

BARBARA GRABOWSKA-OLSZEWSKA  
Uniwersytet Warszawski

### CHARAKTER PRZESTRZENI POROWEJ CECHSZTYŃSKICH SKAŁ ZBIORNIKOWYCH MONOKLINY PRZEDSUDECKIEJ W ŚWIETLE BADAŃ W ELEKTRONOWYM MIKROSKOPIE SKANINGOWYM (SEM)

UKD 552.541+552.543+552.535]551.3:553.98.061.44:537.533.6(438)

Charakter przestrzeni porowej jest jedną z ważniejszych cech skał zbiornikowych, badanych pod kątem oceny ich własności kolektorskich. Własności te uwarunkowane są ogromną liczbą czynników, takich jak np. środowisko i warunki sedymentacji, przemiany jakim podlegała skała w różnych stadiach diagenety, stopień zaangażowania tektonicznego i inne.

Niejako wypadkową tych czynników jest obraz strukturalny skały, który można charakteryzować w sposób ogólny poprzez porowatość, bądź w sposób szczególny poprzez charakter przestrzeni porowej. To drugie pojęcie, nie mające w literaturze bogatszej tradycji, wyłoniło się dzięki stosowaniu odpowiedniej techniki badawczej, jaką jest elektronowy mikroskop skaningowy (SEM), coraz powszechniej zresztą stosowanej w Polsce (13, 8, 9, 10, 11, 12) i świecie, przy czym bogactwo tej literatury jest tak wielkie, iż nie sposób jest dokonać wyboru, zwłaszcza że dotyczy ona głównie skał ilastych i okrucowych. W odniesieniu natomiast do skał węglanowych i anhydrytowych ilość publikacji jest znacznie mniejsza, a wymienić tu można np. prace (5, 14, 15, 18, 16, 17, 7, 4, 6).

Technika ta, stwarzająca możliwość „wglądu” w trójwymiarową morfologię powierzchni skały, pozwala określić nie tylko relacje skała — pory, ale również analizować cechy mikrostrukturalne kryształów i ich asocjacji oraz wolnych przestrzeni porowych. Duża rozpiętość stosowanych tu powiększeń, pozwala również na przeprowadzenie obserwacji na poziomie skały makro, mezo i mikro.

W tej ostatniej kwestii nie dokonano dotychczas międzynarodowych ustaleń, a zasady przyjęte przy użyciu danego przedrostka opierają się bądź na technice badawczej, bądź na wymiarach wolnych przestrzeni. Stąd niejednokrotnie mikroporowatość określona przez jednego autora może odpowiadać pojęciu makroporowatość u innego. Bierze się to z faktu, iż liczni autorzy dokonują klasyfikacji w obrębie jednej, przez siebie wybranej, techniki badawczej, która pozwala na wydzielenie rozmiarów porów w zakresie osiaganych powiększeń. Przykładem tego może być następująca klasyfikacja (cytowanych autorów — 3) porowatości skał węglanowych ocenianych pod kątem

kolektorskich własności i badanych w mikroskopie polaryzacyjnym:

megapory:	duże	256	—	32 mm
	małe	32	—	4 mm
mezopory:	duże	4	—	0,5 mm
	małe	0,5	—	0,06 mm
mikropory:	poniżej 0,06 mm			

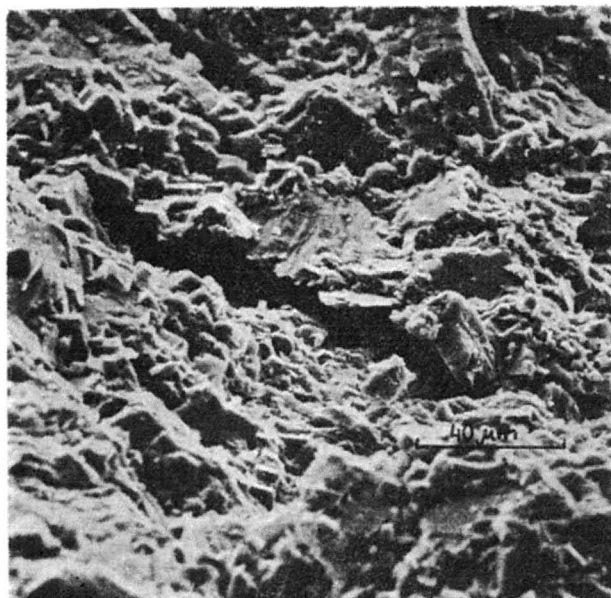
Niezmiernie zróżnicowana jest również nomenklatura dotycząca wolnych przestrzeni w skałach. W cytowanej wyżej pracy (3) wydzielono 39 terminów na określenie morfologii porów. Niektóre z nich oczywiście mieszczą się w skali obserwacji dokonywanych w SEM i z tego względu mogą być tu zastosowane. Przykładowo można wymienić takie pojęcia porowatości, jak:

kawernista (cavern porosity),  
powstała na skutek pęknięć (fracture porosity),  
międzykryształowa (intercrystal porosity),  
wewnątrzkrystaliczna (intracrystal porosity),  
międzycząstkowa (interparticle porosity),  
wewnątrzcząstkowa (intraparticle porosity)  
oraz terminy nawiązujące do genezy porów, np. pierwotna (primary), wtórna (secondary) i inne.

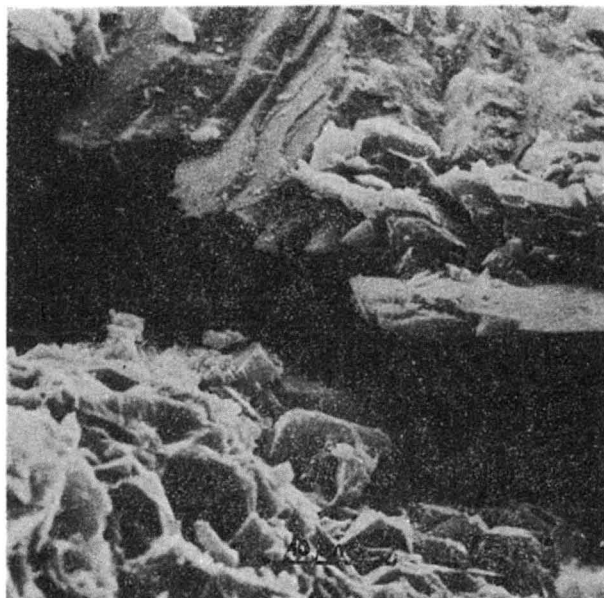
\* \* \*

Przedstawione w artykule wyniki uzyskano dzięki możliwości prowadzenia badań w ramach zadań problemu węzłowego 01.1.1, podtematu 01.07 dla skał cechsztyńskich pochodzących z wierceń rejonów Bogdaj — Uciechów, Wierzchowice oraz strefy Łągów — Kalisz, koordynowanego przez Instytut Geologiczny CUG. Szczegółową charakterystykę litologiczną tych skał wraz z dyskusją nawiązującą do przyjętych w literaturze wydzieleni litostratygraficznych przedstawiono w pracy (12), w której przeprowadzono również klasyfikację skał cechsztyńskich związanych z cyklotemami Werra i Stassfurt. Wśród cyklotemów tych stwierdzono występowanie wapieni, dolomitów i anhydrytów, dla których dokonano wydzielenia na grupy i typy litologiczne.

Skrótkowo klasyfikacja tych skał może być przedstawiona następująco:



Ryc. 1. Obraz mikrostrukturalny wapienia typu  $W_{I_1}$ .  
Fig. 1. Microstructural image of limestone of the type  $W_{I_1}$ .



Ryc. 2. Obraz mikrostrukturalny wapienia typu  $W_{I_2}$ .  
Fig. 2. Microstructural image of limestone of the type  $W_{I_2}$ .

#### WAPIENIE (W)

1. Wapienie chemiczne ( $W_I$ ) reprezentowane przez następujące typy litologiczne:

$W_{I_1}$  — wapienie chemiczne czyste (z gniazdami i przerostami anhydrytu),

$W_{I_2}$  — wapienie chemiczne margliste (z gniazdami i przerostami anhydrytu).

2. Wapienie organogeniczne ( $W_{II}$ ) reprezentowane przez następujące typy litologiczne:

$W_{II_1}$  — wapienie organogeniczne (onkolitowe, zdolomityzowane),

$W_{II_2}$  — wapienie organogeniczne margliste.

DOLOMITY (D) reprezentowane przez następujące typy litologiczne:

$D_1$  — dolomity z gniazdami, żyłami i przerostami anhydrytu,

$D_2$  — dolomity z gniazdami kalcytu (i anhydrytu),

$D_3$  — dolomity margliste (z gniazdami anhydrytu).

ANHYDRYTY (A) reprezentowane przez następujące typy litologiczne:

$A_1$  — anhydryty czyste,

$A_2$  — anhydryty z gniazdami i przerostami węglanów,

$A_3$  — anhydryty z przerostami substancji ilasto-węglistej (bitumicznej) i z gniazdami i przerostami węglanów.

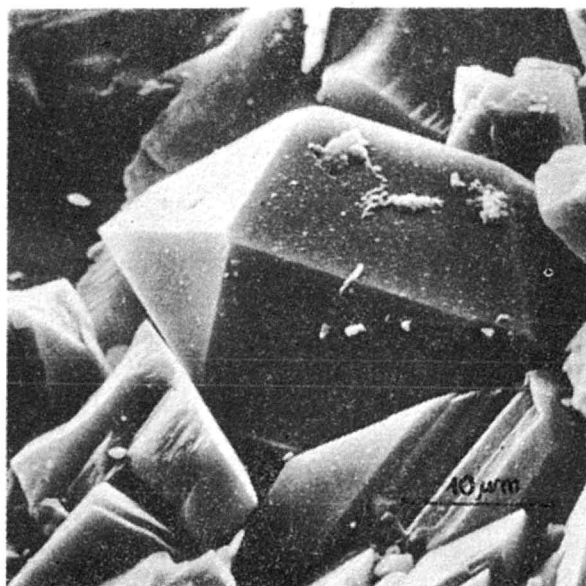
WAPIENIE chemiczne czyste (z gniazdami i przerostami anhydrytu) — ( $W_{I_1}$ ) wśród których wyróżnia się dwie podgrupy skal:

— wapienie grubosparytowe lub średnosparytowe nielaminowane,

— wapienie grubosparytowe laminowane.

Wapienie te, dla których brak jest danych o ich charakterze przestrzeni porowej, wydają się mniej przepuszczalne i porowate w przypadku obecności lamin substancji ilastej lub ilasto-bitumicznej.

WAPIENIE margliste — ( $W_{I_2}$ ) są skałami zbudowanymi z drobnodziarnistego kalcytu, znacznych ilości minerałów ilastych i niewielkich ilości detrytycznego kwarcu. Sporadycznie spotykanym składnikiem jest anhydryt, występujący w formie drobnych pojedynczych kryształków lub bardzo małych gniazd.



Ryc. 3. Obraz mikrostrukturalny wapienia typu  $W_{II_1}$ .  
Fig. 3. Microstructural image of limestone of the type  $W_{II_1}$ .

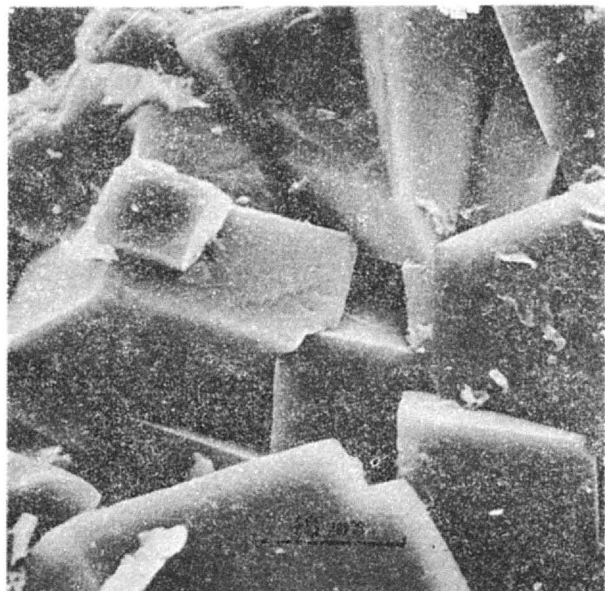
Na zdjęciach z SEM (ryc. 1, 2)<sup>1</sup> stwierdza się, iż powierzchnia skały ma charakter zbitej struktury krystalicznej, poprzerywanej mikroporami szczelinowatymi międzykrystalicznymi, zamkniętymi<sup>2</sup>. Kształt krawędzi ma charakter linii łamanej, wynikającej z doskonałej łupliwości kalcytu według romboedru. Porowatość całkowita tych wapieni waha się w przedziale 3—8%, porowatość efektywna 0,5—8%, co oznaczać może, iż pory na krótkich odcinkach komunikują się ze sobą.

WAPIENIE organogeniczne (onkolitowe, zdolomityzowane) — ( $W_{II_1}$ ). Podstawowe tło skały ma charakter

<sup>1</sup> a. Cytowane zdjęcia wykonane zostały w kierownictwie przez doc. dr. Zbigniewa Jelonka Laboratorium Mikroskopii Elektronowej, Instytutu Technologii Elektronowej przy NPCP.

<sup>2</sup> Zdjęcia prezentują powierzchnie równoległe do stronu próbek.

<sup>3</sup> Zasadnicze kryteria przyjęte w klasyfikacji przestrzeni porowej przedstawiono na końcu artykułu.



Ryc. 4. Obraz mikrostrukturalny dolomitu typu  $D_1$ .  
Fig. 4. Microstructural image of dolomite of the type  $D_1$ .

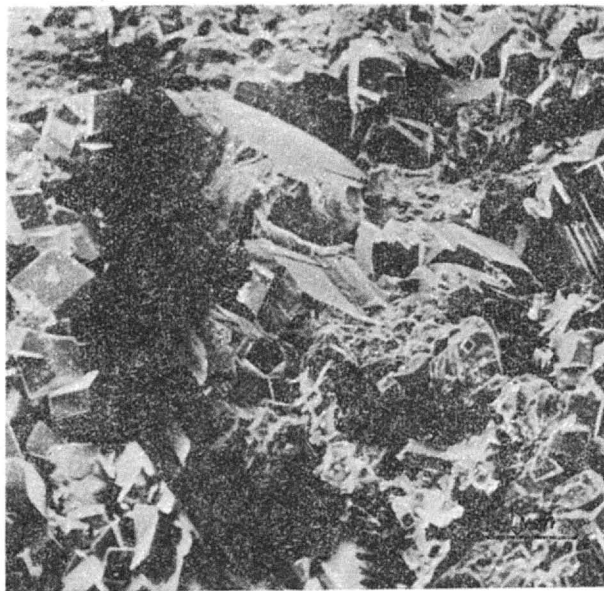
sparytu złożonego z dobrze wykształconych ziarn kalcytu lub dolomitu, sporadycznie kwarcu. Niekiedy kryształy kalcytu i dolomitu zapiębiają się ze sobą. Cechą charakterystyczną wapieni jest obecność form onkolitowych, których budowa jest często zatarta wskutek dolomitacji. Poza onkolitami stwierdza się obecność nieregularnych intraklastów wapienno-dolomitowych. Stwierdza się, iż wapienie zawierające onkolity są silnie porowate. Ich porowatość całkowita waha się od 4% do 17%, porowatość efektywna 2%. Partie natomiast bez onkolitów ze smugowymi nagromadzeniami substancji ilastej zmieszanej z mikrytem węglanowym nie wykazują porowatości.

Na zdjęciach z SEM (ryc. 3) tych partii skały obserwuje się obecność izometrycznych mikroporów międzykrystalicznych powstałych w wyniku różnej przestrzennej orientacji, np. kwarcu i kalcytu, bądź kalcytu i dolomitu, mających kształt foremnych wieloboków. Mikropory te w planie mają najczęściej wymiary rzędu 5  $\mu\text{m}$ . Ponadto stwierdza się obecność zamkniętych ultraporów szczelinowatych międzykrystalicznych istniejących na kontaktach kryształów, a także izometrycznych mikrokawern wewnątrzkrystalicznych na powierzchni kryształów kalcytu.

WAPIENIE organogeniczne margliste — ( $W_{II}$ ) zbudowane są głównie z mikrytu węglanowego i tkwiących w nim licznych szczątków organicznych. W niewielkich ilościach w formie domieszek obecny jest kwarc detrytyczny oraz minerały ilaste. Anhydryt i gips spotykane są w żyłkach tworzących omawiane skały.

Na zdjęciach z SEM obserwuje się zlewną powierzchnię, zbliżoną do matrycowego typu struktury (termin wprowadzony przez A. Casagrande'a (1), z modyfikacjami, zdobywający coraz większą popularność w literaturze światowej), w której tkwią równomiernie w planie rozmieszczone łatwe do wyróżnienia izometryczne mikropory międzykrystaliczne. Obecność ich uwarunkowana jest zapewne istnieniem w skałe minerałów ilastych. Sporadycznie obserwowane są izometryczne mikrokawerny wewnątrzkrystaliczne, związane z powierzchnią kryształów kalcytu, które niewątpliwie powstały w wyniku działalności roztworów agresywnych. Zlewność struktury potwierdzają ułamkowe wartości porowatości ogólnej i efektywnej (poniżej 1%).

DOLOMITY z gniazdami, żyłami i przerostami anhydrytu — ( $D_1$ ), reprezentowane są przez dolomikryty i dolosparyty. Dolomikryty są bardziej zwarte



Ryc. 5. Obraz mikrostrukturalny dolomitu typu  $D_1$ .  
Fig. 5. Microstructural image of dolomite of the type  $D_1$ .

ze względu na obecność drobnych ziarn. Dolosparyty wykazują większą kawernistość spowodowaną obecnością licznych drobnych pustek skalnych i szczelin. W dolosparytach dużo częściej niż w dolomitach obserwuje się w znacznych ilościach nieregularne gniazda, przerosty i żyłki anhydrytowe.

Charakter przestrzeni porowej na zdjęciach z SEM wskazuje na bardzo często występujący międzykrystaliczny typ mikroporowatości, którą tworzą wolne przestrzenie w kształcie izometrycznych wieloboków foremnych (ryc. 4), mikropory międzykrystaliczne anizometryczne (ryc. 5), jak i mikropory szczelinowate (zamknięte), których kształt krawędzi ma charakter linii łamanej, powstałych niewątpliwie wskutek osłabienia wiązań na kontaktach różnych minerałów, np. anhydrytu i dolomitu, a powiększonych poprzez działanie roztworów doprowadzających do dolomitacji i dedolomitacji.

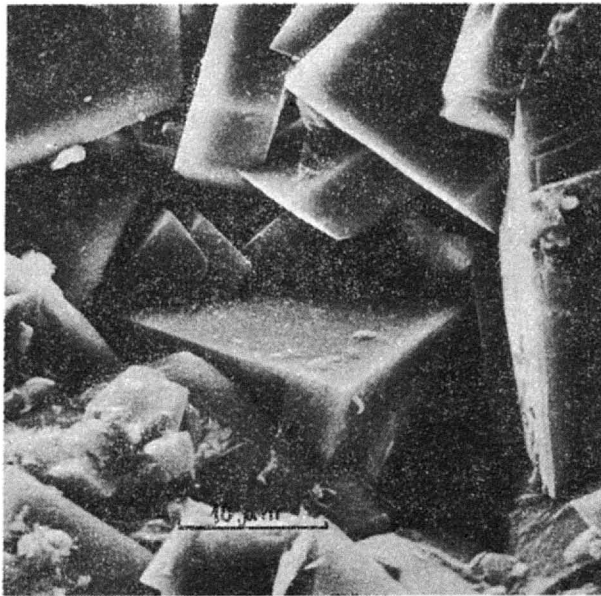
Obecność znacznej ilości w skałe tych wolnych przestrzeni tłumaczy wysokie wartości porowatości ogólnej (1—9%), a przewaga niskich wartości porowatości efektywnej (0,5—3%) wskazuje, iż w większości przypadków mikropory słabo komunikują się ze sobą. Sporadyczne zaś wartości porowatości efektywnej rzędu kilkunastu procent mogłyby świadczyć o obecności szczelin pochodzenia tektonicznego.

DOLOMITY z gniazdami kalcytu i anhydrytu — ( $D_2$ ). Cechą odróżniającą charakteryzowany typ dolomitów od poprzedniego jest obecność kalcytu, który towarzyszy anhydrytowi. Czasami kalcyt występuje w formie samodzielnych gniazd lub nieregularnych skupień.

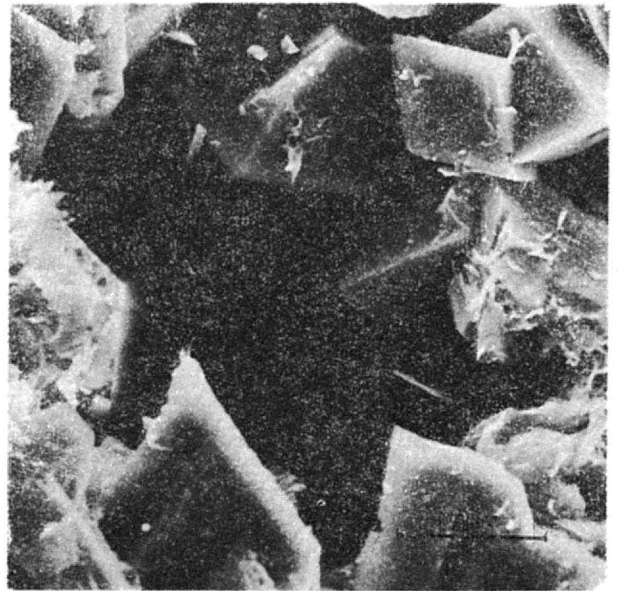
Na zdjęciach z SEM stwierdza się obecność licznych izometrycznych mikroporów międzykrystalicznych o kształtach wieloboków foremnych (ryc. 6) oraz licznych anizometrycznych mikroporów międzykrystalicznych w kształcie wieloboku nieforemnych (ryc. 7), a których obecność związana jest głównie z gniazdami kalcytu. Ponadto sporadycznie obserwowane są mikro- oraz ultrapeknięcia wewnątrzkrystaliczne (ryc. 7). Ta duża różnorodność mikrostrukturalna uzewnętrznia się w znacznej rozpiętości wartości porowatości całkowitej (1—10%) i efektywnej.

DOLOMITY margliste — ( $D_3$ ). W obrębie tego typu wyróżnić można dwa podtypy: 1) skały zawierające minerały ilaste i niewielką ilość bardzo drobnociarnistego kwarcu, 2) skały zawierające obok dolomitów dość dużą ilość materiału detrytycznego w postaci kwarcu, skaleni i sporadycznie okruchów skal-





Ryc. 6. Obraz mikrostrukturalny dolomitu typu D<sub>2</sub>.  
Fig. 6. Microstructural image of dolomite of the type D<sub>2</sub>.



Ryc. 7. Obraz mikrostrukturalny dolomitu typu D<sub>2</sub>.  
Fig. 7. Microstructural image of dolomite of the type D<sub>2</sub>.

nych oraz stosunkowo niewielką ilość substancji ilastej. Drugą grupę skał reprezentują więc dolomity bardzo piaszczyste.

Na zdjęciach z SEM (ryc. 8) skały podtypu 1 wyróżnia się dzięki obecności mikroagregatów typu domena, utworzonych z pseudoheksagonalnych cząstek dickitu, mikro- oraz ultrapory szczelinowate międzykrystaliczne (otwarte). Ponadto w obu podtypach obserwuje się istnienie mikroporów szczelinowatych międzykrystalicznych (zamkniętych), powstałych wskutek osłabienia wiązań na kontaktach różnych minerałów (tutaj np. kwarcu i minerałów ilastych lub kwarcu i dolomitu), najczęściej o zarysie krawędzi w kształcie linii łamanej.

Omówiony typ dolomitów charakteryzuje się stosunkowo wysokimi wartościami porowatości całkowitej (0,5–8%) i ułamkowymi — efektywnej.

ANHYDRYTY czyste — (A<sub>1</sub>) reprezentowane są przez skały monomineralne, zróżnicowane jedynie stopniem krystalizacji. Często w masie anhydrytowej obserwować można występowanie płaszczyzn nieciągłości na granicy stref różnoziarnistych. Ponadto, dość często obserwuje się wyraźne szczelinowe pęknięcia w obrębie kryształów anhydrytowych. Obserwowane są także rozluźnienia w skale, powstałe wskutek rekrytalizacji anhydrytu.

Zdjęcia z SEM (ryc. 9, 10), które w pełni potwierdzają powyższe obserwacje dokonane w większej skali, pozwalają na stwierdzenie, iż głównym typem przestrzeni porowej są mikro- i ultrapeknięcia wewnątrzkrystaliczne o prostym zarysie krawędzi, wykorzystujące kierunki łupliwości kryształów anhydrytowych oraz mikropory szczelinowate międzykrystaliczne (otwarte), jak również izometryczne mikropory międzykrystaliczne w kształcie foremnego wieloboku, istniejące dzięki różnej przestrzennej orientacji kryształów anhydrytu.

ANHYDRYTY z gniazdami i przerostami węglanów — (A<sub>2</sub>) są skałami różnoziarnistymi, których przerosty i gniazda tworzy romboedryczny dolomit i kalcyt. W skałach tych silnie zaznaczył się proces dedolomityzacji (2), dzięki czemu stwierdza się obecność znacznej ilości pseudomorfoz kalcytowych o pokroju romboidalnym, po dolomicie. Silnie zaznaczona dedolomityzacja świadczy o niezbyt zwiezłych cechach anhydrytów, stwarzających sprzyjające warunki do migracji roztworów, w obrębie omawianych skał.

Cechy mikrostrukturalne tych skał są ogromnie zróżnicowane. Na zdjęciach z SEM obserwuje się większość z występujących w omówionych poprzednio skałach typów przestrzeni porowej: mikropory

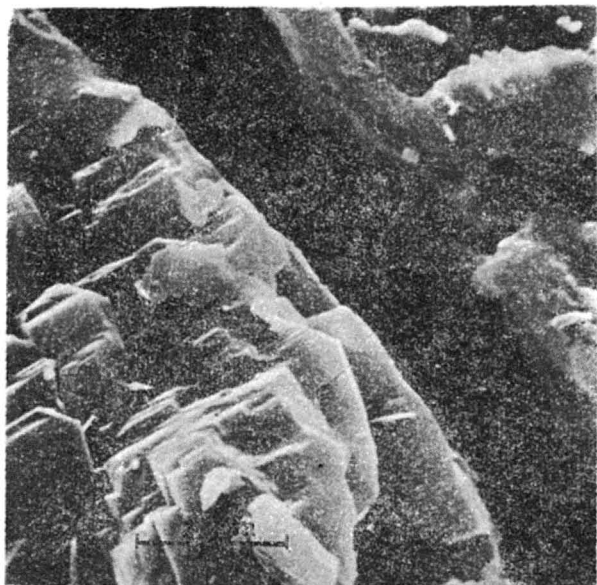


Ryc. 8. Obraz mikrostrukturalny dolomitu typu D<sub>3</sub>.  
Fig. 8. Microstructural image of dolomite of the type D<sub>3</sub>.

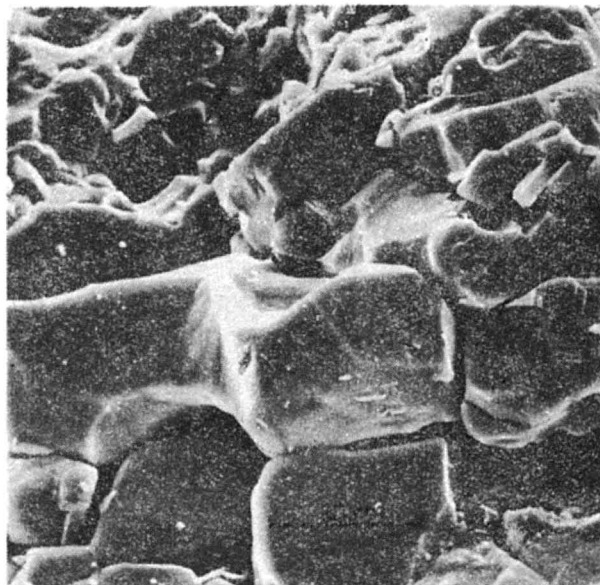
międzykrystaliczne, mikro- i ultrapeknięcia wewnątrzkrystaliczne, zgodne z kierunkami łupliwości kryształów oraz izometryczne mikrokawerny wewnątrzkrystaliczne, powstałe niewątpliwie w procesie dolomityzacji (ryc. 11).

ANHYDRYTY z przerostami substancji ilasto-węglistej i przerostami węglanów — (A<sub>3</sub>) zbliżone są do anhydrytów typu A<sub>1</sub> i A<sub>2</sub>. Stąd charakter ich przestrzeni porowej w partiach anhydrytowych odpowiada czystym anhydrytom z typów A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, a w partiach węglanowych wapieniom W i dolomitom D (ryc. 12). Charakteryzując ogólnie porowatość omówionych anhydrytów typów A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, należy stwierdzić, iż wykazują one ogólnie niewysokie wartości porowatości całkowitej (0,5–2%) i efektywnej (0,5–2%).

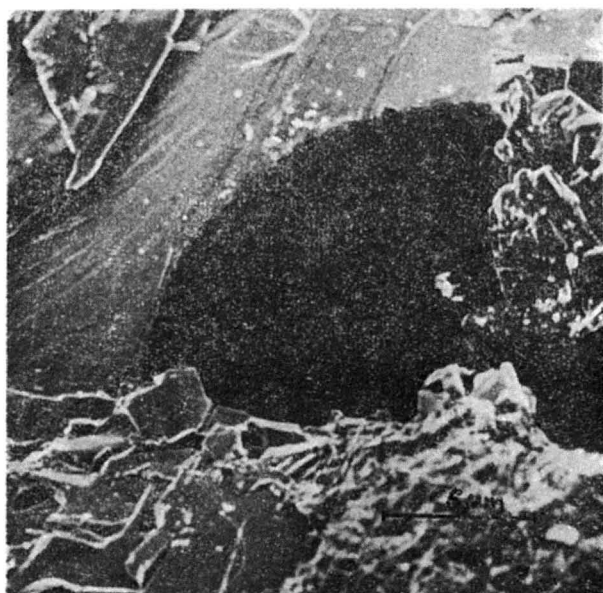
Przedstawiona powyżej analiza charakteru przestrzeni porowej upoważnia, zdaniem autora, do podjęcia próby jej klasyfikacji. Problem nie jest oczywiście zamknięty. Niewątpliwie w miarę dalszego gromadzenia materiału klasyfikacja ta będzie ulegała



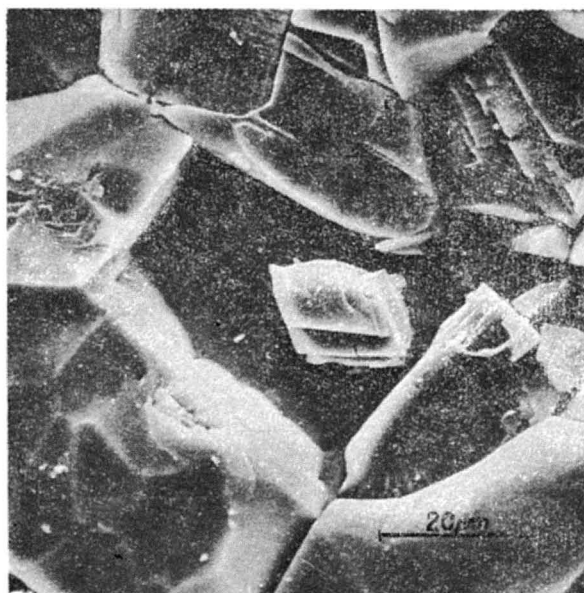
Ryc. 9. Obraz mikrostrukturalny anhydrytu typu A<sub>1</sub>.  
Fig. 9. Microstructural image of anhydrite of the type A<sub>1</sub>.



Ryc. 10. Obraz mikrostrukturalny anhydrytu typu A<sub>1</sub>.  
Fig. 10. Microstructural image of anhydrite of the type A<sub>1</sub>.



Ryc. 11. Obraz mikrostrukturalny anhydrytu typu A<sub>2</sub>.  
Fig. 11. Microstructural image of anhydrite of the type A<sub>2</sub>.



Ryc. 12. Obraz mikrostrukturalny anhydrytu typu A<sub>3</sub>.  
Fig. 12. Microstructural image of anhydrite of the type A<sub>3</sub>.

modyfikacjom i uściśleniom. Obecnie jednak rysuje się możliwość dokonania następujących wydzielen rodzajów przestrzeni porowej, wyliczając je w kolejności malejącej częstotliwości występowania<sup>3</sup>:

- 1) mikropory izometryczne międzykrystaliczne o kształtach foremnych wieloboków,
- 2) mikro- i ultrapeknięcia wewnątrzkrystaliczne,
- 3) mikro- i ultrapory szczelinowate międzykrystaliczne (zamknięte),
- 4) mikro- i ultrapory szczelinowate międzykrystaliczne (otwarte),
- 5) mikropory anizometryczne międzykrystaliczne o kształtach nieforemnych wieloboków,
- 6) mikrokawerny izometryczne wewnątrzkrystaliczne.

<sup>3</sup> Przedstawione ryciny charakteryzują tylko część z wydzielonych rodzajów przestrzeni porowej. Pełny materiał dokumentacyjny jest w posiadaniu autora.

#### WNIOSKI

1. Zastosowanie SEM pozwala na przeprowadzenie obserwacji charakteru przestrzeni porowej w skali mikro.
2. Charakter przestrzeni porowej, uformowany generalnie w środowisku sedimentacyjnym, podlegał zasadniczym modyfikacjom pod wpływem czynników diagenetycznych.
3. Charakter przestrzeni porowej w badanych skałach uwarunkowany jest głównie składem mineralnym oraz intensywnością wtórnych procesów: lugowaniem, dolomityzacją, dedolomityzacją oraz wtórną krystalizacją z roztworów hydrotermalnych.
4. Stosowane standardowe metody do badania porowatości całkowitej i efektywnej są za mało „czułe”. Stąd nie zawsze wyniki uzyskiwane z pomiarów znormalizowanych dają się właściwie wykorzystać, zwłaszcza gdy się je porównuje z mikrostrukturą skały i charakterem jej przestrzeni porowej.

5. Skomplikowany charakter przestrzeni porowej wymaga stosowania specjalnie dobranych wzorów empirycznych, określających warunki krążenia węglowodorów płynnych i gazowych w górotworze.

6. Skały węglanowe o porowatości zaledwie kilku procent uznawane są za dobre kolektory, o dużym znaczeniu ekonomicznym.

7. Skały anhydrytowe, uznawane często za skały „uszczelniające”, mają w zasadzie ten sam typ przestrzeni porowej co skały węglanowe, będące dobrymi kolektorami.

#### GŁÓWNE KRYTERIA PRZYJĘTE W KLASYFIKACJI

1. Pory — wolne przestrzenie powstałe najczęściej wskutek różnej, przestrzennej orientacji kryształów oraz wolne przestrzenie o charakterze szczelin;
2. Pęknięcia — wolne przestrzenie powstałe zgodnie z kierunkami łupliwości kryształów;
3. Kawerny — wolne, przeważnie zamknięte — foremne przestrzenie powstałe w wyniku agresywnej działalności roztworów;
4. Przedrostek „mikro” używany jest dla wolnych przestrzeni w skałach o wymiarach od 0,1 do 10  $\mu\text{m}$ ;
5. Przedrostek „ultra” używany jest dla wolnych przestrzeni w skałach o wymiarach równych lub mniejszych od 0,1  $\mu\text{m}$  (dla rozważań dotyczących oceny kolektorskich własności skał nie mają one już znaczenia, gdyż w naturalnych warunkach występowania, przestrzenie te całkowicie wypełnia woda związana z powierzchnią kryształów);
6. Mikropory izometryczne<sup>4</sup> o kształtach foremnych wieloboków, gdy różnica dwóch największych wartości wymiarów liniowych charakteryzujących ich powierzchnię nie różni się więcej niż 1,5 raza;
7. Mikropory anizometryczne o kształtach nieforemnych wieloboków, gdy różnica dwóch największych wartości wymiarów liniowych charakteryzujących ich powierzchnię jest większa niż 1,5 raza a mniejsza lub równa 10 razy;
8. Mikropory szczelinowate (zamknięte), gdy wartość ich szerokości jest rzędu od 0,1  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$ , a wartość długości większa od wartości szerokości więcej niż 10 razy ale mniejsza od wartości długości analizowanej powierzchni próbki;
9. Mikropory szczelinowate (otwarte), gdy wartość ich szerokości jest rzędu od 0,1  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$ , a długości większa od długości analizowanej powierzchni próbki, lub gdy w polu analizowanej powierzchni łączą się one z innymi mikroporami;
10. Mikropeknięcia, gdy wartość ich szerokości jest rzędu od 0,1  $\mu\text{m}$  do 1  $\mu\text{m}$ ;
11. Ultrapory szczelinowate i ultrapeknięcia, gdy wartość ich szerokości jest rzędu 0,1  $\mu\text{m}$ .

#### LITERATURA

1. Casagrande A. — The Structure of Clay and its Importance in Foundation Engineering. J. Boston. Soc. Civ., Engng. 19, 1932.
2. Chlebowski R. — Dedolomitizacja w anhydrytach cechsztynu monokliny przedsudeckiej. Prz. geol., 1977, nr 8—9.
3. Choquette P. W., Pray L. C. — Geologic Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates. Bull. AAPG, 1970, vol. 54, no. 2.
4. Elert K.-H., Peter D. — Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Mineralen aus dem Stassfurt-Salinär (Zechstein 2). Zeitschrift für Geologische Wissenschaften Jahr. 3, H. 2, Haupttema: Zechstein, 1975.
5. Gillott J. E. — Study of the Fabric of Fine-grained Sediments with the Scanning Electron Microscope. Jour. of Sedim. Petrol., 1969, vol. 38, no. 1.

<sup>4</sup> Charakterystyka kształtu mikroporów odnosi się do powierzchni analizowanych próbek.

6. Gillott J. E. — Relationships between Origin and Microstructure of Rocks and Soils to Engineering Behaviour. Bull. of the International Association of Engineering Geology. 1975, no. 11.

7. Gillott J. E., Penner E., Eden W. J. — Microstructure of Billings Shale and Biochemical Alteration Products. Canadian Geotechn. Journal, 1974, no. 4.

8. Grabowska-Olszewska B. — Elektronowy mikroskop analizujący (EMA) w inżyniersko-geologicznych badaniach gruntów spoistych. Prz. geol. 1971, nr 8—9.

9. Grabowska-Olszewska B. — Mikrostruktury skał górnego czerwonego spągowa rejonu Bogdaj — Uciechów (monoklina przedsudecka) badane za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego (EMS). Biul. geol. Wydz. Geol. UW, 1974, t. 17.

10. Grabowska-Olszewska B. — Badanie mikrostruktur za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego (SEM). Rozdz. 16 w książce „Metody badań gruntów spoistych”. Wyd. Geol. 1975.

11. Grabowska-Olszewska B., Chlebowski R., Hoffman E., Myślińska E., Wasilijew J. — Struktura i charakter przestrzeni porowej skał zbiornikowych permu gazonośnego rejonu Ostrowa Wielkopolskiego oraz strefy Kalisz, Jarocin, Środa, Obrzycko. Arch. Inst. Geol., 1975.

12. Grabowska-Olszewska B., Chlebowski R., Myślińska E. — Ocena własności zbiornikowych skał cechsztynu z wybranych wierceń Polski południowo-zachodniej. Biul. geol. Wydz. Geol. UW, t. 25 (w druku).

13. Jefonek Z., Kuczyński J., Łażewski T. — Elektronowy mikroskop analizujący (EMA). Pr. Inst. Technologii Elektronicznej PAN, 1969, nr 41.

14. Loreau J.-P. — Contribution à l'Étude des Calcarenites Hétérogènes par l'Emploi simultané de la Microscopie Photonique et de la Microscopie Électronique à Balayage. Problème Particulier de la Micritisation. Jour. de Microscopie. 1970, no. 6.

15. Loreau J.-P. — Ultrastructure de la phase carbonatée des oolithes marines actuelles. C. R. Acad. Sc. Paris, 1970, t. 271, série D.

16. Loreau J.-P. — Pétrographie de calcaires fins au microscope électronique à balayage: introduction à une classification des „micrites”. C. R. Acad. Sc. Paris, 1972, t. 274, série D.

17. Loreau J.-P. — Une explication de la biréfringence anormalement faible de l'aragonite du cortex des oolithes marines. Bull. de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie, 1972, no. 95.

18. Sarkisyan S. G. — Application of the Scanning Electron Microscope in the Investigation of Oil and Gas Reservoir Rocks. Jour. of Sedim. Petrol., 1971, no. 1.

#### SUMMARY

The paper presents the results of SEM studies on the nature of pore space on the background of lithology of Zechstein collector rocks. The studies made it possible to introduce six-fold classification of pore space, the criteria of which are given in the Polish text. Furthermore it was found that:

- (1) The nature of pore space, inherited after the sedimentary environment, was essentially modified under the influence of diagenetic agents.
- (2) The nature of pore space of the rocks studied is mainly determined by their chemical composition and intensity of diagenetic processes such as leaching, dolomitization, dedolomitization and crystallization of secondary minerals from hydrothermal solutions.
- (3) The standard techniques of analysis of total and effective porosity appear to be insufficiently „sensitive”. The results of standard measurements are, therefore, not always usable and especially when they are



compared with the data concerning rock microstructure and nature of its pore space.

(4) The complex nature of pore space makes it necessary to use especially selected empirical formulae for evaluating conditions of migration of liquid and gaseous hydrocarbons in rock massif.

(5) Carbonate rocks with porosity of the order of a few percents are considered as good and economically valuable collectors.

(6) Anhydrites often considered as „sealing” rocks display pore space of the same type as carbonate rocks with good collector properties.

## РЕЗЮМЕ

Статья содержит результаты исследований характера порового пространства на фоне литологии цехштейновых коллекторских пород, проведенных с применением СЭМ. На основании этих результатов составлена классификация порового пространства, с выделением шести ее основных типов. Обсуждены критерии приняты в этой классификации. Приведены следующие выводы:

1. Характер порового пространства сформирован в основном в седиментационной среде. Он подвергался принципиальным модификациям под влиянием диагенетических факторов.

2. Характер порового пространства в исследованных породах обусловлен прежде всего минеральным составом этих пород, а также интенсивностью вторичных процессов, таких как выщелачивание, доломитизация, дедоломитизация и вторичная кристаллизация из гидротермальных растворов.

3. Стандартные методы применяемые для исследования общей и эффективной пористости слишком мало чувствительные. Потому полученные результаты стандартных измерений не всегда можно правильно использовать, особенно в сравнении с микроструктурой породы и характером ее порового пространства.

4. Сложный характер порового пространства требует применения специально подобранных эмпирических формул, определяющих условия циркуляции жидких и газовых углеводородов в горном массиве.

5. Карбонатные породы с пористостью величиной в несколько процент считаются хорошими коллекторами, имеющими большое экономическое значение.

6. Ангидритные породы, которые часто считают „уплотняющими” породами имеют в основном тот же тип порового пространства что и карбонатные породы будущие хорошими коллекторами.