

Edward CICHOWSKI

PRÓBA WYZNACZENIA WSPÓŁCZYNNIKA PRZEPUSZCZALNOŚCI
SKAŁ PRZY PRZEPLYWIE PROMIENIOWYM

Streszczenie. Podano sposób wyznaczenia współczynnika przepuszczalności skał przy przepływie promieniowym. Opiszano stoisko badawcze i przedstawiono wyniki wstępnych pomiarów.

Znajomość współczynnika przepuszczalności, wiążącego poszczególne parametry płynu filtrującego, jest istotna zarówno przy celowym wprowadzaniu cieczy do górotworu jak i podczas wypływu gazu z ociosów [1, 2].

Laboratoryjne badania właściwości filtracyjnych przeważnie są prowadzone na cylindrycznych próbkach wykonanych z rdzeni skalnych, przy czym ustalony przepływ odbywa się w kierunku równoległym do osi cylindra, a próbki nie znajdują się w stanie naprężenia jak w górotworze.

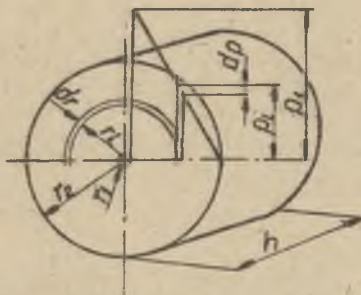
Ze względu na to, że ciecz wprowadzona w węgiel lub skałę przez otwory uprzednio wywiercone rozprzestrzenia się promieniście, zaś gazy odprowadzane z górotworu płyną również do otworu wzdłuż promienia, interesujące jest badanie współczynnika przepuszczalności przy przepływie promieniowym

Wskutek rozpuszczania wtrąceń mineralnych skały przez ciecz filtrowaną może następować zmiana współczynnika przepuszczalności w czasie, spowodowana zmianą porowatości efektywnej i właściwości fizykochemicznych cieczy. Z tego powodu współczynnik przepuszczalności wyznaczony przy ustalonym przepływie przez próbkę może się różnić od współczynnika wyznaczonego na podstawie pomiaru czasu zwilżania skały przez ciecz wprowadzoną po raz pierwszy.

Znajomość drugiego z wymienionych współczynników przepuszczalności pozwala przewidzieć szybkość rozprzestrzeniania się cieczy w górotworze podczas nawilgocania.

Ze względu na to, że badane próbki nawilżały się przeważnie nierównomiernie i całkowite zwilżenie próbki następowało dopiero po wielu godzinach w czasie trudnym do uchwycenia, przyjęto następującą metodykę pomiarów:

Przeprowadzone próby nawilżania przerywano w różnych odstępach czasowych w celu wyznaczenia przyrostów masowych próbki. Na tej podstawie ustalono średni promień zwilżenia próbki r_1 (rys.1) po czasie τ_1 .



Rys. 1. Wymiary badanej próbki skalnej

z zależności:

$$(r_2^2 - r_1^2) \pi h = \frac{m_1 - m_1}{\rho_r P_{ef}} \quad (1)$$

stąd:

$$r_1 = \sqrt{\frac{m_1 - m_1}{\rho_r P_{ef} \pi h} + r_2^2} \quad (1a)$$

gdzie:

- r_2 - promień zwilżenia uśredniający ewentualne nierównomierności zwilżenia na rozpatrywanym obwodzie próbki,
- r_1 - promień otworu doprowadzającego ciecz filtrowaną,
- m_1 - masa próbki po czasie τ_1 ,
- m_1 - masa próbki w stanie powietrzno-suchym,
- ρ_r - gęstość roztworu wodnego,
- P_{ef} - porowatość efektywna próbki wyznaczona podczas tego samego pomiaru w następujący sposób:

$$P_{ef} = \frac{V_w}{V_p} \quad (2)$$

gdzie:

- V_w - objętość wodnego roztworu w próbce po całkowitym nawilżeniu.

$$V_w = \frac{m_2 - m_1}{\rho_r} \quad (3)$$

gdzie:

m_2 - masa całkowicie zwilżonej próbki,

V_p - objętość próbki,

$$V_p = \pi h (r_2^2 - r_1^2) \quad (4)$$

Współczynnik przepuszczalności wyznaczono wychodząc ze wzoru Darcy [3]

$$\Delta p = \frac{Q \mu_r l}{k F} \quad (5)$$

gdzie:

Δp - spadek ciśnienia na drodze filtracji,

Q - natężenie przepływu,

μ_r - współczynnik lepkości dynamicznej cieczy,

l - długość drogi filtracji,

F - powierzchnia przekroju filtracyjnego,

k - współczynnik przepuszczalności.

W próbce cylindrycznej (rys.1) powierzchnia przekroju filtracyjnego przy przepływie promieniowym jest zmienna wraz z promieniem.

$$F = 2 \pi r_1 h \quad (6)$$

Elementarny przyrost promienia dr , stanowiącego drogę filtracji, powoduje spadek ciśnienia dp , stąd:

$$dp = \frac{Q \mu_r dr}{2 \pi r h k} \quad (7)$$

Zakładając liniowy spadek ciśnienia wzdłuż promienia otrzymuje się:

$$\frac{dp}{dr} = \frac{p_1}{r_2 - r_1} \quad (8)$$

Całkując równanie (7) w granicach od r_1 do r_2 otrzymuje się po przekształceniach współczynnik przepuszczalności k_1 dla przepływu po promieniu, wyznaczony z kolejnej próby w postaci:

$$k_1 = \frac{\mu_r}{\rho_r^2 \pi h} \frac{m_1 - m_1}{\frac{r_1 - r_1}{r_2 - r_1} \tau_1} l_n \frac{r_1}{r_1} \quad (9)$$

gdzie promień zwilżania r_1 należy obliczyć z równania (1a), a natężenie przepływu

$$Q = Q_1 = \frac{m_1 - m_1}{\rho_r \tau_1} \quad (10)$$

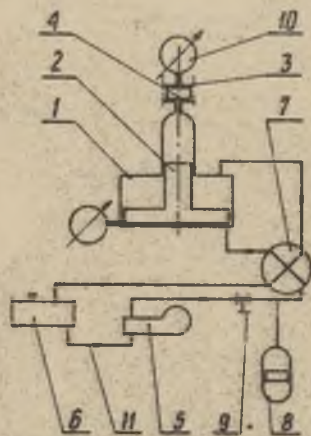
sprawdzono po każdym kolejnym ważeniu.

Współczynnik przepuszczalności wyznaczony z dowolnej próby

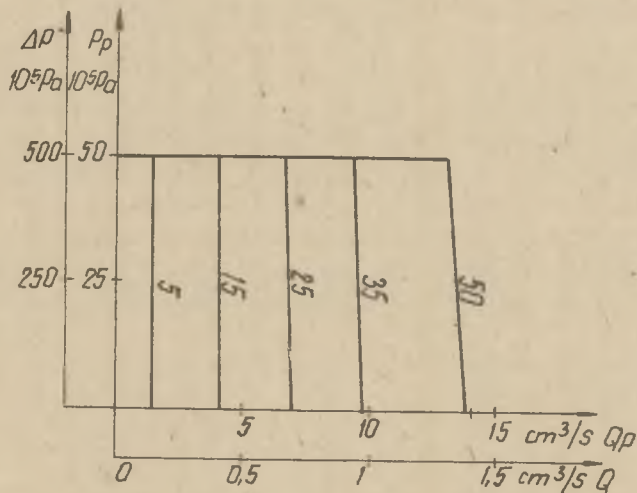
$$k_1 = f(m_1, \tau_1) \quad (9a)$$

jest funkcją tylko masy i czasu nawilżania τ_1 .

Przeprowadzone wstępne próby stoiskowe w celu wyznaczenia współczynnika przepuszczalności skał przy przepływie cieczy po promieniu. Rys. 2 przedstawia schemat ideowy stoiska, na którym kadłub multiplikatora podwyższającego ciśnienie oznaczono - poz. 1, dwusrednicowy tłok o stosunku powierzchni przekroju 1:10 - poz. 2, objętość badanej próbki z uszczelkami - poz. 3, badaną cylindryczną próbkę z otworem ϕ 3 mm wywierconym w środku przekroju kołowego wzdłuż osi podłużnej - poz. 4, pompę tłokową DF-50 o regulowanym zakresie wydajności $Q=0$ do $14 \text{ cm}^3/\text{s}$ i maksymalnym ciśnieniu $P_p = 50 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ - poz. 5, zbiornik pojemności 20 dm^3 na emulsję olejową, stanowiącą medium pompowane przez pompę - poz. 6, zawór czterodrożny sterujący kierunek ruchu dwusrednicowego tłoka - poz. 7, akumulator tłokowy - poz. 8, kulowy zawór odcinający - poz. 9, manometry - poz. 10 i przewody - poz. 11.



Rys. 2. Schemat ideowy stoiska badawczego



Rys. 3. Zależność ciśnienia od natężenia przepływu urządzenia dozującego ciecz filtrowaną

Rys. 3 przedstawia charakterystykę pompy DF-50 $p_p(Q)$ przy różnych nastawialnych skokach tłoka nurnikowego oraz parametry cieczy po stronie wysokociśnieniowej $p(Q)$.

Podczas przeprowadzonych pomiarów pompa DF-50 tłoczyła emulsję olejową pod duży tłok multiplikatora powodując odpowiedni przyrost ciśnienia w otworze wierconym w próbce.

Po uzyskaniu żadanego ciśnienia zatrzymywano pompę i zamykano zawór odcinający. Akumulator utrzymywał prawie stałe ciśnienie w instalacji przez kilka godzin dopuszczając mimo nieszczelności i przepływu cieczy przez próbkę maksymalnie do 10% spadku nastawionego ciśnienia początkowego.

Badania przeprowadzono na próbkach wykonanych z piaskowca, którego analizy nie przedstawiono ze względu na wstępny charakter przeprowadzonych pomiarów.

Filtrowaną ciecz stanowiła woda wodociągowa i 0,1% roztwór wodny zwilżacza Rokafenol NB o temperaturze $t = 14$ do 16°C [4]. Zastępczy współczynnik lepkości dynamicznej μ_r oraz zastępczą gęstość roztworu ρ_r wyliczono biorąc pod uwagę współczynnik lepkości $\mu_{zw} = 0,4 \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}$

i gęstość $\rho_{zw} = 1050 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ zwilżacza Rokafenol NB.

Tablica 1

Wyniki pomiarów i obliczeń parametrów filtracji

Próbka	Wymiary próbki		P_1 P_a $\times 10^5$	P_{ef} $\times 10^{-2}$	r_1 m $\times 10^{-3}$	k_1		Filtrowane medium
	r_1 $\times 10^{-3}$ m	r_2 $\times 10^{-3}$ m				h $\times 10^{-3}$ m	m^2 $\times 10^{-18}$	
1	1,0	21,5	50	5,292	12,0 15,2	9,21 4,87	9,09 4,81	0,1 % roztwór Rokafenolu NB
2	1,3	21,5	50	4,097	9,1 15,4	5,14 2,79	5,07 2,75	0,1 % roztwór Rokafenolu NB
3	1,0	21,5	50	5,566	11,1 16,2	8,53 3,09	8,42 3,05	0,1 % roztwór Rokafenolu NB
4	1,3	21,5	50	5,358	13,1 17,5	3,42 2,17	3,38 2,14	Woda wodociągowa

Tablica 1 przedstawia kilka z wyników przeprowadzonych pomiarów i obliczeń próbek piaskowca.

Uwidaczniają się różnice między wynikami uzyskanymi na poszczególnych próbkach.

Wyznaczone współczynniki są stosunkowo niskie jak dla piaskowca i zbliżone do współczynników przepuszczalności podawanych dla skał ilastych [5].

Wyniki uzyskane przy wtłaczaniu czystej wody charakteryzują się mniejszymi wartościami współczynnika przepuszczalności niż przy wtłaczaniu wodnego roztworu zwilżacza Rokafenol N8.

Stwierdzony spadek współczynnika przepuszczalności ze wzrostem promienia świadczy o zmniejszaniu się natężenia przepływu z upływem czasu filtracji, spowodowanym zwiększeniem oporów przepływu, np. wskutek zamulenia porów skały.

Prawidłowość przyjęcia liniowego spadku ciśnienia wzdłuż promienia jest w tych przypadkach dyskusyjna.

LITERATURA

- [1] GIL H.: Kryterium wyrzutu gazów, węgla i skał. Przegląd Gorniczy, 5/77.
- [2] SZĘCÓWKA Z.: Zmiana niektórych własności mechanicznych węgla wskutek nawodnienia w aspekcie zwalczania tępaków pokładowych. Komunikat OIGu nr 568, Katowice 1972.
- [3] OWSIK W.: Fizyczne podstawy technologii wydobywania ropy i gazu. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1971.
- [4] CICHOWSKI E.: Problemy stosowania zwilżacza KBS przy zwalczaniu zapylenia w górnictwie. Prace ZKMPW. Wydawnictwo "Śląsk", Katowice 1974.
- [5] SREDENSCHECK H.: Kontinuierliches Tränken des Kohlenstosses aus den abbaustrecken. Bergbauwissenschaften 14, nr 6, 1967.

ПОПЫТКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПОРОД ПРИ РАДИАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ ТЕЧЕНИЯ

Резюме:

Изложен метод определения показателя проницаемости пород при радиальном направлении течения. Описан испытательный стенд и изложены результаты предварительных измерений.

A TRIAL OF ROCK PERMEABILITY COEFFICIENT DESIGNATION IN
THE COURSE OF RADIAL FLOW

S u m m a r y:

It was given a way of the rock permeability coefficient designation in the course of radial flow. The test stand was described and the results of initial measurements were presented.