

## Sedymентация oraz rozwój litofacyjny utworów dolomitu głównego (Ca2) w rejonie złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB), zachodnia Polska

Leszek Pikulski\*

Poziom dolomitu głównego (Ca2) cechsztynu od wielu lat jest obiektem poszukiwań naftowych w Polsce. W tym poziomie węglanowym, w rejonie bloku Gorzowa, odkryto już wiele niewielkich złóż ropy naftowej i gazu ziemnego (np. złoża gazu ziemnego: Cychry, Różańsko, Stanowice; złoża ropy naftowej: Jeniniec, Lubiszyn, Namyslin; złożo gazowo-kondensatowe: Zielin). Dopiero wiercenia prowadzone od 1992 r. w zachodniej części bloku Gorzowa doprowadziły do odkrycia w poziomie dolomitu głównego Ca2 złoża gazowo-ropnego Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB), o udokumentowanych zasobach ropy naftowej przekraczających 64 mln t, i gazu ziemnego 29 mld m<sup>3</sup>, co czyni go największym złożem w kraju (Mamczur i in., 1997). Odwiercenie w 1997 r. otworu Gajewo-1 w odległości około 3,5 km od udokumentowanej północno-wschodniej granicy złoża, w którym z utworów dolomitu głównego uzyskano przyrwy ropy naftowej, stwarza możliwość zwiększenia powierzchni i zasobów złoża o około 10%. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie rozwoju sedymtacji utworów Ca2, który uwarunkował utworzenie tego największego w kraju złoża węglowodorów.

### Warunki sedymtacji

Zmienna miąższość utworów pierwszego cyklotemu (PZ1), od około 110,0 m w strefach obniżonych (sedymtacja w warunkach otwartego morza) do ponad 300,0 m na paleowyniesieniach przedcechsztyńskich rozciągających się wzdłuż północnej krawędzi wału wolsztyńskiego, doprowadziła do znacznego zróżnicowania głębokości zbiornika cechsztyńskiego pod koniec sedymtacji tego cyklotemu. Przeważnie sedymtacja dolomitu głównego (Ca2) odbywała się na obszarze bloku Gorzowa, na platformie węglanowej, przyłączonej do ładu (ryc. 1) w trzech strefach sedymtacyjnych różniących się między sobą wykształceniem litofacyjnym (ryc. 2).

**Strefa głębokowodna** (ryc. 3) — makroskopowo utwory dolomitu głównego są tutaj wykształcone jako wapienie ciemnoszare, silnie zailone, niekiedy lekko dolomityczne. Strefę tą można określić jako litofację madstonów zailonych. Dolomit główny osiąga w strefach przywyniesieniowych miąższość około 7 m, a w kierunku basenu cechsztyńskiego przechodzi w łupkę cuchnącą o miąższości 3–5 m.

**Strefa przedbarierowa** (ryc. 4) — występująca u podnóża skłonu platformy siarczanowej cyklotemu PZ1. Najlepiej została rozpoznana wierceńiami w rejonie struktur Sulęcina, Chartowa (Peryt & Dyjaczynski, 1991) oraz Lubiszyna. Utwory dolomitu głównego położonego na skłonie platformy siarczanowej (ryc. 2, 6, 8) zostały nawiercone otworami Lubiszyn-2 i Lubiszyn-3k. Seria tego poziomu węglanowego charakteryzuje się naprzemianległymi wapieniami i dolomitami z wyraźną przewagą utworów dolomito-

wych. Są to z reguły dolomity ciemnoszare nieco zailone typu greinstonów, niekiedy pakstonów. Wapienie są ciemnoszare i czarne typu madstonów.

Miąższość dolomitu Ca2 w tej strefie waha się od 5 do 15 m. Bardzo charakterystyczną cechą dolomitów typu przedbarierowego, na omawianym obszarze, jest występowanie ich w postaci brekcji dolomitowej, wykształconej jako dolomity zlepieńcowo-brekcjowe i oolitowo-onkolitowe. Brekcja jest spojona anhydrytem i solą co powoduje, że właściwości zbiornikowe są niekorzystne. Strukturalnie brekcja ta może być interpretowana jako spływy osadów dolomitowych ze stref barierowych.

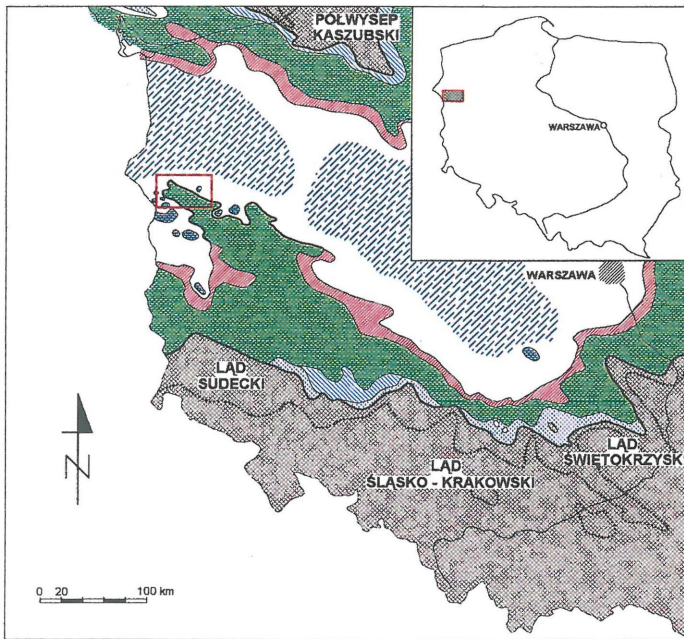
**Strefa barierowa** (ryc. 5) — rozgraniczała strefy otwartego morza i laguny. Strefa ta została dość dobrze rozpoznana licznymi otworami w tym rejonie (ryc. 2). Miąższość utworów dolomitu tej strefy jest bardzo zróżnicowana i waha się od 20 do 100 m. Dolomit główny jest przeważnie wykształcony jako zdolomityzowane greinstony oolitowe. Szczegółowy opis tych utworów znajduje się w dalszej części.

**Rozwój sedymtacji PZ2.** Po osadzeniu się utworów platformy siarczanowej PZ1 nastąpiła zmiana warunków sedymtacji. Początkowo zaczęły się tworzyć utwory węglanowo-siarczanowe. Charakterystyczne jest występowanie ok. 3 m grubości wkładki anhydrytowo-węglanowej w stropowych częściach anhydrytu górnego (A1g). Moment zmiany sedymtacji dokumentuje osadzenie się charakterystycznej dla całego basenu cechsztyńskiego strefy przejściowej dolomitu głównego (poziom A), osiągającej stosunkowo niewielkie miąższości do 5,0 m (ryc. 4, 5). Jest to początek procesów związanych z tworzeniem się platformy węglanowej Ca2. Poziom A z reguły charakteryzuje się słabymi właściwościami zbiornikowymi (tab. 1, ryc. 10, 11).

Po wyrównaniu się warunków depozycyjnych w obrębie platformy siarczanowej, zapanowały dogodne warunki do tworzenia się utworów węglanowych, charakterystycznych dla sedymtacji w strefie wysokiej energii wód (poziom B). Poziom ten charakteryzuje się dobrymi, a miejscami bardzo dobrymi właściwościami zbiornikowymi (tab. 1, ryc. 10, 11), co jest spowodowane występowaniem tutaj facji greinstonów w obrębie, których udział anhydrytu jest nieznaczny. Intensywny rozwój barier węglanowych doprowadził do zróżnicowania planu morfologicznego. Ukształtowały się takie formy, jak bariery pierścieniowe, wstęgowe i półkolisty. Występują one w obrębie platformy węglanowej Ca2 (Pikulski, 1996; Pikulski & Protas, 1997) osiągając zróżnicowaną miąższość. W bezpośrednim sąsiedztwie grzbietów barierowych miąższość jest największa (rzędu 20–30 m, a niekiedy nawet do 50 m), w obszarach zabarierowych zaś maleje do około 10–20 m. System kanałów pływowych, lub też przelewowych dostarczających świeżej wody i materiału organicznego do strefy lagunowej, występuje prawdopodobnie w rejonie położonym na wschód od omawianego (Dzieduszyce–Stanowice).

Obniżenie podstawy falowania spowodowało, iż szczytowe partie dużych form barierowych zostały wynurzone, w

\*PGNiG S.A. Oddz. Biuro Geologiczne GEONAF TA w Warszawie Ośrodek Regionalny w Piile, pl. Staszica 9, 64-920 Piła



Zasięgi: ..... cyklotemu PZ1 ~ cyklotemu PZ2; Strefy paleogeograficzne: [Symbol] ląd [Symbol] obszar brzeżnej sedimentacji terygenicznej [Symbol] obszar brzeżnej sedimentacji węglanowo - anhydrytowej [Symbol] platformy węglanowe [Symbol] równia basenowa [Symbol] strefy wypiężeń o wysokiej aktywności hydrodynamicznej [Symbol] strefy obniżeń o bardzo niskiej aktywności hydrodynamicznej [Symbol] łagodne stoki platformy węglanowych [Symbol] strome stoki platform węglanowych [Symbol] analizowany obszar

Ryc. 1. Paleomorfologia dolomitu głównego wschodniej części basenu europejskiego (wg Głowackiego, 1986 [W:] Wagner, 1994, zmodyfikowana)

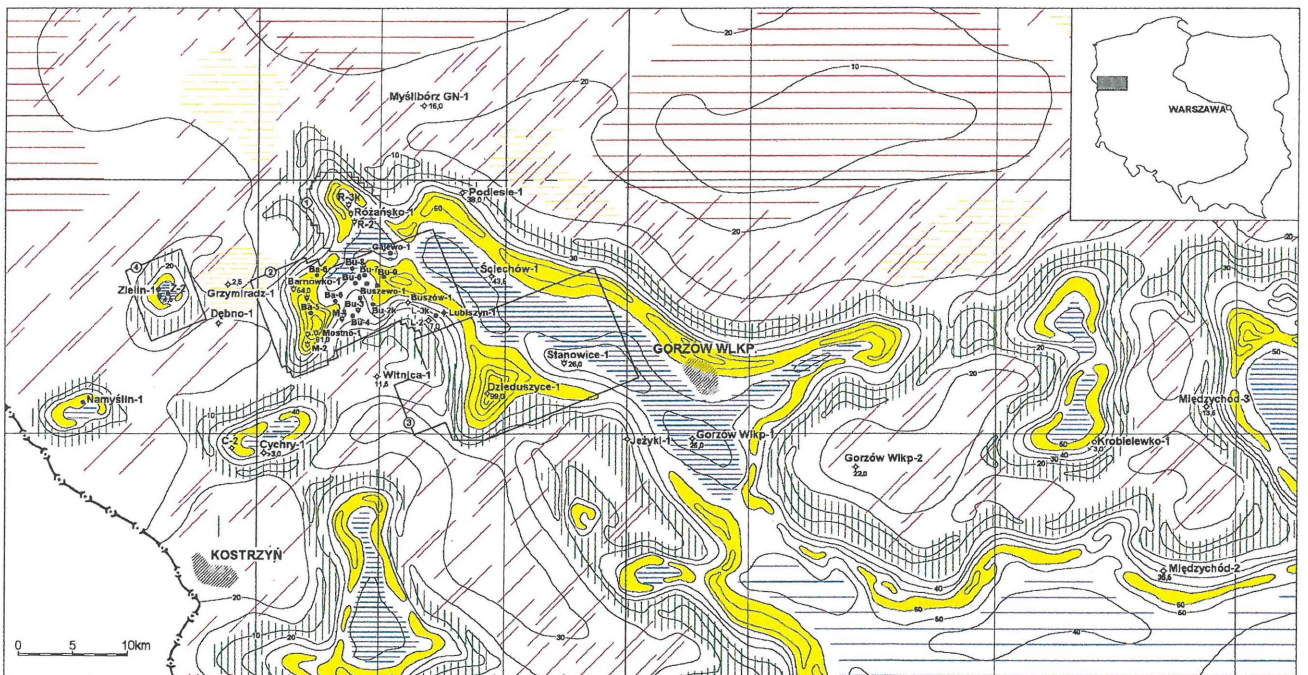
wyniku czego zaczęły na nie oddziaływać procesy związane z działalnością wód meteorycznych, a w konsekwencji tego zaczęły się rozwijać utwory poziomu C. Sedimentacja dolomitu głównego tej strefy odbywała się na dwóch obszarach różniących się charakterem depozycji:

1) rejon Buszewa: sedimentacja związana z formami barierowymi o miąższościach dochodzących do 25 m (Buszewo-2 — 24,5 m; Buszewo-3 — 19,0 m; Buszewo-7 — 17,0 m);

2) rejon Ściechów–Podlesie: sedimentacja związana ze strefą wewnętrzną platformy węglanowej, o miąższościach stosunkowo niewielkich od 5 do 10 m (Ściechów-1 — 5,5 m; Podlesie-1 — 9,0 m).

Przejście z sedimentacji węglanowej Ca2 w siarczanową jest w wymienionych rejonach stopniowe. Szczególnie w dolnych partiach anhydrytu podstawowego obserwować można przewrstwienia anhydrytowo-węglanowe, niekiedy z objawami węglowodorów. Sedimentacja anhydrytu podstawowego (A2) przebiegała spokojnie, a utwory siarczanowe osiągały różne miąższości (tab. 2). Pojawienie się poziomu solno-anhydrytowego w obrębie soli starszej (Na2) wskazuje na zmianę warunków sedimentacji.

**Poziom solno-anhydrytowy soli starszej.** Sedimentacja tego poziomu była związana z zachwianiem się warunków chemicznych wód morskich, wywołanych zmianami klimatycznymi w efekcie tego, w niektórych przypadkach poziom ten występuje bezpośrednio na utworach anhydrytu podstawowego (A2) (otw. wiert. Buszewo-2, 4, 6, 7), tworząc łagodne przejście od sedimentacji siarczanowej do solnej. Natomiast w innych (otw. wiert. Buszewo-8, 9, Gajewo-1), anhydryt podstawowy od omawianego poziomu jest oddzielony cienką wkładką soli kamiennej Na2. Takie wykształcenie jest związane z paleomorfologią po depozycji utworów węglanowych Ca2. Elementy morfologiczne, które stanowiły podniesienia o dużych amplitudach (prawdopodobnie grzbiety barierowe) są pozbawione poziomu solnego, natomiast w strefach obniżonych (zabarierowych), lub salinach panowały dogodne warunki do osadzania się utworów solno-siarczano-



Ryc. 2. Mapa litofajalna utworów dolomitu głównego w rejonie bloku Gorzowa

wych. W tabeli 2 przedstawiono miąższości poszczególnych poziomów litostratygraficznych.

### Rozwój litofacjalny strefy barierowej dolomitu głównego

Analizę rozwoju litofacjalnego utworów dolomitu głównego przeprowadzono na podstawie obserwacji makroskopowych zmienności litologicznej, jak również na podstawie wcześniej wykonanych badań mikroskopowych (Depowska, 1996; Protas, 1993–1998).

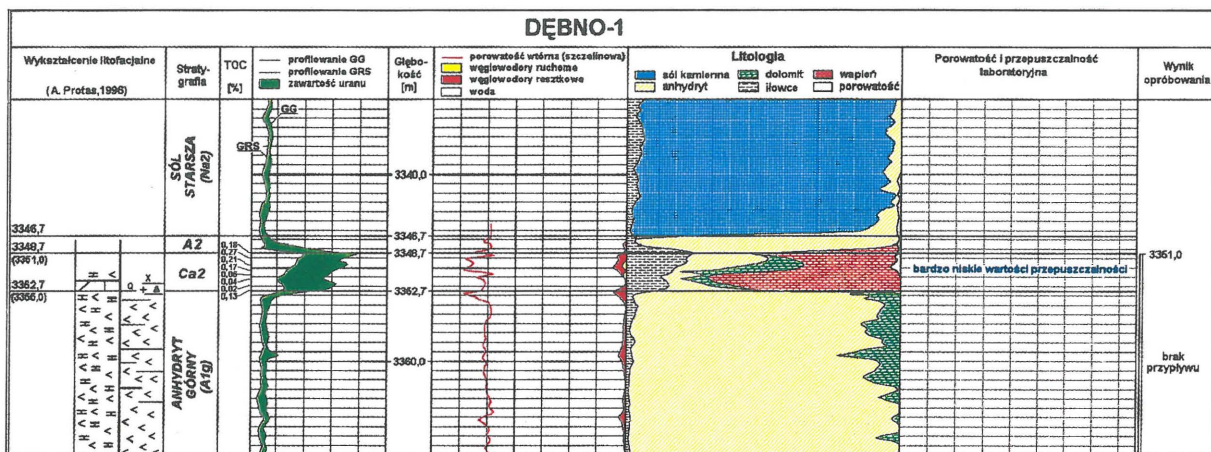
Opisane powyżej warunki sedymentacyjne cyklotemu PZ1 warunkowały rozwój utworów dolomitu głównego. Na badanym obszarze utwory te są reprezentowane głównie przez utwory strefy barierowej. Pomimo znacznej odległości pomiędzy analizowanymi otworami wiertniczymi (ryc. 6), w każdym rejonie można wyróżnić następujące strefy litofacjalne o odmiennych warunkach sedymentacyjnych (ryc. 4, 5), i tak:

**Poziom A** występuje w dolnej części Ca2. Reprezentowany jest on przez dolomity krystaliczne. Silnie rozwinięte procesy rekryystalizacji, rozpuszczania i wtórnej anhydryzacji

zacierają pierwotne cechy strukturalne i teksturalne tego poziomu. Sporadycznie są widoczne relikty onkoidów i intraklastów. W spągowej części tego poziomu występują cienkie wkładki anhydrytu, co wskazuje na bardzo powolną zmianę warunków sedymentacji. W warstewkach tych niekiedy obserwować można mikrostylolity, zawierające substancję bitumiczną. Udział pierwotnego anhydrytu jest znaczny.

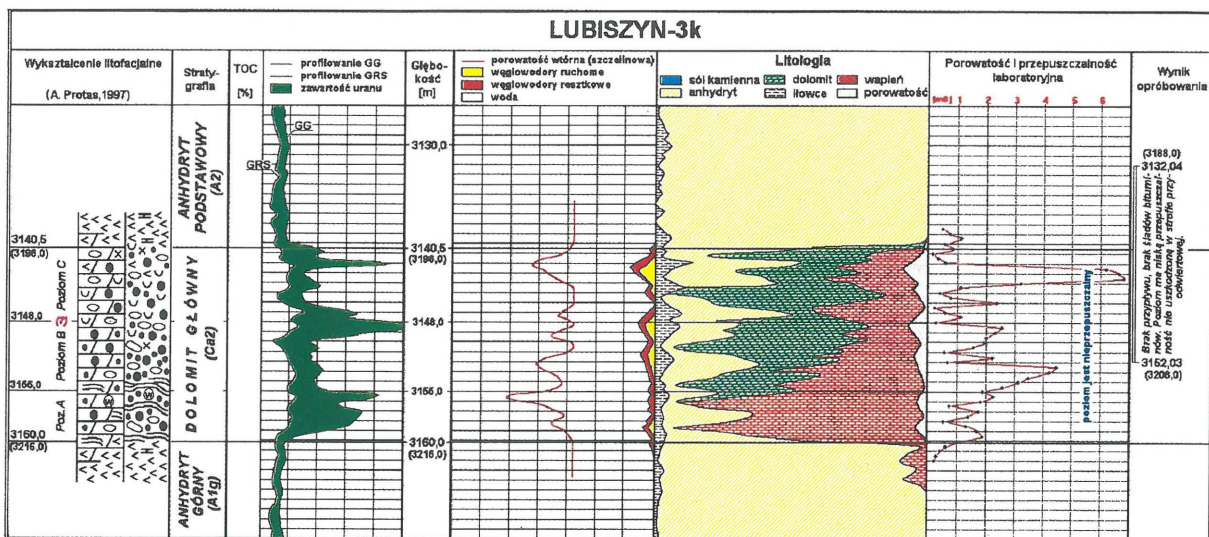
**Poziom B** występuje w środkowej części Ca2. Jest on wykształcony jako greinstony gruzełkowo-onkoidowe, greinston organodetrytyczny, madstony gruzełkowo-onkoidowe nieznacznie impregnowany anhydrytem. Czasem występują również greinstony onkoidowe z licznymi intraklastami. Neomorfizm agradacyjny, jak również rozpuszczanie i wtórna cementacja bardzo często zacierają pierwotne cechy strukturalne i teksturalne skały, lecz w mniejszym stopniu niż ma to miejsce w poziomie C. Cement spartytowy i siarczanowy stanowi znikomą część objętości przestrzeni międzyziarnowej. Widoczne są również pustki o charakterze kawern lub szczeliny o różnej rozwartości i zazwyczaj wypełnione wtórnym anhydrytem.

**Poziom C** występuje w górnej części Ca2. Reprezen-

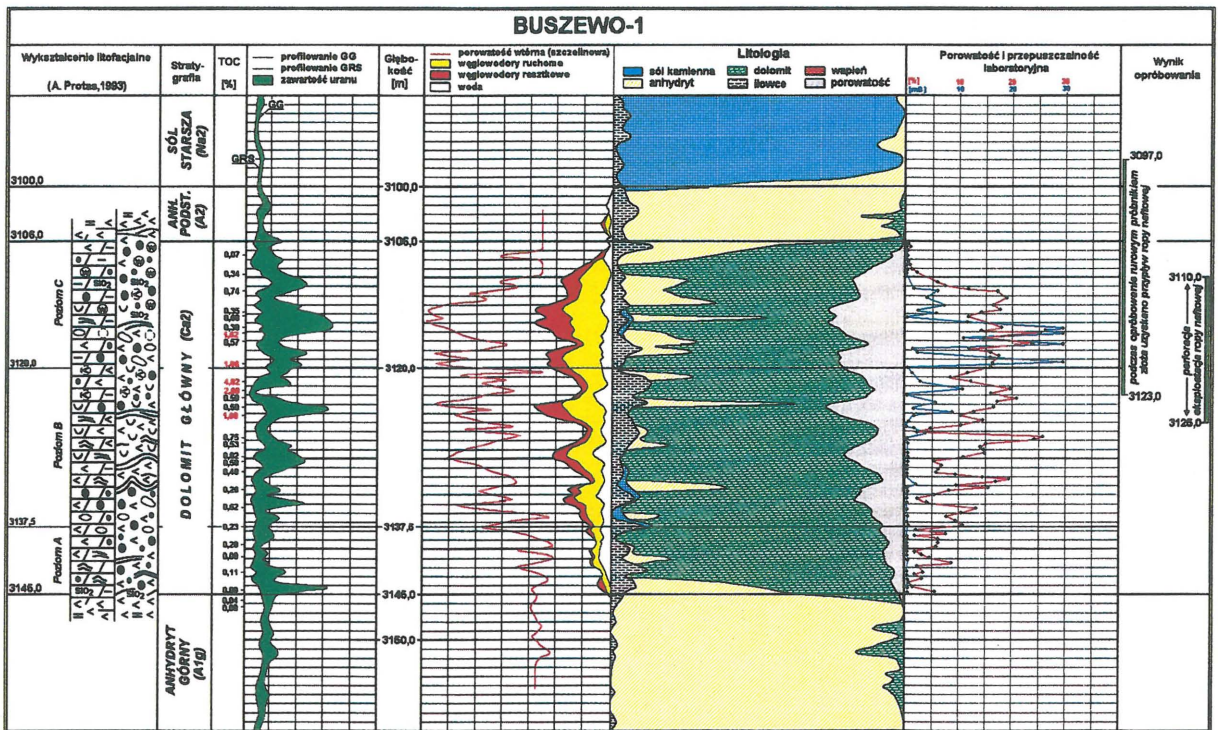


Wykształcenie litofacjalne: [symbol] dolomity [symbol] dolomity smugowane < anhydryt = sól kamienna ● onkoidy i ooidy ○ peloidy ○ intraklasty ∪ bioklasty ≈ stromatolity SiO<sub>2</sub> impregnacje krzemionkowe ◻ kwarc detrytyczny ⊕ rozpuszczanie i wtórna cementacja ⊗ wadoidy ○ relikty globoidów x rekryystalizacja ▲ minerały femiczne

Ryc. 3. Syntetyczny profil litologicznofacjalny utworów dolomitu głównego z otworu wiertniczego Dębno-1



Ryc. 4. Syntetyczny profil litologicznofacjalny utworów dolomitu głównego z otworu wiertniczego Lubiszyn-3k (objaśnienia przy ryc. 3)



Ryc. 5. Syntetyczny profil litologicznofacjalny utworów dolomitu głównego z otw. wiert. Buszewo-1; objaśnienia przy ryc. 3

Tab. 1. Rozkład właściwości zbiornikowych Ca2 w strefie Buszewa (na podstawie wybranych otworów wiertniczych)

Odwiert	Podział litofacjalny	Porowatość [%]		Przepuszczalność [mD]	
		od-do	średnia	od-do	średnia
Buszewo-1	poziom A	0,14-17,05	4,44	0,005-1,003	0,267
	poziom B	2,21-26,86	12,91	0,001-29,122	4,864
	poziom C	1,18-9,03	4,87	0,001-0,146	0,039
	<b>Razem</b>	0,14-26,86	10,46	0,001-29,122	3,472
Buszewo-2	poziom A	0,36-1,30	0,87	0,0486-0,428	0,235
	poziom B	0,22-21,75	4,07	0,0088-2,293	0,437
	poziom C	0,003-22,32	5,48	0,0067-2,508	0,616
	<b>Razem</b>	0,03-22,32	4,54	0,0067-2,5087	0,5172
Buszewo-3	poziom A	0,15-10,12	5,00	0,009-25,638	4,220
	poziom B	4,23-32,97	11,13	0,020-37,913	5,701
	poziom C*	6,23-29,68	19,27	0,246-181,402	23,028
	<b>Razem</b>	0,149-32,97	13,074	0,009-181,402	10,983
Buszewo-7	poziom A	0,81-17,29	8,62	0,009-47,734	4,714
	poziom B	4,49-24,87	16,48	0,026-52,864	8,862
	poziom C	0,15-7,93	3,49	0,002-27,673	5,246
	<b>Razem</b>	0,15-24,00	10,130	0,002-52,864	6,098
Buszewo-8	poziom A	6,07-18,49	11,39	0,015-13,529	5,158
	poziom B	2,59-23,79	16,07	0,104-178,151	20,034
	poziom C**	0,71-19,74	9,75	0,006-219,013	23,536
	<b>Razem</b>	0,71-23,79	12,77	0,006-219,013	20,005
Gajewo-1	poziom A	3,02-16,40	7,78	0,024-0,695	0,432
	poziom B	3,44-28,49	13,45	0,030-129,657	11,837
	poziom C***	3,14-26,01	15,35	0,235-64,35	29,550
	<b>Razem</b>	3,02-28,49	13,86	0,024-129,657	10,010

\* — w tym trzy próbki skał ze szczelinami nie uwzględnione w wartości średniej (482,4; 446,4; 311,2 mD); \*\* — w tym trzy próbki skał ze szczelinami nie uwzględnione w wartości średniej (332,1; 384,6; 640,9 mD); \*\*\* — w tym jedna próbka skały ze szczeliną nie uwzględniona w wartości średniej (199,4 mD)

towany jest on przez zrekrystalizowane organodetrytyczne greinstony onkoidowo-intraklastowe z dużą ilością cementów wadycznych, pakstony onkoidowo-peloidowe z silnie zaznaczonymi wpływami procesów wadycznych, biolityty algowe, war-

stewkowe oraz biolaminoidy z obfitą impregnacją anhydrytową. Powszechnie jest zjawisko rozpuszczania węglanów i wtórna cementacja siarczanowa. Cechą charakterystyczną dla tej strefy jest bardzo dobrze rozwinięty wpływ zjawisk wadycznych (cementy i powłoki wadyczne, wadoidy) zacierających pierwotne cechy strukturalne i teksturalne skały.

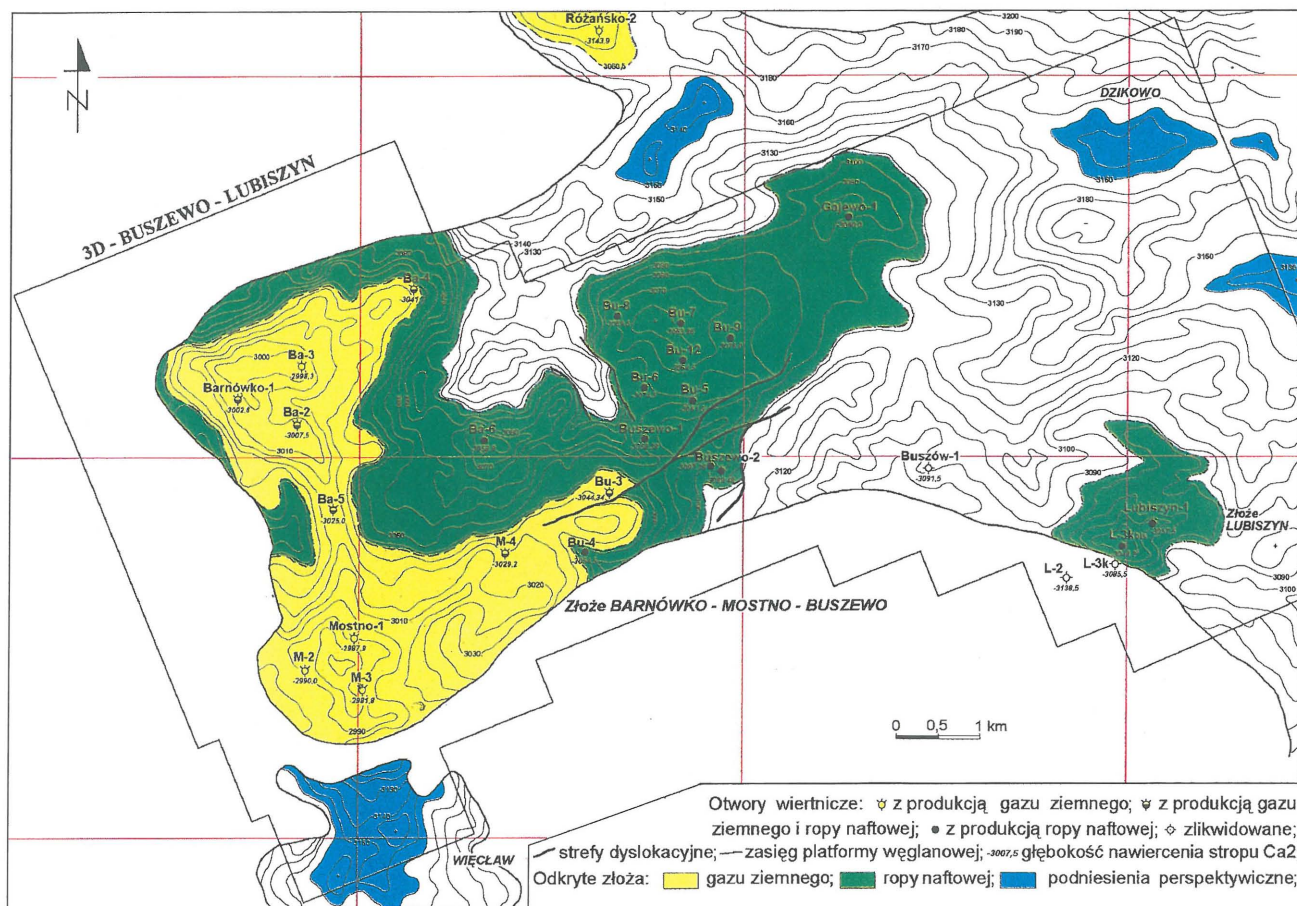
Wyznaczone powyżej poziomy różnią się warunkami sedimentacji, charakteryzując rozwój platformy węglanowej Ca2. Można je korelować na całym obszarze bloku Gorzowa (Pikulski & Protas, 1997).

#### Charakterystyka strukturalna rejonu złoża BMB

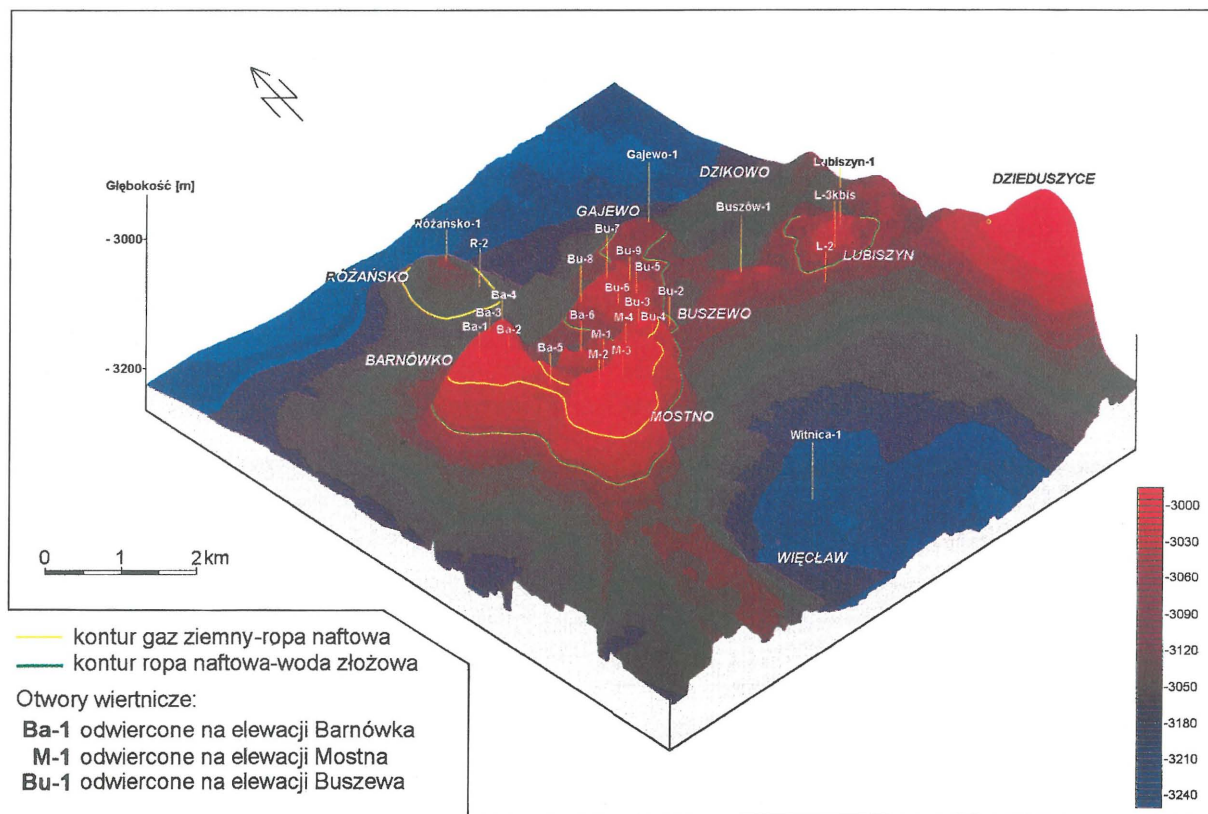
Przebieg i morfologia horyzontu refleksyjnego Ca2str\*\* można śledzić dzięki dobrej jakości materiałów pochodzących ze zdjęcia sejsmicznego 3D. Wstępne informacje o budowie strukturalnej rejonu wniosły: *Mapa bezwzględnych sumarycznych wartości amplitud w stropie i spągu serii zbiornikowej dolomitu głównego-Ca2 composite*, *Mapa średnich wartości porowatości w interwale 10 ms poniżej Ca2str* oraz *Mapa średnich wartości impedancji akustycznej w interwale Ca2str-Ca2sp\*\*\** (Górski & Treła, 1996). Przedstawiły one poprzez bezwzględne wartości amplitud sygnału sejsmicznego w stropie i spągu dolomitu głównego, rozkład porowatości in-

\*\*Ca2str — strop utworów dolomitu głównego

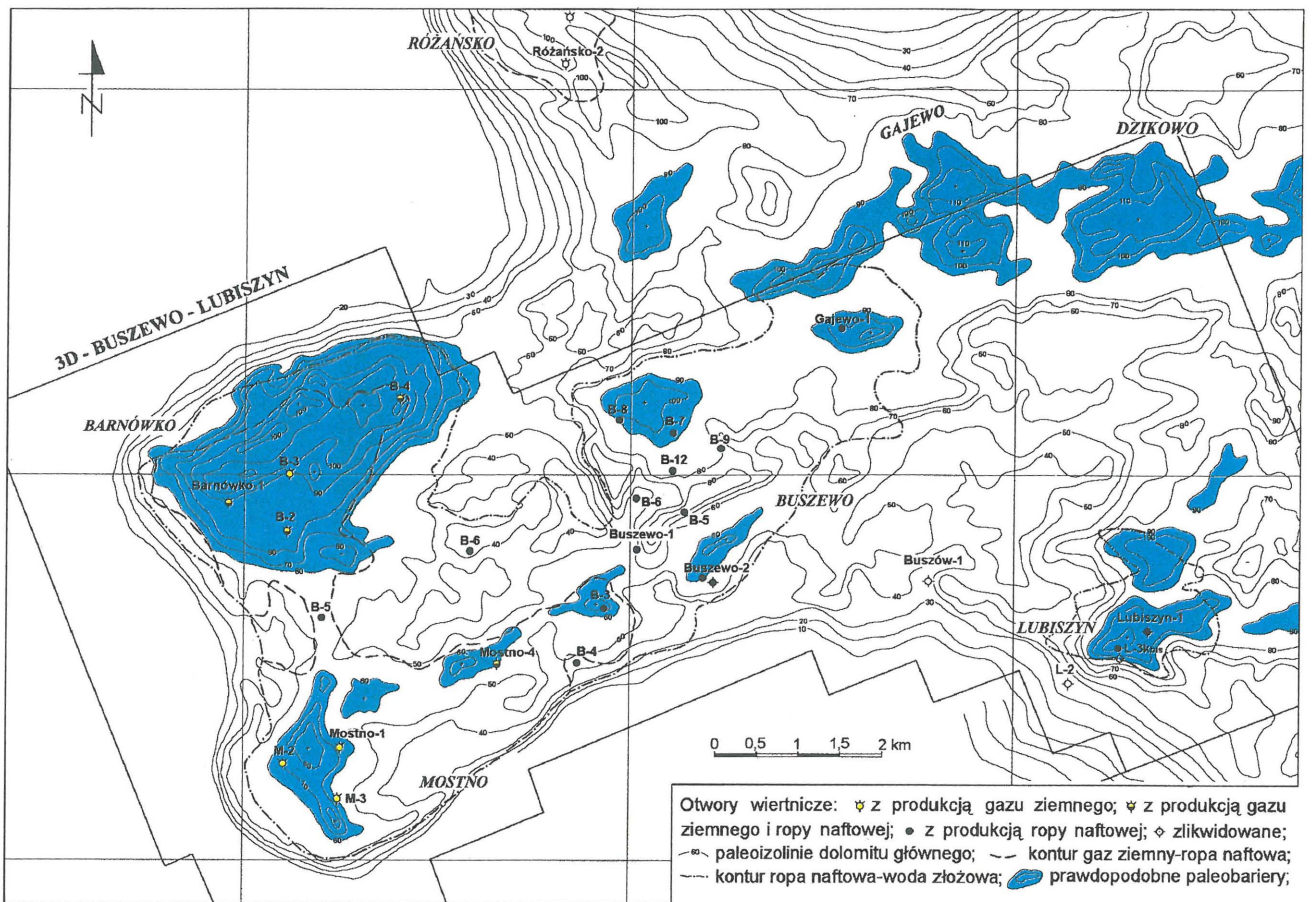
\*\*\*Ca2sp — spąg utworów dolomitu głównego



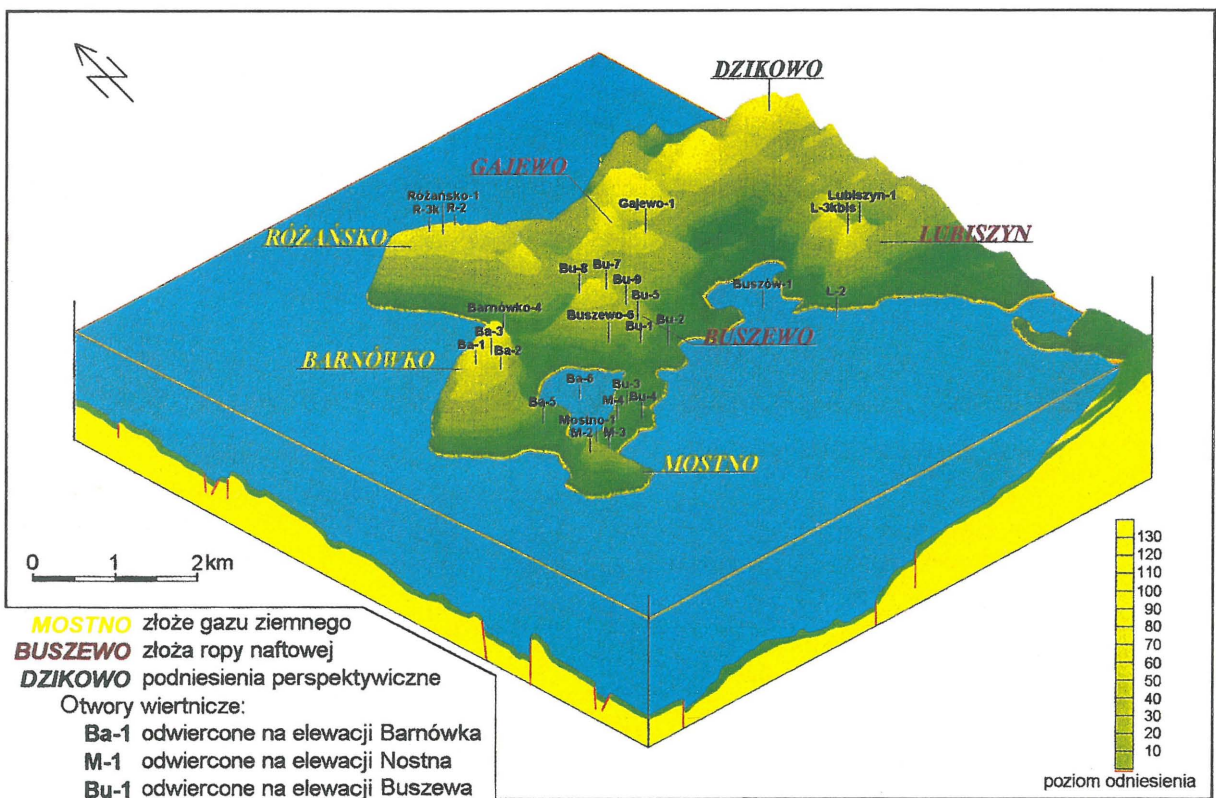
Ryc. 6. Mapa strukturalna stropu utworów dolomitu głównego w rejonie złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB)



Ryc. 7. 3D-blok; mapa stropu utworów dolomitu głównego w rejonie złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB)



Ryc. 8. Mapa paleomorfologii utworów dolomitu głównego w rejonie złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB)



Ryc. 9. 3D-blok; mapa paleomorfologii utworów dolomitu głównego w rejonie złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB)

wersyjnych na tle mapy głębokościowej tego poziomu (Górski & Trela, 1996, 1997). Na podstawie wyżej wymienionych map uzupełnionych o wyniki otworów odwierconych na złożu BMB, zespół specjalistów z PGNiG S.A. (Oddz. Geofizyka Toruń), na początku 1998 r. opracował *Mapę porowatości inwersyjnych w interwale Ca2str–Ca2sp* (Górski i in., 1998) (ryc. 11). Na jej podstawie okazało się, że najkorzystniejsze właściwości zbiornikowe korelują się ze strefą przebiegu głównego grzbietu bariery oolitowej Ca2 wyznaczanej na drodze analizy paleostrukuralnej (ryc. 8, 9). Te dwa niezależne opracowania, wzajemnie się uzupełniając, wyznaczają pogrążoną w trakcie przebudowy kimeryjskiej część bariery węglanowej. Ze strefą tej bariery wiążą się bowiem najkorzystniejsze właściwości zbiornikowe i możliwości akumulacji węglowodorów zarówno w pulapkach typu strukturalnego, jak i litologicznego.

Poziom dolomitu głównego na współczesnym obrazie strukturalnym wykazuje łagodne zapadanie w kierunku północno-wschodnim (ryc. 6, 7). Na wyniesieniu Barnówka i Mostna został nawiercony na głębokości 3000,0 m, na wyniesieniu Buszewa na głębokości 3070 m, a na podniesieniu Gajewa na głębokości 3090 m. W północnej części analizowanego rejonu utwory dolomitu głównego zapadają do głębokości 3200 m.

Takie regionalne zapadanie spowodowało, iż migrujące węglowodory napotkały na swej drodze barierę litologiczną (południowa krawędź platformy węglanowej), która stanowiła zamknięcie litologiczne od strony południowo-zachodniej. Dokumentują to odkryte złoża BMB oraz Lubiszyn. Wyjątkiem jest złożo gazu ziemnego Różańsko, które jest usytuowane na północnym przedpolu platformy węglanowej. Podczas sedymentacji utworów dolomitu głównego w rejonie Różańska istniało izolowane podniesienie powstające w strefie przedbarierowej. W efekcie czego kontur tego złoża znajduje się na głębokości 3160,5 m, a więc zdecydowanie niżej niż kontur stwierdzony na złożu BMB (3107,0 m) czy też na złożu Lubiszyn (3085,0 m). Stwierdzenie występowania różnych konturów złóż położonych w bliskim sąsiedztwie (ryc. 6) wskazuje, iż mamy tutaj do czynienia z licznymi granicami o charakterze litologicznym występującymi w obrębie platformy węglanowej (Pikulski, 1996; Górski & Trela, 1997; Pikulski & Protas, 1997). Interesująca pod względem złożowym na omawianym obszarze jest strefa spływów osadowych w rejonie Węclawia. Strop utworów dolomitu głównego występuje tam na głębokości rzędu od 3120 do 3160 m.

Rokujące początkowo duże nadzieje złożowe w analizowanym rejonie podniesienie Dzikowa (ryc. 6, 8) po wynikach otworu Gajewo-1 wydaje się na obecnym etapie rozpoznania litofacjalnego utworów dolomitu głównego nie mieć uzasadnienia. Stwierdzenie rozprzestrzeniania się facji greinstonów od Buszewa przez rejon Gajewa w kierunku Dzikowa, bez wyraźnej zmiany facjalnej (Pikulski & Protas, 1997), skłania do postawienia tezy, iż cała ta strefa charakteryzuje się dobrymi własnościami zbiornikowymi. Regionalne zapadanie platformy węglanowej w kierunku północno-wschodnim oraz stwierdzony otworem Gajewo-1 kontur ropa naftowa-woda złożowa może wskazywać, iż głębiej położone podniesienie Dzikowo (3150 m) może znajdować się w strefie występowania wody złożowej.

#### Charakterystyka paleomorfologii utworów dolomitu głównego

Sukcesywne rozwiercanie największego w Polsce złoża gazu ziemnego i ropy naftowej (BMB) oraz wykorzystanie najnowszych technik komputerowych umożliwiło przeprowadzenie szczegółowej analizy paleostrukuralnej tego re-

jonu. Spagowa partia poziomu C, odznaczającego się maksymalną koncentracją cementów wadycznych wraz z występującym ponad anhydrytem podstawowym (A2) poziomem solno-anhydrytowym jest jednym z ważniejszych wyznaczników paleomorfologii i warunków sedymentacji utworów dolomitu głównego.

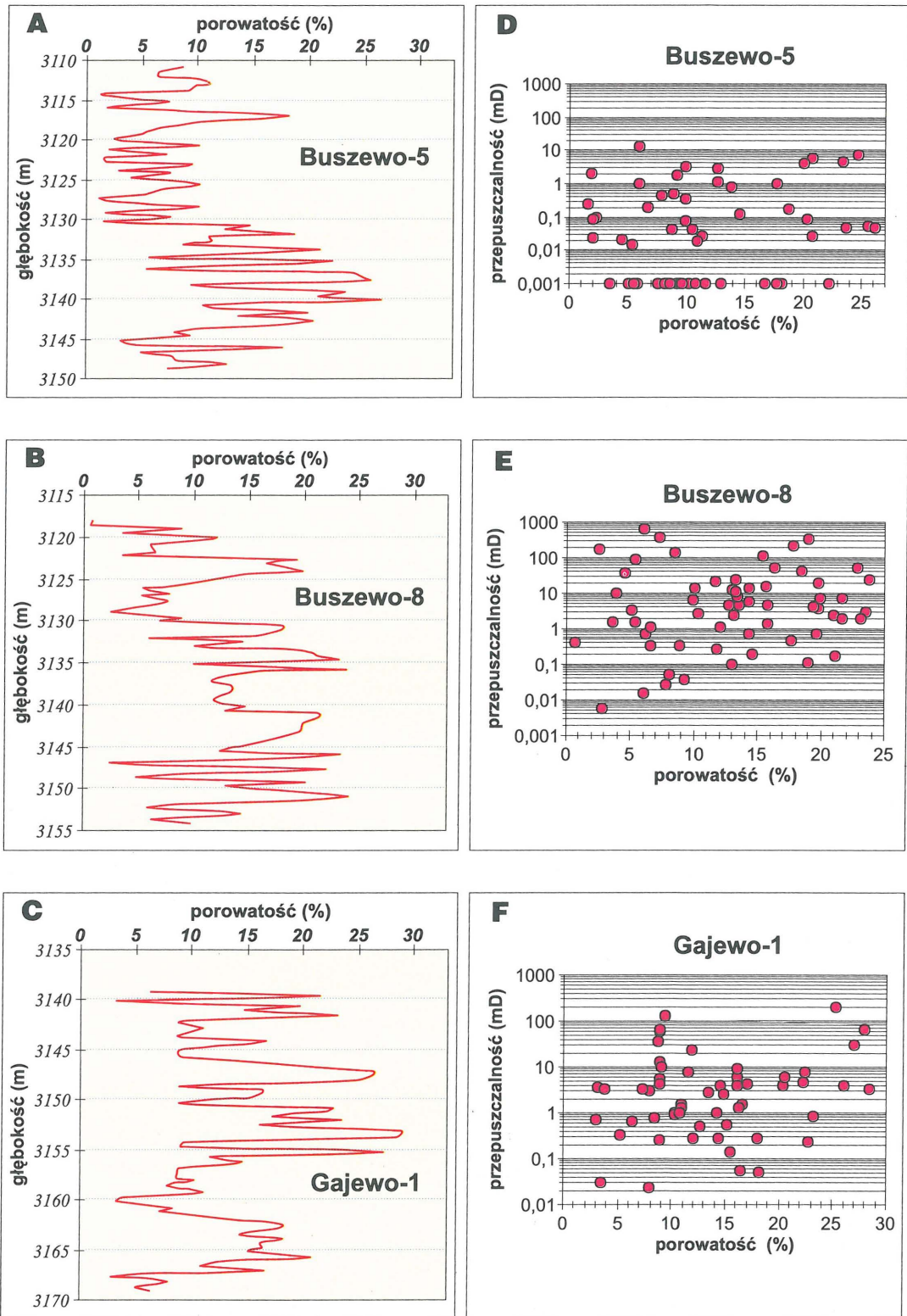
Bariera węglanowa dolomitu głównego rozwijała się sukcesywnie. Obserwowany obecnie obraz konfiguracji stropu tego poziomu (ryc. 6, 7) różni się od przedstawionego na mapie paleostrukuralnej (ryc. 8, 9). Wynika z niej, iż główny grzbiet bariery (pierwotnie zbudowany z sypkich piasków węglanowych) przebiegał wzdłuż północnej krawędzi platformy siarczanowej. Zasadniczo grzbiet tej bariery rozwijał się od podniesienia Barnówka ku wschodowi, przebiegając w bezpośrednim sąsiedztwie otworów Buszewo-8, Gajewo-1 i dalej między otworami Ściechów-1 i Podlesie-1. W okolicach Gorzowa Wlkp. rozdziela się on na dwa podrzędne grzbiety, które na południe do otworu Gorzów Wlkp.-1 łączą się ponownie ze sobą (Pikulski, 1996; Pikulski & Protas, 1997). W celu wizualnego zobrazowania morfologii basenu dolomitu głównego pod koniec jego sedymentacji wykonano 3D-blok (ryc. 9). Widocznych jest tutaj wiele charakterystycznych elementów morfologicznych, związanych z sedymentacją platformy węglanowej (Pikulski, 1996). Mamy tutaj do czynienia prawdopodobnie z barierami półkolistymi (Barnówko) lub wstęgowymi (Gajewo–Dzikowo), odznaczającymi się wysoką dynamiką środowiska depozycji.

Innymi formami barierowymi wyinterpretowanymi na podstawie analizy paleostrukuralnej jest ciąg barier wewnętrznych leżący wzdłuż południowej krawędzi platformy siarczanowej PZ1 (Mostno–Buszewo–Lubiszyn i dalej Dzikowice–Stanowice–Raclaw). W centralnej części, w strefie lagunowej wyinterpretowano liczne małe podniesienia, swym wykształceniem przypominające bariery wewnętrzne rozwijające się w strefie lagunowej.

Serie dolomitu głównego nawiercone w otworach wiertniczych Buszewo-7 i 8 można zaliczyć do utworów barierowych, lecz ich onkoidowa natura wskazuje, iż powstawały w nieco głębszej strefie niż typowe piaski oolitowe. Można więc przypuszczać, iż w niedalekiej odległości od wymienionych otworów znajdował się główny grzbiet paleobarierowej węglanowej (ryc. 8, 9). Porównując wartość porowatości i przepuszczalności (tab. 1, ryc. 10, 11) z otworów odwierconych w obrębie złoża BMB (strefa Buszewa), najlepsze właściwości zbiornikowe stwierdzono w utworach dolomitu głównego w rejonie otworów wiertniczych Buszewo-8 i

Tab. 2. Miąższość poziomów litostratygraficznych

Nazwa otworu	Dolomit główny	Anhydryt podstawowy	Sól starsza dolna	Poziom solno-anhydrytowy
Buszewo-1	39,0	6,0	–	–
Buszewo-2	46,5	13,5	–	80,0
Buszewo-3	38,5	5,0	–	–
Buszewo-4	45,0	21,0	–	24,0
Buszewo-5	38,3	4,0	–	14,0
Buszewo-6	37,0	4,5	–	19,0
Buszewo-7	32,5	6,5	–	35,0
Buszewo-8	35,5	5,5	19,5	27,0
Buszewo-9	35,0	9,0	19,0	14,0
Gajewo-1	31,0	8,0	19,0	17,0



Ryc. 10. Rozkład własności petrofizycznych utworów dolomitu głównego na wybranych otworach z rejonu złoża BMB (A, B, C — zależność porowatości od głębokości; E, F, G — zależność przepuszczalności od porowatości)

Gajewo-1, mimo iż na mapach strukturalnych i facjalnych obszar ten znajduje się w strefie lagunowej.

#### Właściwości zbiornikowe

Dla utworów dolomitu głównego bardzo charakterystyczne są duże zmiany właściwości zbiornikowych zarówno w kierunku poziomym, jak i w pionowym. Zmiany te są

widoczne nawet w obrębie jednego złoża (np. BMB). Pory stanowiące pierwotne przestrzenie pomiędzy ziarnami utworów węglanowych  $\text{Ca}_2$  są bardzo rzadko zachowane. W skałach tych dominuje zazwyczaj porowatość po rozpuszczonych ziarnach węglanowych, tworzących nieregularne próżnie przypominające kawerny, rzadziej otwarte szczeliny. Daleko posunięte procesy wtórnej cementacji i zabliznianie pierwotnych por, wywołane przez wtórną rekrystalizację anhydrytu,



doprowadziły do zatarcia dobrych (tak można przypuszczać na podstawie pierwotnej porowatości piasków węglanowych) właściwości zbiornikowych.

Powszechny brak wczesnych cementów w greinstonach świadczy o tym, że nie uległy one kompaktacji wadycznej, dlatego mogła zachować się pierwotna porowatość międzyziarnowa. Warstwy, które uległy wtórnej cementacji, wykazują niską przepuszczalność i stanowią bariery fizyczne dla migracji lateralnej węglowodorów. Dogodne warunki do zachowania pierwotnej porowatości, występują w poziomach greinstonowych, rzadziej madstonowych i pakstonowych. Opisany wcześniej poziom B jest zbudowany prawie wyłącznie z greinstonów, poziom C natomiast jest reprezentowany przez greinstony z dobrze widocznymi powłokami i cementami wadycznymi. Analizując rozkład porowatości inwersyjnych (specjalistyczna analiza amplitudy fali sejsmicznej — Górski i in., 1998), przedstawionych na ryc. 11 uzupełniony badaniami laboratoryjnymi rdzeni (tab. 1 i ryc. 10), wnioskować można, iż od otworu Buszewo-1 w kierunku Buszewo-8 i Gajewa-1 oraz dalej w kierunku podniesienia Dzikowo, właściwości zbiornikowe powinny się polepszać (ryc. 8, 11).

Właściwości zbiornikowe utworów dolomitu głównego, otaczających strefy barierowe, charakteryzują się mniejszymi wartościami, co zazwyczaj wynika z rodzaju materiału, które je budują. Dobre uszczelnienie utworów dolomitu głównego przez poziomy nadległy (anhydryt podstawowy A2 i sole starsze Na2) ograniczyły możliwość migracji węglowodorów w pionie.

W efekcie tego nagromadzone węglowodory pozosta-

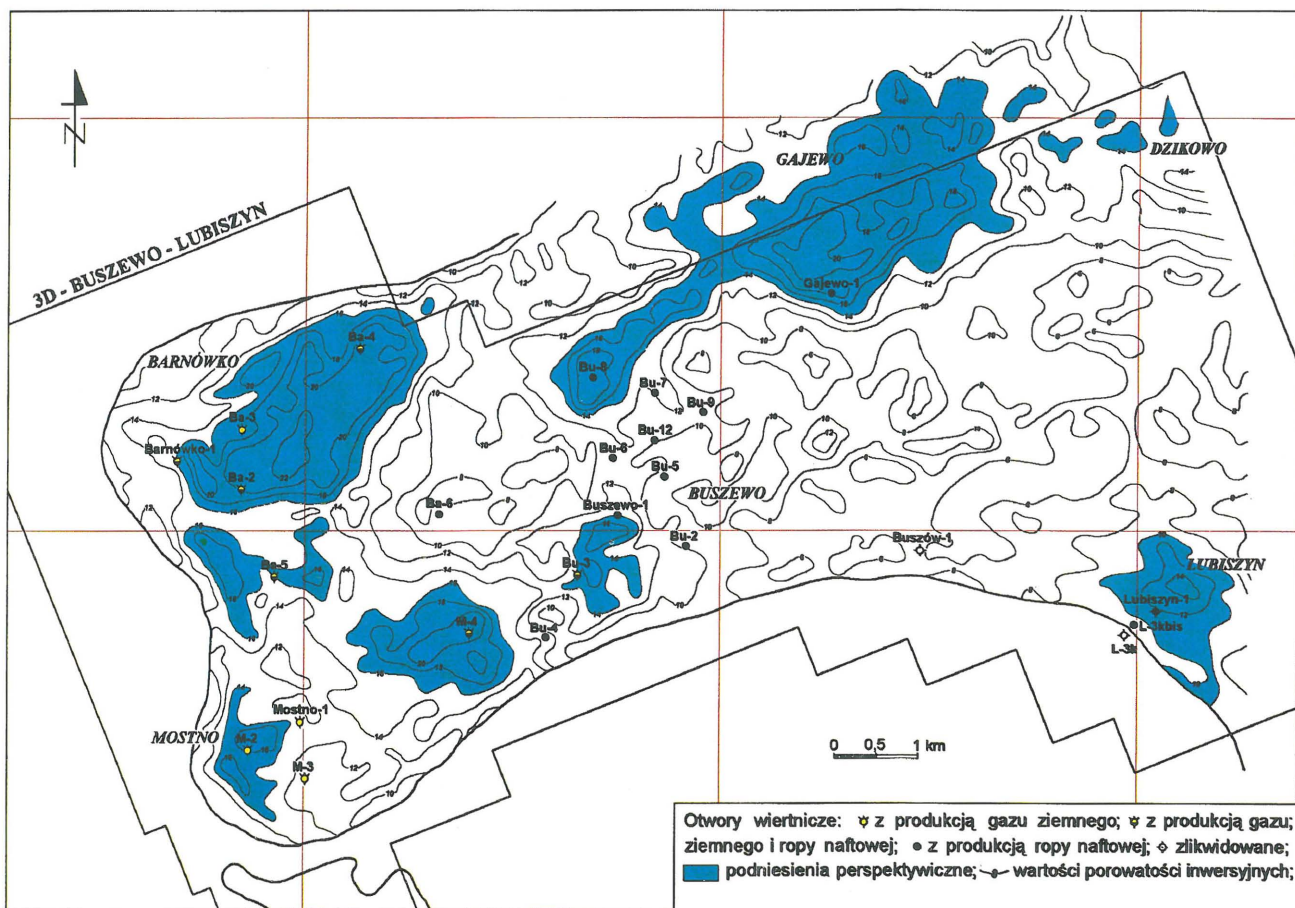
wały w potencjalnych pułapkach litologiczno-strukturalnych, które utworzyły się w obrębie bariery węglanowej Ca2. Ta sytuacja utrzymała się aż do czasu przebudowy kimeryjskiej, kiedy to doszło do ich pogrążenia.

### Warunki akumulacji węglowodorów

W skład utworów dolomitu głównego badanego obszaru wchodzi skały uznane za serię macierzystą, jak i zbiornikową dla węglowodorów, a jej charakter jest uzależniony od wykształcenia litofacjalnego. Badania geochemiczne, wykonane w ostatnim czasie, w tym rejonie wykazały, iż węglowodory występujące w dolomicie głównym są syngenetyczne, przy czym potencjał generacyjny węglowodorów wykazują zarówno facje głębokowodne, jak i facje barierowe.

Z wykonanych analiz geochemicznych utworów dolomitu głównego (Grelowski, 1994–1998) wynika, że średnia zawartość TOC wynosi ok. 0,27 (0,01÷0,94%), natomiast średnia zawartość BEX ok. 0,451 (0,085÷1,047%). Zawartość kerogenu waha się w granicach 0,007÷0,532%.

W próbkach o zawartości TOC>0,3%, wykonano w IGNiG w Krakowie, badania substancji organicznej metodą Rock-Eval (Such, 1997). Na ich podstawie stwierdzono, iż w skałach macierzystych dominuje kerogen typu III, który charakteryzuje się wysokim stopniem utlenienia. Substancja organiczna poziomu Ca2, występująca w tym rejonie, wykazuje stopień dojrzałości w zakresie refleksyjności wityritu  $R_0=0,7\pm 0,9\%$ , co odpowiada maksymalnej możliwości generowania węglowodorów ciekłych (tzw. okno ropne).



Ryc. 11. Mapa porowatości inwersyjnych w interwale Ca2str–Ca2sp (wykonana na podstawie opracowania: M. Górski i in., 1998)

Jak można sądzić, na podstawie charakteru materii organicznej oraz rozwoju diagenetycznego, proces migracji i akumulacji węglowodorów, w obrębie dolomitu głównego zachodził co najmniej w dwóch fazach. Pierwsza miała miejsce przed kimeryjską przebudową tektoniczną, mając zasadnicze znaczenie w uformowaniu się obecnych złóż węglowodorów. Rozwijające się zjawiska diagenetyczne (głównie anhidrytyzacja zrębu skalnego oraz rozpuszczanie i wtórna cementacja) zachodzące w utworach węglanowych Ca<sub>2</sub>, powodowały powolne zabliznianie się pierwotnych pustek, stanowiących doskonałe drogi migracji. Pierwsza migracja zakończyła się przed przebudową kimeryjską, kiedy to też doszło do zabliznienia por anhidrytem. Taki rozwój mógł doprowadzić do powstania większości pułapek typu litologicznego, które pokrywają się ogólnie biorąc z podniesieniami depozycyjnymi. Druga faza migracji była związana z uformowaniem się obecnych pułapek strukturalnych i rozpoczęła się po przebudowie kimeryjskiej. Pograżone zostały wówczas wcześniej utworzone wyniesienia takie jak: Buszewo, Gajewo, Dzikowo (ryc. 8, 9). Migracja węglowodorów na badanym obszarze przyjęła generalnie kierunek zgodny z regionalnym nachyleniem obszaru czyli z północnego-wschodu na południowy-zachód, wypełniając nowo utworzone formy strukturalne. Nie doszło jednak prawdopodobnie do rozszczelnienia pierwotnych pułapek, które miały szczelne litologiczne zamknięcie strukturalne oraz były uszczelnione grubymi kompleksami utworów anhidrytowych i solnych.

Podniesienia depozycyjne, wyznaczone na drodze analizy paleostrukturalnej (ryc. 8), nie manifestują się obecnie jako podniesienia strukturalne (ryc. 6), lecz stanowią pułapki litologiczne leżące niżej niż powstałe po przebudowie kimeryjskiej. W pułapkach tych można oczekiwać odkrycia dużych nagromadzeń węglowodorów.

### Wnioski końcowe

Przeprowadzone badania utworów dolomitu głównego w rejonie największego w Polsce złoża gazu ziemnego i ropy naftowej Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB) pozwalają stwierdzić, że:

— na omawianym obszarze utwory dolomitu głównego zapadają dość łagodnie w kierunku północno-wschodnim, a odkryte dotychczas złoża ropy naftowej i gazu ziemnego są związane z elewacjami Barnówka, Mostna, Buszewa, Gajewa, Różańska oraz Lubiszyna;

— występujący tutaj wąski i stromy stok platformy węglanowej mający charakter skarpy, powoduje że w jego obrębie występują brekcje osuwiskowe;

— na zewnętrznym skraju platformy, od strony otwartego morza istniał prawdopodobnie pas płycizn zbudowanych głównie z piasków oolitowych, które odgrywały rolę barier. Na zapleczu barier węglanowych tworzyły się w spokojniejszych wodach, osady z większym udziałem mułu węglowego. W obrębie lagun spodziewać się można strefy lokalnych spłyceń, reprezentowanych przez mielizny i ławice oolitowe;

— w obrębie platformy węglanowej sekwencja depozycyjna Ca<sub>2</sub> jest złożona z trzech poziomów osadowych (poziom

A, B, C), powstałych w odmiennych warunkach sedymentacyjnych;

— utwory dolomitu głównego charakteryzują się dobrymi właściwościami zbiornikowymi. W skałach tych dominuje porowatość po rozpuszczonych ziarnach węglanowych, tworzących nieregularne próżnie przypominające kawerny, rzadziej otwarte szczeliny;

— jak można sądzić na podstawie charakteru materii organicznej oraz rozwoju procesów diagenetycznych migracja i akumulacja węglowodorów w obrębie utworów dolomitu głównego zachodziła co najmniej w dwóch fazach — przed oraz po przebudowie kimeryjskiej;

— występujące podniesienia w poziomie dolomitu głównego wyznaczone na podstawie interpretacji materiałów sejsmicznych, w większości przypadków nie są tożsame ze strefami największych miąższości i najkorzystniejszych właściwości zbiornikowych w złożu BMB;

— charakterystyka litofacjalna i petrofizyczna utworów Ca<sub>2</sub> wskazuje, że istnieje duże prawdopodobieństwo odkrycia w tym rejonie nowych, nie łączących się ze sobą złóż węglowodorów.

### Literatura

- DEPOWSKA A. 1996 — Opracowanie litologiczno-facjalne utworów dolomitu głównego w otworze Dzieduszyce-1. Arch. PGNiG S.A. Oddz. Biuro Geologiczne GEONAF TA w Warszawie.
- Dokumentacje** wyników otworów: Buszewo-1, 2, 2k, 3, 4, 5, 6, 7, Lubiszyn-1, 2, 3k 3kbis; Podlesie-1, Ściechów-1. Arch. PGNiG S.A., Ośrodek Regionalny BG GEONAF TA w Pile.
- GÓRSKI M., GÓRSKA W. & TRELA M. 1998 — Reinterpretacja materiałów sejsmicznych 3D temat: Barnówko–Lubiszyn. Arch. PGNiG S.A., Oddz. Geofizyka Toruń.
- GÓRSKI M. & TRELA M. 1996 — Opracowanie badań sejsmicznych 3D temat: Barnówko–Lubiszyn. Arch. PGNiG S.A., Oddz. Geofizyka Toruń.
- GÓRSKI M. & TRELA M. 1997 — Układ geometryczny i ocena własności serii zbiornikowej złoża Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB) — największego złoża ropy naftowej w Polsce — na podstawie zdjęcia sejsmicznego 3D. Pr. Geol., 45: 685–692.
- GRELOWSKI C. 1994–1998 — Wstępne analizy geochemiczne utworów dolomitu głównego dla otworów: Buszewo-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, Lubiszyn-3k, 3kbis. Dokumentacje wyników. Arch. PGNiG S.A., Ośrodek Regionalny BG GEONAF TA w Pile.
- JĄSKOWIAK-SCHOENEICH M. (red.) 1979 — Budowa geologiczna niecki szczecińskiej i bloku Gorzowa. Pr. Inst. Geol., 96: 18–24.
- MAMCZUR S., RADECKI S. & WOJTKOWIAK Z. 1997 — O największym złożu ropy naftowej w Polsce Barnówko–Mostno–Buszewo (BMB). Pr. Geol., 45: 582–588.
- PERYT T. M. & DYJACZYŃSKI K. 1991 — An isolated carbonate bank in the Zechstein Main Dolomite Basin, western Poland. J. Pet. Geol., 14: 445–458.
- PIKULSKI L. 1996 — Analiza paleostrukturalna utworów dolomitu głównego w rejonie bloku Gorzowa. Nafta i Gaz, 8: 325–335.
- PIKULSKI L. & PROTAS A. 1997 — Warunki sedymentacji oraz rozwój litofacjalny utworów dolomitu głównego w rejonie bloku Gorzowa. Nafta i Gaz, 9: 400–406.
- PROTAS A. 1993–1998 — Analizy mikrofacjalne utworów dolomitu głównego wykonane dla otworów: Buszewo-1, 2, 2k, 3, 4, 6, 7, Podlesie-1, Ściechów-1, Lubiszyn-1, 2; 3k, 3kbis. Dokumentacje wyników. Arch. PGNiG S.A., Ośrodek Regionalny BG GEONAF TA w Pile.
- SUCH P. (red.) 1997 — Wykonanie specjalistycznych badań geochemicznych i petrofizycznych wraz z interpretacją dla nowo odwierconych otworów Buszewo-4, 6. Arch. PGNiG S.A., Ośrodek Regionalny BG GEONAF TA w Pile.
- WAGNER R. 1994 — Stratygrafia osadów i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. Pr. Państw. Inst. Geol., 146: 41–59.