

TADEUSZ BIRECKI

Makroszczelinowatość skał wapienno-marglistych w strefie Buska-Zdroju

STRESZCZENIE: Omówiono, na podstawie wykonanych pomiarów w terenie, problem zmienności i intensywności kierunków spękań w utworach wapiennych jury, kredy i miocenu z rejonu Buska-Zdroju. Dla tych litostratygraficznych poziomów przeprowadzono wyliczenie gęstości makrospękań, posługując się odbitkami zdjęć fotograficznych odsłoneń i stosując dwie metody przeliczeń. Opierając się na wyliczeniach gęstości makrospękań i średniej rozwartości spękań, przedstawiono próbę wyliczenia porowatości makroszczelinowej skał wapiennych jury, kredy i miocenu w warunkach przypowierzchniowego ich występowania. Równocześnie przedyskutowano, w jaki sposób można przejść od przeprowadzonych pomiarów w odsłonięciach do oceny porowatości makroszczelinowej horyzontów ropno-gazowych, które występują na większych głębokościach, nierzadko poniżej 1000 m.

WSTĘP

Problem szczelinowatości skał węglanowych i terrygeniczných jest w naftowej literaturze światowej, głównie w Stanach Zjednoczonych A. P. i w Związku Radzieckim, od 1952 roku dość szeroko rozważany.

W Związku Radzieckim opublikowano na ten temat szereg prac, a bliżej tym zagadnieniem zajmują się E. M. Smechov et al. (1958, 1959, 1961, 1962, 1963). Taki stan rzeczy jest zrozumiały, gdyż obecnie znanych jest na świecie wiele złóż ropy naftowej o wysokiej wydajności produkcyjnej z poszczególnych otworów, dochodzącej niekiedy do 100 ton na dobę i więcej, podczas gdy równocześnie horyzont produktywny charakteryzuje się niskimi wartościami porowatości międzyziarnowej rzędu 1—3% oraz niskimi wskaźnikami przepuszczalności rzędu kilku miliardacy. Wskazuje to na znaczny udział szczelinowatości zarówno we własnościach zbiornikowych, jak i w filtracji tych horyzontów.

Pod pojęciem szczelinowatości skał autor rozumie cały zakres spękań występujących w rozpatrywanym litologicznym czy stratygraficznym poziomie, niezależnie od ich powstania jak i typów.

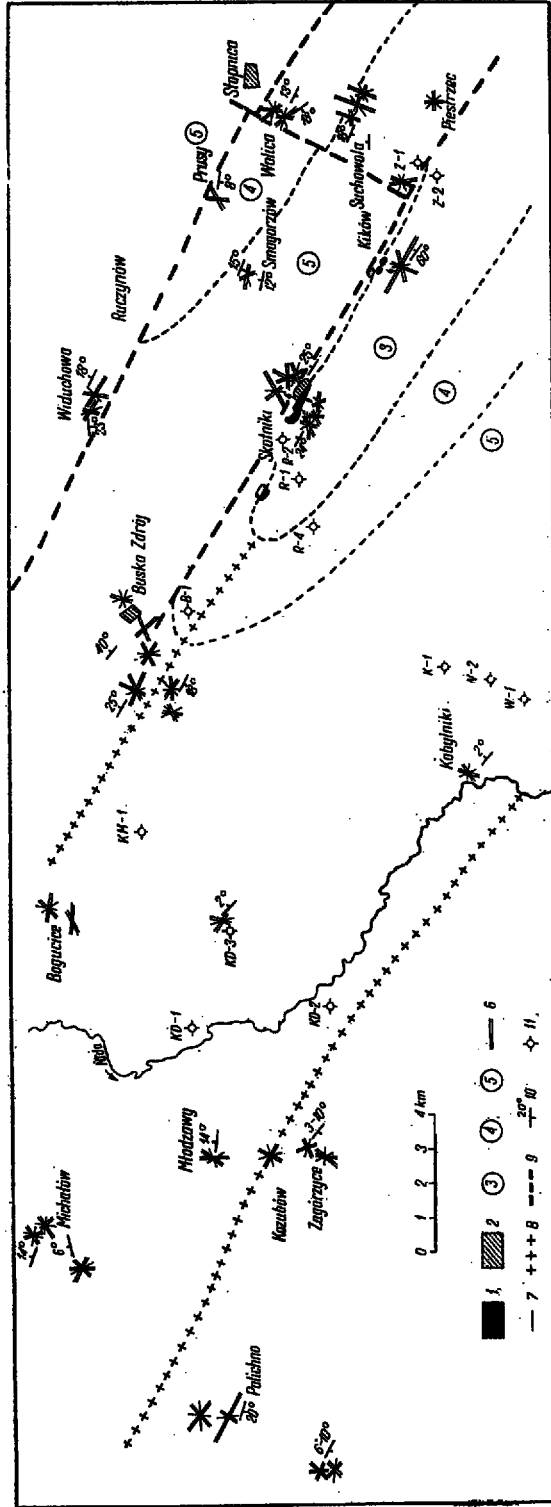


Fig. 1

W zakresie genetycznego i systematycznego podziału szczelinowości znane są prace W. A. Waldschmita et al. (1956) i E. M. Smechova et al. (1958, 1959, 1961), a także omawia to zagadnienie J. Zieliński (1963).

W pracy ograniczono się w zasadzie do badań szczelinowości skał wapienno-marglistych występujących w rejonie Buska-Zdroju. Istotnie objęto badaniami tylko te spekania, które można zaobserwować nieuzbrojonym okiem, to znaczy o rozwartościach większych od 0,1 mm. Nie uwzględniono natomiast mikrospeków, gdyż wymagają one odrębnego petrograficznego opracowania.

W szczególności starano się ustalić następujące zagadnienia związane z występowaniem makrospeków:

1) wyznaczenie kierunków największej ilości speków i prawidłowości zachodzących pomiędzy nimi,

2) uzyskanie przybliżonych danych o porowatości makroszczelinowej badanego poziomu.

Pracę w tym zakresie przeprowadzono na odsłonięciach wapieni jurajskich, wapieni i margli kredowych oraz wapieni litotamniowych miocenu.

Obserwacje terenowe wykonano w ramach prac planowych Instytutu Naftowego pod kierunkiem dr inż. J. J. Zielińskiego, któremu za udzielone uwagi i dyskusję składam serdeczne podziękowanie.

Fig. 1

Mapa kierunków speków poprzecznych do uwarstwienia na tle budowy geologicznej rejonu Buska-Zdroju

1 odsłonięcie wapieni jurajskich, 2 odsłonięcie piaskowców cenomanu i wapieni turonu, 3 podmioceński zasięg wychodni wapieni jurajskich, 4 podmioceński zasięg wychodni utworów piaszczysto-wapiennych cenomanu-turonu-amszeru, 5 wapienno-margliste osady senonu pokryte płytami utworów mioceńskich, 6 kierunki speków uwidaczniające się w odsłonięciach największą ilością występowania, 7 kierunki speków słabiej zaznaczające się w statystycznym zestawieniu wykonanych pomiarów, 8 przebieg osi antyklinalnych spiętrzeń, 9 ważniejsze dyslokacje, 10 upady warstw, 11 odwiercone otwory

Sketch map of the directions of fissures transversal to the bedding in the region of Bath-Busko

1 outcrops of Jurassic limestones, 2 outcrops of Cenomanian sandstones and Turonian limestones, 3 sub-Miocene range of Jurassic limestone outcrops, 4 sub-Miocene range of outcrops of the Cenomanian-Turonian-Emscherian sandy-limy deposits, 5 Senonian limy-marly deposits covered by Miocene sediments, 6 the most common directions of fissures indicated in the outcrops, 7 less common directions of fissures, 8 axes of anticlinal elevations, 9 major dislocations, 10 dips of beds, 11 boreholes

OBSZAR BADAŃ

Badania w odsłonięciach przeprowadzono na strukturach antyklinalnych i blokowych obszaru położonego na E i W od Buska-Zdroju (fig. 1).

Rejon ten wchodzi w obręb NE części laramijskiego skrzydła niecki nidziańskiej, gdzie spod pokrywy marglistych osadów senonu wyłaniają się na powierzchnię wapienie jurajskie oraz wapienno-piaszczyste utwory cenomanu, turonu i emszereu.

Wapienie jurajskie, przewarstwione z rzadka cienkimi wkładkami ilastymi, występują w przyszczytowej części antyklinalnego spiętrzenia, nazwanego przez J. Czarnockiego (1958) fałdem skotnickim. Obserwować je można tutaj w kilku odsłonięciach, a ich upady wynoszą 25° ku NE w Skotnikach i 60° ku NE w Kilkowie (fig. 1).

Nad wapieniami jurajskimi odsłaniają się w Skotnikach 1—2 m miąższości piaskowce cenomańskie, które podścielają serię wapieni turonu z charakterystycznymi, soczewkowato przewarstwiającymi je krzemieniami. Wyżej występują wapienie piaszczyste i margliste emszereu, które ku górze stopniowo przechodzą w wapienie margliste i margle senonu, odsłaniające się w strefie Buska-Zdroju w licznych odsłonięciach (fig. 1). Upady warstw nie przekraczają 25° , a na podstawie pomiarów zarysowują się tutaj lokalne formy antyklinalne i synklinalne o przebiegu SE-NW (fig. 1).

W południowo-wschodniej i wschodniej części badanego obszaru występują już wyłącznie wapienno-ilasto-gipsowe osady miocenu, które zachowały się także w formie płytów prawie na całym omawianym terenie. Leżą one niezgodnie na starszym podłożu kredowo-jurajskim, a miejscami rozpoczynają się poziomem zlepieńców o miąższości kilku, a nawet kilkunastu metrów. Zlepieńce te, pięknie odsłonięte, obserwować można w kamieniołomie w Skotnikach. Bliższy ich opis podali J. Dowgiałło i W. Nawrocka (1958) oraz A. Radwański (1967).

KIERUNKI SPEKAŃ I METODA ICH POMIARÓW

Dla określenia kierunków spekań i zachodzących między nimi prawidłowości, wykonano w odsłonięciach wapieni jurajskich, wapieni i margli kredowych oraz wapieni miocenijskich około 4750 pomiarów biegu i upadu płaszczyzn spekań. Na tej podstawie sporządzono następnie 44 proste diagramy (róże spekań), a wyróżniające się na nich kierunki spekań zobrazowano w uproszczonej formie na mapie geologicznej badanego rejonu (fig. 1).

Każdy z diagramów opracowano na podstawie około 100 pomiarów, wykonanych głównie dla tych spekań, które przecinały co najmniej kilka

lub wszystkie ławice widoczne na obserwowanej powierzchni odsłonięcia. Przy pomiarach kierunków spękań nie brano pod uwagę tych, które ograniczają się swym zasięgiem tylko do jednej względnie dwóch ławic.

Spękania takie dają się zaobserwować zwykle w dużej ilości w skałach węglanowych, lecz — zdaniem P. Roniewicza (1965) — ich genezy dopatrywać się należy raczej w procesach diagenetycznych, rekrystalizacji czy wysychania, a jedynie późniejsze procesy tektoniczne spowodowały, że zostały one bardziej zaakcentowane. Nie biorąc tych spękań pod uwagę, jako że powstawanie ich nie jest spowodowane wyłącznie procesami tektonicznymi, uzyskano na diagramach tylko te kierunki spękań, których założenia są zapewne wyłącznie typu tektonicznego.

Analizując na diagramach wyniki przeprowadzonych pomiarów rozciągłości płaszczyzn spękań można stwierdzić, że kierunki, o największej procentowej ilości spękań na jednym z diagramów, nie zawsze zaznaczają się w podobny sposób na sąsiednim, sporządzonym dla tego samego stratygraficznego poziomu. Bywa też często tak, że spękania, które dominują na jednym diagramie, występują na sąsiednim już tylko w podrzędnej ilości, lub też prawie wcale się nie uwidaczniają, względnie ich kierunek bywa nawet nieco zmieniony (fig. 1).

Szczegółowa analiza kierunków spękań i zestawienie ich w postaci prostych diagramów wskazują również, że istniejące zmiany w sąsiadujących ze sobą odsłonięciach czy kamieniołomach wynikają przede wszystkim z odmiennych warunków rozwoju tektonicznego badanego obszaru. Uzależnione to jest prawdopodobnie również od położenia badanego odsłonięcia w obrębie struktury, jak i od odległości strefy dyslokacyjnej a także innych czynników.

Ważny wpływ na procentowy wskaźnik danego kierunku spękań w poszczególnych prostych diagramach posiada metoda wykonywania samych pomiarów. Przy jednej ścianie odsłonięcia pomierzy się niewątpliwie w największej ilości te spękania, których płaszczyzny posiadają rozciągłość poprzeczną do jej kierunku, a w mniejszym stopniu zostaną uwzględnione te, które przebiegają równoległe lub prawie równoległe do kierunku ściany odkrywki, czy kamieniołomu. Błędy wynikające stąd podaje E. M. Smechov (1961).

Oceniając krytycznie nieścisłości wykonanych pomiarów, można jednak w przybliżeniu ustalić dla poszczególnych warstw danego obszaru te kierunki spękań, które zaznaczają się w największej ilości.

W rejonie Skotnik azymut kierunku spękań w kompleksie wapieni jurajskich wynosi 80—90°, zmieniając się miejscami na azymut 60—70°. W rejonie Kikowa, położonym dalej na E od Skotnik, dominują natomiast w wapieniach jurajskich spękania o azymucie 110—120°.

Starsze ogniwa kredy (turon-emszer), odsłaniające się w rejonie Skotnik i Stopnicy, posiadają najintensywniej zaznaczające się spęka-

nia również o azymucie 60—70°, 80—90° i 120—130°, ale ponadto na niektórych diagramach także o azymucie 30—40° i 180°.

Młodsze ogniwa kredy (senon), które przebadano w najszerszym zakresie, wykazują znaczną zmienność kierunków spękań. Wyróżnić tu można, zależnie od miejsca badanego obszaru, spękania o azymutach 50—60°, 80—90°, 120—130° i 170—180°.

Analogiczne do niektórych z wymienionych azymutów, jak 30—40° i 120—130°, zanotowane zostały już wcześniej przez A. Malickiego (1947) w osadach kredy na obszarze położonym około 20 km na W od badanego.

W wapieniach litotamniowych miocenu najintensywniej zaznaczający się kierunek spękań posiada azymut 80° i 170°.

Na większości jednak opracowanych prostych diagramach z rejonu Buska-Zdroju zaznaczają się zwykle dwa do czterech kierunków, które krzyżują się ze sobą pod kątem 60—90°.

Analizując w poszczególnych poziomach stratygraficznych stosunek ogólnej ilości spękań, zaznaczających się poprzecznie do uwarstwienia, do ogólnej ich ilości, przebiegających zgodnie z uwarstwieniem na powierzchni 1 m² odsłonięcia, otrzymuje się następujące wartości:

w wapieniach jurajskich: 15 : 13 i 8 : 7, a miejscami 10 : 7 lub 6 : 5;

dla wapieni i margli kredy starszej (turon-emszer): 14 : 12 i 9 : 11, a lokalnie 7 : 9 lub 2 : 9;

natomiast w osadach marglistych senonu: 20 : 20.

Z danych powyższych wyraźnie wynika, że największemu pokruszeniu w warunkach przypowierzchniowych ulegają osady margli senońskich.

OCENA GĘSTOŚCI MAKROSPEKAŃ I POROWATOŚCI MAKROSZCZELINOWEJ

Próbe wyliczenia porowatości makroszczelinowej skał dla danego litologicznego horyzontu przeprowadzono, wychodząc ze stosunków powierzchniowych, poprzez ustalenie procentowej wielkości stosunku powierzchni zajmowanej przez szczeliny w odniesieniu do całkowitej rozpatrywanej powierzchni, na której te spękania się zaznaczają. W tym celu przeanalizowano kompleks wapieni jurajskich, kredowych i miocen-skich, biorąc za podstawę kilka pionowych płaszczyzn odsłonień, zaznaczających się równolegle bądź poprzecznie do biegu warstw. Do przeliczeń sumarycznej długości szczelin na powierzchniach tych płaszczyzn przyjęto z reguły kwadrat o bokach 1 × 1 m, a jeden z jego boków wyznaczono równolegle do kierunku spękań uwarstwienia (pl. I).

Wyliczenie ogólnej długości spękań na tak uzyskanej powierzchni 1 m² można otrzymać, mierząc długość spękań bezpośrednio na ścianie odsłonięcia, względnie (co uczyniono) na zdjęciach fotograficznych odkrywek, wykonanych w odpowiednio dokładnej skali 1 : 5 lub 1 : 10. Dla uży-

skania pożądaney skali na odbitkach, wykorzystano łatę mierniczą, której podziałka posłużyła dla dokładnego ustalenia powiększenia odbitki i wyznaczenia przyjętej do rozważań powierzchni (pl. I i II).

Niezależnie od wykonanych pomiarów na zdjęciach przeprowadzono także pomiary rozwartości spękań, w ilości 20 dla każdego stanowiska.

Posiadając tak przygotowany materiał podstawowy wykonano wyliczenie gęstości makroszczelin badanego horyzontu, wyrażone w cm^{-1} lub mm^{-1} . Ocenę gęstości spękań, widocznych na danym odcinku powierzchni odsłonięcia (pl. I i II), wykonano dwiema metodami:

- 1) metodą uproszczonej sieci spękań,
- 2) metodą trawersów losowych.

Pierwsza metoda polega na wzrokowym, szacunkowym wyliczeniu sumarycznej długości spękań występujących poprzecznie do uwarstwienia, których przebieg jest równoległy do jednego z boków kwadratu, i na wyliczeniu sumarycznej długości spękań przebiegających równoległe do uwarstwienia, które z kolei są równoległe do drugiego przeciwległego boku kwadratu (pl. I i II). Każdą sieć spękań sprowadzić bowiem można na rozpatrywanej pionowej ścianie odkrywki do tych dwóch zasadniczych kierunków, które przecinają się ze sobą pod kątem prostym. Sumaryczna długość tych wszystkich spękań, wyrażona w cm czy mm w odniesieniu do analizowanej powierzchni wyrażonej w cm^2 czy mm^2 , stanowi poszukiwaną gęstość makrospękań na danej płaszczyźnie.

Druga metoda, zastosowana za J. Paduszyńskim (1965), wykazuje pewne analogie do tzw. zadania Buffona i pozwala na określenie gęstości sieci linii na danej płaszczyźnie, poprzez losowe rzucanie odcinka linii prostej, o znanej długości, na analizowaną powierzchnię, przy zachowaniu następującego wzoru:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^K n_i \cdot 1,57}{KA}$$

gdzie:

- D = gęstość linii (spękań) na danej płaszczyźnie wyrażona w cm^{-1} , czy mm^{-1} ,
- n_i = liczba przecięć probierczego odcinka linii prostej z siecią linii (spękań),
- K = ilość rzutów probierczego odcinka linii prostej,
- A = długość probierczego odcinka linii prostej.

Blizsze wyjaśnienie powyższego wzoru podaje J. Paduszyński (1955).

Otrzymane wyniki za pomocą tych dwóch metod okazały się dla poszczególnych litologicznych poziomów dość zgodne, gdyż różnica wynosi zaledwie 0,1—1,4%, przy czym dane uzyskane drugą metodą są z reguły nieco wyzsze (tab. 1).

Tabela (Chart) 1

Charakterystyka gęstości i porowatości makroszczelinowej skał węglanowych w odsłonięciach strefy Buska-Zdroju

Characteristics of the frequency and porosity of macro-fissures in carbonate rocks outcropping in the vicinity of Bath-Busko

L.p.	Powierzchniowa gęstość spekań w cm^{-1}		Średnia rozwartość szczelin z 20 pomiarów w cm	Porowatość makroszczelinowa skał w %, oceniona w płaszczyźnie pionowej		Uwagi
	I metoda	II metoda		I metoda	II metoda	
1	2	3	4	5	6	7
Wapienie jurajskie						
1	0,148	0,173	0,42	5,8	5,9	
2	0,180	0,267	0,42	7,7	11,4	
3	0,210	0,223	0,29	5,4	6,5	
4	0,220	0,191	0,29	5,1	5,5	
5	0,210	0,239	0,29	6,3	6,9	
6	0,300	0,355	0,29	8,5	10,2	
7	0,180	0,207	0,40	7,1	8,3	
8	0,100	0,129	0,48	4,8	6,2	
9	0,150	0,173	0,30	4,5	5,2	
10	0,135	0,165	0,48	5,2	7,9	
	1,833	2,122	3,65	60,0	74,0	Suma wartości
	0,183	0,212	0,36	6,0	7,4	Śred. arytmetyczna
Wapienie turonu-emszeru						
1	0,210	0,200	0,51	10,4	10,2	
2	0,240	0,255	0,51	11,8	13,0	
3	0,190	0,226	0,84	15,6	18,0	
4	0,220	0,232	0,28	6,1	6,6	
5	0,085	0,126	0,42	3,6	5,3	
6	0,090	0,110	0,42	3,7	4,6	
7	0,110	0,127	0,50	5,4	6,3	
8	0,180	0,188	0,50	8,8	9,4	
9	0,055	0,066	1,25	6,8	8,2	
10	0,130	0,155	0,48	6,2	7,4	
11	0,064	0,069	0,63	4,1	4,3	
	1,574	1,754	6,34	82,5	93,3	Suma wartości
	0,143	0,159	0,57	7,5	8,5	Śred. arytmetyczna

1	2	3	4	5	6	7
Margle i wapień margliste senonu						
1	0,520	0,678	0,21	10,7	14,2	
2	0,300	0,270	0,24	7,4	6,5	
3	0,210	0,245	0,43	8,8	10,4	
4	0,240	0,257	0,43	11,5	11,0	
5	0,260	0,295	0,41	10,4	12,1	
6	0,250	0,242	0,40	9,9	9,7	
7	0,270	0,263	0,35	9,2	9,2	
8	0,420	0,461	0,19	7,9	8,7	
9	0,400	0,520	0,60	23,2	31,2	
10	0,330	0,389	0,60	21,9	23,3	
11	0,400	0,420	0,43	17,6	18,1	
12	0,420	0,420	0,43	17,5	18,1	
13	0,290	0,276	0,66	18,3	18,2	
14	0,240	0,254	0,66	17,1	16,8	
15	0,120	0,126	0,64	7,6	8,0	
16	0,190	0,260	0,64	11,8	16,6	
	4,860	5,376	7,32	213,8	233,1	Suma wartości
	0,304	0,329	0,45	13,1	14,4	Śred. arytmetyczna
Wapień litotamniowe miocenu						
1	0,120	0,132	0,54	6,4	7,1	
2	0,155	0,199	0,56	13,0	11,1	
3	0,065	0,078	0,49	3,1	3,8	
4	0,077	0,078	0,49	3,7	3,8	
	0,417	0,487	2,08	26,2	26,8	Suma wartości
	0,104	0,129	0,52	6,5	6,4	Śred. arytmetyczna

Dla wapieni jurajskich, występujących w rejonie Buska-Zdroju, wykonano przeliczenia na 10 wybranych polach sfotografowanych wycinków odsłoneń, otrzymując następujące wartości:

I metodą 0,100—0,300 cm^{-1}
 II metodą 0,129—0,352 cm^{-1}

Dla wapieni turonu-emszeru na 11 wycinkach odsłoneń otrzymano:

I metodą 0,055—0,240 cm^{-1}
 II metodą 0,066—0,255 cm^{-1}

Dla margli i wapieni marglistych senonu na 16 wybranych powierzchniach odsłoneń otrzymano wartości:

$$\begin{aligned} \text{I metodą} & 0,120—0,520 \text{ cm}^{-1} \\ \text{II metodą} & 0,126—0,678 \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$

w wapieniach litotamnowych miocenu, po rozpatrzeniu tylko 4 zdjęć odsłoneń, scharakteryzować można powierzchniową gęstość makrospeków następującymi wielkościami:

$$\begin{aligned} \text{I metoda} & 0,065—0,155 \text{ cm}^{-1} \\ \text{II metoda} & 0,078—0,199 \text{ cm}^{-1} \end{aligned}$$

Szczegółowe wyniki obliczeń oraz średnią arytmetyczną przedstawiono na tabeli 1.

Uwzględniając, obok gęstości speków, średnią ich rozwartość, którą wyliczono dla każdego odsłonecia z 20 przeprowadzonych pomiarów w terenie, uzyskano podstawy dla oceny porowatości makroszczelinowej badanych skał węglanowych w płaszczyźnie prostopadłej do uwarstwienia.

Przykładowo sposób przeliczeń podano w oparciu o zdjęcia fotograficzne wapieni marglistych turonu i senonu, które odsłaniają się w Ruczynowie i Suchowoli.

Ruczynów: wapienie margliste (senon) (pl. I).

Średnia arytmetyczna rozwartości speków z wykonanych 20 pomiarów w terenie wynosi $87 : 20 = 4,3$ mm.

I metoda: powierzchnia pola o wymiarach 600×600 stanowi 360.000 mm^2 .

Sumaryczna długość speków poziomych wynosi $22 \times 600 = 13.200$ mm.

Sumaryczna długość speków pionowych po odjęciu przecięć ze spekami poziomymi będzie równa $(3 \times 600) - (3 \times 22 \times 4,3) = 1526$ mm.

Zatem powierzchnia zajmowana przez szczeliny, uwzględniając średnią rozwartość speków, obejmuje: $(13.200 \times 4,3) + (1.526 \times 4,3) = 63.322 \text{ mm}^2$.

Procentowy udział szczelin na powierzchni pola, czyli porowatość szczelinową skał w danym przekroju, wyliczono z proporcji:

$$\begin{aligned} 360.000 & - 100\% \\ 63.322 & - Y \\ Y & = \frac{63.322 \times 100}{360.000} = 17,6\% \end{aligned}$$

$$\text{II metoda: } D = \frac{1,57 \times 168}{40 \times 15} = 0,42 \text{ cm}^{-1};$$

$$Y = 0,42 \times 0,43 \times 100 = 18,1\%$$

gdzie:

D = gęstość makrospeków na płaszczyźnie rozpatrywanej powierzchni odślonięcia,

Y = porowatość makroszczelinowa w tej płaszczyźnie wyrażona w %.

Suchowola: wapienie margliste (turon) (pl. II).

Srednia arytmetyczna rozwartości speków z wykonanych w terenie 20 pomiarów wynosi $82 : 20 = 4,1$ mm.

I metoda: dla powierzchni zakreślonego pola 1 m^2 ($1000 \times 1000 = 1.000.000 \text{ mm}^2$).

Sumaryczna długość speków równoległych do uwarstwienia wynosi $17 \times 1000 = 17.000$ mm.

Sumaryczna długość speków poprzecznych do uwarstwienia: $(9 \times 1000) - (9 \times 17 \times 4,1) = 8.373$ mm, a zatem powierzchnia zajmowana przez szczeliny, uwzględniając średnią rozwartość speków równą $4,1$ mm, objęmie: $(17.000 \times 4,1) + (8.373 \times 4,1) = 104.029 \text{ mm}^2$.

Procentowy udział szczelin na zakreślonej powierzchni 1 m^2 , czyli porowatość szczelinową skał w danym przekroju, wyliczono z proporcji:

$$1.000.000 - 100\%$$

$$104.029 - Y$$

$$Y = \frac{104.029 \times 100}{1.000.000} = 10,4\%$$

$$\text{II metoda: } D = \frac{1,57 \times 94}{10 \times 50} = 0,395 \text{ cm}^{-1};$$

$$Y = 0,295 \times 0,41 \times 100 = 12,1\%$$

Uzyskaną wartość porowatości makroszczelinowej skał węglanowych, występujących w warunkach przypowierzchniowych, zobrazowano na podstawie przeprowadzonych wyliczeń dla poszczególnych poziomów stratygraficznych w tabeli 1.

Dla wapieni jurajskich uzyskano:

I metodą 4,5—8,5%

II metodą 5,2—11,4%

Dla wapieni turonu-emszeru:

I metodą	3,6—16,6 ^o / _o
II metodą	4,3—18,0 ^o / _o

Dla margli i wapieni marglistych senonu:

I metodą	7,4—23,2 ^o / _o
II metodą	6,5—31,2 ^o / _o

Dla miocenijskich wapieni litotamniowych:

I metodą	3,8—11,1 ^o / _o
II metodą	3,1—13,0 ^o / _o

Wyliczone wartości średniej arytmetycznej porowatości makroszczelinowej dla poszczególnych rozpatrywanych kompleksów skalnych ujęto również w tabeli 1.

Rozbieżności wynikają z lokalnych różnic gęstości spękań jak i ze zmian ich rozwartości. Nie bez wpływu jest również wielkość odbitki fotograficznej, gdyż więcej zaobserwuje się spękań na odbitce w skali 1 : 5 niż 1 : 10.

Porowatość makroszczelinowa skał węglanowych jury, kredy i miocenu wyliczona na podstawie zdjęć fotograficznych, podanymi powyżej metodami, nie obejmuje tych spękań, których rozwartość jest mniejsza od 0,1 mm, tzw. mikrospękań, jak i porowatości międzyziarnowej czy kawernistości.

W przypadku, gdy interesujący nas poziom roponośny skał węglanowych nie odsłania się na powierzchni ziemi, dane określające jego porowatość makroszczelinową można ustalić również za pomocą fotosondy, co bliżej opisuje E. J. Kotiachov et al. (1961).

Udział mikrospękań w całkowitej ocenie porowatości szczelinowej dla rozpatrywanego poziomu należy ustalić oddzielnie i dodać do wartości makroszczelinowej, określonej jedną z przytoczonych metod. Podobny pogląd wyraził już wcześniej K. Liszka (1962).

Przedstawione metody obliczeń mogą być bezpośrednio wykorzystane przy ocenie powierzchniowych własności zbiornikowych skał w opracowaniach hydrogeologicznych czy geotechnicznych. Dla oceny natomiast makroszczelinowych własności zbiornikowych poziomów roponośnych, które zawsze występują na większych głębokościach, można transponować gęstość spękań uzyskaną przedstawionymi metodami tylko w tym przypadku, gdy interesujący nas horyzont odsłania się na powierzchni ziemi w sąsiednim obszarze.

Z głębokością zmienia się bowiem w skałach rozwartość szczelin (Lenk 1964), a porowatość makroszczelinowa danego horyzontu przy tej samej gęstości spękań maleje wprost proporcjonalnie do średniej rozwartości szczelin.

Przy próbie oceny udziału porowatości makroszczelinowej w warunkach występowania złóż ropy naftowej można więc, na podstawie obserwacji rozwartości makrospekań na rdzeniach, przyjąć umownie, że średnia rozwartość szczelin na głębokości poniżej 1000 m będzie się równać około 0,1 mm.

Posiadając z kolei określoną gęstość spekań dla rozpatrywanego poziomu litologicznego, można również w przybliżeniu określić udział porowatości makroszczelinowej w zbiornikowych własnościach interesującego nas horyzontu.

Tak więc przykładowo, przyjmując dla wapieni jurajskich za średnią rozwartość makrospekań wielkość 0,5 mm i uwzględniając wynik średniej arytmetycznej z pomiarów gęstości szczelin, uzyskany metodą II (tab. 1), otrzymamy porowatość makroszczelinową wyrażoną w stosunkach powierzchniowych równą 1,06%, natomiast przy średniej rozwartości szczelin równej 1,0 mm otrzymamy odpowiednio więcej, bo 2,12%. Tego rodzaju przeliczenia można by wykonać analogicznie dla wapieni i margli kredowych, dla których określono gęstość makrospekań, a w podobny sposób opracować można również i inne poziomy skał węglanowych.

Należy jednak podkreślić, że ustalenie porowatości szczelinowej skał drogą rozpatrzenia gęstości spekań i ich rozwartości w płaszczyźnie nie odpowiada dokładnie danym, które istnieją w warunkach przestrzennych analizowanego poziomu litologicznego. Określenie jednakże porowatości szczelinowej na trójwymiarowym modelu jest praktycznie niewykonalne.

Powyżej omówiono problem porowatości makroszczelinowej tylko w płaszczyznach, które przecinają pionowo analizowany kompleks skalny.

Dla pełniejszego ujęcia tych danych wykonano zdjęcia fotograficzne pionowych płaszczyzn odsłonięć ustawionych do rozciągłości warstw pod różnym kątem. Uzyskane wyniki nie odbiegają od siebie, a średnia arytmetyczna ze wszystkich pomiarów w danym poziomie wydaje się najbardziej miarodajną wielkością stanowiącą podstawę dla określenia gęstości spekań i porowatości makroszczelinowej rozpatrywanego litologicznego poziomu skalnego.

Według J. Paduszyńskiego (1965), przy zastosowaniu metody trawersów losowych, gęstość objętościowa spekań wyrażać się będzie następująco:

$$T = \frac{\pi^2}{4} D \text{ cm}^{-1}$$

gdzie:

T = gęstość objętościowa spekań,

D = gęstość powierzchniowa spekań.

Oznacza to, że przy przejściu do trójwymiarowej oceny gęstości i porowatości szczelinowej można wykorzystać uzyskane wyniki z przeliczeń w płaszczyźnie poprzez pomnożenie tych danych przez wartość

$$\frac{\pi^2}{4}, \text{ to jest przez } 2,464.$$

W tym ujęciu gęstość objętościowa spękań dla wapieni jurajskich wyniesie: 0,451, i 0,522 cm^{-1} ; dla wapieni turonu-emszeru: 0,352 i 0,34 cm^{-1} ; dla margli i wapieni marglistych senonu: 0,749 i 0,810 cm^{-1} oraz dla wapieni litotamniowych: 0,256 i 0,317 cm^{-1} .

Wyliczona uprzednio średnia porowatość szczelinowa (tab. 1), dla poszczególnych poziomów, zwiększy się zatem również o 2,464 i będzie wynosić:

	I metoda	III metoda
dla wapieni jurajskich:	14,78 ^o / _o	i 18,23 ^o / _o
dla wapieni turonu-emszeru:	18,48 ^o / _o	i 20,94 ^o / _o
dla margli i wapieni marglistych senonu:	32,27 ^o / _o	i 35,48 ^o / _o
dla wapieni litotamniowych:	16,01 ^o / _o	i 15,77 ^o / _o

Uzyskanie tak wysokich wartości procentowych w analizowanych poziomach skał węglanowych wiązać zapewne należy głównie z ogromnymi rozwartościami spękań, które obserwuje się jedynie w przypowierzchniowej strefie wietrzenia. Przy założeniu, że poniżej głębokości 1000 m, od powierzchni ziemi, średnia rozwartość makroszczelin omawianych horyzontów będzie wynosić tylko 0,1 mm, otrzymana z przeliczeń porowatość makroszczelinowa wyrażona w procentach będzie wówczas następującej wielkości: dla wapieni jurajskich rzędu 4—5^o/_o, dla wapieni turonu-emszeru rzędu 3—4^o/_o, dla margli i wapieni marglistych senonu rzędu 7—8^o/_o i dla wapieni litotamniowych tylko 2—3^o/_o.

Duża wartość dla poziomu margli i wapieni marglistych senonu wynika z wysokiego współczynnika szczelinowatości, uzyskanego z przeliczeń spękań, obserwowanych na tych skałach, w warunkach przypowierzchniowego ich występowania. Z głębokością, skały te stają się niewątpliwie bardziej plastyczne i z tych względów są mniej spękane. Skały natomiast bardziej twarde i lite, jak np. czyste wapienie, zmieniają z głębokością w mniejszym stopniu charakterystyczną dla nich gęstość szczelin, a tym samym wykonane w nich pomiary spękań w warunkach przypowierzchniowych mogą być z większą pewnością zastosowane do oceny porowatości szczelinowej tych skał, w warunkach ich występowania na znacznych głębokościach w sąsiednim rejonie.

LITERATURA CYTOWANA

- CZARNOCKI J. 1958. Surowce mineralne w Górach Świętokrzyskich. W: Prace geologiczne, t. 5, z. 3 (Mineral raw materials in Święty Krzyż Mountains. In: Trav. Géol., v. 5, fasc. 3). Wydanie pośmiertne pod redakcją K. Pawłowskiej i S. Pawłowskiego. — Prace I. G. (Trav. Inst. Géol. Pol.), t. 21. Warszawa.
- DOWGIAŁŁO J. & NAWROCKA W. 1958. O zlepieńcach mioceńskich z okolic Buska-Zdroju (Miocene conglomerates in the vicinity of Busko-Zdrój, Southern Poland). — Przegląd Geol., nr 10. Warszawa.
- KOTIACHOV E. J., SEREBRENNIKOV S. A. & ŠČERBAKOVA T. V. 1961. Opređelene fizičeskich parametrov triščinowatych kolektorov z ispozovanem glubinno fotografirowania stenok skvazn. — Neft. Chadz., nr 5. Moskwa.
- LENK T. 1964. Zmiany zachodzące w rozwartościach szczelin wraz z głębokością. — Nafta, nr 11. Katowice.
- LISZKA K. 1962. Zagadnienie określenia współczynnika szczelinowatości zbiorników ropnych (The problem of determining the fissuring coefficient of oil collectors). — Ibidem, nr 8/9.
- MALICKI A. 1947. Spękania kredy w górnym dorzeczu Nidy (Joints of chalk in the upper basin of Nida). — Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska. Sectio B, vol. 2. Lublin.
- PADUSZYŃSKI J. 1965. Szacowanie gęstości makroszczelin metodą trawersów losowych. — Nafta, nr 1. Katowice.
- RADWAŃSKI A. 1967. Problematyka mioceńskich struktur litoralnych na południowych stokach Gór Świętokrzyskich (Problem of Miocene littoral structures on the southern slopes of the Holy Cross Mts.). — Roczn. P. T. Geol. (Ann. Soc. Géol. Pol.), t. 37, z. 2. Kraków.
- RONIEWICZ P. 1965. Przyczynek do znajomości szczelin z wysychania (Contribution on mud cracks formation). — Ibidem, t. 35, z. 2.
- SMECHOV E. M. 1958. Treščinowatyje porody i ich kolektorskiye swojstwa. — Trudy VNIIGRI, vyp. 121. Leningrad.
- 1961. Zakonomernosti razwija treščinowatosti gornych porod i treščinnyje kolektory. — Ibidem, vyp. 172.
- SMECHOV E. M., GORIUNOV I. I. & ROMM E. S. 1959. Opyt metodičeskich isledowanij treščinnych kolektorov nefti i gaza i puti ich praktičeskowo primenienia. — Ibidem, vyp. 144.
- SMECHOV E. M., BULAČ M. H., ROMM E. S., GORIUNOV I. I. 1962. Metodičeskoje posobie po izučeniu treščinowatosti gornych porod i treščinnych kolektorov. — Ibidem, vyp. 201.
- SMECHOV E. M., BULAČ M. H., ROMM E. S., KINORING L. D., GMID L. P. ... 1963. Kompleksnyje isledowanija treščinnych kolektorov i opyt podščeta v nich zapasow nefti. — Ibidem, vyp. 214.
- WALDSCHMITT A. W., FITZGERALD P. E. & LUNDSFORD C. L. 1956. Classification of porosity and fractures in reservoir rocks. — Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., vol. 40, no. 5. Tulsa.
- ZIELIŃSKI J. J. 1963. Główne problemy badań zbiorników węglanowych szczelinowatych (The principal problems of carbonate fissured reservoirs exploration). — Prace Inst. Naft., nr 84. Katowice.

T. BIRECKI

**MACRO-FISSURING OF LIMY-MARLY ROCKS
IN THE VICINITY OF BATH-BUSKO****(Summary)**

ABSTRACT: The problems here discussed concern the direction variability and the size of fissures in a carbonate series in the Jurassic, Cretaceous and Miocene rocks from the vicinity of Bath-Busko. An attempt is also made of evaluating the frequency of fissures in the above deposits by two calculation methods. Suggestions are, moreover, given regarding the adaptability of measurements of the frequency of fissures taken in outcrops to the evaluation of the porosity of macro-fissures in gas-and-petroleum bearing horizons.

The area investigated by the writer covers the NE part of the Laramide limb of the Nida depression where Jurassic limestones and limy-marly or sandy rocks of the older Cretaceous (Cenomanian-Turonian-Emscherian) occur below the overlying Senonian marly deposits (fig. 1).

The Jurassic limestone outcrops occur within a small area and they represent the top part of the Skotniki fold (Czarnocki 1956). The Cretaceous series begins with Cenomanian sandstones, 1–2 m thick, while higher up it is developed as limestones with chert concretions (Turonian) which pass into limy-marly deposits of the Senonian.

The bottom part of the Miocene deposits, resting unconformably on a Cretaceous-Jurassic substratum, in places begins with conglomerates (Dowgiało & Nawrocka 1958, Radwański 1967) and with lithothamnia limestones which pass upwards into clay sediments intercalated by gypsum.

In order to determine the direction of fissures and the maximum intensity of their occurrence as well as the regularities encountered among them, about 4750 fissure-plane strike and dip measurements have been made in Jurassic limestones, Cretaceous limestones and marls, and in Miocene limestones. The data obtained from these measurements were used in the reconstruction of 44 simple diagrams which are shown in a simplified form on the map in fig. 1. The genetic and systematic classification of fissures is discussed in the works of W. A. Waldschmidt et al. (1955), E. M. Smechova et al (1958–1963), J. J. Zieliński (1963).

Fissure direction measurements were taken only in the case of fissures that involved at least several layers or that were marked all over the wall of a given outcrop. The diagrams thus obtained pictured the intensity of tectonic fissures but not that of fissures belonging to the recrystallisation — or desiccation type (Roniewicz 1965).

An analysis of the diagrams disclosed that, within the same lithological complex, adjacent diagrams may show a different type of fissuring. It would seem, therefore, that this depends on the position within the structure of the outcrop under investigation, on the proximity of the dislocation zone, and on many other factors possibly connected even with the statistical computation of fissure measurements taken on differently directed outcrop walls.

The following main fissure directions have, however, been determined. In Jurassic limestones their azimuths are 80–90°, 60–70° and 110–120°. In the Turonian-Emscherian limestones the azimuths are 60–70°, 80–90° and 120–130°, locally also 30°, 40° and 180°. Some of the above azimuths have already been reported by

A. Malicki (1947). In the Senonian limy-marly deposits whose investigations covered the largest area the fissure-direction azimuths are 50–60°, 80–90°, 120–130° and 170–180°. In the lithothamnia limestones of the Miocene the azimuths are 80° and 170°.

Under the term macro-fissures the writer understands fissures more than 0.1 mm wide (Liszka 1962, Kotiachov 1961).

The porosity of macro-fissures in rocks of a given lithological horizon was tentatively computed on the basis of conditions in the open. With this object in view it was thought necessary to calculate the per cent ratio of the area affected by fissuring to the whole area investigated. The above analysis was carried out on the vertical walls of outcrops extending at varying angles to the strike of the investigated beds. The total length of fissures was as a rule computed on an area of 1 sq. m, and, within the same area, about 20 measurements were also made of the width of fissures. The frequency of fissures on the surface of the outcrops may be determined either in the field or from photographs printed in a scale of 1:5 or 1:10, as has been done in the present paper (pl. I, II). For the sake of convenience the area accepted for computation is marked as a square with one side parallel to the trend of the bedding fissures.

The frequency of the fissures on areas thus marked was calculated by two methods:

- 1) a simplified fissure net
- 2) haphazard traverses.

The data thus obtained by the above two methods with respect to the frequency of fissures in an area, are shown in chart 1. The same chart also contains the estimates of the porosity of macro-fissures calculated on the mean width of the fissures determined by 20 field measurements.

In estimating the frequency of fissures and the porosity of macro-fissures in volumetric relations, the results given in chart 1 were, as suggested by J. Padaszyński (1965), multiplied by $\frac{\pi^2}{4}$, i.e. a value of 2.464.

The volumetric frequency of the fissures in Jurassic limestones is, therefore, 0.451 cm⁻¹ according to the first method, while the respective figure obtained by the other method is 0.522 cm⁻¹. The corresponding volumetric frequency figures for the Turonian-Emscherian limestones will be 0.352 cm⁻¹ and 0.430 cm⁻¹ for the Senonian marls 0.749 cm⁻¹ and 0.810 cm⁻¹ and finally for the lithothamnia Miocene limestones 0.256 cm⁻¹ and 0.317 cm⁻¹.

The porosity of the macro-fissures in these rocks in the open, expressed in volumetric per cents will, therefore be:

	method 1	method 2
for the Jurassic limestones	14.78	13.3
for the Turonian-Emscherian limestones	13.48	20.94
for marls and marly limestones of the Senonian	32.27	35.48
for the lithothamnian limestones of the Miocene	16.01	15.77

The high above values are attended by enormously high mean width of fissures as determined by measurements in the outcrops. The width of the fissures decreases with increasing depth (Lenk 1964). Below a depth of 1,000 m in petroleum-bearing beds, it may reasonably be supposed that the mean width of macro-fissures is 0.1 mm or even less. Hence, under such conditions, the porosity of macro-fissures

in the Jurassic limestones is of the order of 4—5 per cent, that in the Turonian-Emscherian limestones of the order of 3—4 per cent, and in the Miocene lithothamnian limestones of the order of 2—3 per cent.

*Oil Research Survey
Department of Documentation and Geological Projecting
Warszawa, ul. Krucza 36
Warsaw, January 1968*

OBJASNIENIA DO PLANSZ I—II

DESCRIPTION OF PLATES I—II

PL. I

Ruczynów — wapienie margliste senonu, widoczne po rozciągłości, ściana odkrywki SW. Powierzchnia przyjęta do przeliczeń gęstości spękań obwiedziona tuszem i pomniejszona pięciokrotnie

Ruczynów — Senonian marly limestones seen along the strike, SW wall of outcrop. Area used in computing the frequency of fissures framed by Indian ink and reduced $\times 5$

PL. II

Suchowola — wapienie margliste turonu, widoczne po upadzie, ściana odkrywki E. Powierzchnia przyjęta do przeliczeń gęstości spękań obwiedziona tuszem i pomniejszona dziesięciokrotnie

Suchowola — Turonian marly limestones seen along the dip, E wall of outcrop. Area used in computing the frequency of fissures framed by Indian ink and reduced $\times 10$

*Zdjęcia wykonał autor
Photos by the writer*

