

Wykształcenie mikrofacjalne i procesy diagenetyczne utworów dolomitu głównego (cechsztyń) na izolowanej platformie węglanowej Cychr

Justyna Sylwestrzak*

Microfacies and diagenetic processes in the Main Dolomite (Zechstein) deposits on the Cychry isolated carbonate platform (western Poland). *Prz. Geol.*, 49: 873–880.

Summary. The purpose of petrographic studies was to describe dolomite deposits of the Main Dolomite (Ca₂) that make up a small carbonate platform on the Gorzów Wielkopolski Block (western Poland). This structure contains a gas pool formed as a result of microfacies development and diagenetic history of the Ca₂ deposits. Vadoid packstones and grainstones predominate in borehole Cychry 4, whereas the deposits from borehole Cychry 2 are developed primarily as peloid and oncoid packstones and grainstones (and bioclastic packstones in the upper part of the profile). Diagenetic processes, responsible for formation and preservation of good reservoir properties, intensively overprinted the original features of sediments. The lack or presence of anhydrite cements is the most important effect of diagenesis.

Key words: Zechstein, Main Dolomite, carbonate platform, microfacies, diagenesis

Izolowana platforma Cychr, usytuowana w rejonie bloku Gorzowa, stanowiła jedno z wypiętrzeń na równi basenowej zbiornika dolomitu głównego (Ca₂) położonych u brzegów rozległej wielkopolskiej platformy węglanowej (ryc. 1). Struktura ta mieści złożę gazu kondensatowego (Kotarba i in., 2000) o bardzo wysokiej (91%) zawartości azotu (Liberska i in., 1997), czym wyróżnia się ono spośród innych złóż ropnych i gazowych tego regionu.

Próbki do badań petrograficznych pochodziły z otworów wiertniczych Cychry 2 i Cychry 4.

Metodyka badań

Obserwacje 19 płytek cienkich zakrytych, wykonanych dla potrzeb dokumentacji wyników otworów, pozwoliły wytypować przedziały pobrania próbek do szczegółowych badań petrograficznych. Z wybranych próbek wykonano płytki cienkie odkryte, na których przeprowadzono obserwacje w mikroskopie optycznym w świetle przechodzącym, w katodoluminescencji (CL) oraz w mikroskopie elektronowym.

Analizy w CL wykonano na tzw. zimnej katodzie produkcji brytyjskiej, model CCL 8200 mk 3, firmy Cambridge Image Technology Ltd, zamontowanej na mikroskopie polaryzacyjnym Optiphot 2 firmy Nikon, sprzężonym z aparatem fotograficznym tej firmy (model Microflex UFX-DX). Badania te posłużyły do wstępnego rozpoznania składu mineralnego (na podstawie różnic w barwie i intensywności świecenia kalcytu i dolomitu) oraz do obserwacji sposobu narastania i liczby generacji cementów węglanowych. W kilku przypadkach pozwoliły one też ustalić pierwotne cechy strukturalne skał, stwierdzić pierwotną obecność elementów obecnie zatartych przez procesy diagenetyczne.

Badania w elektronowym mikroskopie skaningowym (SEM) wykonano w Pracowni Mikroskopii Elektronowej i Badań Rentgenowskich Zakładu Petrologii PIG, kierowanej przez B. Borkowską. Aparaturę (mikroskop elektronowy JSM-35 japońskiej firmy JEOL i współpracującą z nim mikrosondę energetyczną typu Link-ISIS firmy Oxford) obsługiwali E. Starnawska i L. Giro. Badania przeprowadzono na 11 płytkach cienkich, dla których otrzymano

obrazy elektronów wstecznie odbitych (BEI). Z wybranych punktów uzyskano widma rentgenowskie, a zastosowanie programu Sem Quant pozwoliło odczytać ich ilościowy skład chemiczny. Przeliczenia na skład molowy i interpretację otrzymanych wyników wykonała M. Wichrowska.

Dla 8 próbek wykonano obserwacje przełamów skalnych (EDS). Badania te pozwoliły na określenie wykształcenia poszczególnych składników mineralnych (zwłaszcza cementów), sposobu i stopnia zabudowania przestrzeni porowej.

Oznaczenia izotopów węgla i tlenu dla 9 próbek zostały wykonane przez A. Wójtowicza i T. Durakiewicza na zmodyfikowanym spektrometrze mas MI w Pracowni Spektrometrii Mas Instytutu Fizyki na UMCS w Lublinie. Wartości izotopów węgla i tlenu względem wzorca węglanowego PDB oznaczono z dokładnością do 0,08 ‰. Reakcję węglanu przeprowadzono w szklanej linii próżniowej przystosowanej do pracy *on-line* ze spektrometrem mas. Pomiarów izotopowych dokonano w uzyskanym dwutlenku węgla po oczyszczeniu go z wody.

Charakterystyka litologiczna i mikrofacjalna

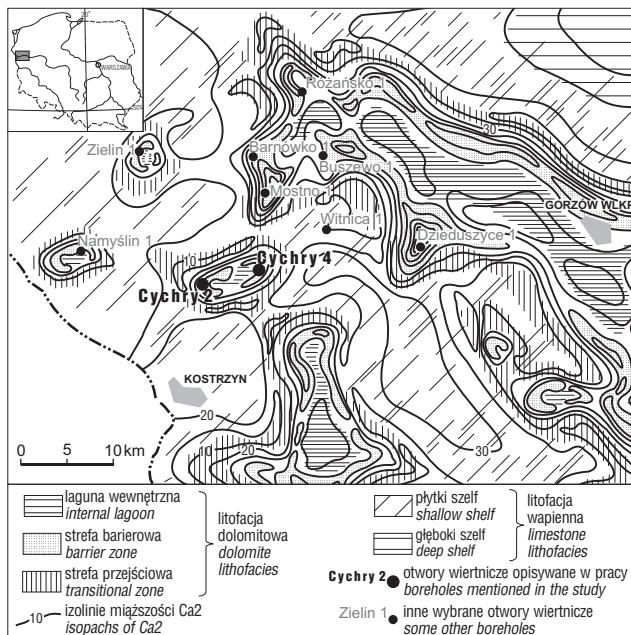
Izolowana platforma Cychr leży w obrębie utworów litofacji dolomitowej dolomitu głównego (Protas, 1996), przy czym profil Ca₂ w otworze Cychry 4 reprezentuje osady strefy barierowej, a w otworze Cychry 2 — lagunowej (Protas & Stefańska, 1990).

Profil Ca₂ w otworze Cychry 4 ma 57,7 m miąższości (głęb. 2931,0–2988,7 m, ryc. 2) i stanowią go niemal wyłącznie greinstony i pakstony wadoidowe, z podrzędnym udziałem ooidów, onkoidów i peloidów.

Dolna część profilu (2955,5–2988,7 m) jest miejscami silnie zneomorfizowana, na pewnych poziomach ziarnista budowa skały jest niemal nierozpoznawalna. Dotyczy to zwłaszcza poziomu położonego najbliżej spągu (przedział 2988,1–2988,7 m), w którym delikatnie laminowany osad jest zbudowany z drobnego, izometrycznego sparpu węglanowego.

Obecny tu anhydryt występuje w postaci niewielkich, lecz dość licznych pierwotnych nodul. Spotykana jest także substancja bitumiczna skupiona w laminach o różnej grubości. W przestrzeniach międzykrystalicznych można dostrzec drobne skupienia mikrytu, stanowiące prawdopodobnie relikty mikrytowych powłok ziaren wadcycznych.

*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa



W przypadku skał o pierwotnych strukturach zatartych przez neomorfizm, również w katodoluminescencji ziarnistość jest często niewidoczna, skała wykazuje niemal jednorodne świecenie na całej powierzchni płytki cienkiej. Tam, gdzie neomorfizm był mniej intensywny, mikrytowe obwódki zachowały się niemal w całości (np. na głęb. 2986,5 m), dzięki czemu ziarnisty charakter skały jest bezsporny. Na głęb. 2984,1 m, gdzie homogenizacja skały zaszła w niewielkim stopniu, jest widoczna struktura prawdopodobnie pochodzenia glonowego: peloidy budujące tu skałę są drobne, mikrytowe, o nieregularnych kształtach i ciasno upakowane, a występują naprzemiennie z mikrytowymi poziomymi warstewkami maty glonowej. Próbkę z głęb. 2974–2976 m, oprócz wadoidów, zawierają domieszkę ooidów o dość regularnych, owalnych kształtach i kortexie z czytelną budową koncentryczną.

Greinstony i pakstony wadoidowe w całym profilu są zbudowane z ziaren o różnej wielkości i nieregularnych, niekiedy amebowatych kształtach. Ziarna te są w znacznym stopniu mikrytowe, z dobrze zachowaną laminowaną strukturą korteksu. Często tworzą one agregaty, obleczone powtórnie laminami korteksu bądź cementem obwódkowym. Miejscami można zaobserwować fragmenty pokryw wadycznych.

Opisywane ziarnity charakteryzuje duża zmienność cech petrograficznych (widoczna zarówno wzdłuż profilu, jak i w obrębie poszczególnych próbek). Różnice zaznaczają się w intensywności cementacji węglanowej i siarczanowej oraz w stopniu upakowania ziaren.

Niezbyt intensywna cementacja w połączeniu z rozpuszczaniem, którego efekty obserwuje się powszechnie w badanych próbkach sprawiły, że greinstony z Cychr 4 zachowały wysoką porowatość. Skały najbardziej porowate są mało zwarte, pylaste.

W górnej części profilu Ca2 w otworze Cychry 4 (próbki z głęb. 2934,6 i 2935,2 m) wyróżnia się poziom skał dolomitowo-wapiennych. Dolomit buduje wadoidy oraz część cementów, podczas gdy pozostałe cemeny i spoiwo są kalcytowe. Kalcyt jest masywny (nawet gdy nosi ślady rozpuszczania — ryc. 3, głęb. 2935,2 m), podczas gdy ziarna dolomitowe są silnie roztrawione i w pewnym



Ryc. 1. Lokalizacja badanych otworów wiertniczych (mapa litofacji utworów dolomitu głównego w rejonie Gorzowa Wlkp. — wg Pikulskiego, 1998)

Fig. 1. Location of boreholes (map of the Main Dolomite lithofacies in the region of Gorzów Wlkp. — after Pikulski, 1998)

stopniu zmikrytyzowane. Spoiwo jest przeważnie grubokrystaliczne, budujące je kryształy mają nieostre granice i przerastają się wzajemnie (ryc. 4 — głęb. 2352,2 m). Miejscami tło skalne stanowią kalcytowe cemeny palisadowe. Najwyższy, przystropowy poziom (próbka z głęb. 2932,9 m) stanowią silnie zneomorfizowane dolomitowe pakstony.

W otworze Cychry 4 cała miąższość Ca2 jest nasycona gazem (Liberska i in., 1997).

Profil dolomitu głównego w otworze Cychry 2 ma 22 m miąższości (głęb. 2990,5–3012,5 m, ryc. 2). Skały uległy w znacznym stopniu neomorfizmowi, który zatarał ich pierwotne struktury (nieczytelne również w katodoluminescencji). Szczególnie w środkowej części profilu niepewne stało się określenie przynależności mikrofacjalnej osadów, jednak wydaje się, że profil Ca2 z Cychr 2 stanowią głównie pakstony (podrzednie greinstony) peloidowe, scementowane w znacznym stopniu anhydrytem (w dolnej części profilu). Na głęb. 2996,5 i 3000,5 m znaleziono relikty stromatolitów warstewkowo-okienkowych (Protas & Stefańska, 1990).

Na tym tle wyróżnia się najwyższa część profilu (interwał 2990,5–2995,0 m), gdzie występują porowate pakstony peloidowo-bioklastyczne. Budują je ułożone w sposób nieuporządkowany: dobrze zachowany detryt muszlowy (małże, ślimaki), fragmenty mszywiolów, otwornice, małżoraczki, bezstrukturalne tło skalne. Bioklasty i ścianki licznych pustek są obrośnięte cementami obwódkowymi i druzowymi, wśród których dość powszechne są cemeny o pokroju botroidowym. Pustki nie zabudowane przez wcześnie cemeny częściowo zarasta dolomitowy cement blokowy lub (częściej) anhydryt o pokroju tabliczkowym, który poza tym zastępuje lokalnie bioklasty.

W otworze Cychry 2 gaz zgromadzony jest w górnych 10 m profilu (Liberska i in., 1997).

Diageneza

Wśród procesów diagenetycznych wyróżniono kompaktację, cementację, rozpuszczanie i neomorfizm.

Kompaktacja. Efekty kompaktacji mechanicznej, oddziałującej na zdeponowany osad przed jego lityfikacją są z natury najlepiej widoczne w greinstonach o dobrze zachowanej pierwotnej strukturze. Efekty takie zaobserwowano w niektórych próbkach greinstonów wadoidowych z otworu Cychry 4. Widać tu partie skały zbudowane z ziaren silnie upakowanych i spłaszczonych, kontakty wkłęsło-wypukłe między wadoidami, wgniecenia i przerwanie ciągłości powłok ziaren obleczonych pod wpływem punktowego nacisku.

Kompaktacja mechaniczna oddziaływała jednak na badany osad stosunkowo słabo, skoro wymienione zjawiska obserwuje się w płytkach cienkich przeważnie lokalnie — nie sprzyjało jej usztywnienie osadu przez wcześnie cemeny węglanowe (Faezel, Schatzinger, 1985). Z drugiej strony obserwuje się, jak cemeny obwódkowe oblekają stykające się ze sobą, spłaszczone ziarna, co świadczy, że

obecność wczesnodiagenetycznych cementów nie zapobiega całkowicie kompaktacji.

Efektom kompaktacji chemicznej są stylolity i mikrostylolity tworzące się na drodze rozpuszczania skały węglanowej pod wpływem nacisku nadkładu na etapie pogrzebienia. W otworze Cychry 4 stylolity występują na całej długości profilu (Kozłowski i in., 1998), nie mniej powszechne są w osadach z profilu Cychry 2.

Cementacja. W osadach barierowych dobre warunki złożowe, umożliwiające akumulację gazu w złożu Cychry, powstały m. in. dzięki temu, że cementy (zwłaszcza węglanowe) wykształciły się w niewielkim stopniu.

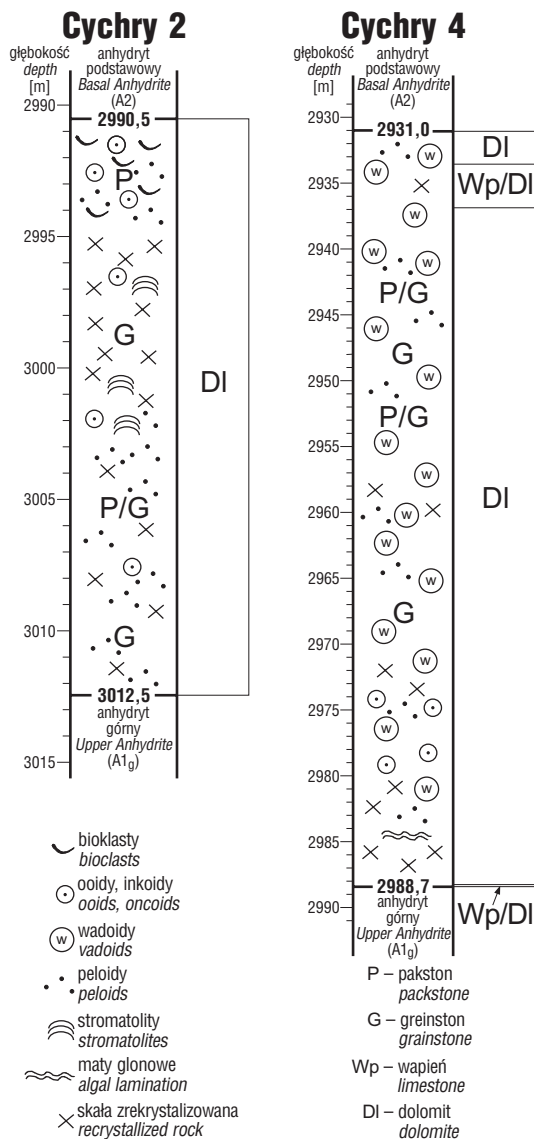
Cementy węglanowe. Na powierzchniach peloidów i elementów szkieletowych w osadach obu profili powszechnie występują obwódki cementu mikrytowego, utworzonego w wyniku degradacji węglanu na drodze działalności życiowej mikroorganizmów (Flügel, 1982). Cement mikrytowy powstał jako jeden z najwcześniejszych, gdyż to na nim narastały inne wczesne cementy węglanowe (ryc. 5 — Cychry 2, głęb. 2991,4 m). Dowodem na synsedymencyjne tworzenie się cementów

mikrytowych jest ich występowanie na kolejnych powierzchniach wzrostu ziarn obłeczonych (ryc. 4). Obecność późniejszej silnej diagenety w skale zachowującej się relikty pierwotnej struktury (np. obwódki ziaren węglanowych, rozpuszczonych i zastąpionych przez anhydryt — ryc. 6, Cychry 2, głęb. 3006,3 m).

W profilu Cychry 2 najszersze spektrum cementów węglanowych można zaobserwować w przystropowym poziomie pakstonów peloidowo-bioklastycznych. W skałach tych są obecne przede wszystkim cementy wczesne. Na ziarnach i bioklastach wykształciły się cementy obwódkowe izopachowe i o pokroju listewkowym. Część cementów obrastających biodetryt i narastających na ściankach pustek ma pokrój botroidowy (ryc. 7 — Cychry 2, głęb. 2993,3 m), charakterystyczny dla aragonitu, który je pierwotnie budował.

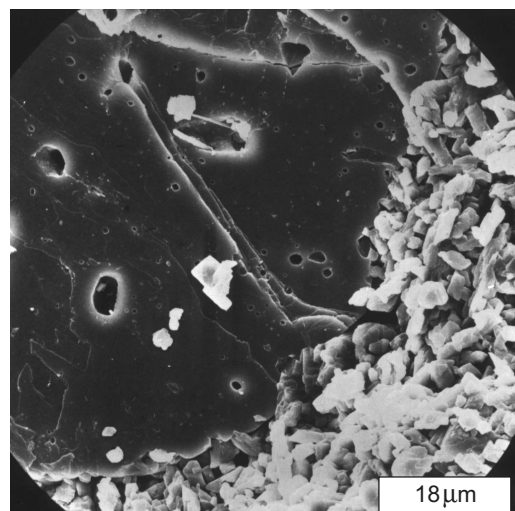
W profilu Cychry 4 najbardziej efektowne cementy obwódkowe (m.in. o pokroju igiełkowym) zaobserwowano w próbce z głęb. 2952,2 m. Występujące tu pakstony wadoidowe charakteryzują się najlepszymi spośród badanych próbek właściwościami petrofizycznymi, co potwierdza pozytywną rolę, jaką wczesnodiagenetyczna cementacja węglanowa odgrywa w zapobieganiu kompaktacji.

Poziom dolomitowo-wapienny występujący w górnej części profilu z Cychry 4 charakteryzuje się obecnością cementów węglanowych o różnicowanym pokroju i chemizmie. Ziarna wadyczne o składzie dolomitowym, zbudowane głównie z mikrytu są obrośnięte cementami obwódkowymi, które mogą być zbudowane i z kalcytu (zwłaszcza na kontakcie z wadoidami), i z dolomitu. Widoczne jest, że cement dolomitowy jest późniejszy, gdyż wypełnia drobne kawerny i narasta na powierzchniach spękań tnących zarówno wadoidy, jak cementy kalcytowe. W tej części profilu spotyka się też cementy kalcytowe o pokroju igiełkowych, wachlarzowatych skupień oraz cementy o charakterze palisadowym, co sugeruje ich pierwotny skład aragonitowy, mimo że w CL charakteryzują się brakiem luminescencji (cementy poaragonitowe w katodoluminescencji wykazują niekiedy świecenie o barwie zielonkawej). Ilościowo przeważają w skale nad



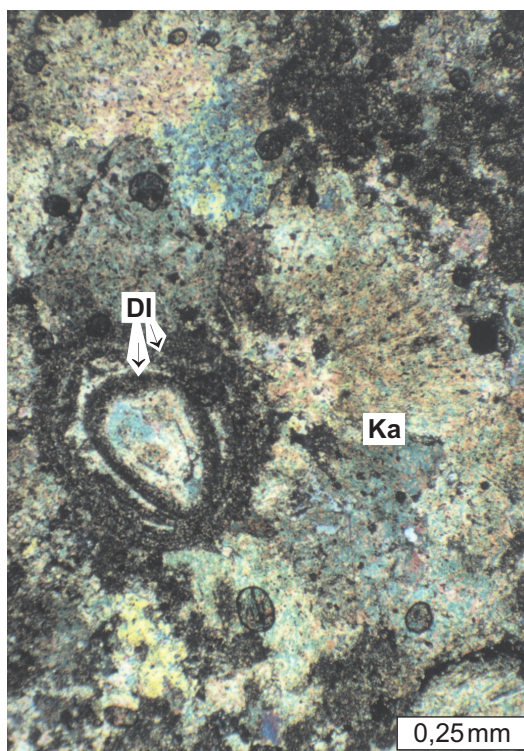
Ryc. 2. Profile litologiczno-mikrofacjalne utworów Ca2 w otworach wiertniczych Cychry 2 i Cychry 4

Fig. 2. Lithological-microfacies profiles of Ca2 in boreholes Cychry 2 and Cychry 4



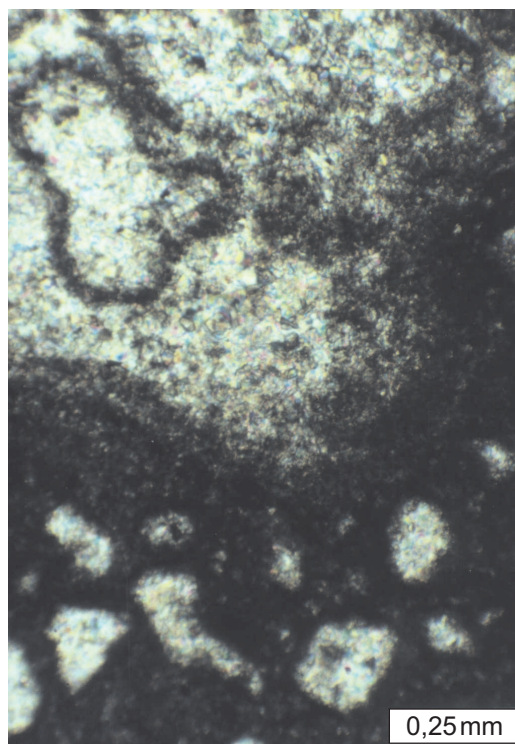
Ryc. 3. Pakston wadoidowy. Efekty rozpuszczania w cemencie kalcytowym i jego kontakt ze zmikrytyzowanym dolomitowym ziarnem obłeczonym. Obraz SEI (SEM)

Fig. 3. A vadoid packstone. Solution effects in calcite cement and its contact with dolomitic coated grain. SEI (SEM) image



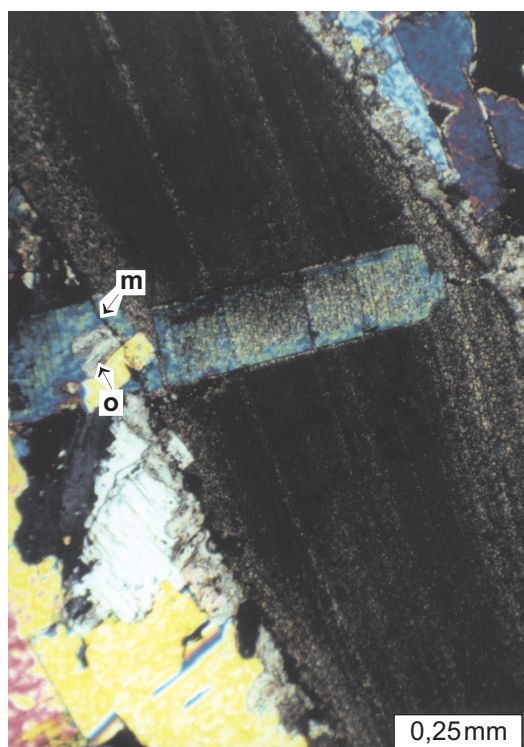
Ryc. 4. Dolomitowy cement mikrytowy na powierzchniach wzrostu wadoidu (DI) i zrekrystalizowane spoiwo kalcytowe (Ka). Nikole skrzyżowane

Fig. 4. Dolomitic micrite cement (DI) on the growth laminae of vadoid and recrystallized calcite matrix (Ka). Crossed nicols



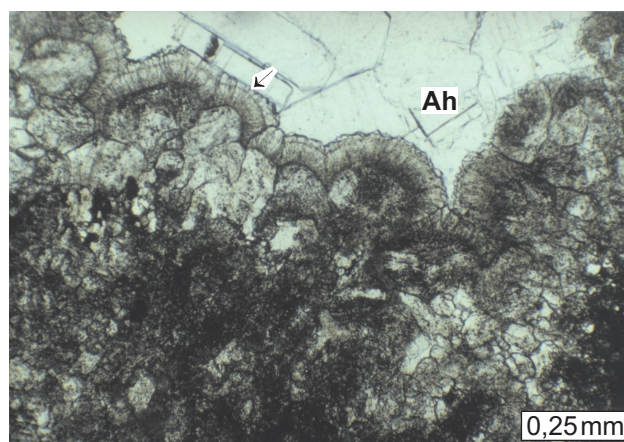
Ryc. 6. Węglanowe peloidy o mikrytowych obwódkach, obecnie zastąpione przez drobnokrystaliczny anhydryt. Nikole skrzyżowane

Fig. 6. Micrite rims on carbonate peloids, now replaced by fine-grained anhydrite. Crossed nicols



Ryc. 5. Bioklast zastąpiony miejscami przez anhydryt. Na powierzchni muszli wykształciły się dwa typy wczesnych cementów węglanowych: mikrytowy (m) i ostrzowy (o). Nikole skrzyżowane

Fig. 5. A bioclast replaced locally by anhydrite. Micrite (m) and blade (o) early carbonate cements formed on the shell surface. Crossed nicols



Ryc. 7. Wzrost cementu botryodowego w kawernie został miejscami (strzałka) zahamowany przez obecność cementu anhydrytowego (Ah). Bez analizatora

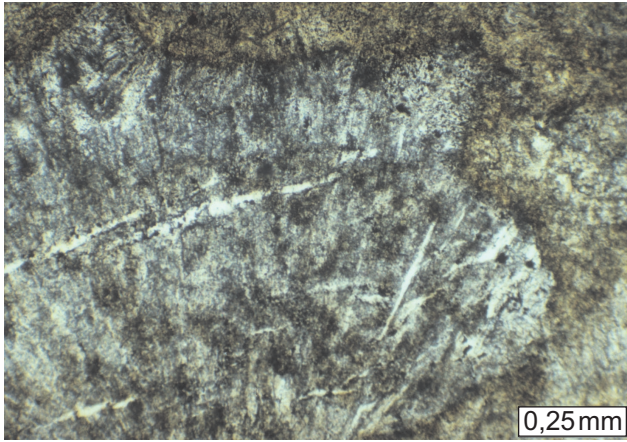
Fig. 7. The growth of botryoid cement in a cavity was locally inhibited (arrow) by the presence of anhydrite cement (Ah). Plane polarised light

wadoidami, a na głęb. 2935,2 m stanowią jedyny składnik skały, lekko zabarwiony bituminami na kolor żółtawy (ryc. 8 — Cychry 4, głęb. 2935,2 m).

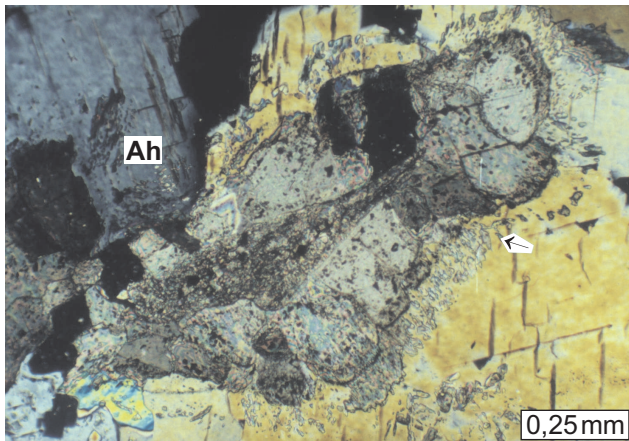
Pustki pozostałe po wczesnej diagenecie uległy częściowo wypełnieniu przez późne węglanowe cementy blokowe. Czasami są to jedynie pojedyncze kryształy, gdzie indziej gniazda sparytowej mozaiki wypełniającej przestrzeń międzyziarnową, pory po rozpuszczonych ziarnach lub naturalne pustki w bioklastach (ryc. 9 – Cychry 2, głęb.

2991,4 m). Ogólnie jednak cementy blokowe w osadach z Cychr rozwinęły się w niewielkim stopniu.

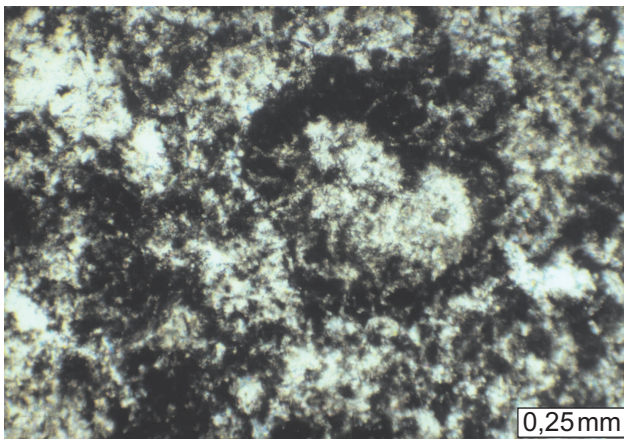
Cementy siarczanowe występują powszechnie w badanych profilach. Tworzące je minerały to przede wszystkim anhydryt, podrzędnie także gips, baryt i celestyn.



Ryc. 8. Kalcytowe cementy palisadowe. Bez analizatora
Fig. 8. Calcite palisade cements. Plane polarised light



Ryc. 9. Cement blokowy w zoejach mszywiola, który został w znacznej mierze zastąpiony przez cement anhydrytowy (Ah); strzałka — relikty szkieletu węglanowego. Nikole skrzyżowane
Fig. 9. Blocky cement in bryozoan fragments mostly replaced by anhydrite cement (Ah); arrow — relics of carbonate frame. Crossed nicols

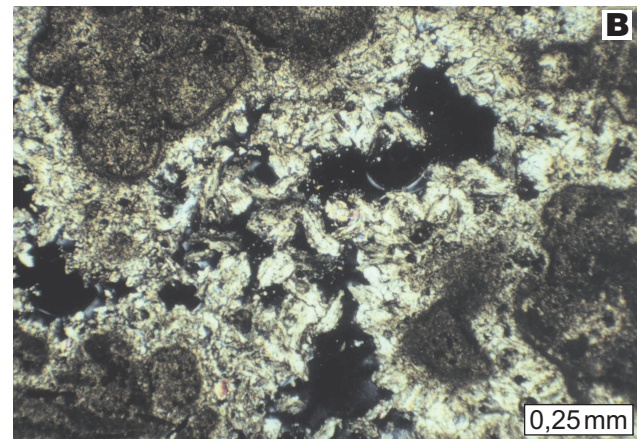
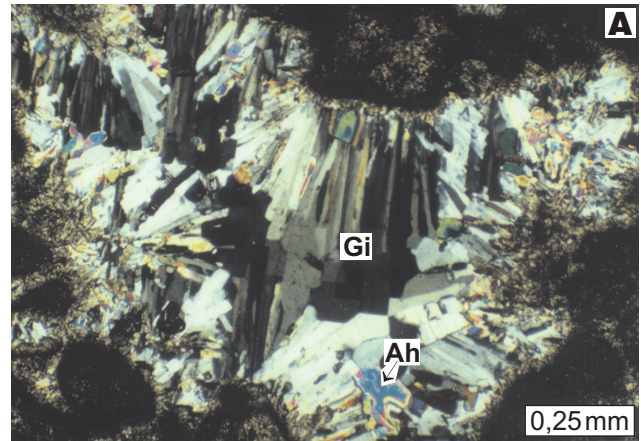


Ryc. 10. Silnie zanhydrytyzowany greinston wadoidowy. Bez analizatora
Fig. 10. An intensively anhydritized vadoid grainstone. Plane polarised light

Cementacja anhydrytem nastąpiła (przynajmniej częściowo) na wczesnym etapie diagenety. Świadczy o tym wykształcenie cementów botroidowych, wyraźnie dostosowujących swój kształt do tabliczkowych kryształów anhydrytu wypełniających pustkę, której brzegi porastają te wczesne cementy węglanowe (ryc. 7).

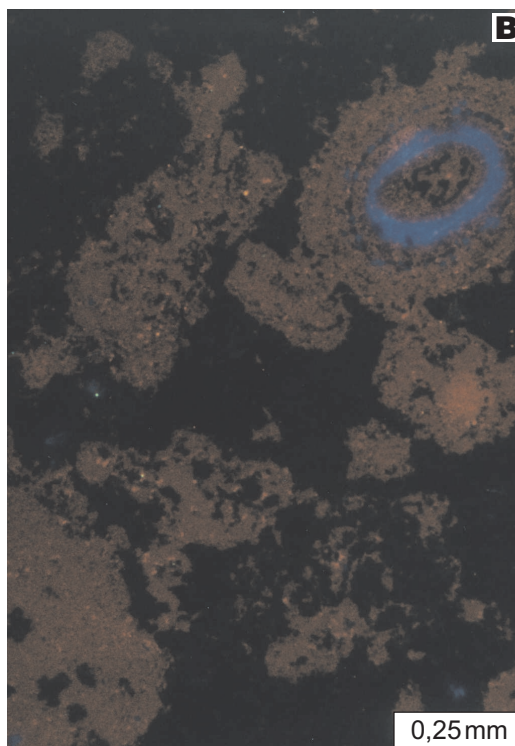
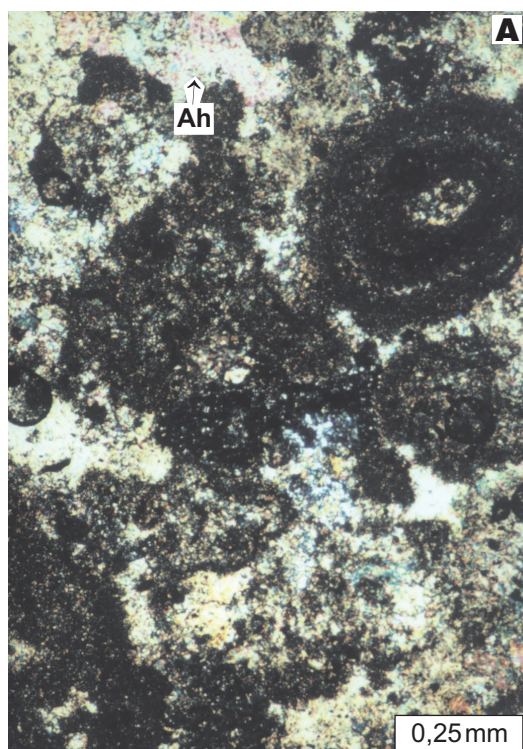
Oprócz wypełniania pierwotnej przestrzeni porowej i pustek powstałych na drodze rozpuszczania, anhydryt tabliczkowy wypiera pierwotny węglan, np. budujący bioklasty, pozostawiając co najwyżej węglanowe relikty (ryc. 5 i 9). W próbkach z głęb. 2940,1 m oraz 2947,2 m z profilu Cychry 4 można zaobserwować cementy anhydrytowe o pokroju pręcikowym, narastające na wadoidach. Stanowią one prawdopodobnie pseudomorfozy po obwódkowych cementach węglanowych, których relikty zachowały się miejscami w ich obrębie.

Poza anhydrytem o pokroju tabliczkowym, dość powszechny w badanych próbkach jest anhydryt tworzący drobnokrystaliczne skupienia. Z jednej strony buduje on owalne nodule pochodzenia sedimentacyjnego (które występują głównie w partiach profilu graniczących z sąsiednimi wydzieleniami: anhydrytem górnym Alg i



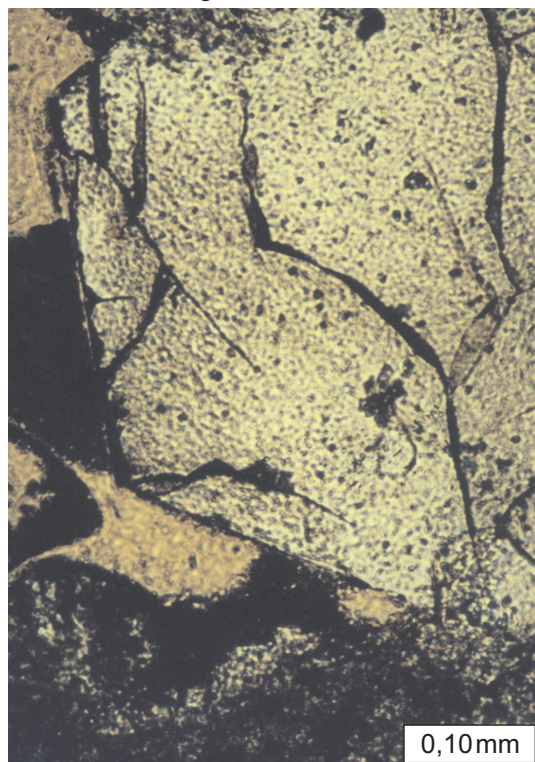
Ryc. 11. A — gips (Gi) i anhydryt (Ah) wypełniający przestrzeń porową w pakstonie wadoidowym. Nikole skrzyżowane. B — przestrzeń porowa została częściowo zabudowana obwódkowymi cementami węglanowymi, natomiast nie nastąpiła cementacja siarczanami. Nikole skrzyżowane, ta sama próbka, jak na ryc. 12A

Fig. 11. A — a gypsum (Gi) and anhydrite (Ah) cements in filling pore space in a vadoid packstone. Crossed nicols. B — the pore space is partly filled in with rim carbonate cements, and sulphate cement is lacking. Crossed nicols, the same sample as in Fig.



Ryc. 12. A — zmikrytyzowane wadoidy zbudowane z dolomitu, tkwiące w spoiwie kalcytowym z anhydrytem (Ah). Nikole skrzyżowane; **B** — katodoluminescencja podkreśla obecność fluorytu (barwa niebieska) impregnującego laminy ziarna obleczonego; barwa czerwona — dolomit; kalcyt i anhydryt są nieświecące. Obraz jak poprzednio, w CL

Fig. 12. A — micritized dolomitic vadoids in calcite matrix; Ah – anhydrite. Crossed nicols; **B** — the cathodoluminescence method reveals the presence of fluorite (blue) impregnating laminae of coated grain; red colour — dolomite; calcite and anhydrite are non-luminescent. The same image, in CL



Ryc. 13. Kwarc autigeniczny w przestrzeni porowej greinstonu wadoidowego. Bez analizatora

Fig. 13. Authigenic quartz in pore space of vadoid grainstone. Plane polarised light

anhydrytem podstawowym A2), z drugiej — tworzy się przez zastępowanie skały węglanowej. W przyspągowych partiach profilu Cychry 4 taki drobnokrystaliczny anhydryt zastąpił spoiwo w greinstonie (głęb. 2970,2 m) a miejscami całą skałę. W tym drugim przypadku granica dolomit/anhydryt przecina środki onkoidów. Próbką z głębokości 2969,3 m wykazuje stadium pośrednie: spoiwo stanowi drobnokrystaliczny anhydryt, a ziarna, mimo że ciągle jeszcze są rozpoznawalne, mają rozczłonkowane laminy i środki już zastąpione przez siarczany (ryc.10 — Cychry 4, głęb. 2969,3 m). Jeszcze inna sytuacja rysuje się w próbce z głęb. 3006,3 m w profilu Cychry 2, tam bowiem drobnokrystaliczny anhydryt zastąpił wyłącznie rozproszone w węglanowym spoiwie ziarna. O tym, że nie są to pierwotne nodule siarczanowe świadczy fakt, że formy te mają obwódki mikrytowe, które musiały utworzyć się na ziarnach węglanowych (ryc.6).

Gips wypełnia przestrzeń międzyziarnową w pakstonie wadoidowym z głęb. 2952,2 m (Cychry 4). Jego rozmieszczenie w skałe jest jednak bardzo nierównomierne. Miejscami zabudowuje on wszystkie pustki pozostałe po cementacji węglanowej, podczas gdy w innych partiach tej samej płytki cienkiej cementy siarczanowe są nieobecne (ryc.11A,B — Cychry 4, głęb. 2952,2 m). W rezultacie próbka ta wykazuje, jak wspomniano, bardzo dobre własności petrofizyczne.

Celestyn i baryt występują w znikomych ilościach (ich drobne okruchy zaobserwowano w SEM) w stropowej części profilu Cychry 4.

Inne cementy. Pozostałe minerały cementujące badane skały to fluoryt, kwarc, piryt i minerały ilaste.

Fluoryt jest minerałem występującym pospolicie we wszystkich trzech poziomach węglanowych cechsztynu, ma on pochodzenie osadowe (Ważny, 1975). Obserwację fluorytu ułatwia fakt, że w katodoluminescencji wykazuje on intensywne niebieskie świecenie. Jest to istotne z tego względu, że w przebadanych próbkach euhedralne kryształy fluorytu występują rzadko, a dominują drobne obłe ziarna oraz impregnacje o nieregularnych kształtach. Stanowią one wtrącenia (niekiedy bardzo liczne) w węglanowym tle lub w szczególnie podatnych na zastępowanie laminach ziaren obleczonych, mogą także zastąpić wybrane powłoki korteksu (ryc. 12 — Cychry 4, głęb. 2935,2 m).

W próbkach z profilu Cychry 2 nie stwierdzono obecności fluorytu.

Kwarc autigeniczny występuje w przystropowej części profilu Cychry 4. Występuje w postaci automorficznych, przeważnie spękanych kryształów narastających na ściankach pustek (ryc. 13 — Cychry 4, głęb. 2932,9 m). Jego obecność jest wiązana z zakwaszeniem środowiska w schyłkowej fazie sedymentacji Ca2 (Chłódek & Barański, 1997). W niższych partiach profilu nie tylko nie występuje kwarc autigeniczny, ale i kwarc detrytyczny ulegał rozpuszczaniu. W próbce z głęb. 2935,2 m, w obrębie zrekrystalizowanego, kalcytowego tła skalnego znaleziono okruch kwarcu bardzo silnie skorodowanego, z głębokimi zatokami (widocznymi w obrazie SEM).

Piryt (w formie dużego framboidu) znaleziono jedynie w madstonie wapiennym rozpoczynającym profil Cychry 4.

Neomorfizm. Termin ten obejmuje przekształcenia minerałów, neomorfizm agradacyjny, czyli rekrystalizację, oraz degradowanie osobników mineralnych (Maliszewska & Ryka, 1991).

Pierwsze znaczenie definicji obejmuje m. in. przemianę aragonitu w kalcyt (który następnie mógł ulec dolomityzacji). Dotyczy to cementów o pokroju botroidowym, który uważa się za pierwotnie aragonitowy (Flügel, 1982), obecnych w stropie profilu Cychry 2, a także spoiwa w wapienno-dolomitowych skałach w górnej części profilu Cychry 4, zbudowanego z ząbających się wachlarzowatych skupień kalcytu o pokroju igiełkowym — prawdopodobnie również poaragonitowego.

Silny neomorfizm agradacyjny obserwuje się w profilu Cychry 2 i w niektórych partiach profilu Cychry 4. W otworze Cychry 2 (z wyjątkiem przystropowego odcinka profilu Ca2) neomorfizm agradacyjny zachodził powszechnie, choć nie doprowadził do powstania mozaiki sparytowej. Tutaj głównym produktem neomorfizmu jest mikrospar. Neomorfizm zatarł pierwotne struktury, niekiedy w stopniu uniemożliwiającym ich identyfikację. W profilu Cychry 4 najsilniejszą rekrystalizację notuje się w najniższej części, gdzie skała zbudowana jest z bardzo drobnego spar, z nielicznymi tylko, mikrytowymi relikami ziaren (wadoidów?). Niemal wszystkie pozostałe próbki reprezentują osady wyraźnie ziarniste i chociaż miejscami (zwłaszcza w dolnej części profilu) tło skalne a nawet wadoidy są zbudowane z dość jednorodnego mikrosparu, to jednak obecność mikrytowych obwódek na ziarnistych składnikach osadu uchroniła skałę przed homogenizacją.

Rozpuszczanie objęło przeważnie niektóre tylko składniki skały. Na przykład w pakstonie bioklastyczno-peloidowym w stropie profilu Cychry 2 powszechnie obserwuje się rozpuszczone fragmenty szkieletów mszywiołów, muszli itp.

(obecnie wypełnione tabliczkowym anhydrytem), podczas gdy zachowały się cementy narastające pierwotnie na ich powierzchniach. Tę różnicowaną podatność na rozpuszczanie można tłumaczyć odmienną strukturą poszczególnych składników. Cementy, jako późniejsze od bioklastów i nie dotknięte mikrytyzacją, były prawdopodobnie bardziej od nich masywne.

W osadach ziarnistych, o ile zaznacza się w nich rozpuszczanie, roztrawieniu uległy przeważnie środki ziaren obleczonych (rzadziej całe ziarna lub uprzywilejowane strefy wyznaczone przez bardziej podatne laminy korteksu) oraz bioklasty, po których pozostały pory moldyczne. Znaczna część porów z rozpuszczania pozostała niezabudowana (nie licząc dolnej części profilu Cychry 2, gdzie anhydrytyzacja zaszła na dużą skalę) dzięki czemu w badanych utworach platformowych mogły się wytworzyć dobre warunki zbiornikowe.

Oprócz pierwotnych składników osadu, rozpuszczaniu w pewnym stopniu uległy także cementy węglanowe, co obserwuje się w mikroskopie elektronowym w postaci roztrawień submikroskopowej wielkości (ryc. 3) oraz ziarna kwarcu detrytycznego, co razem świadczy o zmienności chemizmu roztworów oddziałujących na skałę w trakcie trwania diagenety.

Wnioski

1. Badane skały to dolomity, podrzędnie dolomity wapieniste i wapienie dolomityczne, miejscami silnie zanhydrytyzowane, reprezentujące płytkowodne facje platformowe.

2. Pierwotne struktury sedymentacyjne zostały w znacznym stopniu zatarte przez procesy późnej diagenety (neomorfizm agradacyjny). Dotyczy to zwłaszcza osadów z profilu Cychry 2 (z wyjątkiem najwyższego poziomu), w których zarówno określenie przynależności mikrofacjalnej jak rozpoznanie efektów wczesnej diagenety jest miejscami problematyczne.

3. Badane utwory podlegały przemianom wczesno- i późnodiagenetycznym. W ziarnistych osadach z platformy Cychry na wczesnym etapie diagenety tworzyły się cementy obwódkowe, prowadząc do ich usztywnienia i zapobiegając kompaktacji. Fakt ten miał decydujące znaczenie dla zachowania porowatości (pierwotnej i powstałej w wyniku rozpuszczania), tym bardziej, że procesy niszczące przestrzeń porową (kompaktacja, cementacja późnymi cementami węglanowymi, powstawanie cementów siarczanowych i innych) zaszły na stosunkowo niewielką skalę, mimo że ilościowo przeważają nad procesami kreującymi porowatość (wyjątkiem jest dolna część profilu Cychry 2, gdzie nastąpiła silna anhydrytyzacja).

4. Dolomityzacja kalcytu zachodziła pod wpływem wód o charakterze mieszanym (morsko-meteorycznym), na co wskazują badania izotopowe trwałych izotopów tlenu. Z danych (z analiz wykonanych dla całości próbki) wynika, że udział wód morskich (ewaporatowych) w powstawaniu dolomitów był znacznie większy w przypadku osadów z Cychry 2 ($\delta^{18}\text{O} = +2$ do $+3,8$ ‰PDB), w Cychrach 4 przeważa tlen lżejszy izotopowo (wartości $\delta^{18}\text{O}$ oscylują wokół zera, za wyjątkiem jednego poziomu — głęb. 2965,1 m, gdzie $\delta^{18}\text{O}$ wynosi $+2,31$ ‰PDB). Nawet takie nieznaczne wahania wartości izotopów tlenu mogą sugerować okresowe impulsy wód o zwiększonym zasoleniu, nie wykluczając sezonowych fluktuacji klimatycznych (z kli-

matu wilgotnego na bardziej suchy), co zwykle odzwierciedla się w zmienności mineralnej badanych osadów.

5. Większość dolomitów analizowanych w mikrosondzie elektronicznej jest stechiometryczna, co stanowi cechę dolomitów wczesnodiagenetycznych (Peryt, 1984). Wyjątek stanowi dolomit z poziomu przystropowego w profilu Cychry 4 (próbka z głęb. 2932,9 m), gdzie cząsteczka kalcytowa przeważa nad dolomitową.

Literatura

- CHŁÓDEK K. & BARAŃSKI W. 1998 — Opracowanie sedymentologiczne z otworu Cychry 4. [W:] Dokumentacja wynikowa otworu rozpoznawczego Cychry 4. PGNiG S.A. w Warszawie, Oddz. Zielonogórski ZGNiG w Zielonej Górze.
- FAEZEL CH. T. & SCHATZINGER R.A. 1985 — Prevention of carbonate cementation in petroleum reservoirs. [W:] The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists: 97–105.
- FLÜGEL E. 1982 — Microfacies Analysis of Limestones. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- KOTARBA M.J., WIĘCŁAW W. & STECKO Z. 2000 — Skład, geneza i środowisko generowania gazu ziemnego w utworach dolomitu głównego zachodniej części obszaru przedsudeckiego. *Prz. Geol.*, 48: 429–435
- KOZŁOWSKI R., KRZYŻOWSKI J., WOJNAR R., DUDA J. & NAWROTEK T. 1998 — Opis rdzeni i próbek okruchowych z otworu Cychry 4. [W:] Dokumentacja wynikowa otworu rozpoznawczego Cychry 4. PGNiG S.A. w Warszawie, Oddz. Zielonogórski ZGNiG w Zielonej Górze
- LIBERSKA H., PIĄTKOWSKA-KUDŁA S. & STRZELECKA D. 1997 — Nietypowe złoża Cychry. *Szejk? ZZGNiG*, 54: 14–15.
- MALISZEWSKA A. & RYKA W. 1991 — Słownik petrograficzny. Wyd. Geol.
- PERYT T. M. 1984 — Sedymentacja i wczesna diageniza utworów wapienia cechsztyńskiego w Polsce zachodniej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 109: 1–80.
- PIKULSKI L. 1998 — Sedymentacja oraz rozwój litofacjalny utworów dolomitu głównego (Ca₂) w rejonie złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB), zachodnia Polska. *Prz. Geol.*, 46: 426–435.
- PROTAS A. 1996 — Warunki depozycji dolomitu głównego w Polsce zachodniej (na podstawie nowych danych z wierceń). [W:] Rozwój poszukiwań węglowodorów w północno-zachodniej Polsce w okresie 40-lecia działalności Zakładu Poszukiwania Nafty i Gazu w Pile (1956–1996) oraz perspektywy dalszych odkryć. *Mater. Konfer., Piła*.
- PROTAS A. & STEFAŃSKA J. 1990 — Analiza petrolitologiczna utworów dolomitu głównego z otworu wiertniczego Cychry 2. [W:] Dokumentacja wynikowa odwiertu poszukiwawczego Cychry 2, ZPNiG w Pile.
- WAŻNY H. 1975 — Fluor w utworach węglanowych cechsztynu w północnej części Niżu Polskiego. *Kwart. Geol.*, 19: 569–582.