

Nestor OSZCZYPKO

## Wpływ szczelinowości na przepuszczalność warstw szaflarskich

### WSTĘP

Badania hydrogeologiczne w Karpatach ze względu na swą specyfikę wymagają odmiennego podejścia metodycznego. Granice obszarów silnie zawodnionych często nie pokrywają się z granicami określonych wydzieleni litologiczno-facjalnych. Jest to zrozumiałe, ponieważ czynnikiem decydującym o wodonośności utworów fliszowych jest najczęściej szczelinowość. W związku z tym przy kartowaniu hydrogeologicznym w Karpatach istotne jest rozpoznanie charakteru szczelinowości: gęstości spękań, rozwarcia szczelin (szerokości) oraz kierunków spękań (N. Oszczytko, 1963). Przez gęstość spękań, jak podaje E. M. Smiechow (1962), rozumiemy ilość spękań przypadających na jednostkę długości prostej normalnej do płaszczyzny tych spękań. Oczywiście, w masywie skalnym istnieje na ogół kilka systemów spękań o różnej gęstości. W związku z tym spękany masyw skalny należy traktować jako ośrodek anizotropowy. Dla celów hydrogeologicznych wypadkową wszystkich elementów szczelinowości może być przepuszczalność skał szczelinowych. Wielkość ta najlepiej charakteryzuje własności warstw wodonośnych. Dotychczas jednak bezpośrednie metody obliczania przepuszczalności na podstawie pomiarów elementów szczelinowości w hydrogeologii raczej nie były stosowane.

Metody takie jednakże istnieją i od kilku lat z powodzeniem stosowane są w geologii naftowej ZSRR. Są to metody określania przepuszczalności oraz porowatości szczelinowej na podstawie badań (pod mikroskopem) szlifów z rdzeni (E. M. Smiechow i in., 1958). Pojawiła się również pewna modyfikacja wspomnianych metod polegająca na badaniu zglądów (anszlifów), próbek uprzednio wzmocnionych lakiem bakelitowym (W. M. Bortnicka, 1961 b). W Polsce badania mikroszczelinowości kolektorów ropnych i gazowych prowadzone są przez Instytut Naftowy w Krakowie. Należy nadmienić, że wymieniona metoda badania mikroszczelinowości posiada charakter statystyczny.

Niżej porównane zostaną wyniki badań mikroszczelinowości z badaniami hydrogeologicznymi przeprowadzonymi w otworze badawczym. Badania mikroszczelinowości wykonano na stosunkowo niewielkiej liczbie próbek i potraktowano jako uzupełniające do badań hydrogeologicznych.

## CHARAKTERYSTYKA MIKROSZCZELINOWATOŚCI

W ramach badań geologiczno-inżynierskich prowadzonych przez Instytut Geologiczny w dorzeczu Dunajca, w miejscowości Szaflary k. Nowego Targu, wykonany został otwór wiertniczy do głębokości 50 m, którego usytuowanie przedstawia fig. 1. Otwór ten odwiercony został w war-

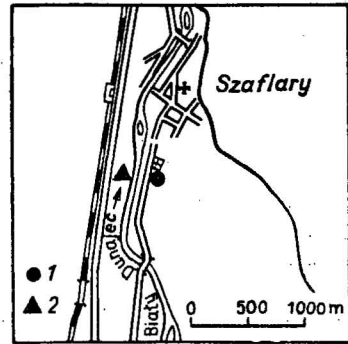


Fig. 1. Lokalizacja otworu wiertniczego w Szaflarach

Location of bore hole at Szaflary

- 1 — otwór wiertniczy, 2 — odsłonięcie w którym pomierzono kierunki oraz gęstość spękań  
 1 — bore hole; 2 — exposure at which directions and density of fractures have been measured

stwach szaflarskich, (L. Watycha, 1959). Zdaniem tego autora warstwy te stanowią dolną część warstw zakopiańskich w północnej części Podhala. Do głębokości 17 m w omawianym otworze występuje brekcja ciemnoszarych mułowców sydereitycznych oraz piaskowców drobnoziarnistych. Brekcja ta najprawdopodobniej ma charakter międzywarstwowy (syngenetyczny). W spągu brekcji nawiercono ciemnoszare mułowce sydereityczne (fig. 5, 6), przechodzące w mułowce piaszczyste. Poniżej głębokości 30 m wśród mułowców obserwowano kilkucentymetrowe wkładki piaskowców drobnoziarnistych. Procentowo ilość wkładek piaskowcowych wzrasta ku spągowi (fig. 2). Przewiercone warstwy odznaczały się stromym i dość zmiennym upadem w granicach 45—75°. Strefy zbrekcjonowane występowały również na głębokości 30,3 ÷ 31,8 m oraz 41,3 ÷ 42,5 m. Prócz brekcji często stwierdzano zlustrowania tektoniczne wśród mułowców. Upad zlustrowanych powierzchni wynosił 60—70°.

Zdecydowano się przeprowadzić badania mikroszczelinowości na zglądach, ponieważ na wykonanych z mułowców płytkach cienkich obserwowano daleko idące deformacje mikroszczelin.

Z rdzenia pobrano 15 próbek z głębokości od 21 do 50 m. Próbki zostały wzmocnione kalafonią, a następnie wykonano z nich zglądy (anszlify). Wstępne wzmocnienie kalafonią przeciwdziałać miało powstawaniu sztucznych szczelin w czasie szlifowania (tabl. I fig. 6). Jednakże nie wszystkie mikroszczeliny otwarte uległy wypełnieniu kalafonią (tabl. II fig. 7). W ten sposób wzmocnione próbki poddane zostały szlifowaniu. Na większości próbek zeszlifowano więcej niż jedną płaszczyznę. W tych wypadkach wyniki pomiarów mikroszczelinowości uśredniano. Na zeszlifowanych płaszczyznach o znanej powierzchni mierzono następujące elementy mikroszczelinowości: długość i rozwarcie mikroszczelin otwartych i zapełnionych substancją mineralną. Pomiarów wykonano przy pomocy okularu mikrometrycznego pod binokularką.

Rozwarcie mikroszczelin otwartych wahało się od 10 do 40 μ, najczęściej 20 μ. Rozwarcie mikroszczelin wypełnionych wynosiło

20 ÷ 100  $\mu$ . Opisywane mikroszczeliny zaliczyć można do subkapilarnych.

Do obliczeń przyjęto wartości uśrednione. Mikroszczeliny najczęściej wypełnione były substancją ilasto-marglistą. W dolnej części otworu, w piaskowcach, często spotykany był kalcyt. W oparciu o wyniki pomiarów obliczono: szczelinowatość efektywną (porowatość szczelinową), szczelinowatość całkowitą, oraz przepuszczalność szczelinową. Przepuszczalność szczelinową obliczono formułą podaną przez E. S. Romma (1958) z uwzględnieniem rzeczywistego rozwarcia mikroszczelin:

$$K_p = 8,45 \cdot 10^6 \frac{(b \cdot \sin \alpha)^3 \cdot l}{S} \text{ darcy} \quad (1)$$

gdzie:

$K_p$  — współczynnik przepuszczalności szczelinowej w darcy

$b$  — średnie rozwarcie (szerokość) mikroszczelin w cm

$l$  — sumaryczna długość mikroszczelin w cm

$S$  — powierzchnia próby w  $\text{cm}^2$

$\alpha$  — kąt zawarty między płaszczyzną szlifowania a płaszczyzną szczeliny.

Kąt  $\alpha$  uwzględniano w przypadku, gdy płaszczyzna zglądu nie była prostopadła do płaszczyzny szczelin.

Zarówno szczelinowatość efektywną ( $n_e$ ), jak i całkowitą ( $n_c$ ) wyliczono według równania:

$$n_{(e,c)} = \frac{b \cdot l}{S} \cdot 100\% \quad (2)$$

Oznaczenia jak przy wzorze 1

Uwzględniono tu również rzeczywiste rozwarcie mikroszczelin. Nie obliczono natomiast współczynnika filtracji, ponieważ skały w opisywanym profilu odznaczały się niezwykle niską przepuszczalnością. Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 1 oraz na fig. 2.

Tabela 1

Głębokość	$n_e$ w%	$n_c$ w%	$K_p$ w md
21,0	0,075	0,230	5,0
25,0	0,130	0,150	9,0
28,0	0,039	0,100	5,3
28,5	0	0	0
32,0	0,024	0,410	7,4
34,0	0,009	0,014	0,3
35,0	0,132	0,144	17,7
37,0	0,012	0,051	0,4
38,0	0	0,175	0
39,0	0,012	0,049	0,4
42,2	0,023	0,061	2,8
42,5	0,009	0,058	1,1
43,8	0	0,033	0
44,0	0,015	0,043	2,1
50,0	0	0	0
średnia	0,032%	0,101%	3,4 md

Szczelinowość efektywna waha się od 0 do 0,132%, średnio wynosi 0,032%. Całkowita objętość mikroszczelin mieści się natomiast w przedziale 0 ÷ 0,410%, średnio 0,101%. Szczelinowość efektywna ( $n_e$ ) stanowi 31,6% całkowitej ( $n_c$ ). Przepuszczalność badanych skał waha się od 0 do 17,1 md, średnio wynosi 3,4 md. Maksyma przepuszczalności (obliczone na podstawie mikroszczelinowości) występowały na głębokości 21,0 ÷ 28,0, 32,0 oraz 35,0 m. (tab. 1, fig. 2). Maksyma przepuszczalności odpowiadały strefom zbrekcjonowanym oraz strefom luster tektonicznych w mułowcach. (fig. 2). Minimalną i zerową przepuszczalność posiadały natomiast odcinki, w których występowały wkładki piaskowców drobnoziarnistych.

W opisywanym otworze wykonane zostały badania wodochłonności strefami co 5 m. W czasie badań stosowano ciśnienie 2 i 5 oraz 7 at. Wodochłonność jednostkową ( $q$ ) obliczono przy pomocy wzoru:

$$q = \frac{Q}{1 \cdot H} \text{ l (min/mb) m} \quad (3)$$

gdzie:

- Q — chłonność strefy w 1/minutę
- l — długość badanej strefy w m
- H — ciśnienie w obrębie badanej strefy w m słupa wody.

Wyniki badań wodochłonności jednostkowej zestawione zostały w tabeli 2. Wodochłonność jednostkowa przy ciśnieniu 2 at waha się od 0,029 l/min/mb/m w strefie 35 ÷ 40 m do 0,0015 l/min/mb/m w strefie 25 ÷ 30 m. Natomiast przy ciśnieniu 5 at maksimum wodochłonności jednostkowej 0,463 l/min/mb/m zanotowano w strefie 15 ÷ 20 m. Minimum w strefie 5 ÷ 10 m, charakteryzujące się spadkiem wodochłonności jednostkowej przy wzroście ciśnienia, spowodowane zostało prawdopodobnie kolmatacją szczelin.

Wodochłonności jednostkowe przeliczono na współczynnik filtracji przy pomocy równania N. N. Bindemana (1951):

$$K = 0,525 \cdot q \cdot \lg \frac{0,66 \cdot l}{r_0} \text{ m/dobę} \quad (4)$$

gdzie:

- K — współczynnik filtracji w m/dobę
- q — wodochłonność jednostkowa w l/min/mb/m
- l — długość badanej strefy w m
- $r_0$  — promień badanego otworu w m

Współczynnik filtracji (K) przeliczono następnie na współczynnik przepuszczalności ( $K_p$ ) przy pomocy znanej zależności Nootninga (W. Kulczycki, 1955):  $K_p = K \frac{\mu}{\gamma}$ , gdzie  $\mu$  — lepkość bezwzględna w cP,  $\gamma$  — ciężar właściwy cieczy. Obliczone wartości współczynnika przepuszczalności zestawione zostały w tab. 2.

Tabela 2

Strefa	q w l/min/mb/m		Kp w md	
	przy 2 at	przy 5 at	przy 2 at	przy 5 at
5 ÷ 10	0,0063	0,004	7,3	4,7
10 ÷ 15	0,0034	0,1600	4,0	188,0
15 ÷ 20	0,0025	0,4630	2,9	530,0
20 ÷ 25	0,0040	0,2280	4,7	266,0
25 ÷ 30	0,0015	0,0650	1,6	71,0
30 ÷ 35	0,0090	0,0200	10,0	22,6
35 ÷ 40	0,0290	0,0360	33,0	42,5
40 ÷ 45	0,0170	0,0300	25,8	34,7
45 ÷ 50	0,0086	0,0140	10,0	15,0
średnia	0,0090	0,1130	11,0 md	130,6 md

Przepuszczalność przy ciśnieniu 2 at waha się od 1,6 do 33 md, średnio wynosi 11,0 md. Przepuszczalność przy ciśnieniu 2 at wykazuje daleko idącą zbieżność z przepuszczalnością wyliczoną na podstawie mikroszczelinowatości zarówno co do wielkości, jak i rozmieszczenia w profilu wiercenia (tab. 1, 2, fig. 2), szczególnie do głębokości 32 m (strefa 30 ÷ 35). Poniżej tej głębokości wartości uzyskane na podstawie badań wodochłonności są wyraźnie wyższe. Natomiast przepuszczalność przy ciśnieniu 5 at w strefach 10 ÷ 30 m jest znacznie większa od przepuszczalności obliczonej na podstawie mikroszczelinowatości, niekiedy ponad 100-krotnie, jak to miało miejsce w strefie 15 ÷ 20 m (530 md, tab. 2, fig. 2). Poniżej głębokości 30 m przepuszczalność zarówno przy ciśnieniu 2 at, jak i 5 at jest nieznaczna.

Należy nadmienić, że przepuszczalność przy ciśnieniu 5 at w strefie 10 ÷ 30 m jest wyższa od przepuszczalności, jaką posiadałaby skała, gdyby wszystkie pomierzone mikroszczeliny były otwarte. Przy założeniu, że wszystkie mikroszczeliny są otwarte, w przedziale tym przepuszczalność wahałaby się od 0 ÷ 102 md, osiągając maksimum na głębokości 21,0 m (102,0 md). Wartości te są znacznie niższe od uzyskanych przy ciśnieniu 5 at. Tak duży wzrost przepuszczalności tłumaczyć można zatem jedynie rozwarstwieniem hydraulicznym. Potwierdza to analiza zależności wodochłonności od ciśnienia. W opisywanych strefach zależność ta ma charakter krzywoliniowy — krzywa wklęsła (W. Jawański, 1965). Do głębokości 30 m ciśnienie wywołane w otworze było wyższe od ciśnienia geostatycznego. W następstwie tak wysokiego ciśnienia mikroszczeliny uległy rozwarciu, co spowodowało gwałtowny wzrost przepuszczalności (tab. 2, fig. 2).

Uzyskane wyniki można porównać jedynie z własnościami kolektorów ropnych i gazowych w Karpatach Środkowych (W. Kulczycki, 1959) badanych metodami laboratoryjnymi. Przepuszczalność warstw szafłarskich w omawianym otworze jest najbardziej zbliżona do przepuszczalności piaskowców z warstw dolnokrośnieńskich i inoceramowych. Według W. Kulczyckiego (1959) średnia przepuszczalność piaskowców dolnokrośnieńskich wynosi 4,87 md (85,3% nieprzepuszczalnych oznaczeń), piaskowców inoceramowych 6,34 md (75% próbek nieprzepuszczalnych). Średnia przepuszczalność warstw szafłarskich na podstawie badań mikroszczelinowatości wynosi 3,6 md, natomiast na podstawie badań wodochłonności 11,0 md.

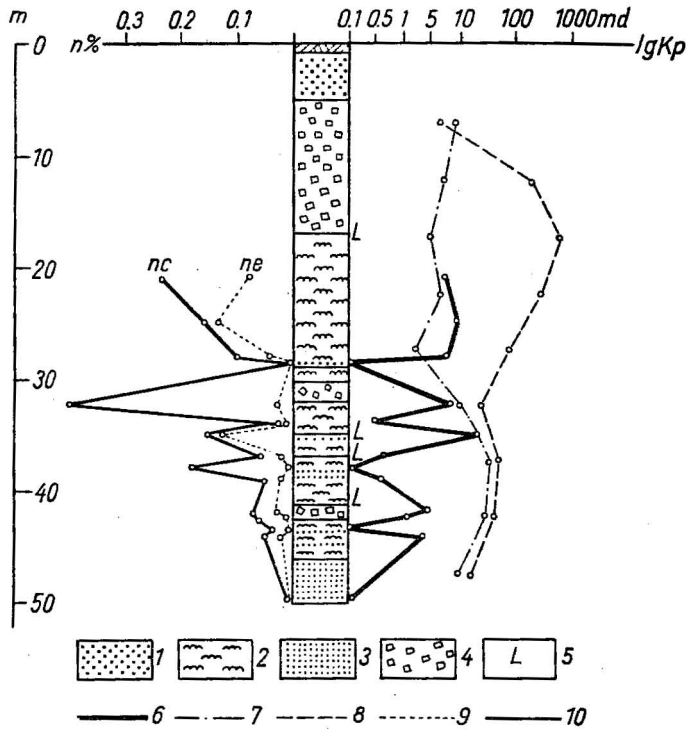


Fig. 2. Profil otworu oraz wyniki badań mikroszczelinowatości i przepuszczalności

Section of bore hole and results of studies on microfracturing and permeability

1 — Utwory akumulacji rzecznej; 2 — mułowce syderytyczne i mułowce piaszczyste; 3 — piaskowce drobnoziarniste; 4 — brekcja mułowców syderytycznych i piaskowców; 5 — lustra tektoniczne; 6 — przepuszczalność obliczona z mikroszczelinowatości w md; 7 — przepuszczalność przy 2 at w md; 8 — przepuszczalność przy 5 at w md; 9 — szczelinowatość efektywna ( $n_e$ ) w %; 10 — szczelinowatość całkowita ( $n_c$ ) w %

1 — deposits of river accumulation; 2 — sideritic mudstones and arenaceous mudstones; 3 — fine-grained sandstones; 4 — breccias of sideritic mudstones and sandstones; 5 — tectonic slickensides; 6 — permeability computed from microfracturing in md; 7 — permeability at 2 at in md; 8 — permeability at 5 at in md; 9 — effective fracturing ( $n_e$ ) in %; 10 — total fracturing ( $n_c$ ) in %

Badania mikroszczelinowatości prowadzone były na szeroka skalę w Karpatach Ukrainiickich. Prowadzono je między innymi dla złoża ropy naftowej „Dolina“ badając mikroszczelinowatość w warstwach menilitowych, popielskich i wygockich (W. M. Bortnicka, 1961 a). Rozwarcie mikroszczelin otwartych we wszystkich badanych seriach było rzędu 20 ÷ 100  $\mu$ . Nie spotykano mikroszczelin otwartych o rozwarcium przekraczającym 100  $\mu$ . Szczelinowatość efektywna (porowatość szczelinowa) nie prze-

wyższa tu 0,4‰, najczęściej wynosi 0,1 ÷ 0,2‰. Przepuszczalność zazwyczaj jest niższa od 10 md, chociaż niekiedy dochodzi do 20 ÷ 30 md.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że charakter mikroszczelinowości przebadanego profilu warstw szaflarskich jest zbliżony do charakteru mikroszczelinowości warstw dolnokrośnieńskich i inoceramowych w polskich Karpatach Środkowych oraz w produktywnych seriach złoża „Dolina“.

### WPLYW KIERUNKÓW SPEKAŃ NA PRZEPUSZCZALNOŚĆ SZCZELINOWĄ

W bliskim sąsiedztwie otworu wiertniczego w Szaflarach pomierzone zostały kierunki spekań (fig. 1) oraz ich gęstość<sup>1</sup>. Obserwacje przeprowadzono w odsłonięciu, w którym ciemnoszare piaskowce droбноziarniste, o mąższości ławic 20 ÷ 25 cm, przeławiczone są łupkami o mąższości 0,5 ÷ 1,0 m. Średni bieg i upad warstw w odsłonięciu wynosi 62/30°/S. Wyniki pomiarów przedstawione zostały w formie róży spekań na fig. 3. Na diagramie wyróżnić można dwa wyraźne systemy spekań: I — o średnim biegu 325°, oraz II — o średnim biegu 58°. Podrzedną rolę odgrywa system o biegu 360—10°. Spekania systemu pierwszego posiadają gęstość 27 l/mb i są w przybliżeniu prostopadłe do biegu warstw, system drugi natomiast posiada gęstość 13 l/mb i jest w zasadzie równoległy do biegu warstw.

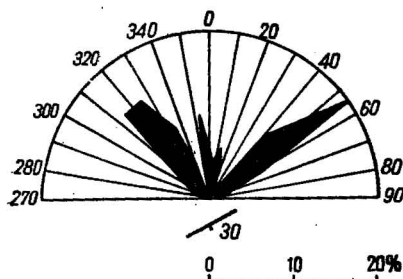


Fig. 3. Diagram kierunków spekań dla warstw szaflarskich  
Diagram of fracture directions in the Szaflary beds

W rejonie Szaflar spekania poprzeczne przeważają nad spekaniami zgodnymi z biegiem warstw, co może być spowodowane bliskim kontaktem fliszu podhalańskiego z Pienińskim Pasem Skałkowym. Przedstawione kierunki są zgodne z kierunkami, jakie podaje B. Halicki (1963) dla Podhala. Według tego autora najczęściej występują tu dwa systemy spekań: o biegu 50—60°, oraz 335—345°. Na podstawie badań mikroszczelinowości oraz znajomości orientacji i gęstości spekań można określić wielkość oraz kierunek przepuszczalności szczelinowej. Poznanie przestrzennego rozkładu przepuszczalności ma istotne znaczenie przy badaniach geologiczno-inżynierskich dla obiektów budownictwa wodnego w skałach szczelinowatych.

<sup>1</sup> Pomiarzy te zostały wykonane przez mgra inż. L. Bobera, któremu dziękuję za udostępnienie wyników.

Równanie pozwalające obliczyć przepuszczalność szczelinową na dowolnym kierunku podane zostało przez E. S. Romma (1961). Przy obliczeniu przepuszczalności kierunkowej w warstwach szaflarskich zastosowano następujący wzór (E. M. Smiechow i in., 1962):

$$K_p = 8,45 \cdot 10^6 \sum_{i=1}^n b^3 G_i (\sin^2 \alpha_i \cos^2 \varphi_i + \cos^2 \alpha_i) \quad (5)$$

gdzie:

- $K_p$  — współczynnik przepuszczalności szczelinowej w darcy
- $b$  — średnie rozwarście szczelin w cm
- $G$  — gęstość spękań danego systemu w 1/cm
- $\alpha_i$  — kąt zapadania szczelin danego systemu
- $\varphi_i$  — kąt między określonym kierunkiem filtracji i kierunkiem danego systemu spękań.

Zastosowane wyżej równanie obowiązuje tylko w przypadku filtracji poziomej. Dla warstw szaflarskich obliczono przepuszczalność szczelinową z następujących kierunków:  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  oraz  $135^\circ$ . Do obliczeń uśredniono kierunki spękań (do dwóch zasadniczych — I, II), oraz przyjęto następujące dane wyjściowe:

system I	system II
$A_1 = 337^0$	$A_2 = 57^0$
$G_1 = 27 \text{ 1/mb} = 0,27 \text{ 1/cm}$	$G_2 = 13 \text{ 1/mb} = 0,13 \text{ 1/cm}$
$\alpha_1 = 82^0$	$\alpha_2 = 63^0$
$\varphi_1' = 23^0$	$\varphi_2' = 57^0$
$\varphi_1'' = 68^0$	$\varphi_2'' = 11^0$
$\varphi_1''' = 66^0$	$\varphi_2''' = 34^0$
$\varphi_1'''' = 22^0$	$\varphi_2'''' = 79^0$

Następnie przy pomocy równania (5) obliczono przepuszczalność dla czterech wspomnianych kierunków, przyjmując rozwarście szczelin średnie ( $20 \mu$ ) oraz maksymalne ( $40 \mu$ ). Wyniki obliczeń zestawione zostały w tab. 3.

Tabela 3

Kierunek filtracji	System		$K_p$ w md przy $b = 20\mu$	$K_p$ w md przy $b = 40\mu$
	I	II		
$0^\circ$	$23^\circ$	$57^\circ$	19,2	153,6
$45^\circ$	$68^\circ$	$11^\circ$	11,2	90,9
$90^\circ$	$66^\circ$	$34^\circ$	9,8	79,1
$135^\circ$	$22^\circ$	$79^\circ$	22,1	178,3

Jak widać z tab. 3, dwukrotnemu wzrostowi rozwarścia mikroszczelin odpowiada ośmiokrotny wzrost przepuszczalności przy tej samej gęstości spękań. Jest to zrozumiałe, ponieważ zależność ma charakter funkcji trzeciego stopnia.



Obliczona przepuszczalność kierunkowa przy rozwarciu  $20 \mu$  jest zbliżona do przepuszczalności stwierdzonej w czasie badań wodochłonności przy ciśnieniu 2 at. Oznacza to, że w przewierconym profilu gęstość spękań jest podobna do tej, jaką stwierdzono w odsłonięciu.

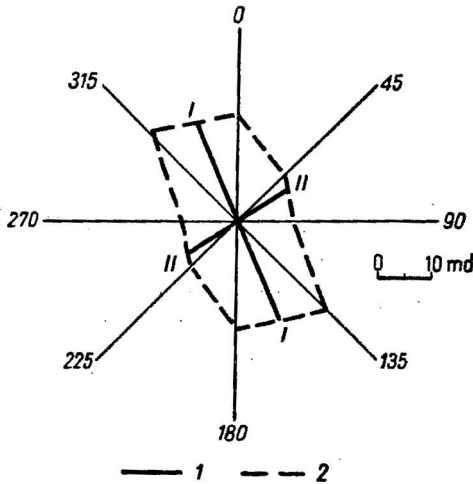


Fig. 4. Diagram przepuszczalności kierunkowej przy  $b = 20 \mu$

Diagram of directional permeability when  $b = 20 \mu$

1 — wypadkowe kierunków spękań systemu I i II; 2 — przepuszczalność w md

1 — resultants of fracture directions of system I and II; 2 — permeability in md

Na podstawie dokonanych obliczeń wykreślono diagram przepuszczalności kierunkowej przy rozwarciu mikroszczelin  $b = 20 \mu$  (fig. 4). Jak wynika z diagramu przepuszczalność osiąga najwyższą wartość w odniesieniu do kierunku  $315-135^\circ$  (NW—SE), minimalną natomiast przy kierunku równoleżnikowym. Wyższa przepuszczalność w odniesieniu do kierunku NW—SE jest zrozumiała ze względu na występowanie spękań systemu I (fig. 3) o znacznej gęstości. Przy jednakowej gęstości spękań na poszczególnych kierunkach diagram będzie miał kształt kolisty. Wykres przepuszczalności kierunkowej może być bardzo przydatny przy kartowaniu hydrogeologicznym skał szczelinowatych oraz przy badaniach geologiczno-inżynierskich podłoża budowli wodnych. Pozwala on bowiem wykryć strefy o podwyższonej przepuszczalności oraz kierunki wzmoczonej filtracji (np. pod korpusem zapory wodnej).

## WNIOSKI

Warstwy szaflarskie w Szaflarach odznaczają się niezwykle niską przepuszczalnością. W badanym profilu stosunkowo silnie spękane mułowce posiadają wyższą przepuszczalność niż piaskowce drobnoziarniste. Podwyższoną przepuszczalność stwierdzono w skałach o kierunku spękań NW—SE (zblizonym do systemu I), przepuszczalność minimalną — w skałach o kierunku spękań E—W.

Przy rozwarciu mikroszczelin  $b = 20 \mu$  oraz podanej gęstości spękań warstwy szaflarskie w omawianym profilu są praktycznie nieprzepuszczalne dla swobodnie krążących wód, ponieważ posiadają współczynnik filtracji rzędu  $n \cdot 10^{-8}$  —  $n \cdot 10^{-7}$  m/sek. Przy tej samej gęstości

spękań i dwukrotnie wyższym rozwarciu mikroszczelin ( $b = 40 \mu$ ) warstwy te będą już słabo przepuszczalne ( $k = n \cdot 10^{-6}$  m/sek.).

Obserwowane w rdzeniu mikroszczeliny posiadają rozwarcie znacznie niższe od  $100 \mu$ , a więc ruch cieczy w mikroszczelinach ma charakter laminarny (E. S. Romm, 1961). Laminarny charakter ruchu cieczy zachowany zostanie również przy wyższych rozwarciach, o ile nie zostanie przekroczony krytyczny gradient hydrauliczny zgodnie z równaniem I. F. Wołodko (1953). Według tego autora, np. przy rozwarciu szczelin  $b = 1$  mm, krytyczny gradient  $I_{kr} = 0,185$ . W związku z tym można przypuszczać, że turbulentny charakter ruchu wód podziemnych w utworach fliszu karpackiego należy do przypadków rzadkich.

Przeprowadzone badania wykazały, że mikroszczelinowatość w warstwach szaflarskich jest czynnikiem decydującym o przepuszczalności, rola porowatości natomiast jest nikła. Wśród poszczególnych elementów szczelinowatości najważniejszą rolę odgrywa rozwarcie szczelin. Nie wielki wzrost rozwarcia szczelin powoduje niewspółmierny przyrost przepuszczalności szczelinowej. Duży wpływ na przepuszczalność ma również kierunek i gęstość spękań.

Oddział Karpacki Instytutu Geologicznego  
Kraków, ul. Grzegórzecka 81  
Nadesłano dnia 25 maja 1965 r.

## PIŚMIENICTWO

- HALICKI B. (1963) — Tektonika Podhala. Roczn. Pol. Tow. Geol., 33, nr 3 p. 349—362. Kraków.
- JAWAŃSKI W. (1965) — Warunki porównywalności wyników badań wodochłonności skał. Prz. geol., 13, p. 113—119, nr 3. Warszawa.
- KULCZYCKI W. (1955) — Mechanika płynów w złożach ropy i gazu ziemnego. Wyd. Geol. Warszawa.
- KULCZYCKI W. (1959) — Zagadnienie porowatości, szczelinowatości i przepuszczalności pokładów ropnych i gazowych w Karpatach Środkowych. Nafta, 14, p. 102—108, nr 4. Katowice.
- WATYCHA L. (1959) — Uwagi o geologii fliszu podhalańskiego we wschodniej części Podhala. Prz. geol., 7, p. 350—356, nr 8. Warszawa.
- БИНДЕМАН Н. Н. (1951) — Методы определения водопроницаемости горных пород откачками, наливками и нагнетаниями. Углетехиздат. Москва.
- БОРТНИЦКАЯ В. М. (1961a) — К методике исследования трещиноватых пород палеогена Предкарпатья. Труды всесоюзного совещания по трещиноватым коллекторам нефти и газа, стр. 219—227. Ленинград.
- БОРТНИЦКАЯ В. М. (1961b) — О методике исследований коллекторских свойств трещиноватых пород по керну. Геология нефти и газа, стр. 41—43. Москва.

- ВОЛОДЬКО И. Ф. (1953) — Использование подземных вод для орошения и водоснабжения. Сельхозгиз, Москва.
- ОЩИПКО Н. (1963) — Определение проницаемости и коэффициента фильтрации на основании трещиноватости и направлении трещин. Резюме сообщений VI Конгр. Карп. Балк. Геол. Асоц. стр. 238—239. Варшава—Краков.
- РОММ Е. С. (1958) — Исследования фильтрации в трещиноватых породах в связи с их коллекторскими свойствами. Труды ВНИГРИ, 121, стр. 217—244. Ленинград.
- РОММ Е. С. (1961) — Фильтрация жидкости и газов в трещиноватых горных породах. Труды всесоюзного совещания по трещинным коллекторам нефти и газа, стр. 42—54. Ленинград.
- СМЕХОВ Е. М. и др. (1958) — Вопросы методики изучения трещиноватых пород в связи с их коллекторскими свойствами. Труды ВНИГРИ, 121, стр. 7—61. Ленинград.
- СМЕХОВ Е. М. и др. (1962) — Методическое пособие по изучению трещиноватости горных пород и трещинных коллекторов нефти и газа. Труды ВНИГРИ, 201. Ленинград.

---

Нестор ОЩИПКО

### ВЛИЯНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ШАФЛЯРСКИХ СЛОЕВ

#### Резюме

В работе даются результаты исследований проницаемости по трещинам в нижней части закопанских слоев Подгалья (Внутренние Карпаты). Проницаемость была определена на основании измерений микротрещиноватости по кернам и исследования водоемкости в скважине при давлении в 2,5 и 7 атм. Микротрещиноватость определялась с помощью методики, разработанной Всесоюзным научно-исследовательским геологоразведочным институтом (ВНИГРИ). Средняя проницаемость, определенная по микротрещиноватости, составляла 3,4 миллиарда. Максимальные значения проницаемости отвечали зонам распространения брекчии и зеркал скольжения. Средняя проницаемость, определенная на основании водоемкости при давлении в 2 атм., составляла 11,0 миллиарда. Результаты определений проницаемости по микротрещиноватости и водоемкости при давлении в 2 атм. проявляли сходность. Проницаемость же при давлении в 5 атм. значительно превышала проницаемость, определенную по микротрещиноватости. Это объясняется гидравлическим расслоением. В пространственном отношении самая большая проницаемость была установлена по направлению северо-запад — юго-восток, схожим с направлением трещин системы I. Эта система с простиранием  $325^\circ$  характеризуется средней густотой трещин равной 27 1/пог.м.

Nestor OSZCZYPKO

## INFLUENCE OF FISSURING UPON PERMEABILITY OF THE SZAFLARY BEDS

### Summary

The paper presents the results of studies on fissure permeability of the lower part of the Zakopane beds in the Podhale region (Internal Carpathians). Permeability has been determined on the basis of microfissurity measurements on drill cores and by means of water absorption in a bore hole under the pressure of 2, 5 and 7 atm. The microfissurity has been measured by means of the methods elaborated in WNIGRL. On the basis of the results obtained during examinations of microfissurity the mean permeability amounts to 3,4 md. Maxima of permeability correspond with the zones of breccia occurrence and of slickensides. The mean permeability computed on the basis of the study on water absorption under the pressure of 2 atm. amounts to 11,0 md. The results obtained on microfissurity measurements, and on water absorption examinations under the pressure of 2 atm. are convergent. On the other hand, the permeability under the pressure of 5 atm. is considerably greater than that calculated from microfissurity. This fact may be interpreted by means of hydraulic splitting. The greatest permeability has been found in an area stretching NW—SE, i.e. in a direction similar to that of the fissures of the system I. This system characterized by a direction amounting to 325° reveal its mean density of fissures being 27 1/m.

TABLICA I

- Fig. 5. Mułowiec syderytyczny z gęstą siecią mikroszczelin otwartych, głęb. 25,0 m,  
pow. 2 ×  
Sideritic mudstone with a dense lattice of open microfractures; depth 25,0 m,  
enl. × 2
- Fig. 6. Mułowiec syderytyczny. Mikroszczeliny wypełnione kalafonią; głęb. 34,0 m,  
pow. 7 ×  
Sideritic mudstone. Microfractures filled up with colophony; depth 34,0 m,  
enl. × 7

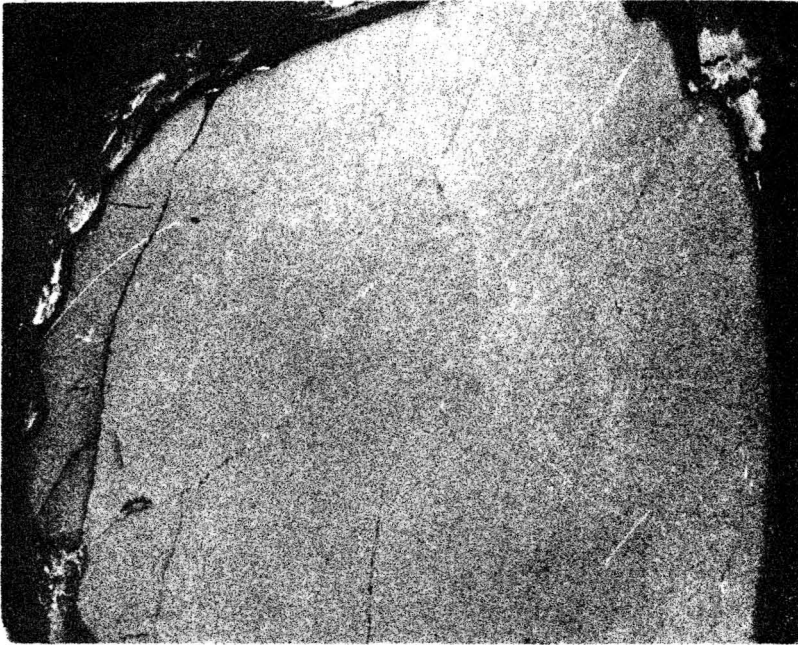


Fig. 5

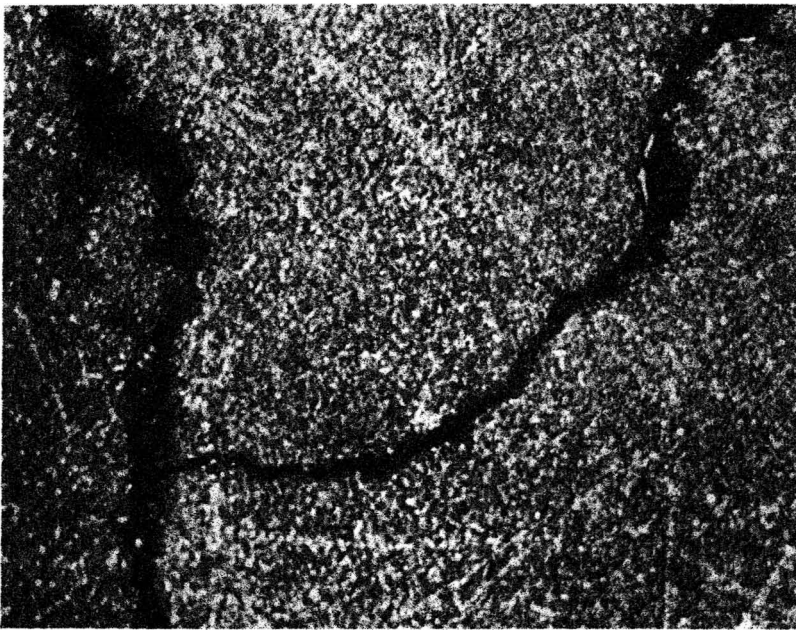


Fig. 6

Nestor OSZCZYPKO — Wpływ szczelinowatości na przepuszczalność warstw szaflarskich

## TABLICA II

Fig. 7. Mułowiec syderytyczny, laminowany. Mikroszczeliny zgodne z uławiczeniem oraz prostopadłe do nich; głęb. 42,2 m, pow. 1,5 ×

Sideritic mudstone, laminated. Microfractures concordant and perpendicular to stratification; depth 42,2 m, enl. × 1,5

Fotografie wykonał C. Tylek

Photographs by C. Tylek

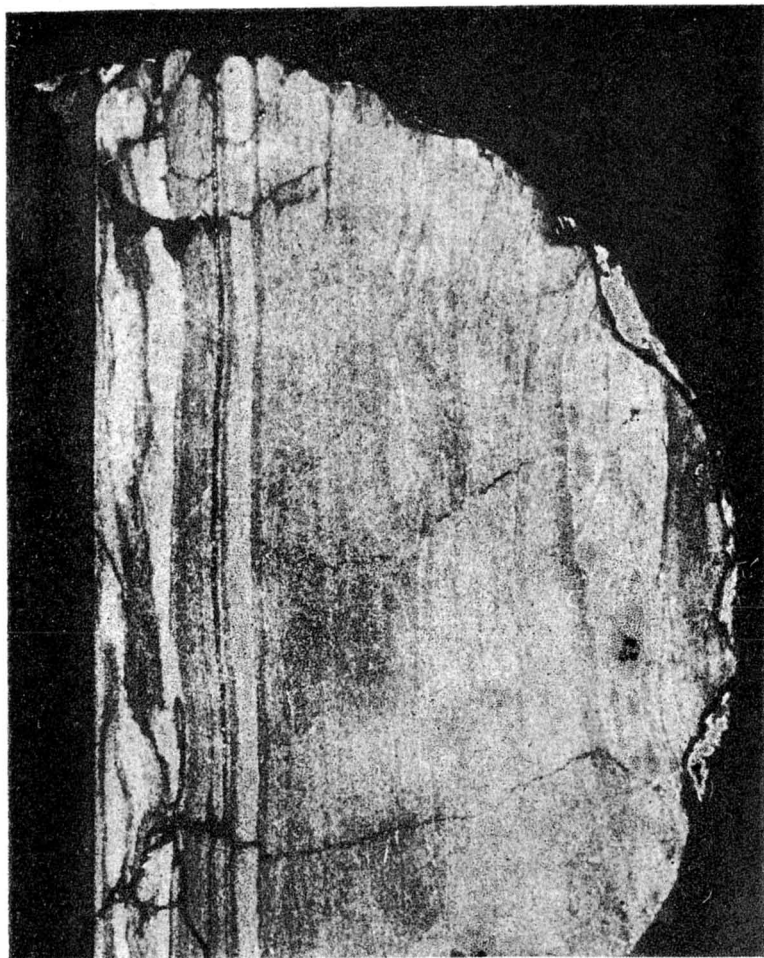


Fig. 7