lithuania

ĮVADAS

Požeminio vandens apsauga nuo užteršimo yra viena aktualiausių hidrogeologinių problemų. Lietuvoje apie 25% teritorijos paviršaus dengia fluvioglacialinis, eolinis ir jūrinis smėlis bei žvyras, todėl šiuose plotuose giliau slūgsantis gruntinis vanduo yra mažiausiai ekologiškai apsaugotas nuo užteršimo (Кли-зас, 2000). Taršos intensyvumą daugiausia nulemia šių darinių, kurie formuoja aeracijos zoną, filtracinės savybės ir jų storis. Taršos galimybes padidina šiose srityse vykdoma paviršinė ir požeminė statyba, kuri pažeidžia ir dar labiau „atidengia“ šias uolienas infiltracijai.

Saugant požeminį gruntinį vandenį nuo užteršimo, vienas svarbiausių hidrogeologinių uždavinių yra šių smėlingų aeracijos zonos uolienu, per kurias vyksta užteršto vandens pertekėjimas, filtracinių savybių išaiškinimas, kadangi labiausiai nuo jų priklauso vandens filtracijos greitis, o kartu jo pertekėjimo galimybė ir kiekis.

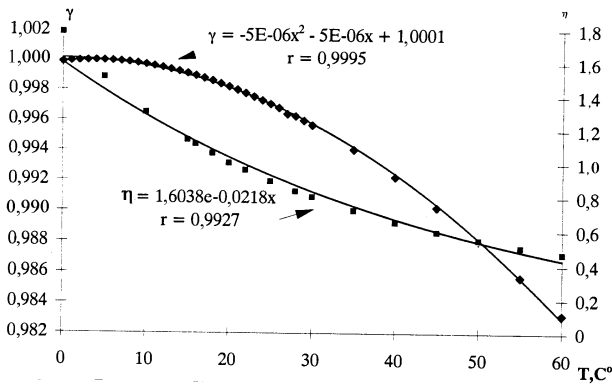
Aeracijos zonos uolienu filtracijos koeficientas lauko sąlygomis dažniausiai nustatomas infiltrometrais arba tenziometrais. Įvertinant filtracijos koeficientų vertes infiltrometrais, filtracinė aplinka lieka artima pilnam uolienu įsotinimui, nes manoma, kad sotinio frontas tolygiai leidžiasi žemyn. Tenziometriniai

tyrimai leidžia įvertinti filtracinės aeracijos zonos uolienu savybes esant bet kokiai pradinei drėgmei. Laboratorinėmis sąlygomis infiltracinių srautų hidrodinamikos specifika geriausiai atitinka filtracijos koeficiento nustatymas *Kamenski* vamzdeliu. Dėl šios priežasties mes ir lyginame šiais būdais nustatytas filtracijos koeficientų vertes.

Vienas veiksnių, lemiančių vandens laidumą uolienoje, yra vandens temperatūra arba klampumas. Šiame straipsnyje pateikiama filtracijos koeficiento nustatymo metodika, leidžianti įvertinti vandens klampumo poveikį.

TYRIMŲ METODIKA

Nustatant filtracijos koeficiento priklausomybę nuo vandens klampumo buvo atliekami eksperimentai laboratorijoje. Per įvairios litologinės ir granulometrinės sudėties uolienas buvo filtruojamas 0–50°C temperatūros (T) vanduo. Filtracijos koeficientas įvertintas esant 0, 10, 20, 31, 35, 40 ir 50°C temperatūrai. Eksperimentų metu tarp infiltrato ir išsifiltravusio vandens susidarydavo kelių laipsnių temperatūros skirtumai esant maksimalioms ir minimalioms temperatūroms, t. y. 0, 40 ir 50°C. Vėliau vandens klampumas (η) buvo apskaičiuojamas pagal formulę: $\eta = 1,6038e-0,0218 T$ °C (matavimo



1 pav. Vandens klampumo (η) ir savitojo sunkio (γ) priklausomybė nuo temperatūros

Fig. 1. Water viscosity and specific gravity versus temperature

vienetas – santipuzai) (1 pav.). Čia e yra poringumo koeficientas.

Uolienu filtracijos koeficientas buvo nustatomas pagal nestacionarią *Kamenskio* schemą (atliekant bandymus *Kamenskio* vamzdelyje). Tam tikslui uolienos pavyzdys džiovinamas kaitinimo krosnyje 105°C temperatūroje ir susmulkinamas. 150 g tokios uolienos pripilama į stiklinį 4 cm skersmens ir maždaug 30 cm aukščio vamzdelį, kurio dugne yra įrengtas tinklelis, apsaugojantis uolienos daleles nuo išnešimo iš pavyzdžio bandymo metu. Uolienos masė vamzdelyje sutankinama arba išpurenama iki 7 cm aukščio. Tai daroma dėl to, kad visų bandymų sąlygos būtų vienodos. Vėliau uolienos pavyzdys vamzdelyje sotinamas vandeniu iš apačios (kad iš pavyzdžio išeitų susikaupęs oras). Virš uolienos bandinio susiformuoja 25 cm aukščio vandens stulpas. Leidus vandeniui laisvai filtruotis pro uolieną, vandens spūdis nuolat mažėja. Pagal jo žemėjimo greitį nustatomas filtracijos koeficientas (Шестakov и др., 1975).

Po kiekvieno bandymo vamzdelyje likęs vanduo išleidžiamas. Vamzdelis su vandeniu pilnai išotinta uoliena sveriamas, po to ši džiovinama ir vėl sveriamas. Pagal gautus duomenis apskaičiuojama maksimaliai prisotintos uolienos drėgmė W_{sat} ir tankis ρ_{sat} . Piknometru nustatomas kietų dalelių tankis (ρ_s) ir apskaičiuojamas poringumo rodiklis (n). Kiekvieno bandymo metu vandens ir uolienos temperatūra buvo matuojama skaitmeniniu termometru laipsnio šimtosios dalies tikslumu. Bandymai atlikti termostate. Iš viso išbandytas 41 uolienos bandinys. Tyrimų rezultatai apibendrinti panaudojant kompiuterines programas STATGRAF ir STATISTICA for Window.

TYRIMŲ REZULTATAI

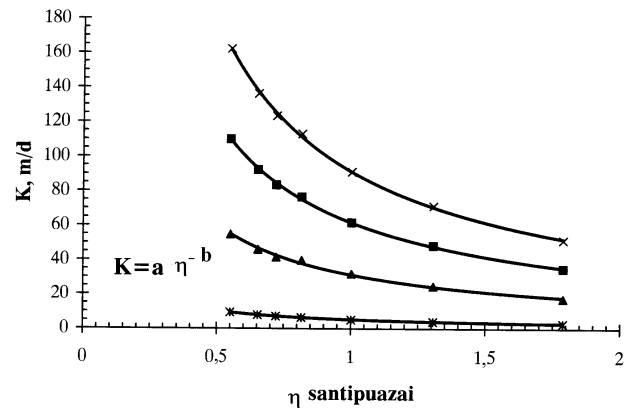
Išanalizavus tyrimų rezultatus nustatyta, kad didėjant vandens klampumui, visų uolienu filtracijos koeficiento reikšmės dėsningai mažėja pagal laipsninę priklausomybę, kurią atspindi hiperbolinio tipo kreivė (2 pav.):

$$k = a\eta^{-b} \tag{1}$$

Kaip matome (2 pav.), didėjant uolienu filtracijos koeficientui, (1) funkcijos kreivės labiau išsigaužia, ir nei viena kreivė (iš 41), kurios uolienos filtracijos koeficiento reikšmė yra mažesnė, nėra aukščiau uolienu kreivių, turinčių didesnes filtracijos koeficiento reikšmes.

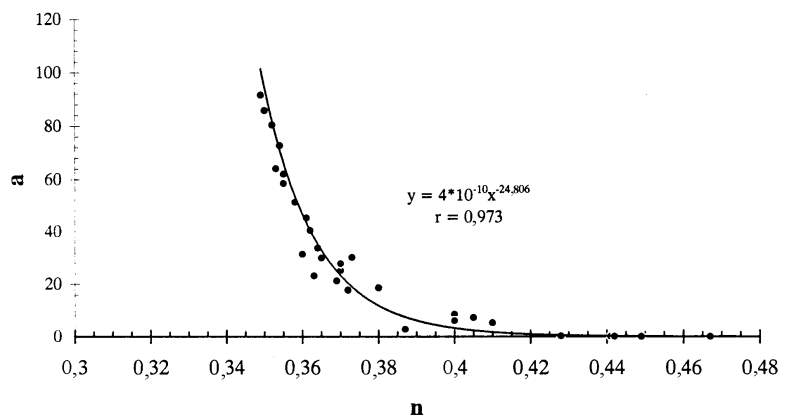
Toliau (1) lygties a koeficiento reikšmės buvo lyginamos su poringumo rodiklio reikšmėmis. Šių dydžių priklausomybės grafikas parodytas 3 pav.

Laipsnio rodiklio b reikšmės (1) formulėje skirtingų uolienu yra lygios nuo -0,96 iki -1,02. Praktiškai jos turėtų būti vienodos. Šiuos skirtumus, matyt,



2 pav. Filtracijos koeficiento (k) priklausomybė nuo vandens klampumo (η)

Fig. 2. Dependence of rock permeability coefficient on water viscosity



3 pav. Rodyklinės lygties $k = a\eta^{-b}$ koeficiento a ryšys su poringumo rodikliu n

Fig. 3. Relationship of the exponential equation coefficient a with the porosity index n

lėmė eksperimento paklaidą. Jeigu imsime vidutinį jo dydį ($b = -0,96$) iš 41 pavyzdžio, tai apskaičiuavę filtracijos koeficiento reikšmes su šiuo b dydžiu pagal (1) formulę gausime 1–3% paklaidą. Tai leidžia pagal žinomas poringumo rodiklio ir vandens klampumo reikšmes nustatyti bet kurios birios uolienos filtracijos koeficientą (lentelė):

$$k = a\eta^{-0,96}; \tag{2}$$

čia $a = 4 \cdot 10^{-10} \cdot n^{-24,806}$, η – dinaminio klampumo koeficientas esant atitinkamai temperatūrai (1 pav). Galutinė formulė būtų tokia:

$$k = 4 \cdot 10^{-10} \cdot n^{-24,806} \cdot \eta^{-0,96}. \tag{3}$$

Lentelė. Filtracijos koeficiento reikšmės, apskaičiuotos pagal (1) formulę Table. Rock permeability values calculated according to Formula (1)									
T °C	0	10	20	31	35	40	50	Koeficientai	
η santipuzai	1,789	1,306	1,002	0,816	0,721	0,653	0,55	a	b
Filtracijos koeficientai m/d	35,38	47,86	61,72	75,17	84,66	93,11	109,8	61,84	-0,96
	29,22	39,53	50,98	62,09	69,93	76,91	90,69	51,08	-0,97
	17,91	24,23	31,25	38,06	42,86	47,14	55,59	31,31	-0,95
	52,29	70,74	91,23	111,1	125,1	137,6	162,3	91,41	-0,96
	3,01	4,07	5,25	6,39	7,2	7,92	9,34	5,26	-0,96
	0,1	0,13	0,17	0,21	0,23	0,26	0,3	0,17	-0,96
	17,08	23,11	29,8	36,3	40,88	44,26	53,02	29,86	-0,95
	4,85	6,56	8,46	10,31	11,61	12,77	15,06	8,48	-0,96
	17,21	23,29	30,03	36,58	41,19	45,31	53,42	30,09	-0,95
	0,19	0,26	0,33	0,4	0,46	0,5	0,59	0,333	-0,96
	0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,15	0,18	0,102	-0,98
	1,14	1,54	1,99	2,42	2,72	3,0	3,53	1,99	-0,98
	0,11	0,15	0,19	0,23	0,26	0,29	0,34	0,19	-0,94
	0,09	0,12	0,16	0,19	0,22	0,24	0,28	0,16	-1,01
	10,13	13,7	17,67	21,52	24,23	26,65	31,43	17,7	-0,95
	13,2	17,85	23,03	28,04	31,58	34,74	40,96	23,07	-0,97
	0,1	0,14	0,18	0,22	0,25	0,27	0,32	0,18	-0,96
	12,13	16,41	21,16	25,77	29,02	31,92	37,64	21,2	-0,96
	4,16	5,63	7,27	8,85	9,97	10,96	12,93	7,28	-0,96
	0,08	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21	0,25	0,14	-0,96
	36,55	49,45	63,78	77,68	87,48	96,21	113,5	63,9	-0,96
	2,09	2,83	3,65	4,45	5,01	5,51	6,5	3,66	-1,02
	1,61	2,17	2,8	3,42	3,85	4,23	4,99	2,81	-0,96
	10,61	14,36	18,51	22,55	25,4	27,93	32,94	18,55	-0,96
	33,34	45,1	58,17	70,85	79,79	87,75	103,5	58,28	-0,96
	0,05	0,06	0,08	0,1	0,11	0,12	0,15	0,08	-0,89
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,041	-0,91
	0,05	0,07	0,09	0,12	0,13	0,14	0,17	0,095	-1,02
	0,04	0,05	0,07	0,09	0,1	0,11	0,12	0,07	-0,96
	0,05	0,06	0,08	0,1	0,11	0,12	0,14	0,079	-0,93
	14,33	19,38	25,0	30,45	34,29	37,71	44,47	25,05	-0,97
	15,85	21,44	27,65	33,67	37,92	41,71	49,18	27,07	-0,96
	0,08	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21	0,25	0,14	-0,94
	3,48	4,71	6,07	7,39	8,32	9,15	10,8	6,08	-0,96
	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,14	0,16	0,092	-0,97
	19,22	26,0	33,54	40,85	46,0	50,59	59,66	33,6	-0,96
	23,09	31,23	40,28	49,06	55,25	60,77	71,66	40,36	-0,96
	25,79	34,89	44,99	54,8	61,72	67,88	80,04	45,08	-0,96
	41,5	56,14	72,41	88,19	99,32	109,2	128,8	72,55	-0,96
	45,87	62,05	80,03	97,47	109,8	120,7	142,4	80,18	-0,96
	49,0	66,28	85,49	104,1	117,3	129,0	152,1	85,65	-0,96

Pagal šią (3) formulę apskaičiuotos filtracijos koeficiento reikšmės esant 10°C temperatūrai ($\eta = 1,306$) nuo nustatytų toms pačioms uolienoms laboratorijoje *Kamenskio* vamzdeliu, kai temperatūra ta pati, skiriasi nuo 2% iki 20%.

Pagal (1) formulę buvo apskaičiuotos tų pačių uolienu skvarbumo koeficiento (\bar{k}) reikšmės, kurios pagal hidrogeodinamikos teoriją nepriklauso nuo filtrato klampumo (Шестаков, 1994), todėl turi būti vienodos:

$$\bar{k} = \frac{k\eta}{0,864\gamma}; \quad (4)$$

čia γ – vandens savitasis sunkis.

Skaičiavimų rezultatai parodė, kad šio parametro reikšmės skiriasi tarpusavyje apie 5%. Taigi galima padaryti išvadą, kad filtracijos koeficiento nustatymo (3) formulė yra teisinga.

IŠVADOS

1. Nustatytas filtracijos koeficiento (k) ir vandens dinaminio klampumo (η) tarpusavio ryšys.

2. Išanalizavus tyrimų rezultatus nustatyta, kad didėjant vandens klampumui visų uolienu filtracijos koeficiento reikšmės dėsningai mažėja pagal laipsninę $k = a\eta^b$ hiperbolinio tipo priklausomybę.

3. Laipsninės priklausomybės koeficientas a gerai koreliuojasi su uolienu poringumo rodikliu (n). Koreliacijos koeficientas lygus 0,97.

4. Visų uolienu laipsninės priklausomybės laipsnio rodiklis b yra vienodas ir lygus 0,96.

5. Žinant uolienos poringumo rodiklį (n) ir vandens klampumą (η), filtracijos koeficientą galima apskaičiuoti pagal formulę: $k = 4 \cdot 10^{-10} \cdot n^{-24,806} \cdot \eta^{-0,96}$.

Literatūra

- Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод. Под ред. С. С. Бондаренко, Н. В. Ефреночкина. Москва: Наука. 1971. 293 с.
- Клизас П. Ю. 2000. Исследование гидродинамических особенностей движения вод в ненасыщенных несчаных пород. *Материалы Международной научной конференции*. Томск.: НТЛ. 329–331.
- Шестаков В. М., Кравченко И. П., Пашковский И. С. 1975. Практикум по динамике подземных вод. МГУ. 224 с.
- Шестаков В. М. Динамика подземных вод. 1994. М.: Недра. 368 с.

Mykolas Dobkevičius, Petras Klizas

LOOSE ROCK PERMEABILITY COEFFICIENT DEPENDENCE ON WATER VISCOSITY

S u m m a r y

Among the basic factors determining the water permeability of rocks are water temperature and viscosity. The results of a study of the dependence of filtration coefficient on water viscosity are presented. To assess this dependence under laboratory conditions, the Kamenski method was applied to rocks of different lithology and enabled to determine the coefficient of filtration (k) by filtering water at temperatures from 0 °C to 50 °C. Depending on the temperature, water viscosity (η) was calculated from the formula: $\eta = 1.6038e-0.0218 T$ °C (Fig. 1).

Tests showed that with increasing water viscosity the filtration coefficient was decreasing according to the following dependence: $k = a\eta^{-b}$ (Fig.). The coefficient a in this equation correlates well with the porosity index (a): $a = 4 \cdot 10^{-10} \cdot n^{-24,806}$ (Fig. 3), whereas the exponent $b = 0.96$. Hence, if we know the porosity index (n) and water dynamical viscosity coefficient (η), the filtration coefficient can be obtained from the formula: $a = 4 \cdot 10^{-10} \cdot n^{-24,806}$. According to the hydrodynamics theory, at different values of dynamical viscosity the permeability coefficients (k) must be the same (Table). The coefficient values vary within about 5%. So, Formula (3) is correct for the calculation of the filtration coefficient.

Микола Добкевичюс, Пятрас Клизас

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ОТ ВЯЗКОСТИ ВОДЫ СЫПУЧИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Р е з ю м е

В данной статье анализируются результаты, полученные при исследовании фильтрационных свойств песчано-гравелистых отложений различного генезиса. В лаборатории с помощью трубки Каменского были определены коэффициенты фильтрации 41 образца. Температура использованной в качестве фильтрата воды – от 0 до 50°C.

Нами были получены зависимости между динамической вязкостью, температурой воды и коэффициентом фильтрации. Установлено, что при повышении динамической вязкости воды значения коэффициентов фильтрации снижаются по гиперболической зависимости. Получена эмпирическая зависимость для определения коэффициента фильтрации (k) по данным показателя пористости (n) и динамической вязкости (η). Эта зависимость имеет такой вид: $k = 4 \cdot 10^{-10} \cdot n^{-24,806} \cdot \eta^{-0,96}$.