

Kryteria identyfikacji obiektów litofacjalnych jako potencjalnych pułapek złożowych w utworach dolomitu głównego (Ca₂) u podnóża platform i mikroplatform węglanowych w środkowo-zachodniej Polsce

Krzysztof Kwolek¹, Zbigniew Mikołajewski¹



K. Kwolek

Z. Mikołajewski

Criteria of identification of lithofacies objects as potential hydrocarbon traps in the Main Dolomite (Ca₂) strata at the toe-of-slope of carbonate platforms and microplatforms in the central-western Poland. *Prz. Geol.*, 58: 426–435.

Abstract. In terms of oil reserves of Poland, the Lubiatów oilfield in the Międzychód area is the second largest after BMB oilfield. The discovery of this structural-lithological trap in a toe-of-slope position in relation to the Main Dolomite (Ca₂) carbonate platform opened a new hydrocarbon opportunities in this unit. One of the conditions for trap occurrence in the “Lubiatów-type” deposits of the toe-of-slope zone in relation to Ca₂ carbonate platforms and microplatforms is the presence of appropriate reservoir facies. These facies are characterized by occurrence of thick packets of porous Main Dolomite rocks (Ca₂ lithosomes) composed mostly of sublittoral, redeposited carbonate sands (packstones, floatstones, sporadic

rudstones), deposited below wave-base and resulting from activity of traction and suspension currents and gravity flows. The only method to detect such facies is via high resolution seismic images, preferably from three-dimensional (3D) surveys. Unfortunately, intensive exploration studies carried out in this zone between 2005–2008 did not bring measurable effects, that is discovery of new hydrocarbon deposits. Several boreholes drilled in Ca₂ lithosomes found water-bearing horizons only. In several other dry holes, none of the facies assumptions made prior to drilling were confirmed. Comparison of seismic images of area of those dry holes made it possible to find a geometric criterion for seismic detection of Ca₂ lithosomes located at the toe-of-slope of carbonate platforms and microplatforms. This geometric criterion, along with the seismological one, should constitute an important interpretational premise in identifying or excluding areas with potential hydrocarbon traps in the Main Dolomite rocks in the area under study.

Keywords: Zechstein Main Dolomite, carbonate platform slope, lithologic traps, 3D seismics

W utworach cechsztyńskiego dolomitu głównego (Ca₂) u podnóża platform węglanowych w środkowo-zachodniej Polsce zidentyfikowano dotychczas (głównie dzięki sejsmice 3D) około 30 obiektów litologicznych — potencjalnych pułapek złożowych. Wierceniami rozpoznano 10 z nich, w tym tylko jeden, Lubiatów–Sowia Góra, okazał się przemysłową akumulacją węglowodorów. Szczególnie wart podkreślenia jest fakt, że jest to drugie pod względem wielkości zasobów (po BMB — Barnówko–Mostno–Buszewo) złożo ropy naftowej w Polsce. Dziesięć pozostałych obiektów okazało się negatywnych pod względem złożowym, przy czym w sześciu z nich (Dalsze, Więclaw, Bogdaniec, Mokrzec, Kaczin NW i Słońsk) stwierdzono występowanie korzystnej facji zbiornikowej Ca₂.

Do czasu odkrycia w 2002 r. otworem Lubiatów-1 (Puszcza Notecka, rejon Międzychodu) złoża ropy naftowej Lubiatów, największe znaczenie w poszukiwaniach węglowodorów w utworach dolomitu głównego (cechsztynu) na Niziu Polskim miały bariery zewnętrzne oraz strefy wewnętrzne platform i mikroplatform węglanowych. W środkowo-zachodniej Polsce, w strefie barierowej lub w obrębie szeroko rozumianej platformy węglanowej dolomitu głównego (Ca₂), odkryto do tej pory ok. 30 złóż ropy naftowej i gazu ziemnego, ze złożem BMB na czele, o zasobach geologicznych ok. 65 mln t. Jedynym wyjątkiem jest złożo ropy naftowej Sulęcín, położone u podnóża mikroplatformy węglanowej o tej samej nazwie (ryc. 1). Odkrycie tego złoża otworem Sulęcín-1 w 1972 r. było

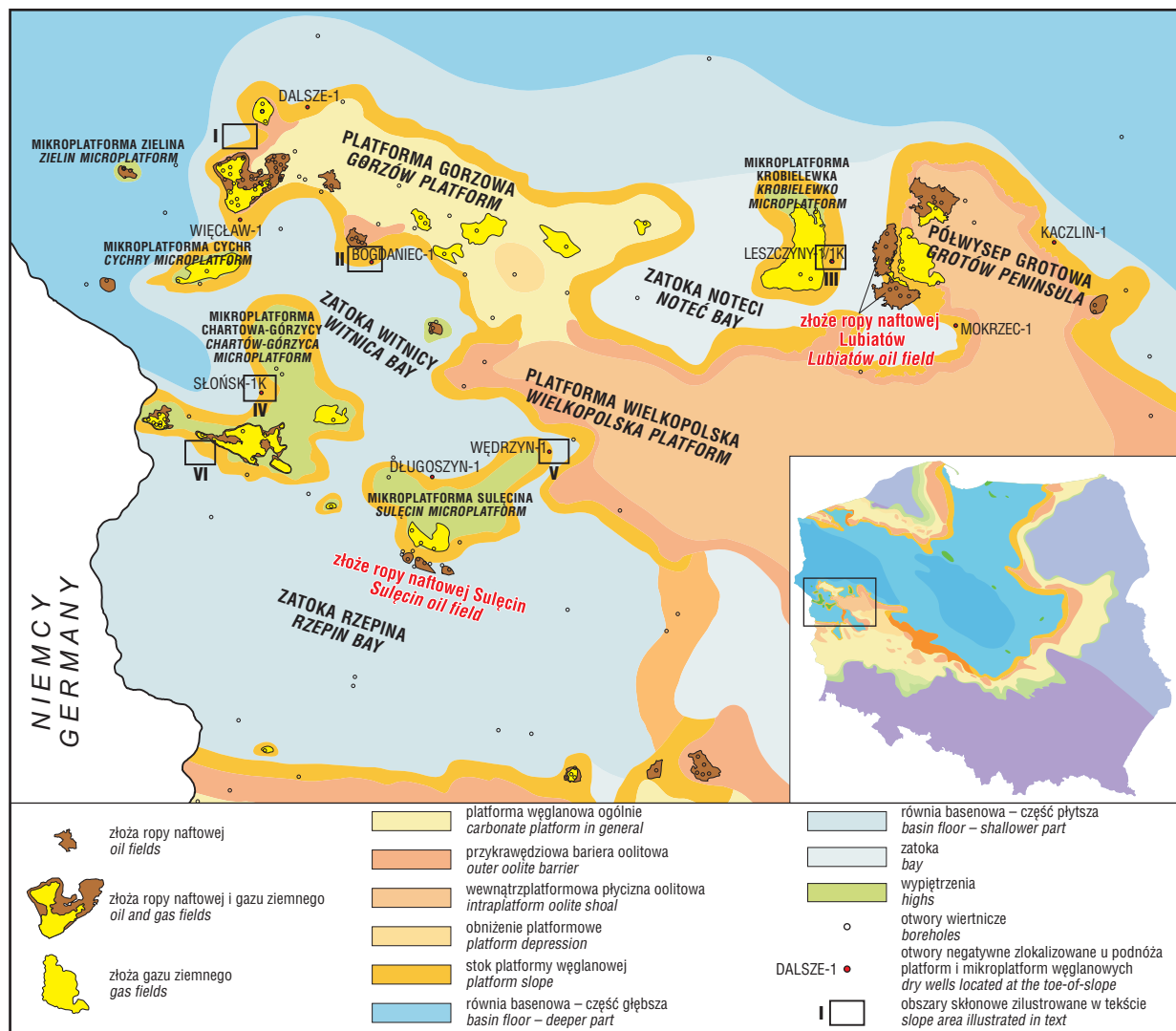
dzielęm przypadku, ponieważ jakoś materiałów sejsmicznych z 1970 r., jakimi wówczas dysponowano, nie pozwalała na precyzyjne odwzorowywanie granic sejsmicznych — otwór zaprojektowano w SW części „struktury podsolnej” (Piela & Marciński, 1971). Miąższość utworów dolomitu głównego złoża Sulęcín zmienia się od ok. 13 m do ponad 17 m (Sulęcín-9, Ca₂ nie przewiercony), a jego pułapka jest od strony zachodniej i północnej (w górę po wzniosie) ekranowana litologicznie poprzez zastąpienie spękanych i porowatych dolomitów dolomitami silnie zasolonymi, z domieszką anhydrytu, przez co nieprzepuszczalnymi dla płynów złożowych (Karnkowski, 1999).

Odkrycie złoża Lubiatów otworzyło nowy front poszukiwań węglowodorów w utworach dolomitu głównego. Front ten jest bardzo rozległy: gdyby rozwinąć strefę podnóża platform i mikroplatform węglanowych Ca₂ w środkowo-zachodniej Polsce jej łączna długość wyniosłaby ok. 700 km (ryc. 1).

Pierwszym otworem wiertniczym w historii poszukiwań węglowodorów w strefie przedbarierowej („podnóżowej”), który zaprojektowano metodycznie był otwór Więclaw-1.

Pierwszych przesłanek sejsmicznych, wskazujących na możliwość występowania pułapek litologicznych w utworach dolomitu głównego w strefie podnóża platformy, dostarczyło zdjęcie sejsmiczne Barnówko–Lubiszyn (1996). Na skłonie platformy gorzowskiej, na południe od kulminacji Mostna złoża BMB stwierdzono występowanie, bezpośrednio poniżej granicy sejsmicznej Z2, silnego ujemnego refleksu (Ca₂str), tego samego który korelowano na platformie w obrębie złoża BMB (Górski, 1997; Górski i in., 1999). Na mapach amplitudowych i pseudoporowatości horyzontu Ca₂str obiekt Więclaw rysuje się jako wyraźna strefa anomalna. W jej obrębie wykonano otwór Więclaw-1 (1998), który był pierwszym zaprojektowanym metodycz-

¹Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA w Warszawie, Oddział w Zielonej Górze, pl. Staszica 9, 64-920 Piła; krzysztof.kwolek@pgnig.pl; zbigniew.mikolajewski@pgnig.pl



Ryc. 1. Rozmieszczenie złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach dolomitu głównego (Ca₂) w środkowo-zachodniej Polsce na tle mapy paleogeograficznej dolomitu głównego (wg Wagnera i in., 2000)

Fig. 1. Distribution of oil and natural gas deposits in the Main Dolomite (Ca₂) rocks in central-western Poland on the background of the paleogeographical map of the Main Dolomite (after Wagner et al., 2000)

nie otworem w historii poszukiwań węglowodorów w strefie przedbarierowej. Jego wynik potwierdził obecność utworów dolomitu głównego o miąższości 82 m, wykształconego w znacznej części jako dolomity ziarniste, bardzo porowate, ale niestety zawodnione.

Na możliwość występowania złóż węglowodorów w strefie przedbarierowej Ca₂ w rejonie Sulęcina–Templewo–Międzyrzecz, w warunkach zbliżonych do tych, jakie panują na złożu Sulęcina, zwraca uwagę Antonowicz z zespołem (2000), twierdząc, że [...] bariera w tym rejonie posiada cechy wskazujące na jej bardzo stromy skłon od strony morza otwartego, co sprzyjałoby obsuwaniu się osadów w dół, podczas gdy sam skłon mógłby stać się zaporą dla migracji. Zapis sejsmiczny horyzontów cechsztyńskich poniżej bariery nie wyklucza również interpretacji zakładającej lokalne zgrubienia w Ca₂. Na podstawie analizy wykonanej przez zespół Antonowicza (Antonowicz i in., 2000) zaprojektowano i wykonano (w roku 2002) otwór Długoszyn-1, który usytuowano w zatoce na północnym skłonie mikroplatformy Sulęcina. Wynik odwiercenia otworu nie potwierdził założeń projektowych — nawiercono 14,5 m utworów dolomitu głównego wykształconego w facji głębokowodnej. Otwór Długoszyn-1 zlokalizowano na podstawie danych sejsmicznych 2D, kie-

rując się przede wszystkim hipotetycznym założeniem, polegającym na możliwości występowania zwiększonych miąższości porowatych dolomitów Ca₂ o genezie redepozycyjnej, uszczelnionych od strony skłonu dolomitami nieporowatymi. Przesłanki sejsmiczne wynikające z charakterystycznego zapisu sejsmicznego w interwale anhydryt podstawowy (A₂)–anhydryt górny (A_{1g}), wskazującego na obecność miąższych i porowatych dolomitów Ca₂, miały znaczenie drugorzędne. Te ostatnie zaczęły odgrywać główną rolę dopiero po odkryciu złoża Lubiatów. „Zapisu lubiatowskiego” zaczęto szukać wzdłuż wszystkich znanych i rozpoznanych sejsmicznie platform i mikroplatform węglanowych w środkowo-zachodniej Polsce.

Poza złożem Lubiatów (strefą Lubiatów–Sowia Góra) w latach 2005–2008 zbadano wierceniami 7 obiektów. Niestety, w żadnym z nich nie natrafiono na złożo węglowodorów. Należy jednak nadmienić, że tylko w przypadku dwóch otworów/obiektów nie potwierdziło się żadne z założeń projektowych. W pięciu pozostałych przypadkach założenia te potwierdziły się częściowo. Nawiercono miąższe twory dolomitu głównego (Ca₂) o dobrych i bardzo dobrych właściwościach zbiornikowych, które okazały się zawodnione. Ich obecność świadczy o poprawności interpretacji

zapisu sejsmicznego w interwale A2–A1g. O występowaniu porowatych i mięjszych dolomitów Ca₂ świadczy ujemny refleks Ca₂str, pojawiający się w ich stropie, bezpośrednio poniżej dodatniego refleksu Z₂, związanego ze stropem anhydrytu podstawowego (A₂).

Występowanie ujemnego refleksu Ca₂str u podnóża platform węglanowych Ca₂ jest głównym kryterium w identyfikacji porowatych i mięjszych (20 m) utworów dolomitu głównego, a mapy zasięgu występowania tego refleksu, w połączeniu z mapami anomalii amplitudowych, a także mapami pseudoporowatości utworów Ca₂ uzyskanych na podstawie inwersji danych sejsmicznych — jedynym, jak dotychczas, sposobem kartowania potencjalnych pułapek złożowych typu „lubiatowskiego”. Warto zwrócić uwagę na jeszcze jedno kryterium, które należy brać pod uwagę przy prawidłowej detekcji stref o zwiększonej mięjszości utworów Ca₂ u podnóża platform i mikroplatform węglanowych. Jest to kryterium geometryczne, które może okazać się pomocne w lokalizowaniu miejsc występowania tych stref jako potencjalnych pułapek złożowych.

Charakterystyka paleogeograficzna i petrolitologiczna

Strefy zwiększonej mięjszości utworów dolomitu głównego u podnóża platform i mikroplatform węglanowych zbudowane są głównie z sublitoralnych, redeponowanych piasków węglanowych (pakstony, flotstony, sporadycznie rudstony) powstałych poniżej podstawy falowania w wyniku działalności prądów trakcyjnych, zawieszinowych oraz spływów grawitacyjnych. Jedynie najwyższe i najniższe partie profili reprezentowane są przez bardziej mięjsze kompleksy laminowanych madstonów. Utwory dolomitu głównego wykształcone są jako wapienie bądź dolomity. Procesy diagenetyczne doprowadziły miejscami do prawie całkowitego zatarcia pierwotnych cech strukturalno-teksturalnych skał. Geneza poziomów zbiornikowych, którymi są różnej mięjszości przewarstwienia średnio- i gruboziarnistych węglanów w kompleksie mułów węglanowych, jest przedmiotem dyskusji naukowych. Niektórzy uznają je za materiał nagromadzony w wyniku redepozycji związanej z progradacją krawędzi platformy węglanowej (Jaworowski & Mikołajewski, 2007; Słowakiewicz & Mikołajewski, 2009), inni natomiast wiążą je z ciągiem systemów depozycyjnych niskiego stanu morza zbudowanego w znacznej mierze z materiału autochtonicznego (Zdanowski, 2003a, b, 2004a, b). Przemiany diagenetyczne i związane z nimi rozwój przestrzeni porowej zachodziły wieloetapowo i były związane zarówno ze strefami diagenetyczno-depozycyjnymi (eodiageneza), jak i z etapem pogrzebienia (mezodiageneza). Z punktu widzenia prospekcji naftowej, najistotniejsze było powstanie i zachowanie znacznej porowatości wtórnej (miejscami powyżej 30%), będącej wynikiem całkowitego bądź częściowego rozpuszczenia węglanowych składników ziarnistych. Proces ten był najprawdopodobniej związany z oddziaływaniem agresywnych roztworów wzbogaconych w CO₂ lub H₂S powstałych w procesach przekształceń materii organicznej w bituminy (Clark, 1980; Mazzullo & Harris, 1992; Machel, 2005).

Efekty dotychczasowych prac poszukiwawczych

Przykład modelowy — złożo ropy naftowej Lubiatów. Złożo Lubiatów odkryto w 2002 r. otworem Lubia-

tów-1, który zaprojektowano na podstawie wyników zdjęcia sejsmicznego 3D Międzychód–Sieraków (w latach 2001/2002). Jest to złożo typu strukturalno-litologicznego, którego skałą zbiornikową są porowate dolomity oolitowo-intraklastowe, przechodzące lateralnie w nieporowate dolomity i wapienie wykształcone generalnie w litofacji mułów węglanowych (madstonów) — rycina 2.

Złożo Lubiatów zbudowane jest z dwóch części — północnej, gdzie usytuowano otwory wiertnicze Sowia Góra-1, 2K, 4 i południowej, w obrębie której odwiercono otwory Lubiatów-1, 2, 6H, 7H. W wąskim, 200–300-metrowym, przesmyku łączącym oba fragmenty złoża wykonano otwór Lubiatów-4. Obie części mają formę nieregularnych obiektów o obrysie zbliżonym do elipsy i kierunku dłuższej osi: W–E — część południowa i NNE–SSW — część północna. Mięjszość utworów Ca₂ w części południowej zmienia się od ok. 70–80 m (wg danych sejsmicznych) na północny wschód od otworu Lubiatów-1 do ok. 50 m w części środkowej złoża. W kierunku południowo-zachodnim i zachodnim, tj. w stronę zapadania się stropu utworów Ca₂, ich mięjszość redukuje się do ok. 20 m — mięjszości odpowiadającej granicy widzialności (ang. *limit of visibility*) w metodzie sejsmicznej 3D. Średnia mięjszość efektywna złoża waha się od 9,78 m dla czapy gazowej do 24,07 m dla strefy ropnej, a porowatość efektywna wynosi odpowiednio od 8,21% do 12,41%. Średnia przepuszczalność złoża sięga 5 mD.

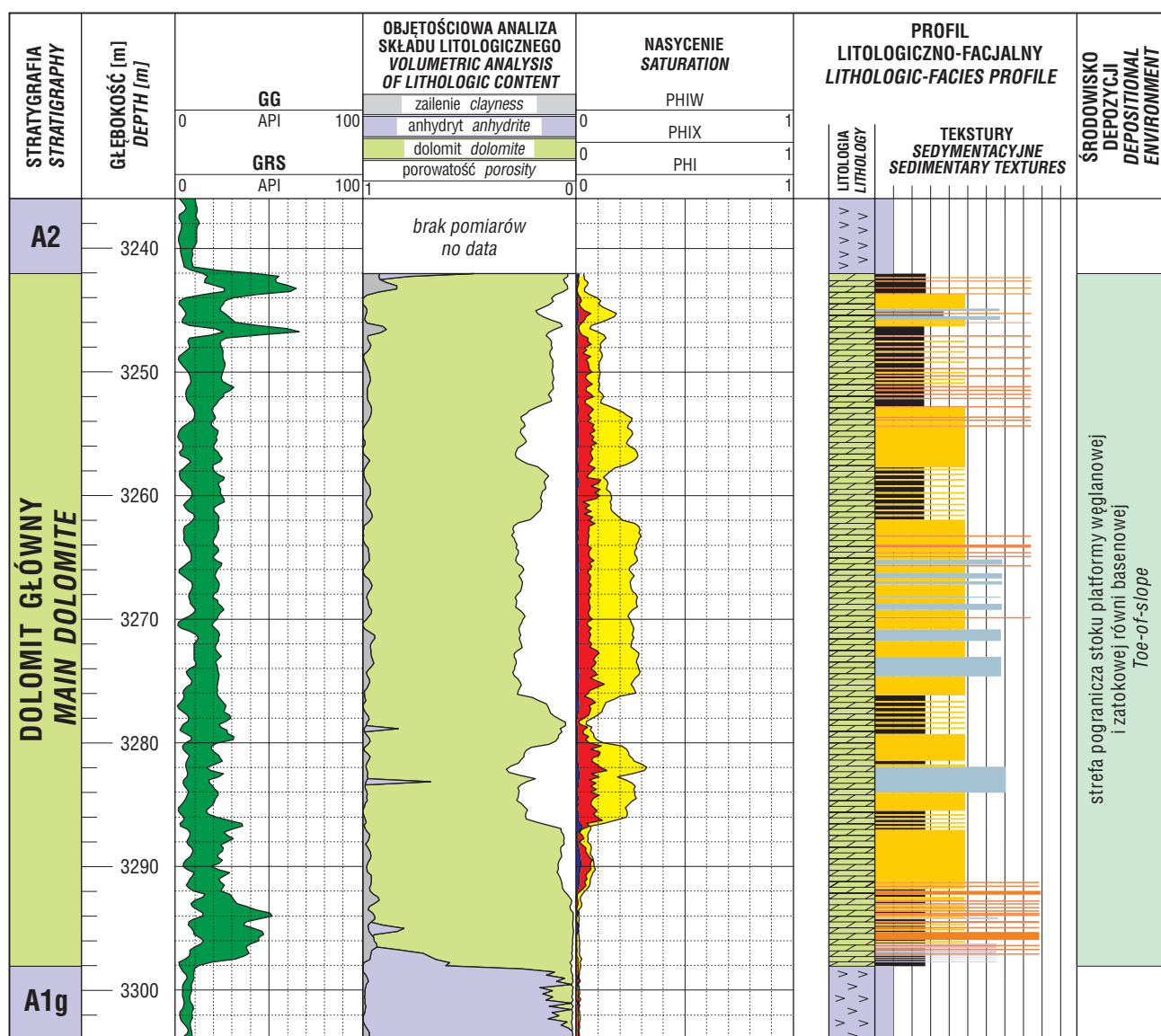
Przykłady obiektów negatywnych pod względem złożowym, potwierdzających zapis sejsmiczny:

□ Bogdaniec (ryc. 3A, B). Obiekt Bogdaniec rozpoznano otworem Bogdaniec-1, wykonanym w 2005 r. Strop utworów dolomitu głównego stwierdzono w głębokości 3298,5 m (3219,5 m p.p.m.). Całkowita mięjszość utworów Ca₂ wynosi 28,5 m. Według laboratoryjnych badań próbek rdzeni porowatość efektywna zmienia się w granicach 0,05–30,97%, a przepuszczalność od bliskiej zera do 72,93 mD. W wyniku badania utworów dolomitu głównego próbnikiem złoża uzyskano przyływ słabo gazowanej solanki o wydajności ok. 6,9 m³/h. Odwiert zlikwidowano.

□ Słońsk (ryc. 3C). Obiekt Słońsk rozpoznano otworem Słońsk-1k, wykonanym w 2008 r. Strop utworów dolomitu głównego stwierdzono w głębokości 3532 m (głębokość rzeczywista w odniesieniu do pionu 3006,97 m p.p.m.). Całkowita, rzeczywista mięjszość stratygraficzna utworów Ca₂ w profilu otworu Słońsk-1K wynosi 45,59 m. Według badań laboratoryjnych próbek rdzeni porowatość efektywna zmienia się w granicach 0,27–30,7%, a przepuszczalność od bliskiej zera do 558,7 mD. W wyniku opróbowania utworów dolomitu głównego próbnikiem złoża uzyskano przyływ niezgazowanego płynu złożowego (ok. 3,9 m³/h). Odwiert zlikwidowano.

Przykłady obiektów negatywnych pod względem złożowym, niepotwierdzających zapisu sejsmicznego:

□ Leszczyny (ryc. 4A). Obiekt Leszczyny rozpoznano otworem Leszczyny-1, wykonanym w 2008 r. Strop utworów dolomitu głównego w otworze Leszczyny-1 stwierdzono na głębokości 3237 m (3179 m p.p.m.). Całkowita mięjszość utworów Ca₂ wynosi 8,5 m. Według badań laboratoryjnych próbek rdzeni porowatość zmienia się w granicach 0,02–13,80%. Strop utworów dolomitu głównego w otworze Leszczyny-1K stwierdzono na głębokości 3488,5 m (głębokość rzeczywista w odniesieniu do pionu 3194,88 m p.p.m.). Całkowita mięjszość utworów Ca₂



A2 – anhydryt podstawowy
Basal Anhydrite

A1g – anhydryt górny
Upper Anhydrite

Nasylenie:
Saturation:

węglowodory nieruchome
immobile hydrocarbons

węglowodory ruchome
mobile hydrocarbons

woda
water

Tekstury sedimentacyjne:
Sedimentary textures:

anhydryty
anhydrite

madstony
mudstones

wakstony
wackestones

pakstony
packstones

flotstony + rudstony
floatstones + rudstones

biostabilizacja osadu
biostabilization of sediments

GG całkowite profilowanie gamma
total gamma ray

GRS profilowanie gamma (bez uranu)
gamma ray without uranium influence

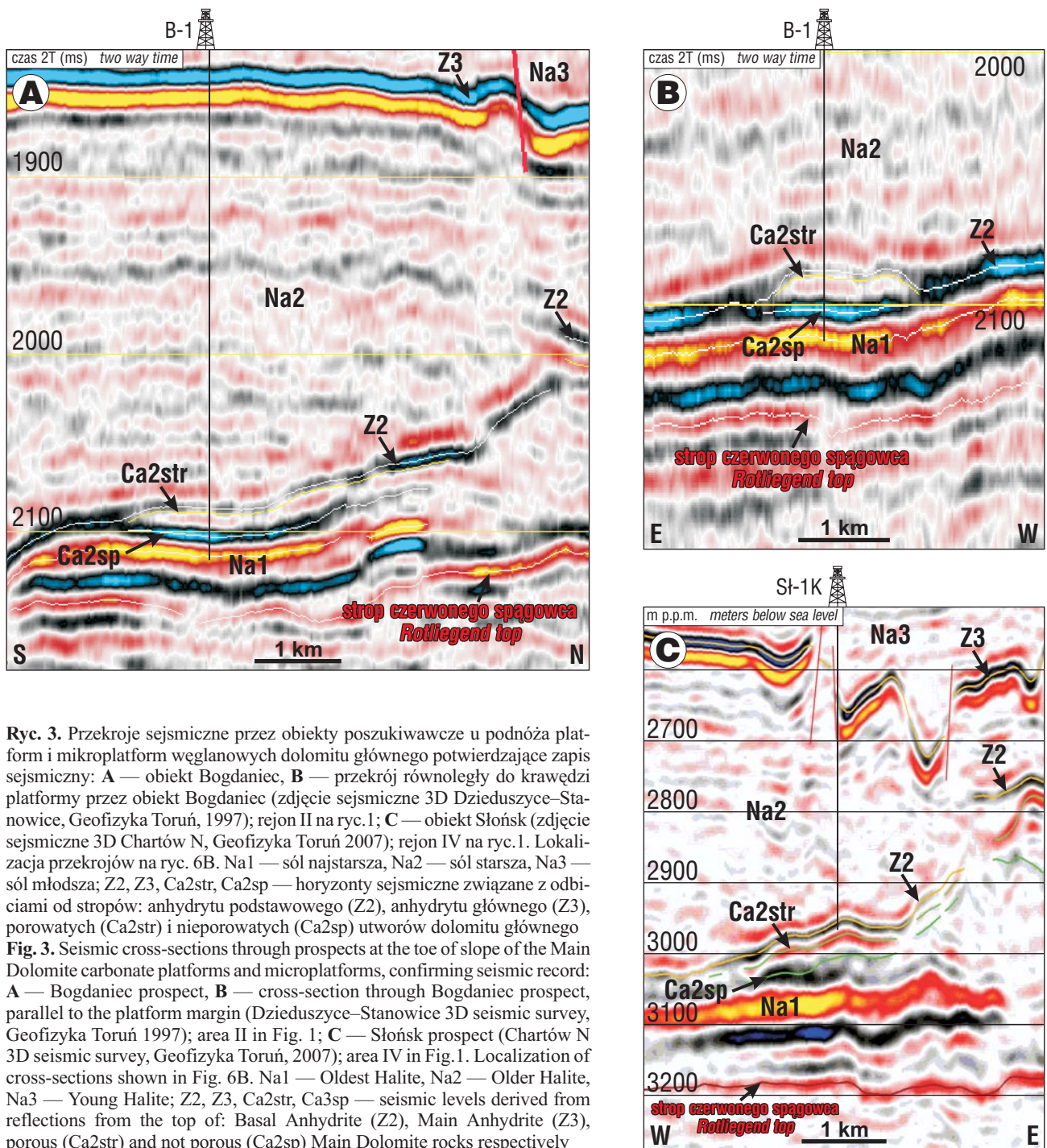
zawartość uranu
content of uranium

Ryc. 2. Zestawienie profilowań geofizycznych z profilem litologiczno-facjalnym dolomitu głównego w otworze wiertniczym Lubiatów-1
Fig. 2. Juxtaposition of wireline logs and lithologic-facies profile of the Main Dolomite in the Lubiatów-1 well

wynosi 9,91 m. Według badań laboratoryjnych próbek rdzeni porowatość zmienia się w granicach 0,003–4,070%. Wszystkie analizowane próbki okazały się nieprzepuszczalne. Z uwagi na wynik opróbowania: Leszczyny-1 — przyływ ok. 0,7 m³ płynu złożowego nasyconego gazem palnym z zawartością H₂S; Leszczyny-1K — brak przyływu płynu złożowego, poziom dolomitu głównego uznano za nieperspektywny. Odwiert zlikwidowano.

□ Wędrzyn (ryc. 4B). Obiekt Wędrzyn rozpoznano otworem Wędrzyn-1, wykonanym w 2008 r. Strop utworów dolomitu głównego stwierdzono na głębokości 2906 m (2821,5 m p.p.m.). Całkowita miąższość utworów dolomi-

tu głównego wynosi 6 m. Według badań laboratoryjnych próbek rdzeni porowatość zmienia się od zera do 3,80%. Wszystkie analizowane próbki okazały się nieprzepuszczalne. W wyniku opróbowania utworów dolomitu głównego stwierdzono słaby przyływ gazu palnego (bez H₂S) ze śladami ciekłych węglowodorów. Po zakończeniu wiercenia (w stropie utworów czerwonego spągowca) i zlikwidowaniu spodu otworu wykonano perforację rur 5" i wykonano zabieg kwasowania w interwale dolomitu głównego. W trakcie syfonowania odwiertu odebrano 243,9 m³ gazu (HC — 12%) i 45,8 m³ kondensatu. Odwiert zlikwidowano.



Ryc. 3. Przekroje sejsmiczne przez obiekty poszukiwawcze u podnóża platform i mikroplatform węglanowych dolomitu głównego potwierdzające zapis sejsmiczny: **A** — obiekt Bogdaniec, **B** — przekrój równoległy do krawędzi platformy przez obiekt Bogdaniec (zdjęcie sejsmiczne 3D Dzieduszyce–Stanowice, Geofizyka Toruń, 1997); rejon II na ryc. 1; **C** — obiekt Słońsk (zdjęcie sejsmiczne 3D Chartów N, Geofizyka Toruń 2007); rejon IV na ryc. 1. Lokalizacja przekrojów na ryc. 6B. Na1 — sól najstarsza, Na2 — sól starsza, Na3 — sól młodsza; Z2, Z3, Ca2str, Ca2sp — horyzonty sejsmiczne związane z odbiciami od stropów: anhydrytu podstawowego (Z2), anhydrytu głównego (Z3), porowatych (Ca2str) i nieporowatych (Ca2sp) utworów dolomitu głównego

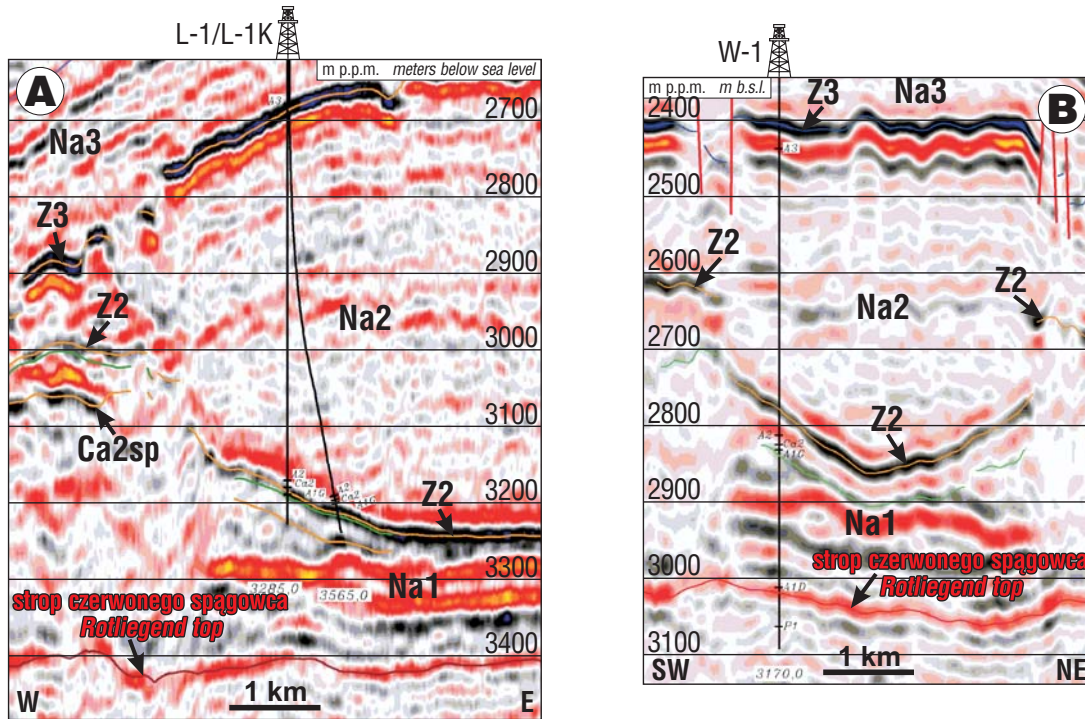
Fig. 3. Seismic cross-sections through prospects at the toe of slope of the Main Dolomite carbonate platforms and microplatforms, confirming seismic record: **A** — Bogdaniec prospect, **B** — cross-section through Bogdaniec prospect, parallel to the platform margin (Dzieduszyce–Stanowice 3D seismic survey, Geofizyka Toruń 1997); area II in Fig. 1; **C** — Słońsk prospect (Chartów N 3D seismic survey, Geofizyka Toruń, 2007); area IV in Fig. 1. Localization of cross-sections shown in Fig. 6B. Na1 — Oldest Halite, Na2 — Older Halite, Na3 — Young Halite; Z2, Z3, Ca2str, Ca2sp — seismic levels derived from reflections from the top of: Basal Anhydrite (Z2), Main Anhydrite (Z3), porous (Ca2str) and not porous (Ca2sp) Main Dolomite rocks respectively

Kryteria identyfikacji obiektów litofacjalnych u podnóża platform i mikroplatform węglanowych na podstawie zapisu sejsmicznego

Kryterium sejsmogeologiczne. Porowate litosomy Ca2 występujące u podnóża platform i mikroplatform węglanowych manifestują się na sekcjach sejsmicznych, zwłaszcza tych wykonanych techniką 3D (o większej rozdzielczości pionowej), charakterystycznym zapisem sejsmicznym w interwale: anhydryt podstawowy (A2)–dolomit główny (Ca2)–anhydryt górny (A1g). Zapis ten, szczególnie dobrze widoczny w obiekcie modelowym (złożu Lubiaków), a także w całej strefie Lubiaków–Sowia Góra, charakteryzuje się następującym zestawem refleksów (Górski, 1997; Górski & Łukaszewski, 2003a, b; Gór-

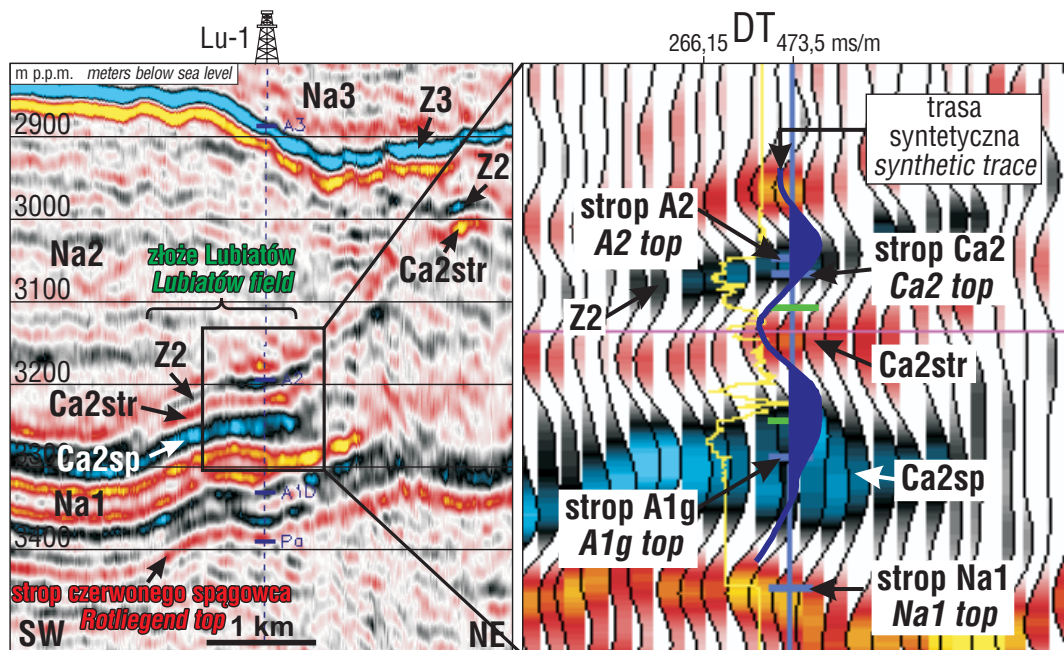
ska & Burek, 2005; Górski & Piątek, 2006; Kwolek, 2007; Piątek & Kasprzyk, 2008):

- poniżej dodatniego odbicia Z2, powstającego na kontakcie soli starszej (Na2) i anhydrytu podstawowego (A2), występuje refleks ujemny Ca2str, generowany w stopie porowatych i odpowiednio miększych dolomitów Ca2 (co najmniej 20 m); refleks ten zanika poniżej charakterystycznego ugięcia granicy Z2 nad czołem litosomu Ca2 (ryc. 5);
- bezpośrednio nad litosomem Ca2 amplituda refleksu Z2 relatywnie maleje; spowodowane jest to zjawiskiem *tuningu* refleksów: Z2 i występującego poniżej Ca2str;
- ujemny refleks Ca2str zanika poza litosomem Ca2;



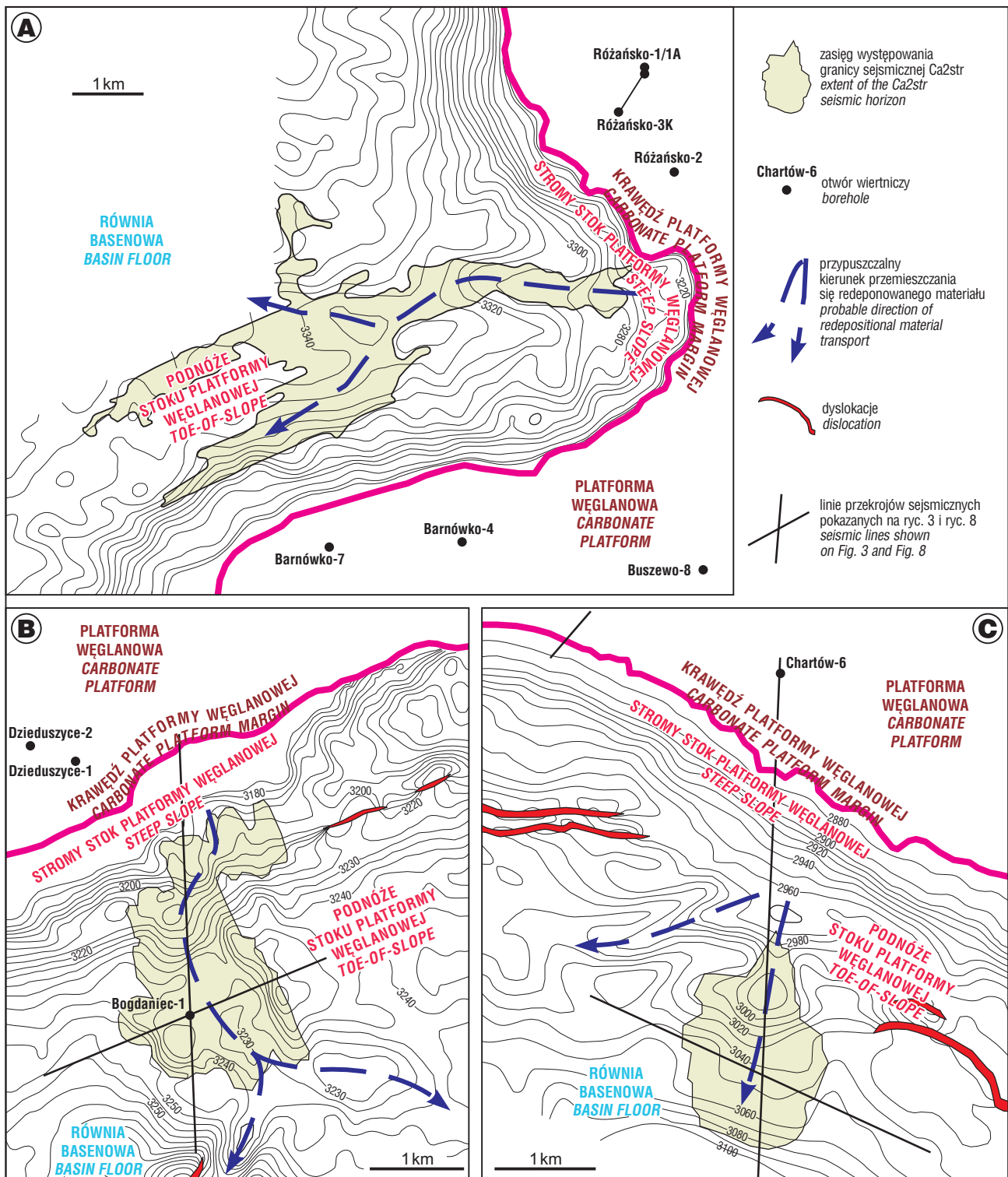
Ryc. 4. Przykłady obiektów poszukiwawczych w utworach Ca2 u podnóża platform, negatywnych pod względem litologicznym i złożowym — przekroje sejsmiczne przez skłony mikroplatform węglanowych: **A** — Krobielewka (zdjęcie sejsmiczne 3D Krobielewko–Lubiatów, Geofizyka Toruń 2005), rejon III na ryc. 1, **B** — Sulęcina (zdjęcie sejsmiczne Wędrzyn 3D, Geofizyka Toruń, 2006), rejon V na ryc. 1. Objasnienia jak na ryc. 3

Fig. 4. Examples of prospects in Ca2 rocks at the foot of platforms, negative in terms of lithology and reservoir properties — seismic cross-sections through slopes of carbonate microplatforms: **A** — Krobielewko (Krobielewko–Lubiatów 3D seismic survey, Geofizyka Toruń 2005), area III in Fig. 1, **B** — Sulęcina (Wędrzyn 3D seismic survey, Geofizyka Toruń, 2006), area V in Fig. 1. Explanations as in Fig. 3



Ryc. 5. Przekrój sejsmiczny przez złożo ropy naftowej Lubiatów — SW skłón platformy węglanowej na półwyspie Grotowa (zdjęcie sejsmiczne 3D Międzychód–Sieraków, Geofizyka Toruń, 2002). Pa — dolny czerwony spągowiec, A1D — anhydryt dolny, A1g — anhydryt górny, A2 — anhydryt podstawowy, DT — profilowanie akustyczne. Pozostałe objaśnienia jak na ryc. 3. Trasa syntetyczna z sejsmogramu wg T. Solariego (materiały niepublikowane)

Fig. 5. Seismic cross-section through the Lubiatów oilfield — SW slope of carbonate platform on the Grotów Peninsula (Międzychód–Sieraków 3D seismic survey, Geofizyka Toruń, 2002). Pa — Lower Rotliegendes, A1D — Lower Anhydrite, A1g — Upper Anhydrite, A2 — Basal Anhydrite, DT — sonic log. Other explanations as in Fig. 3. Synthetic trace from seismogram by T. Solariego (unpublished)



Ryc. 6. Fragmenty map strukturalnych granicy sejsmicznej Z2 skłónów platform i mikroplatform węglanowych: **A** — obiekt Dyszno na wschodnim skłónie platformy gorzowskiej, między złożami Różańsko i BMB (zdjęcia sejsmiczne Różańsko 3D — Geofizyka Toruń 1994 i Barnówko–Lubiszyn 3D, Geofizyka Toruń, 1996), rejon I na ryc. 1; **B** — obiekt Bogdaniec na południowym skłónie platformy gorzowskiej, na S od złoża ropy naftowej Dzieduszyce (zdjęcie sejsmiczne Dzieduszyce–Stanowice 3D, Geofizyka Toruń, 1997), rejon II na ryc. 1; **C** — obiekt Żabice na południowym skłónie mikroplatformy Górzycza–Chartów (zdjęcie sejsmiczne Chartów W 3D, Geofizyka Toruń, 2003), rejon VI na ryc. 1. Charakterystyczny układ izohips, przypominający jezior osuwiska, pokrywa się częściowo z zasięgiem występowania ujemnego refleksu Ca2str

Fig. 6. Fragments of structural maps of the Z2 seismic boundary of carbonate platform and microplatform slopes: **A** — Dyszno prospect on the eastern slope of the Gorzów Platform, between BMB and Różańsko deposits (Różańsko 3D seismic survey — Geofizyka Toruń, 1994 and Barnówko–Lubiszyn 3D seismic survey, Geofizyka Toruń, 1996), area I in Fig. 1; **B** — Bogdaniec object on the southern slope of the Gorzów Platform, south of the Dzieduszyce oilfield (Dzieduszyce–Stanowice 3D seismic survey, Geofizyka Toruń, 1997), area II in Fig. 1; **C** — Żabice prospect on the southern slope of the Górzycza–Chartów microplatform (Chartów W 3D seismic survey, Geofizyka Toruń, 2003), area VI in Fig. 1. Characteristic pattern of isohyps, resembling a landslide tongue, partly overlapping the extent of the Ca2str negative reflection wave occurrence

- refleks dodatni Ca2sp, powstający na kontakcie porowatych utworów Ca2 oraz kompleksu składającego się z warstwy nieporowatego dolomitu (lub wapienia) w spągu Ca2 i anhydrytu górnego Werry (A1g).

Typowy zapis sejsmiczny występujący w złożu Lubiatów („zapis lubiatowski”), porównany z trasą syntetyczną wygenerowaną na podstawie profilowania gęstościowego RHOB i akustycznego DT w otworze Lubiatów-1, przedstawia rycina 5. Należy jednak pamiętać, że ujemny refleks Ca2str można pomylić z dolnym ekstremum bocznym refleksu Z2 (ang. *side lobe*), dlatego też w celu pewniejszej identyfikacji porowatych dolomitów Ca2 u podnóża platform węglanowych, o miąższości 20 m, konieczne jest, aby występował pełen zestaw tych refleksów.

Odróżnienie ekstremum bocznego od rzeczywistego ujemnego refleksu Ca2str teoretycznie wydaje się być stosunkowo proste, ponieważ bezwzględna wartość jego amplitudy nie powinna przekraczać 30–40% amplitudy refleksu głównego (Brown, 1999). Niestety, z uwagi na interferencję refleksów Z2, Ca2str i Ca2sp, a także dość częste nakładanie się refleksów krotnych, nie zawsze jest to możliwe.

Potencjalne pułapki litologiczne w utworach dolomitu głównego u podnóża platform i mikroplatform węglanowych identyfikuje się na podstawie mapy granicy refleksyjnej Ca2str oraz map amplitudowych opracowanych w ramach analizy litofacjalnej utworów Ca2 (Górski, 1997; Górski & Łukaszewski, 2003a, b; Górski & Burek, 2005; Górski & Piątek, 2006; Piątek & Kasprzyk, 2008), tj.:

- ekstrakcji amplitud dla granicy refleksyjnej Ca2str,
- ekstrakcji amplitud dla granicy refleksyjnej Ca2str (PreSTM — migracja czasowa przed składaniem),
- średnich wartości amplitud w interwale Z2–Ca2str,
- średnich wartości amplitud w interwale Z2–Ca2str (PreSTM — migracja czasowa przed składaniem),

- bezwzględnych sumarycznych wartości amplitud w stropie i spągu dolomitu głównego (ang. *composite amplitude*),

a także analizy wyników trójwymiarowej inwersji sejsmicznej opracowanych w formie map:

- porowatości inwersyjnych w interwale dolomitu głównego,
- porowatości inwersyjnych w interwale dolomitu głównego (PreSTM — migracja czasowa przed składaniem).

Kryterium geometryczne (morfologiczne)

Niemal wszystkie obiekty u podnóża platform i mikroplatform węglanowych, w których nawiercono miąższe i porowate utwory dolomitu głównego (litosomy Ca2), mają charakterystyczną geometrię budowy przestrzennej. Wspólne typowe cechy geometryczne tych litosomów dają się zaobserwować zarówno na przekrojach sejsmicznych, jak i mapach strukturalnych. Na tych ostatnich widoczny jest charakterystyczny stożkowy lub „kropłowaty” kształt izohips, przypominający jezior osuwiska (ryc. 6). Przy obserwacji takich „osuwisk” pomocna jest trójwymiarowa wizualizacja platform pokazana na rycinie 7. Fakt ten wydaje się przemawiać za redepozycyjną genezą tego typu form, według której powstały one w wyniku przemieszczania się materiału ziarnistego z przykrawędziowej bariery oolitowej (Jaworowski & Mikołajewski, 2007; Słowackiewicz & Mikołajewski, 2009).

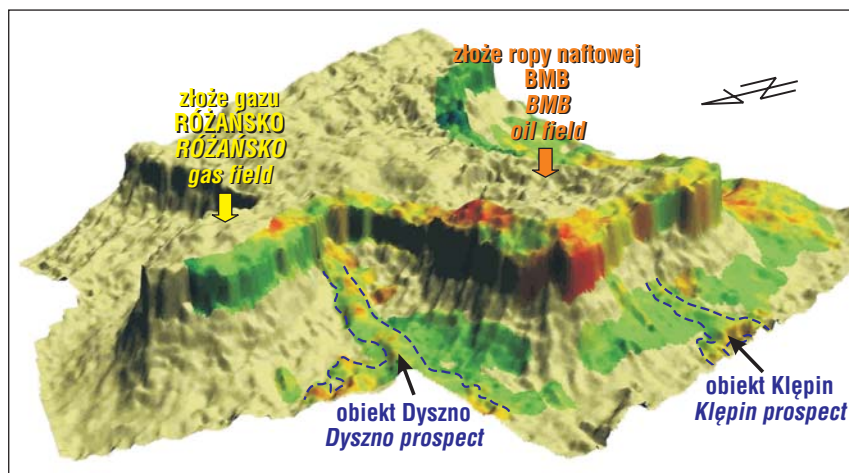
Na przekrojach sejsmicznych prostopadłych do krawędzi platformy geometria skłonu platform węglanowych, u podnóża których występują interesujące nas litosomy Ca2, wyrażona jest charakterystycznym przebiegiem granic sejsmicznych Z2 i Ca2str (ryc. 3A, C; 5; 6A; 7A; 8A; 9A, B):

- od krawędzi platformy do równi basenowej granica Z2 ma profil zbliżony do „rozłożonego fotela”,
- litosom Ca2 (i refleks Ca2str od niego pochodzący) występuje pod charakterystycznym wypłaszczeniem granicy sejsmicznej Z2,
- nad czołem litosomu Ca2 występuje wyraźne ugięcie granicy sejsmicznej Z2.

Z kolei na przekrojach równoległych do krawędzi platformy widoczne jest wyraźne zgrubienie kompleksu A2–Ca2–A1g (ryc. 3B; 8B).

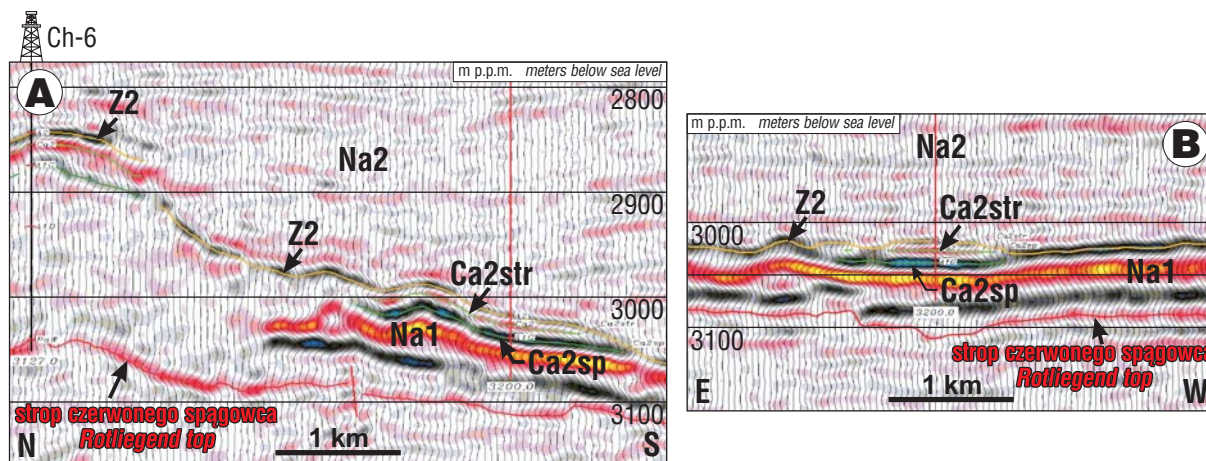
Trudno nie zauważyć, że geometria skłonu platform, u podnóża których nie potwierdzono obecności litosomów Ca2, różni się od opisanej. Przede wszystkim nie obserwuje się w takich przypadkach charakterystycznego wypłaszczenia granicy sejsmicznej Z2, która zapada jak równia pochyła od dolnej krawędzi klifu do podstawy skłonu platformy (ryc. 4; 9C, D).

W analizie porównawczej geometrii skłonów platform bardzo ważne jest, aby przekroje sejsmiczne miały jednakową lub zbliżoną skalę pionową i poziomą, gdyż tylko wtedy można łatwo odróżnić przekroje, na których wymienione cechy granic sejsmicz-



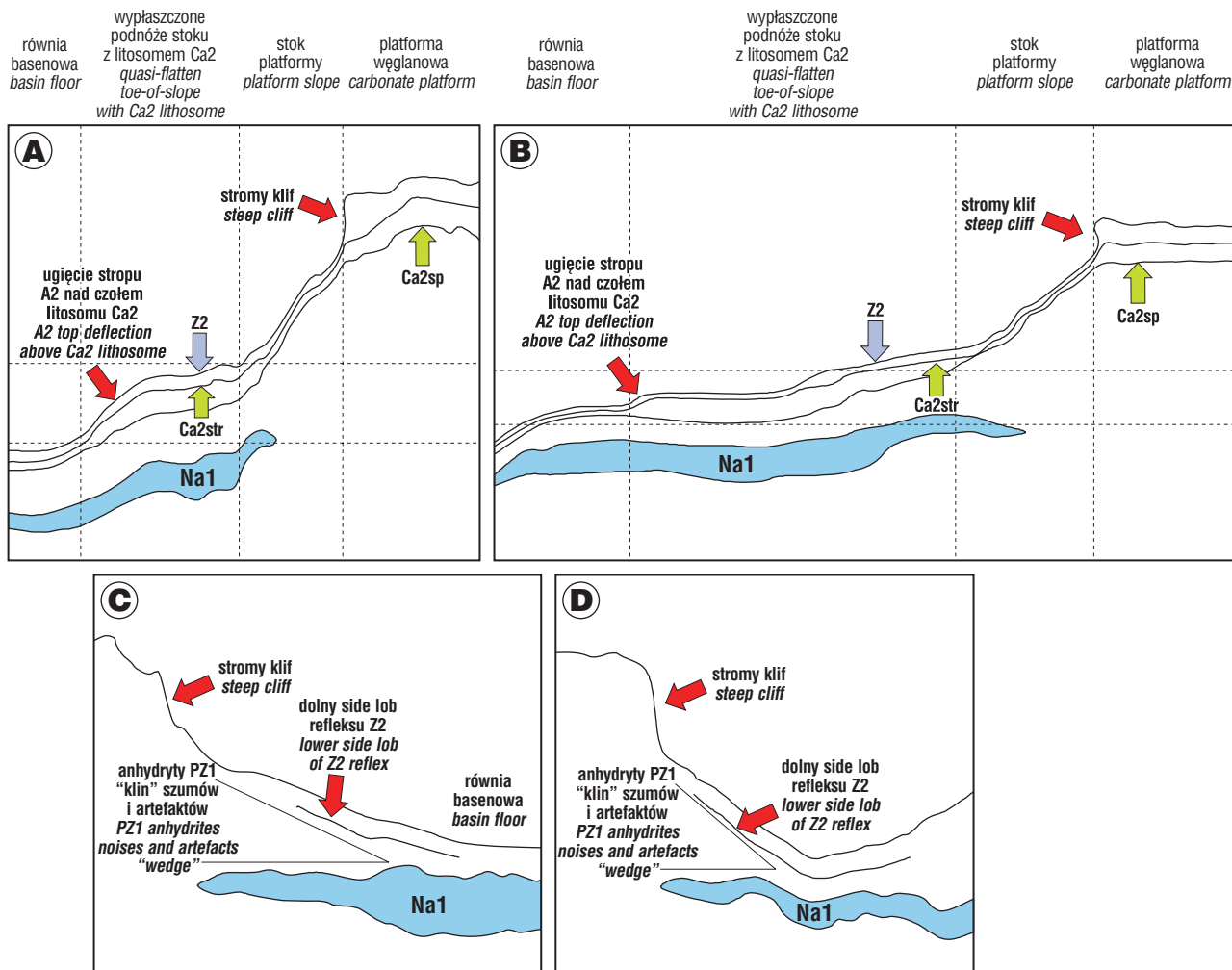
Ryc. 7. Trójwymiarowa wizualizacja stropu anhydrytu podstawowego (A2) w zachodniej części platformy gorzowskiej (interpretacja — Geofizyka Toruń, 1994–1997, opracowanie graficzne P. Kutek, niepublikowane). Obiekty: Dyszno — na skłonie platformy węglanowej między złożami BMB i Różańsko i Klepin — na SW od złoża BMB przypominają jeziora osuwiskowe

Fig. 7. Three-dimensional visualisation of the top of Basal Anhydrite (A2) in western part of the Gorzów Platform (interpretation — Geofizyka Toruń, 1994–1997, graphics by P. Kutek, unpublished). Prospects: Dyszno (on carbonate platform slope between BMB and Różańsko) and Klepin (SW of BMB deposit looking like the landslide tongues)



Ryc. 8. Przekroje sejsmiczne przez obiekt Żabice na południowym skłonie mikroplatformy Górzycy–Chartów (zdjęcie sejsmiczne Chartów W, Geofizyka Toruń 2003): przekrój prostopadły (A) i równoległy (B) do krawędzi platformy. Lokalizacja przekrojów na ryc. 6C. Objasnienia patrz ryc. 3

Fig. 8. Seismic cross-section through the Żabice prospect on southern slope of the Górzycy-Chartów microplatform (Chartów W 3D seismic survey, Geofizyka Toruń 2003): cross-sections perpendicular (A) and parallel (B) to the platform margin. Localization of cross-sections as in Fig. 6C. For explanations see Fig. 3



Ryc. 9. Schemat geometrii skłonu platformy węglanowej: A — rejon złoża ropy naftowej Lubiatów (por. ryc. 5); B — rejon obiektu Bogdaniec (por. ryc. 3A); C — wschodni skłony mikroplatformy Krobielewska, w rejonie otworu Leszczyny-1/1K (por. ryc. 4A); D — północno-wschodni skłony mikroplatformy Sulęcina, w rejonie otworu Wędrzyn-1 (por. ryc. 4B). Objasnienia patrz ryc. 3

Fig. 9. Geometry of slope of the carbonate platform: A — Lubiatów oilfield area (see Fig. 5); B — Bogdaniec prospect area (see Fig. 3A); C — eastern slope of the Krobielewska microplatform in area of Leszczyny-1/1K well (see Fig. 4A); D — north-eastern slope of the Sulęcina microplatform in area of Wędrzyn-1 well (see Fig. 4B). For explanations see Fig. 3

nych Z2 i Ca2str występują, od tych, które są tych cech pozbawione. Należy również nadmienić, że analiza ta jest znacznie utrudniona, kiedy strefa skłonu i jego podnóża jest zaburzona tektonicznie, jak to ma często miejsce, np. wzdłuż wschodniego skłonu półwyspu Grotowa i u podnóża platformy Ca2 między Chrzypskiem a Pniewami (Piątek & Kasprzyk, 2008).

Wobec niejednoznaczności kryterium sejsmogeologicznego kryterium geometryczne może pozwolić na typowanie lub wykluczanie rejonów występowania potencjalnych pułapek naftowych w utworach dolomitu głównego u podnóża platform i mikroplatform węglanowych.

Podsumowanie i wnioski poszukiwawcze

Wyniki dotychczasowej prospekcji pułapek złożowych w utworach dolomitu głównego w strefie skłonowej platform i mikroplatform węglanowych w środkowo-zachodniej Polsce stanowią pokazny materiał badawczy, który w połączeniu z danymi archiwalnymi wymaga bardzo szczegółowej i interdyscyplinarnej analizy. Jej celem powinno być oczywiście skuteczniejsze lokowanie ewentualnych kolejnych otworów poszukiwawczych w tej wciąż, jak się wydaje, perspektywicznej strefie.

Analiza sejsmogramów syntetycznych wykonana w tych utworach jednoznacznie wykazała, że refleksy sejsmiczne występujące bezpośrednio pod granicą Z2 (ryc. 4): ujemny (w przypadku otworu Wędrzyn-1 bardzo silny) — interpretowany jako Ca2str i, poniżej, dodatni — interpretowany jako Ca2sp, nie są związane z utworami dolomitu głównego. A zatem interpretacja zapisu sejsmicznego na etapie projektowania tych otworów była błędna. Należy w tym miejscu zadać pytanie: czy pomyłki tej można było uniknąć? Wydaje się, że tak, ale tylko w przypadku całkowitej pewności, że obserwowana odpowiedź sejsmiczna w interwale Ca2–Alg to odbicia typu *side lob* albo artefakty. Niestety, pewności takiej nie było. Dopiero wymienione otwory, jako „modelowo negatywne” (ryc. 4A, B; 9C, D), dostarczyły informacji na temat profili utworów dolomitu głównego, która w korelacji z odpowiadającą im geometrią skłonu platformy i w powiązaniu z teorią redepozycyjną powstawania litosomów Ca2, powinna pozwolić w przyszłości, wobec niejednoznaczności kryterium sejsmogeologicznego, wyeliminować tego typu pomyłki.

Niestety, stosowanie kryterium geometrycznego, co trzeba wyraźnie podkreślić, nie gwarantuje odkrycia złoża w utworach dolomitu głównego w strefie skłonu platformy. Kryterium to powinno jednak poprawić detekcję litosomów Ca2 jako potencjalnych pułapek strukturalno-litologicznych. Zagadnienie predykcji charakteru nasycenia w tego typu pułapkach wykracza poza ramy niniejszego artykułu i zostanie omówione w kolejnej publikacji przygotowywanej do druku. W opisywanych warunkach sejsmogeologicznych i na obecnym poziomie technologii, metody sejsmiczne nie są w stanie skutecznie rozwiązać tego problemu. Obecnie, jedynym wsparciem może być analiza kryterium geochemicznego i, prawdopodobnie, strukturalnego.

Autorzy dziękują Kolegom z Departamentu Poszukiwania Złóż PGNiG SA w Warszawie za możliwość wykorzystania materiałów z prezentacji multimedialnej dotyczącej rejonu platformy gorzowskiej, a także Koleżankom i Kolegom z PGNiG SA z Oddziału w Zielonej Górze za udostępnienie materiałów z pre-

zentacji multimedialnej dotyczącej rejonu mikroplatform Górzycy–Chartowa i Sulęcina.

Literatura

- ANTONOWICZ L. (red.) 2000 — Poszukiwanie pułapek złożowych u podnóża bariery dolomitu głównego. Arch. PGNiG SA, Warszawa.
- BROWN A.R. 1999 — Interpretation of three-dimensional seismic data. 5th edition. AAPG Memoir 42. Tulsa, Oklahoma.
- CLARK D.N. 1980 — The sedimentology of the Zechstein-2 Carbonate Formation of eastern Drenthe, the Netherlands. *Contr. Sediment.*, 9: 131–165.
- GÓRSKA W. & BUREK G. 2005 — Opracowanie badań sejsmicznych 3D Goszczanowo–Grotów. Arch. PGNiG SA, Warszawa.
- GÓRSKA W. & ŁUKASZEWKI M. 2003a — Opracowanie badań sejsmicznych 3D rejon: Międzychód–Sieraków (II etap interpretacji). Arch. PGNiG SA, Warszawa.
- GÓRSKA W. & ŁUKASZEWKI M. 2003b — Opracowanie badań sejsmicznych 3D rejon: Chartów W. Arch. PGNiG SA, Warszawa.
- GÓRSKA W. & PIĄTEK J. 2006 — Opracowanie badań sejsmicznych 3D rejon: Krobielewko–Lubiatów (powiązanie z rejonem Goszczanowo–Grotów) — reinterpretacja. Arch. PGNiG SA, Warszawa.
- GÓRSKI M. (red.) 1997 — Opracowanie badań sejsmicznych 3D rejon: Dzieduszyce–Stanowice. Arch. PGNiG SA, Warszawa.
- GÓRSKI M., KRÓL E., KUNICKA-GÓRSKA W., TRELA M. & URBAŃSKA H. 1999 — Wydzielenie pułapek węglowodorów w utworach poziomu dolomitu głównego poprzez rozpoznanie zmian litofacjalnych i strukturalnych na podstawie zintegrowanej interpretacji sejsmiki 3D i danych otworowych w rejonie Gorzowa. *Prz. Geol.*, 47, 12: 1080–1095.
- JAWOROWSKI K. & MIKOŁAJEWSKI Z. 2007 — Oil- and gas sediments of the Main Dolomite (Ca2) in the Międzychód region: a depositional model and the problem of the boundary between the second and third depositional sequences in the Polish Zechstein Basin. *Prz. Geol.*, 55, 12/1: 1017–1036.
- KARNKOWSKI P. 1999 — Oil and gas deposits in Poland. Geosynoptics society GEOS. Cracow.
- KWOLEK K. (red.) 2007 — Projekt prac geologicznych dla wierceń poszukiwawczych w utworach dolomitu głównego u podnóża platformy węglanowej Krobielewka. Arch. PGNiG SA, Warszawa.
- MACHEL H.G. 2005 — Investigations of burial diagenesis in carbonate hydrocarbon reservoir rocks. *Geosci. Canada*, 32, 3: 103–128.
- MAZZULLO S.J. & HARRIS P.M. 1992 — Mesogenetic dissolution: its role in porosity development in carbonate reservoirs. *AAPG Bull.*, 76, 5: 607–620.
- PIĄTEK J. & KASPRZYK H. 2008 — Opracowanie badań sejsmicznych: Sieraków–Pniewy 3D. Arch. PGNiG SA, Warszawa.
- PIELA J. & MARCIŃSKI J. 1971 — Projekt badań geologicznych za ropą naftową i gazem ziemnym w rejonie Sulęcina. Arch. PGNiG SA, Warszawa.
- SŁOWAKIEWICZ M. & MIKOŁAJEWSKI Z. 2009 — Sequence stratigraphy of the Upper Permian Zechstein Main Dolomite carbonates in Western Poland: a new approach. *J. Petrol. Geol.*, 32, 3: 215–234.
- WAGNER R., DYJACZYŃSKI K., PAPIERNIK B., PERYT T.M. & PROTAS A. 2000 — Mapa paleogeograficzna dolomitu głównego (Ca2). [W:] Kotarba M.J. (red.) Bilans i potencjał węglowodorowy dolomitu głównego basenu permjskiego Polski. Arch. WGGiOŚ AGH, Kraków.
- ZDANOWSKI P. 2003a — Lowstand systems tract deposition of the Main Dolomite in the Gorzów region (Polish Zechstein Basin). [In:] 2nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija: 225.
- ZDANOWSKI P. 2003b — Lowstand fans and wedges of the Main Dolomite in the Gorzów Wielkopolski region Polish Zechstein Basin). [In:] 12th Bathurst Meeting International Conference of Carbonate Sedimentologists. 8–10 July, Durham: 116.
- ZDANOWSKI P. 2004a — Stratygrafia sekwencji dolomitu głównego (cechsztynu) w rejonie gorzowskim ze szczególnym uwzględnieniem utworów LST. [In:] VIII National Meeting of Sedimentologists, Polish Sedimentological Conference. 21–24 June, Zakopane: 133.
- ZDANOWSKI P. 2004b — Wide restricted lagoons (salinas) of the Main Dolomite as a final stage deposition of carbonate lowstand systems tracts in the Gorzów Wielkopolski region. [In:] 23rd IAS Meeting of Sedimentology. 15–17 September, Coimbra: 291.

Praca wpłynęła do redakcji 14.10.2009 r.
Po recenzji akceptowano do druku 12.01.2010 r.