

PETROFIZYCZNE UWARUNKOWANIA ROPO-GAZONOŚNOŚCI UTWORÓW DEWONU I KARBONU W POŁUDNIOWEJ CZĘŚCI NIECKI MIECHOWSKIEJ W ŚWIELE WYNIKÓW MODELOWAŃ KOMPUTEROWYCH

**Petrophysical conditions of oil and gas productivity
of Devonian and Carboniferous deposits in the southern part
of the Miechów Trough in the light of computer modelling results**

**Bartosz PAPIERNIK, Artur Piotr ŁAPINKIEWICZ
& Wojciech GÓRECKI**

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,
Zakład Surowców Energetycznych AGH, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;
e-mail: papiern@geol.agh.edu.pl, lapinkie@agh.edu.pl, wgorecki@agh.edu.pl*

Treść: W wyniku poszukiwań węglowodorów w osadach paleozoiku należących do bloków górnośląskiego i małopolskiego, pod przykryciem miocenu zapadliska przedkarpackiego, odkryto przemysłowe nagromadzenia węglowodorów w utworach dewonu oraz karbonu. Na obszarze niecki miechowskiej, w profilu paleozoiku objawy występowania węglowodorów są nieliczne, prawdopodobnie z powodu braku uszczelnienia miocenijskiego. W artykule zaprezentowano wyniki przestrzennego modelowania zmienności litofacji i parametrów zbiornikowych, utworów dewonu i karbonu oraz ich bezpośredniego nadkładu – triasu i jury środkowej. Komputerowy model 3D o powierzchni ponad 1200 km², opracowano na podstawie danych sejsmicznych, laboratoryjnych i wyników interpretacji geofizyki wiertniczej, w rejonie Proszowice – Busko – Pińczów. Uzyskane wyniki pokazują, że dominujące w podłożu południowej niecki miechowskiej węglanowe utwory dewonu i karbonu stanowią słabe skały zbiornikowe, jednakże podstawową przeszkodą dla powstania „paleozoicznych” akumulacji jest brak regionalnego uszczelnienia dobrej jakości.

Słowa kluczowe: niecka miechowska, parametry zbiornikowe, modelowanie komputerowe 3D, karbon, dewon, złoża węglowodorów

Abstract: As a result of hydrocarbon exploration in the Palaeozoic formations of the Upper Silesian and Małopolska blocks covered by the Miocene deposits of the Carpathian Foredeep, commercial hydrocarbon accumulations have been discovered in Devonian rocks (Lachowice, Stryszawa, Zalesie, and Niwiska) and in Carboniferous rocks (Nosówka near Rzeszów, Marklowice). In the Miechów Trough, hydrocarbon shows in the Palaeozoic section are scarce, probably due to lacking Miocene seal. The paper presents results of spatial variability modelling of the lithofacies and reservoir parameters in the Devonian and Carboniferous deposits and in their direct cover, i.e. Triassic and Jurassic rocks. The 3D computer model for the area Proszowice – Busko – Pińczów (1200 km²) was constructed on the basis of seismic and laboratory data and results of geophysical well logging (Fig. 1). The obtained results indicate that the Devonian and Carboniferous carbonate deposits which predominate in the basement of the southern Miechów Trough represent poor reservoir rocks. However, it is the lack of good-quality regional seal that has essentially interfered with formation of “Palaeozoic” accumulations.

Key words: Miechów Trough, hydrocarbon deposits, reservoir parameters, Carboniferous, Devonian, 3D computer modeling

WSTĘP

Paleozoiczne podłoże zapadliska przedkarpackiego (ZPK), Karpat i niecki miechowskiej (NM) stanowią blok górnośląski (BG) oraz blok małopolski (BM), jednostki rozdzielone strefą dyslokacyjną Kraków – Lubliniec (Buła 1994, 2000, Żaba 1999, Buła *et al.* 2004, Golonka *et al.* 2006, Oszczytko *et al.* 2006). Na ich obszarze od początku lat 50. ubiegłego wieku prowadzono intensywne poszukiwania węglowodorów, które doprowadziły do odkrycia nielicznych złóż węglowodorów w utworach paleozoiku.

Poniżej wymieniono w porządku stratygraficznym odkryte nagromadzenia węglowodorów:

- w piaskowcach kambru oraz ordowiku i syluru w Uszkowcach oraz Cetyni (Obuchowicz 1963, Karnkowski 1969, 1993, Jawor & Baran 2004);
- w węglanach środkowego i górnego dewonu złoża Lachowice i Stryszawa k. Żywca (Jawor 1992, Baran *et al.* 1995, 1997, Jawor & Baran 2004) oraz Zalesie k. Rzeszowa Rzeszowa (Maksym *et al.* 1998);
- w piaskowcach dewonu złoża Niwiska (Obuchowicz 1963, Karnkowski 1993, 1999, Jawor & Baran 2004, Myśliwiec *et al.* 2006);
- w węglanach karbonu (wizenu), w rejonie Nosówki k. Rzeszowa (Czernicki & Moryc 1990, Karnkowski 1999);
- w piaskowcach górnego karbonu, w południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego złoża Markłowice (Jawor & Baran 2004).

Wszystkie wymienione akumulacje odkryto pod regionalnymi pokrywami uszczelniającymi obejmującymi utwory miocenu ZPK, a na południowym zachodzie – także sfałdowane Karpaty zewnętrzne. W podobnej pozycji strukturalnej, w SW przedłużeniu bloku górnośląskiego, na obszarze Moraw odkryto liczne i stosunkowo duże złoża węglowodorów, w węglanowych utworach dewonu i/lub klastycznych osadach karbonu (Picha *et al.* 2006).

W paleozoicznym podłożu NM sukcesy poszukiwań naftowych ograniczają się do odkrycia nielicznych objawów występowania węglowodorów, z których najpoważniejsze to:

- obecność płynnej ropy w wapieniach karbonu, w wierceniu Słomniki IG1 (Bukowy 1964);
- niewielki przypływ ropy z utworów karbonu w wierceniu Grobla-33;
- obecność nacieków płynnej ropy naftowej w szczelinowatych wapieniach i dolomitach dewonu odwiertów Książ Wielki IG1, Potok Mały IG1 i Węgrzynów IG1 oraz w sylurskich łupkach w otworze Jaronowice IG1.

Ponadto stwierdzono również plamy płynnej lub ślady zwietrzałej ropy w utworach karbonu i dewonu w odwiertach Dobiesławice-1, Mniszów-16, Niepołomice-11, Puszcza-14. Objawy występowania gazu w profilach paleozoiku południowej części NM były jeszcze słabsze (Jawor 1970, Papiernik *et al.* 2006).

W kontekście występowania złóż ropy i gazu w utworach mezozoiku, stosunkowo dobrego rozpoznania wiertniczego omawianego rejonu (Karnkowski 1993 i 1999, Papiernik *et al.* 2006, Myśliwiec *et al.* 2006) oraz w związku z istnieniem prognostycznego potencjału naftowego potwierdzonego wynikami modelowania (Górecki *et al.* 2001, Dudek *et al.* 2003, Papiernik *et al.* 2006) można przypuszczać, że słabe wyniki poszukiwań naftowych w waryscyjskim podłożu NM (Fig. 1) mogą być spowodowane brakiem regionalnego miocénskiego bądź wczesnomezozoicznego uszczelnienia skał dewonu i karbonu (Fig. 2, 3), złymi parametrami petrofizycznymi potencjalnych zbiorników paleozoicznych, niekorzystną sytuacją strukturalną bądź kombinacją wymienionych czynników.

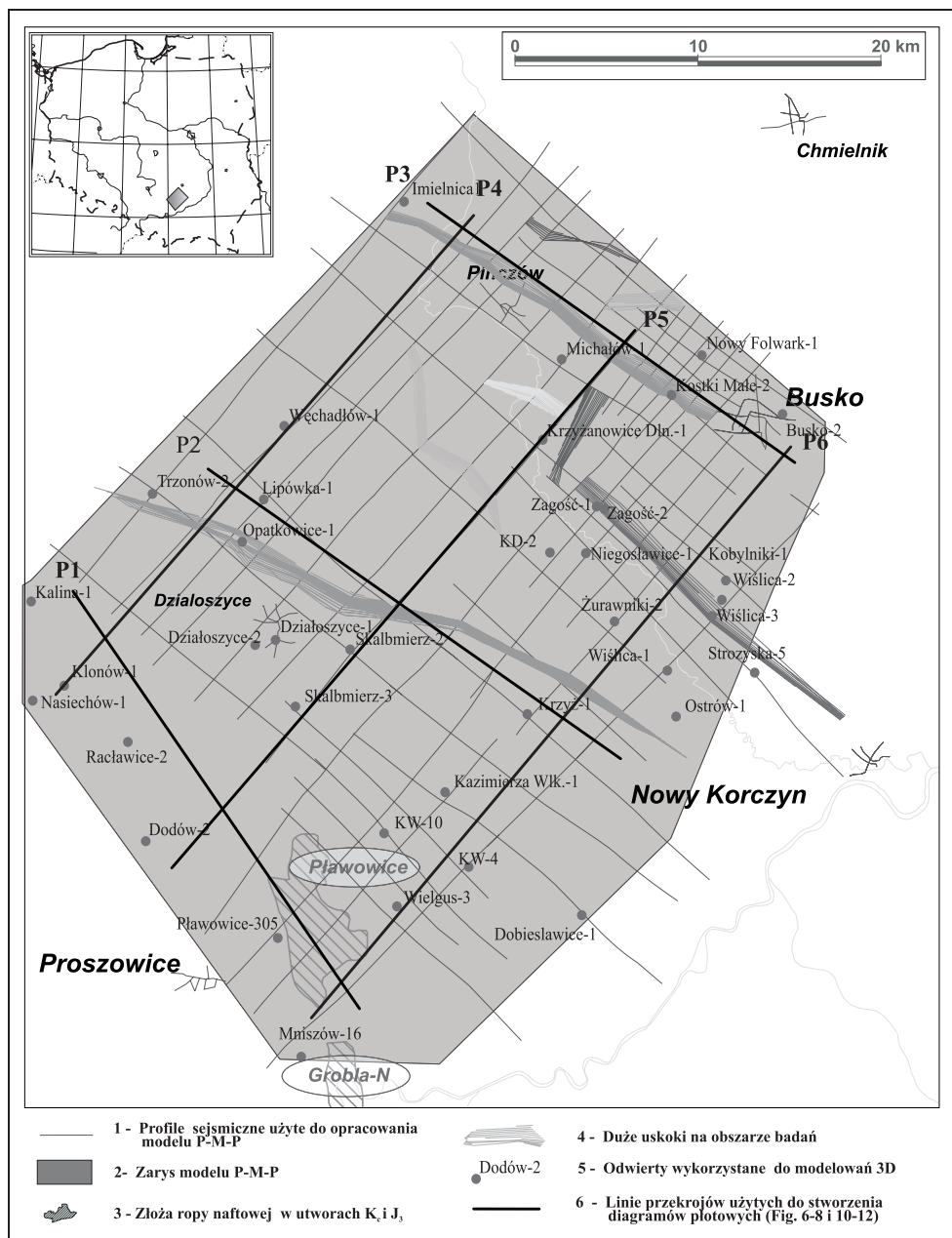


Fig. 1. Mapa lokalizacyjna modelu 3D Proszowice – Busko – Pińczów (P-B-P)

Fig. 1. Location map of Proszowice – Busko – Pińczów (P-B-P) 3D model. Explanations: 1 – seismic profiles used to prepare model; 2 – outline of P-M-P model; 3 – oil fields in the K_c and J₃ rocks; 4 – large faults on research area; 5 – boreholes used in 3D modeling; 6 – lines of sections used to create fence diagrams (Figs 6–8 and 10–12)

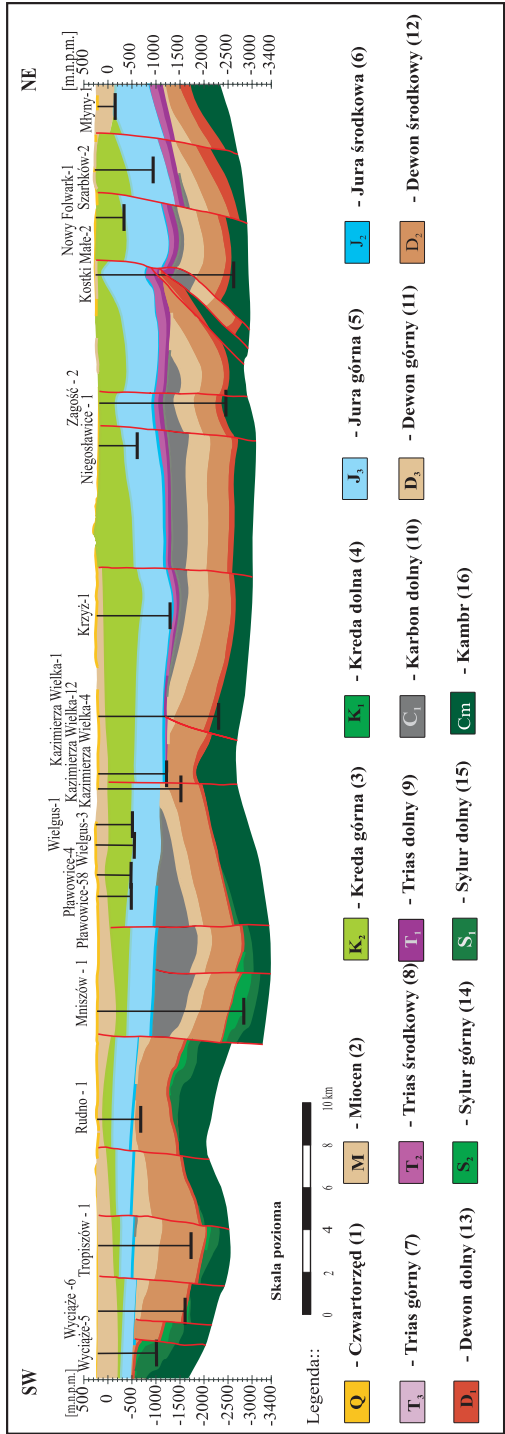


Fig. 2. Regionalny przekrój strukturalny przez południową część niecki miechowskiej (Górecki *et al.* 2001)

Fig. 2. Regional structural cross section through the southern Miechów Trough (Górecki *et al.* 2001). Explanations: 1 – Quaternary; 2 – Miocene; 3 – Upper Cretaceous; 4 – Lower Cretaceous; 5 – Upper Jurassic; 6 – Middle Jurassic; 7 – Upper Triassic; 8 – Middle Triassic; 9 – Lower Triassic; 10 – Lower Carboniferous; 11 – Upper Devonian; 12 – Middle Devonian; 13 – Lower Devonian; 14 – Upper Silurian; 15 – Lower Silurian; 16 – Cambrian

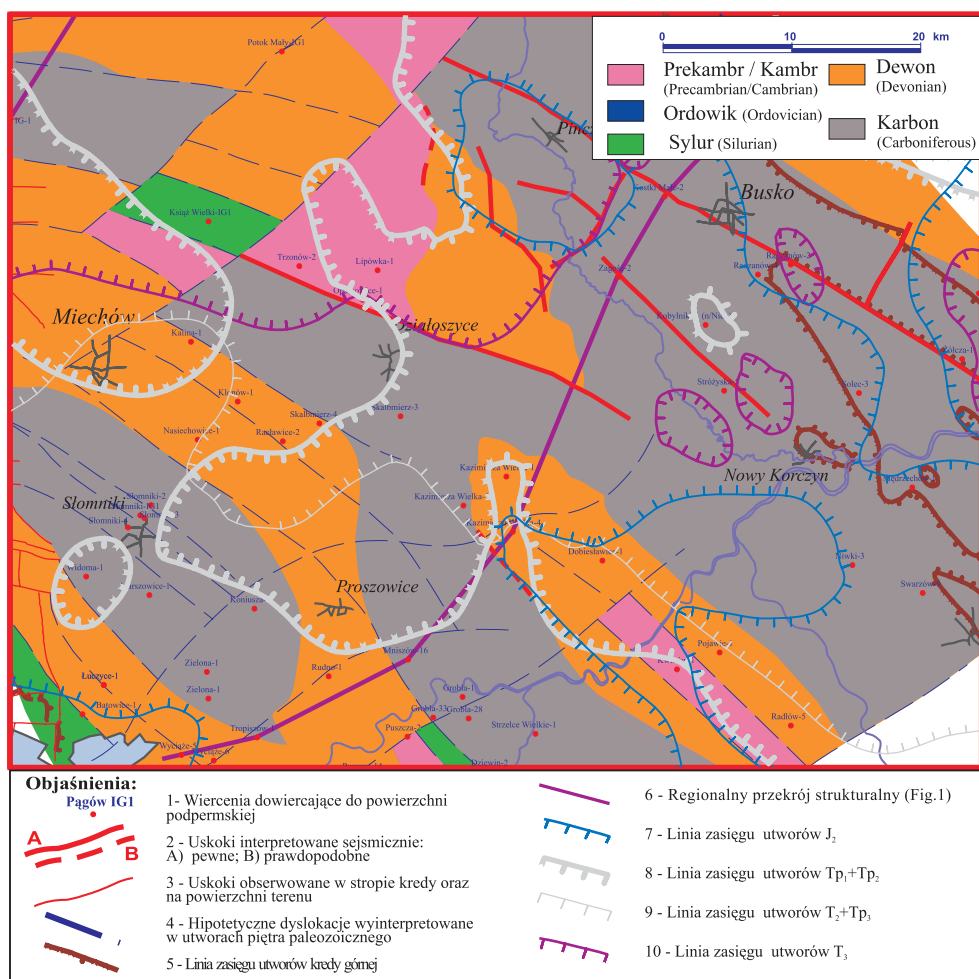


Fig. 3. Wychodnie paleozoiku na powierzchni niezgodności podmezozoicznej i zasięg potencjalnie uszczelniających utworów triasu dolnego, środkowego, górnego oraz jury środkowej w południowej części niecki miechowskiej

Fig. 3. Outcrops of Paleozoic formations onto the sub-Mesozoic unconformity surface and extent of potentially sealing rocks of Lower, Middle and Upper Triassic and Middle Jurassic in the southern Miechów Trough. Explanations: 1 – boreholes reaching the sub-Permian surface; 2 – faults interpreted from seismic survey: A – certain, B – presumable; 3 – faults observed at the top of Cretaceous and on land surface; 4 – hypothetical dislocations interpreted in formations of the Paleozoic stage; 5 – extent of Upper Cretaceous rocks; 6 – regional structural cross section (see Fig. 1); 7 – extent of J₂ rocks; 8 – extent of T₃ rocks; 9 – extent of T₂ + T_{p3} rocks; 10 – extent of T_{p1} + T_{p2} rocks

W artykule przeanalizowano wpływ czynników litofacyjnych i petrofizycznych na możliwość występowania złóż węglowodorów w utworach dewonu i karbonu w południowej części NM, wykorzystując wyniki trójwymiarowego (3D) modelowania komputerowego, wykonanego z zastosowaniem programu StrataModel (Landmark Graphics Corporation).

Przeanalizowany model komputerowy ma ok. 1200 km² powierzchni i obejmuje w przybliżeniu prostokątny (Fig. 1) wycinek NM, położony w rejonie miast Proszowice – Busko – Pińczów (P-B-P). Opracowano go na podstawie danych sejsmicznych, laboratoryjnych i wyników interpretacji geofizyki wiertniczej.

GEOLOGICZNE TŁO MODELU KOMPUTEROWEGO – WYKSZTAŁCENIE UTWORÓW KARBONU, DEWONU, TRIASU I JURY ŚRODKOWEJ W POŁUDNIOWEJ I CENTRALNEJ CZĘŚCI NIECKI MIECHOWSKIEJ ORAZ REJONACH PRZYŁĘGŁYCH

Utwory dewonu

Utwory dewonu w południowej części NM są reprezentowane przez piaszczyste osady zaliczane do oldredu oraz węglanowe osady środkowego i górnego dewonu. W południowej części NM miąższość dewonu waha się od 0 m w strefach erozyjnego zderzenia do ponad 1600 m w otworze Mniszów-16 (Jawor 1970, Barbacki 2004), położonym w SE narożu opracowanego modelu.

Dewon dolny

Skały dolnego dewonu zaliczane do emsu i częściowo zigeny (Żelichowski & Jurkiewicz 1995) stwierdzono w licznych odwiertach na terenie NM i podłoża zapadliska przedkarpackiego. Na obszarze centralnej i południowej części jednostki oraz w całej strefie przedkarpackiej stwierdzone w otworach miąższości D₁ sięgają od 0 (w strefach działania erozji pokarbońskiej) do 300 m w Mniszowie-16 (Jawor 1970, Barbacki 2004). W rejonie Książa Wielkiego, Jędrzejowa, Skalmierza i Niwek w emsie istniały obszary wyniesione, podlegające erozji (Żelichowski & Jurkiewicz 1995). Utwory te wykształcone są w facji oldredu, składają się z naprzemianujących kompleksów piaskowców kwarcytowych oraz mułowców, szarych i brunatnowiśniowych, a także łupków (Karnkowski & Głowacki 1961, Tokarski 1962, Stemulak & Jawor 1963, Kicuła & Żakowa 1966, 1972, Jurkiewicz & Żakowa 1969, 1972, Karnkowski 1969, Alexandrowicz 1970, Jawor 1970, Zajac 1975, 1981, Lenk 1993, Barbacki 2004, Jawor & Baran 2004).

Dewon środkowy i górny

Dewon środkowy i górny na obszarze NM i w podłożu ZPK jest reprezentowany przez utwory eiflu, żywetu (D₂) oraz franu i famenu (D₃). Osady te są wykształcone jako dolomity zbite, skrytokrystaliczne, wapienie stromatoporoidowe i organodetrytyczne oraz wapienie dolomityczne, margle, wapienie margliste barwy kremowoszarej i brunatnej. Podrzednie spotykane są w eiflu wkładki anhydrytów (Jurkiewicz 1975, Szulczewski *et al.* 1996). Stwierdzone za pomocą wierceń miąższości dewonu środkowego i górnego, wahają się w części jednostki objętej modelem komputerowym od 0 m, w rejonie Opatkowic – Tropiszowa, do ok. 1000 m w odwiercie Mniszów-16. W południowej części NM utwory dewonu na ogół są niezwykle jednorodne litologicznie i słabo oznaczone paleontologicznie, co uniemożliwia oddzielenie D₂ od D₃ (Jawor 1970, Barbacki 2004).

U schyłku dewonu i na początku karbonu zmienność facjalna osadów na obszarze NM była silnie uwarunkowana tektoniką fazy bretońskiej i batymetrią zbiornika, w którym istniały tektonicznie kontrolowane strefy spłyceń – tzw. platformy (Bełka *et al.* 1996). Badany obszar obejmuje platformę Opatkowic oraz marginalne strefy platform Krakowa i Wiślicy (Fig. 4); podobna struktura istniała prawdopodobnie w rejonie Kazimierzy Wielkiej. Zgodnie z powyższym modelem na obszarze platform panowały warunki płytkowodne, w których osadzały się węglany organodetrytyczne, natomiast w strefach głębszego morza dominowała sedimentacja zailonych skał węglanowych, w skrajnych przypadkach nawet ilów. Strefy sedimentacji platformowej odpowiadające w znacznej mierze osiom antyklin obserwowanych w spągu kompleksu mezozoicznego (Fig. 3) zostały na południowym obszarze NM znacznie zredukowane lub, jak w rejonie Opatkowic, całkowicie zdarte.

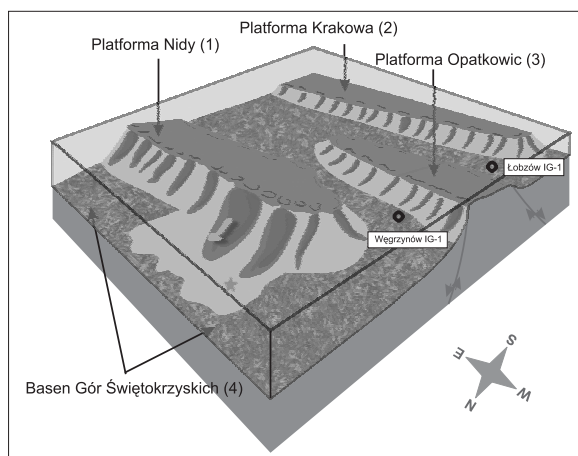


Fig. 4. Model sedimentacji osadów dewonu górnego i dolnego karbonu na obszarze bloku małopolskiego odpowiadającego środkowej części niecki miechowskiej (Bełka *et al.* 1996)

Fig. 4. Model of deposition of Upper Devonian and Lower Carboniferous sediments in the area of the Małopolska Block, which corresponds with the middle Miechów Trough (Bełka *et al.* 1996). Explanations: 1 – Nida Platform; 2 – Cracow Platform; 3 – Opatkowice Platform; 4 – Holy Cross Mountains Basin

Karbon

Na obszarze NM w okresie od wczesnego turneju po namur A (miejscami) istniał niewielki basen (baseny?) sedimentacyjny, o wielkości zmieniającej się w trakcie rozwoju (Bukowy 1964, Bojkowski & Bukowy 1966, Kicuła & Żakowa 1966, 1972, Jurkiewicz & Żakowa 1969, 1972). Do powstania zbiorników sedimentacyjnych doszło w wyniku wczesnokarbońskiej (turnej) transgresji. Morze wkroczyło wówczas od północy na obszar o silnie zróżnicowanej morfologii, ukształtowany przez ruchy górotwórcze faz bretońskiej i późniejszą denudację (Jawor & Baran 2004), występującą głównie w strefach antyklinalnych, tworzących w morfologii rodzaje platformowych wyniesień (Fig. 4, Bełka *et al.* 1996). W wielu miejscach sedimentacja C₁ na obszarach wyniesień rozpoczęła się nieco później, bo we wczesnym wizenie, po wyraźnym epizodzie erozji. Taka sytuacja jest widoczna w profilu odwiertu Słomniki IG1 (Jawor & Baran 2004). Jednakże w rejonach obniżonych

(w synklinach), np. w strefie Kobylniki – Radzanów (wschodnia część modelu), prawdopodobnie przetrwały reliktywne baseny, w których sedymentacja nie została przerwana (Kicuła & Żakowa 1966). Podobne sugestie co do ciągłości sedymentacyjnej dewonu i karbonu na obszarze podłoża ZPK wysunięto również w odniesieniu do profili wierceń Żółcza-1 (Załuża-1: Żakowa *et al.* 1963) i Gumniska-1 (Golonka & Zajac 1972).

Osadzone na południowym obszarze NM utwory karbonu w większości odwiertów trudno jednoznacznie zakwalifikować chronostratygraficznie, jednakże ze względu na wykształcenie facjalne na obszarze podłoża NM i ZPK Jawor & Baran (2004) wydzielili trzy kompleksy litostratygraficzne. Kompleks klastyczny-węglanowy reprezentują najstarsze osady zaliczane do turneju. W jego skład wchodzi piaskowce o czerwonym lub szaro-zielonym zabarwieniu, zróżnicowanej wielkości ziarna, od drobno- do gruboziarnistych, a nawet zlepieńcowatych, a także mułowce i iłowce, na ogół bezwapniste o zabarwieniu zielonym i czerwonym, zwięzłe i zbite. Profil osadów klastycznych przewarstwiają wkładki węglanów o grubości od kilku do kilkudziesięciu centymetrów, najczęściej budują je dolomity, a także iłowce margliste i zailone wapienie pelityczne. Utwory węglanowe przeważnie występują w środkowej i górnej części tego kompleksu, ich udział (łączna miąższość) nie przekracza kilku do kilkunastu procent. Osady te raczej nie występują w otworach, z których profile wykorzystywano w trakcie modelowania (Jawor & Baran 2004).

Kompleks węglanowy (wapień węglowy) został zaliczony do niższego wizenu (Jawor & Baran 2004) na podstawie badań faunistycznych oraz mikrofaunistycznych (Moryc *et al.* 1990). Lokalnie sedymentacja kompleksu węglanowego mogła zaczynać się już w turneju, np. w profilu Zalesie-1 czy w profilu Tarnawa-1, gdzie turnej został udokumentowany (Matyja 2001). Kompleks węglanowy występuje na całym obszarze współczesnego zasięgu karbonu. Utwory tego kompleksu w południowej części NM niemal nie zawierają skał terygeniczych – ich udział w profilu nie przekracza kilkunastu procent. Budują go wapienie, często ze zróżnicowanym udziałem dolomitów, dolomity krystaliczne, zbite, niekiedy mikrytowe, w różnych odcieniach brązu i szarości. Wśród wapieni występują cienkie wkładki bądź laminy iłowców i mułowców czerwonych, zielonych i szarych oraz, zwłaszcza w środkowej części tego profilu, ciemnobrązowe buły krzemieni. Skały są spękane i skawernowane, a szczeliny na ogół zabliźnione kalcytem lub materiałem ilastym. W rejonie Nosówki k. Rzeszowa utwory te stanowią skałę zbiornikową dla ropy naftowej (Jawor & Baran 2004).

Kompleks klastyczny (facja kulmu) obejmuje utwory środkowego i późnego wizenu (m.in. Wdowiarz 1954, Czarnocki 1956, Kamkowski & Głowacki 1961, Czarniecki & Kwiatkowski 1961, 1963, Moryc 1992, Jawor & Baran 2004), a lokalnie osady te obejmują również najstarsze utwory namuru A (Moryc *et al.* 1990). W podłożu południowej części NM występowanie tych utworów ma zasięg ograniczony do osiowej części synkliny Słomnik – Zielonej oraz synkliny Skalbmierza – Strzelc Wielkich – Jadownik (Jawor & Baran 2004). Kompleks klastyczny jest zbudowany z szarych, ciemnoszarych, a nawet czarnych iłowców i łupków ilastych, z nielicznymi wkładkami mułowców i piaskowców łyszczykowych, o miąższości od kilku do kilkunastu centymetrów. Są to piaskowce średnio- i drobnoziarniste, o niskim stopniu wysortowania. Ich podstawowym składnikiem jest kwarc i mika, głównie biotyt. Utwory kompleksu klastycznego w synklinie Skalbmierza – Strzelc Wielkich – Jadownik osiągają miąższość 500 m (Jawor & Baran 2004). W strefie objętej modelem utwory tego kompleksu mogą się pojawiać w stropowych partiach karbonu w rejonie Kobylniki – Radzanów (E część modelu), gdzie zaznacza się znaczny wzrost ilości materiałów klastycznych.

Alternatywny, formalny podział stratygraficzny utworów karbonu w NM zaproponowali Żelichowski & Jurkiewicz (1996), którzy wydzielili formację wapieni i margli z Kobylnik, obejmującą skały zdeponowane w przedziale czasowym od turneju po wczesny namur. W jej składzie wyróżnili dwa ogniwa, w przybliżeniu odpowiadające kompleksom opisywanym przez Jawora & Baran (2004): ogniwo z Węgrzynowa (odpowiednik kompleksu węglanowego) oraz ogniwo ze Słomnik (kompleks klastyczny). Według koncepcji prezentowanej przez Żelichowskiego (Żelichowski & Jurkiewicz 1996), rozkład miąższości i zmienność facjalna utworów karbonu była uwarunkowana w znacznym stopniu morfologią dna ukształtowaną w wyniku ruchów fazy bretońskiej. Przykładowo w wizenie w strefach podniesień (np. platforma Opatkowice) deponowane były utwory węglanowe facji szelfowej i platformowej, zaś w strefach obniżień osadzały się utwory wapienno margliste (Fig. 5). Opisany schemat sedymentacji w ogólnych zarysach odpowiada modelowi Bełki (*op. cit.*)

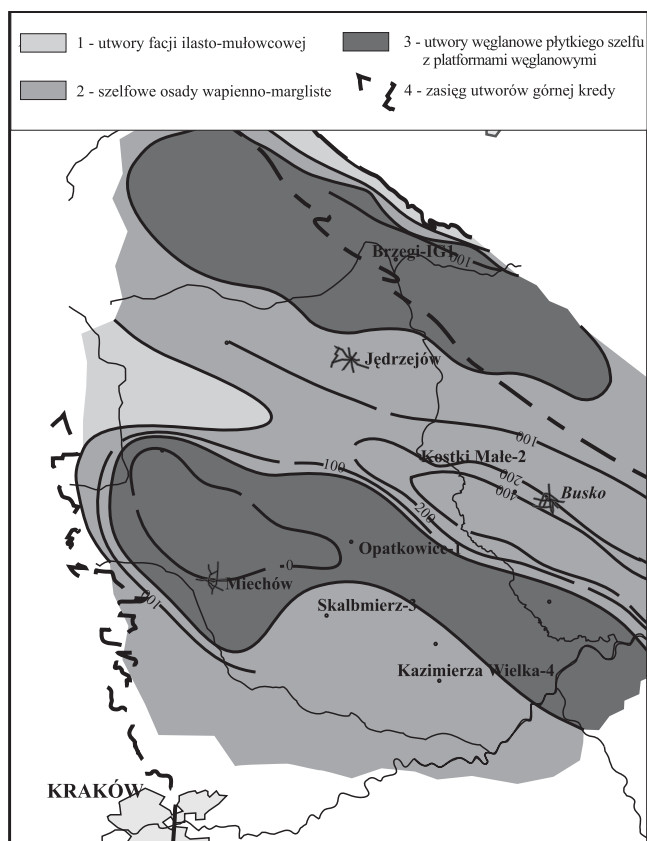


Fig. 5. Mapa litologiczno-miąższościowa dolnego i środkowego wizenu (wg Żelichowski & Jurkiewicz 1996)

Fig. 5. Lithology and thickness map of Lower and Middle Visean (after Żelichowski & Jurkiewicz 1996). Explanations: 1 – sediments of the clayey-muddy facies; 2 – shelfal calcareous-marly sediments; 3 – carbonate sediments of the shallow shelf with carbonate platforms; 4 – extent of Upper Cretaceous rocks

Trias dolny – pstry piaskowiec

Pstry piaskowiec dolny występuje w północnej części NM, gdzie jest reprezentowany przez zlepieńce i różnoziarniste piaskowce, z niewielkim udziałem mułowców i iłowców, będące utworami rzecznyymi (Kuleta 1995). Transgresyjne osady środkowego pstręgo piaskowca zidentyfikowano w północnej i środkowej części niecki miechowskiej. Reprezentują je piaskowce, mułowce i iłowce, rzadziej wkładki wapieni piaszczystych i zlepieńców śródoformacyjnych. Powyżej leżą mułowce z gruzłowatymi skupieniami węglanu wapnia i wkładkami piaskowców, powstałe w środowiskach typu playa (Kuleta 1995).

W południowej części niecki miechowskiej (na S i SE od wierzeń Jędrzejów IG1 i Potok Mały IG1) informacje o wykształceniu utworów pstręgo piaskowca środkowego i dolnego są bardzo skromne. Profil nierozdzielonych osadów pstręgo piaskowca środkowego i dolnego ($Tp_1 + Tp_2$) składa się tu niemal wyłącznie z utworów klastycznych – głównie ceglanczerwonych i czerwono-fioletowych wapnistych iłowców i mułowców, zawierających wkładki mikowych piaskowców drobnziarnistych, różowych, wiśniowych i szarozielonych, wapnistych. Spotykane są również wkładki brązowych, szarych bądź (podrzednie) fioletowoczerwonych zlepieńców, w których szkielet ziarnowy stanowią słabo obtoczone wapienie. Sporadycznie spotykane są gniazda gipsu. W strefach lokalnych wzrostów miąższości (rowów?), np. w rejonie Dobiesławic-1 (403 m) czy Klimontowa-1 (>515.6 m), prawdopodobnie wzrasta ilość materiału gruboziarnistego (Jurka-Wantuch *et al.* 1998).

Trias środkowy

Kompleks triasu środkowego na obszarze NM jest reprezentowany przez utwory retu¹⁾ i wapienia muszlowego. Ret reprezentowany jest przez mułowce, margle, wapienie i dolomity z przewarstwieniami anhydrytu i gipsu, które na obszarze środkowej i północnej NM tworzą cztery kompleksy litostratygraficzne (Jurkiewicz 1975), warstwy gipsowe dolne, warstwy międzygipsowe, warstwy gipsowe górne, warstwy z Wilczkowic. W południowej części NM, w otworach przemysłu naftowego, utworów retu nie rozdzielano stratygraficznie. Jego profil rozpoczyna się tu szarymi wapieniami z wkładkami ciemnych margli i wapieni drobnokrystalicznych, z podrzednie występującymi wkładkami gipsów i anhydrytów. Spotykane bywają kilkumetrowe wkładki szarych dolomitów lub wapieni dolomitycznych z licznymi gniazdami anhydrytu (Jurka-Wantuch *et al.* 1995, 1998). Osady te były deponowane w facjach lagunowo-morskich (Barbacki 2004). W południowej części NM osady retu leżą transgresywnie na utworach klastycznych triasu dolnego, a w niektórych strefach, jak np. w rejonie Trzonowa – Lipówki – Wechadłowa, bezpośrednio na podtriasowym podłożu (Fig. 1, 2).

W trakcie depozycji osadów wapienia muszlowego (T_m) warunki sedymentacji były zbliżone do panujących w recie. Utwory T_m występują w północnej i środkowej części NM, zanikając na południe od Miechowa (Jurkiewicz 1974). W tej części jednostki, T_m jest reprezentowany przez wapienie, margle, rzadziej dolomity i wapienie dolomityczne. W większości reprezentują one dolny wapień muszlowy, natomiast utwory środkowego i górnego

¹⁾ Ret pod względem stratygraficznym należy do T_1 , jednakże ze względu na swoją genezę tworzy jeden kompleks z utworami triasu środkowego.

wapienia muszlowego są silnie zredukowane lub wykształcone w sposób zbliżony do osadów kajpru (Zawidzka 1984, Kuleta *et al.* 1995).

W południowej części NM, w dolnej części profilu T_m , występują wapienie z wkładkami margli coraz liczniejszymi ku górze profilu, w partiach przystropowych zaznacza się dominacja wapieni z lokalnymi przewarstwieniami margli. W profilu podrzędnie występują cienkie wkładki dolomitów, a miejscami skał siarczanowych (Jurka-Wantuch 1998).

Trias górny

Trias górny (T_3) na obszarze niecki miechowskiej jest reprezentowany przez utwory kajpru i retyku. Utwory kajpru osadziły się prawdopodobnie na całym obszarze niecki i również współcześnie występują na niemal całym obszarze centralnej NM, brak ich natomiast w południowo-wschodniej części obszaru, w Książu Wielkim i Węgrzynowie (Jurkiewicz 1974). Na południu obszaru występowania, w rejonie Michałowa-1,-3, Lipówki-1 i Wechadłowa-1, trias górny jest reprezentowany wyłącznie przez osady kajpru, który tworzy także izolowane płyty w rejonie wierceń Ostrów-1 i Radzanów-2. W centralnej części NM rozpoznano osady kajpru dolnego (piaskowce i mułowce z przewarstwieniami iłowców, a na północy – drobnoklastyczne serie iłoweglówce) oraz trójdzielne osady kajpru górnego. Jego najniższą część, warstwy gipsowe dolne, stanowią anhydryty „trzewiowe” z przewarstwieniami dolomitycznych wapieni bitumicznych lub dolomitów. Nad nimi zalegają pstre utwory mułowcowo-piaszczyste z wkładkami iłowców. Najwyższy kajper tworzą utwory mułowcowo-ilaste ze skupieniami gipsów i anhydrytów (Hakenberg & Świdrowska 1996). W południowej części niecki miechowskiej utworów kajpru nie rozdzielono stratygraficznie, są one reprezentowane przez pstre iłowce, mułowce i podrzędnie piaskowce (Jurka & Wantuch 1998). Moryc (1971) osady kajpru w podłożu ZPK zalicza do kajpru dolnego, wydaje się, że w południowej części NM sytuacja jest podobna.

Utwory retyku stwierdzono na północ od Miechowa (Jurkiewicz 1974), są one wykształcone jako mułowce i iłowce. W dolnej partii towarzyszą im przewarstwienia piaskowców z wkładkami margli dolomitycznych, wapieni i dolomitów. W części środkowej w mułowcach obecne są przewarstwienia piaskowców i zlepieńców złożonych z okruchów wapieni, dolomitów, syderytów i toczeńców ilastych. Część najwyższa zawiera obok mułowców także iłowce oraz rzadkie przewarstwienia piaskowców i zlepieńców.

Wykształcenie osadów triasu górnego – zarówno retyku, jak i kajpru – sprawia, że są one potencjalnie dobrymi skałami uszczelniającymi. Jednakże w strefie Pińczów – Busko – Proszowice (P-B-P) wyklinowują się w zachodniej części obszaru badań (Fig. 1). Ponadto tworzą one niewielkie izolowane płyty na wschodzie obszaru badań. Zrekonstruowane na podstawie danych sejsmicznych i otworowych, miąższości triasu górnego w strefie P-B-P (Górecki *et al.* 2001) zmieniają się w zakresie od 0 do ponad 200 m (w odwiertach do 112.5 m).

Redukcja miąższości triasu, a miejscami jego całkowity brak w południowej części NM, po części uwarunkowana batymetrią zbiornika triasowego, który w północnej części jednostki ulegał w trakcie retyku przegłębieniu, zaś na południu w rejonie zapadliska przedkarpackiego pozostawał wyniesiony (Dadlez *et al.* 1998).

W południowej części NM współczesny zasięg utworów triasu jest również uwarunkowany erozją potriasową, która na obszarze całej niecki miechowskiej zredukowała miąższości retyku (Jurkiewicz 1974). Na południu w strefie Kraków – Krzeszowice – Miechów – Tarnów, erozja była intensywniejsza i doprowadziła do całkowitego usunięcia osadów triasu (Barbacki 2004).

Jura środkowa

Jura środkowa w NM jest reprezentowana przez utwory bajosu, batonu i keloweju (Jawor 1970, Golonka 1972, Morycowa & Moryc 1976, Hakenberg & Świdrowska 1996, Złonkiewicz 1999). W objętej modelowaniem południowej części jednostki występują tylko dwie pierwsze jednostki. Utwory jury środkowej na obszarze NM wykazują miąższości od 0 m w centralnej części do 166 m na północy. W strefie P-B-P miąższość J_2 zmienia się w zakresie od 0 m w rejonie Michałowa-1,-2 do 75 m w rejonie Nasiechowic – Słomnik. Na południu utwory doggeru wyklinowują się w rejonie Raławic, Skalbmierza i Kazimierzy Wielkiej, Dobiesławic, zaś na NE w rejonie Radzanów – Zaborów – Bolesław – Odmet.

Na południu niecki bajos (głównie górny) występuje lokalnie w rejonie Nasiechowice – Skalbmierz — Słomniki, osiągając maksymalne miąższości do 41 m. Budują go drobnoziarniste piaskowce z nielicznymi wkładkami iłowców (czarne iły węgliste). Powszechnie występują soczewki i laminy węgla oraz detrytus roślinny. Miejscami spotykane są wkładki gruboziarnistych piaskowców. W górnej partii profilu występuje kompleks mułowców o miąższościach 2–7.5 m (Jurka-Wantuch *et al.* 1998).

W południowej części niecki utwory batonu rozpoczynają zlepieńce i piaskowce gruboziarniste (źle wysortowane), z częstymi wkładkami (smugami) węgla. W wyższych częściach profilu przeważają piaskowce drobnoziarniste, o spoiwie wapiennym z wkładkami materiału grubszego. Substancja ilasta tworzy smugi w piaskowcach. Osady batonu stwierdzono niemal na całym obszarze występowania J_2 ; osiągają one ok. 40 m w rejonie Doda – Skalbmierza.

W rejonie Skalbmierza i Kazimierzy Wielkiej do jury środkowej zaliczają się również wapienie piaszczyste, seria gezowa i wapienie bulaste. Ich miąższość nie przekracza 10 m (Golonka 1972, 1978). Serie permotriasu i środkowej jury w południowej i południowo-zachodniej części niecki miechowskiej osadzały się w obniżeniach, wyrównując morfologię pohercyńską (Burzewski 1969).

MODEL KOMPUTEROWY

– DANE WEJŚCIOWE I METODYKA KONSTRUOWANIA

Do wykonania modelu zastosowano oprogramowanie StrataModel (Landmark Graphics Corporation), do którego dane wejściowe można podzielić na trzy grupy.

Pierwszą stanowią dane dotyczące budowy strukturalnej w postaci map stropów wybranych poziomów stratygraficznych kenozoiku, mezozoiku oraz późnego paleozoiku: miocenu, górnej kredy bez cenomanu, górnego oksfordu i kimerydu, dolnego i środkowego oksfordu, środkowej jury, górnego triasu, środkowego triasu, dolnego triasu, karbonu i dewonu przygotowane w postaci siatek interpolacyjnych.

Drugą grupę danych stanowią wyniki laboratoryjnych oznaczeń parametrów zbiornikowych, wykonane na materiale rdzeniowym. Do przygotowania omawianego modelu wykorzystano oznaczenia litologii oraz pomiary współczynnika porowatości w 31 otworach wiertniczych.

Trzecia grupa danych to interpretacje geofizyki wiertniczej, obejmująca krzywe litologiczne, porowatości i zailenia wykonane dla 15 otworów wiertniczych. Do modelowania wykorzystano litologiczno-złożowe interpretacje krzywych geofizycznych wykonane przez M. Grabską oraz B. Czopek (W: Górecki *et al.* 2001).

Model strukturalny

Zasadniczym elementem przestrzennego modelu facjalno-zbiornikowego jest jego osnova strukturalna. Aby opracować osnowę geometryczną, w programie StrataModel wykorzystywany jest moduł Stratigraphic Framework, którego zadaniem jest w pierwszej kolejności podział przestrzeni na jednostki stratygraficzne.

W przedstawianym modelu wydzielono neogen, kredę młodszą ponad cenomanem, cenoman (potencjalny horyzont złożowy), jurę górną – kimeryd i oksford, jurę środkową, trias górny, środkowy i dolny, karbon górny oraz nierozdzielny dewon. Mapy powierzchni – stanowiące stropy poszczególnych jednostek – obliczono w postaci regularnych siatek interpolacyjnych (grid) z zastosowaniem programu ZMAP-Plus. Większość z nich policzono na podstawie interpretacji sejsmiki refleksyjnej dowiązanej do profili wierceń. Dodatkowo osnowę geometryczną uzupełniono nieinterpretowanymi sejsmicznie granicami – stropu kredy górnej oraz stropu kompleksu obejmującego utwory oksfordu dolnego i środkowego (jura górna). Siatki interpolacyjne użyte do opracowania osnowy przygotowano w uproszczony sposób, usuwając z nich uskoki i filtrując dyslokacje.

Kolejnym, nie mniej istotnym krokiem tworzenia modelu 3D, jest podział wyodrębnionych jednostek stratygraficznych na mniejsze interwały, nazywane warstwami (*layers*). Ma on za zadanie utworzenie możliwie jednorodnych interwałów, umożliwiających poprawną (geologicznie) interpolację wielkości modelowanych parametrów. Miąższości wydzielanych warstw stanowią kompromis pomiędzy oczekiwaną rozdzielczością modelu a możliwym do zaakceptowania czasem przetwarzania. Poza miąższością, drugim bardzo ważnym elementem zmienności modelu strukturalnego jest określenie sposobu przebiegu warstw wewnątrz kompleksów. Mogą one przebiegać w sposób zgodny lub niezgodny względem kompleksów wyżej- i niżejleżących.

Przyjęto następujące założenia geologiczne i metodyczne dotyczące opisywanego w artykule wycinka modelu:

- Utwory jury środkowej oraz triasu dolnego, środkowego i górnego podzielono na warstwy (*layers*) o miąższości 20–25 m, aby możliwie dokładnie odzwierciedlić zdolność skał budujących te wydzielania do tworzenia potencjalnych uszczelnień lub zbiorników.
- Utwory karbonu i dewonu podzielono na warstwy o miąższości 50 m. Taki, stosunkowo niedokładny (ze względu na wysoki poziom uśrednienia) podział był spowodowany zmienną, ale miejscami bardzo dużą miąższością, a także słabym geofizyczno-złożowym rozpoznaniem omawianych kompleksów.

- Na obszarze modelu P-B-P utwory karbonu są w całości zaliczone do karbonu dolnego – kompleksu węglanowego (Jawor & Baran 2004). Osady młodszego kompleksu klastycznego prawdopodobnie mogą się podrzędnie pojawiać w rejonie odwiertów Kobylniki – Radzanów (E część modelu).
- W omawianej części modelu strukturalnego założono niezgodne zaleganie warstw triasu i jury środkowej na utworach paleozoiku.
- Pomimo możliwości występowania nieznacznych luk sedimentacyjnych i niegodności kątowych między T_1 , T_2 , T_3 i J_2 , ze względu na półregionalny charakter modelu przyjęto wzajemnie zgodne zaleganie tych jednostek.
- Warstwowanie wewnątrz karbonu poprowadzono równolegle do spągu tej jednostki. Zalegające niżej utwory dewonu także są warstwowane równolegle do spągu karbonu. W omawianej strefie zachowanie ciągłości sedimentacji pomiędzy dewonem i karbonem wydaje się uzasadnione (patrz wyżej, a także: Kicuła & Żakowa 1966), założenie takie prawdopodobnie jest zasadne.
- Niska jakość materiałów sejsmicznych uniemożliwiła stworzenie wiarygodnego modelu strukturalnego (sejsmicznego) stropu dolnego dewonu. Z kolei mała liczba wierceń przewiercających D_1 utrudnia pewną rekonstrukcję miąższości. Z tej przyczyny model schematycznie odwzorowuje zmienność facjalną i petrofizyczną D_1 , który jest ukazany jako najgłębsza warstwa w obrębie nierozdzielonego kompleksu dewońskiego. Modelowanie parametrów zbiornikowych dewonu wykonano na podstawie danych laboratoryjnych i krzywych geofizycznych z siedmiu wierceń na obszarze badań.

W ostatnim etapie opracowania osnowy geometrycznej wyznaczone warstwy podzielono na bloki, zgodnie z rozmiarami „oczka” siatki interpolacyjnej wejściowych map strukturalnych – w omawianym modelu odległość ta wynosi 300 m w kierunkach X i Y . W efekcie powstał model 3D składający się 800 tysięcy równoległościaków, tzw. woksli (*voxels*), będących w praktyce zniekształconymi sześcianami. Pojedynczy blok modelu jest uznawany za jednorodny i wszystkim parametrom przypisywana jest jednolita wartość.

Zarys metodologii przestrzennego (3D) modelowania „atrybutów” zmienności geologicznej i petrofizycznej

„Rozprzestrzenienie” danych w obrębie osnowy geometrycznej polega na przypisaniu wielkościżądanego parametru do każdego bloku przecinanego przez opróbowane profile odwiertów. Jeśli w obrębie bloku znajdzie się więcej niż jeden pomiar, ich wielkości na ogół jest uśredniana. Gdy tego uczynić nie można, np. jeśli parametrem jest zakodowana cyfrowo litologia, przypisywana jest wartość, która najczęściej występuje w komórce modelu. Następnym etapem modelowania jest interpolacja wprowadzonych i wstępnie przetworzonych danych wzdłuż warstw modelu.

Rekonstrukcja zmienności litologicznej

Litologia ma niewątpliwie największy wpływ na właściwości skał, dlatego uznano, że powinna stanowić parametr kontrolujący tworzenie kolejnych modeli. Litologia będąc zmienną typu dyskretnego, nie może podlegać interpolacji, co wymusza użycie algorytmów

stochastycznych. W celu redukcji szumu wykonywanych jest szereg przejściowych (roboczych) modeli stochastycznych, które w wyniku przetwarzania statystycznego pozwalają stworzyć model finalny. Dyskretny model litologiczny jest kalkulowany w wyniku obliczenia najliczniejszej (modalnej) litologii w poszczególnych komórkach. Modele parametrów petrofizycznych wykazujących zmienność ciągłą obliczono w wyniku uśredniania danych wejściowych w komórkach „gridu” 3D.

Wykonano 40 roboczych modeli odzwierciedlających stochastyczny rozkład litologii i na tej podstawie policzono model finalny obrazujący najczęściej występującą litologię. Wiarygodność takiej estymacji można określić, obliczając w każdym z bloków wielkość będącą stosunkiem liczby rozwiązań najczęstszych do wszystkich (czyli 40), mającą wymiar prawdopodobieństwa (jest liczbą w zakresie od 0 do 1).

Rekonstrukcja zmienności współczynników porowatości i zailenia

Wielkość współczynnika porowatości oszacowano na podstawie pomiarów geofizyki wiertniczej oraz oznaczeń laboratoryjnych. Dlatego też dane te nie mogły być jednocześnie wykorzystane, nie zdecydowano się także na pominięcie dość licznych danych laboratoryjnych. Zbadano stopień ich korelacji, przedstawiając dane geofizyczne i laboratoryjne z analogicznych interwałów wierceń na wykresie. W celu uniknięcia błędów wynikających z różnic pomiędzy miarą wiertniczą i geofizyczną, a także wyeliminowania szumów dane zostały uśrednione w interwałach odpowiadających miąższościom warstw modelu. Dla nierozdzielonej populacji współczynnik korelacji R^2 wyniósł 0.3. Po dokładniejszej analizie wyróżnić można było dwa istotnie różniące się podzbiory – dla poziomów mezozoicznych o znacznym udziale stosunkowo wysokoporowatych utworów klastycznych oraz dla poziomów paleozoicznych z dominacją niskoporowatych utworów węglanowych. W pierwszym z nich współczynnik R^2 wzrósł do 0.35, przy zależności regresyjnej $P_{lab} = 0.55 \cdot P_{geof} + 2.7$ (gdzie P_{lab} – porowatość oznaczana laboratoryjnie na rdzeniach, P_{geof} – porowatość liczona na podstawie krzywych geofizycznych). W drugim współczynnik R^2 jest niższy (ok. 0.1), a uzyskana zależność $P_{lab} = 0.31 \cdot P_{geof} + 0.8$; w celu poprawy estymacji współczynnika porowatości w tym przypadku zdecydowano się na płynną zmianę współczynników regresji ze zmianą głębokości.

Obliczone równania prostych regresji dały możliwość połączenia obydwu wspomnianych grup danych, przy czym dane geofizyczne zostały dopasowane do laboratoryjnych, ponieważ przyjęto, że pomierzony w ten sposób współczynnik porowatości jest bliższy porowatości efektywnej określającej właściwości zbiornikowe skał.

Tak przygotowany zestaw danych poddano interpolacji w obrębie wydzielonych warstw modelu w sposób kontrolowany uzyskanym wcześniej modelem litologicznym, co oznacza ograniczenie wybieranych w procesie interpolacji danych nie tylko z określonej warstwy, ale też określonej litologii. Skutkiem tej metody było jednak pojawienie się szeregu obszarów, szczególnie tych odległych od najbliższego punktu (odwiertu) pomiarowego, gdzie nie można było uzyskać rozwiązania. W związku z tym wykonana została kolejna interpolacja, niekontrolowana już litologią. W tych strefach model uzupełniono, wprowadzając wartości obliczone w wyniku estymacji niekontrolowanej litologicznie. Ponadto uznano,

że w obszarach, gdzie wiarygodność modelu litologicznego jest niska, lepiej jest obliczyć wielkość współczynnika porowatości jako średnią ważoną z obydwu modeli, a jako parametr wagi zastosować wspomniane powyżej prawdopodobieństwo określenia litologii.

Uzyskany ostatecznie modelowy rozkład współczynnika porowatości należy więc rozumieć jako ściśle kontrolowany litologią w obszarach gęściej opróbowanych i o wysokiej pewności przypisanej litologii oraz mający w różnym stopniu charakter trendu regionalnego w wypadku obszarów słabiej rozpoznanych wiertniczo.

Opracowanie rozkładu współczynnika zailenia nie wymagało, jak w przypadku porowatości, dodatkowych analiz i przetwarzania danych wejściowych, ponieważ pochodziły one wyłącznie z interpretacji krzywych geofizyki wiertniczej. Ostateczny model rozkładu współczynnika zailenia powstał analogicznie jak opisany powyżej model porowatości.

Określenie położenia i jakości przewarstwień mających charakter uszczelniający

W celu wskazania warstwy mogącej stanowić uszczelnienie dla migracji płynnych węglowodorów przyjęto następujące założenia:

- Aby przewarstwienie mogło stanowić uszczelnienie, jego porowatość nie powinna przekraczać 3%, natomiast współczynnik zailenia utworów klastycznych powinien być wyższy od 50%, a w wypadku utworów węglanowych od 35%.
- Żeby dana warstwa, której miąższość w omawianym modelu wynosi z reguły ponad 20 m, mogła być uszczelnieniem, wystarczy obecność w niej pojedynczego przewarstwienia spełniającego powyższe wymogi o miąższości znacznie mniejszej od samej warstwy modelu, czyli w praktyce 0.25 m jako rozdzielczość (krok próbkowania) pomiarów geofizycznych.
- Jakość uszczelnienia, które może zapewnić dane przewarstwienie, zależy w równym stopniu tak od porowatości, jak i zailenia.
- W celu ilościowego wyrażenia stopnia uszczelnienia obliczono je jako parametr według następującego kryterium: przewarstwieniu mającemu graniczne własności zbiornikowe, tj. porowatość 3% oraz zailenie 50% (klastyczne) albo 35% (węglanowe), przypisuje się jakość równą 0; w skrajnym przypadku, tj. porowatość 0%, zailenie 100% (w odniesieniu do węglanów 67%), przypisuje się jakość równą 1; we wszystkich pośrednich przypadkach jakość uszczelnienia zmienia się liniowo w zależności od porowatości i zailenia od 0 do 1.

Odwzorowanie rozprzestrzenienia skał zbiornikowych i uszczelniających, spełniających powyższe założenia, wymagało obliczenia dodatkowych modeli. Uśrednione wyniki modelowania przedstawiono na figurze 13.

Rozmieszczenie poziomów zbiornikowych

Aby określić położenie potencjalnych poziomów zbiornikowych w obrębie modelu, przyjęto odpowiednie założenia. W przypadku utworów klastycznych za skałę zbiornikową uznano warstwę o porowatości powyżej 5% (w odniesieniu do podlegających silniejszej kompaktacji utworów paleozoiku – 3%) i zaileniu mniejszym niż 30%. W utworach węglanowych za zbiornikowe uznano warstwy o takich samych wartościach progowych porowatości oraz współczynnika zailenia mniejszym niż 25%. Dla każdego bloku (woksła) uznanego

za zbiornikowy obliczona została jego miąższość, co zostało wykorzystane w późniejszym etapie do opracowania map sumarycznych miąższości zbiorników w wybranych kompleksach stratygraficznych (Fig.10)

Wyniki modelowania parametrów zbiornikowych

Wyniki wykonanych modeli przedstawiono wycinkowo w postaci tzw. diagramów płotowych obejmujących sześć przekrojów (Fig. 6–8, 10–12). Trzy z nich poprowadzono w przybliżeniu równolegle do osi struktur paleozoicznych (P1-P3), natomiast pozostałe prostopadłe do nich (P4–P6). Przedstawione obrazy „zrotowano” względem północy geograficznej, tak by uzyskać optymalną czytelność diagramu. Wyniki modelowania 3D mogą być również prezentowane w postaci map odzwierciedlających syntetycznie zmienność parametru w zadanym interwale stratygraficznym. Autorzy na mapach przedstawili sumaryczną miąższość skał zbiornikowych dewonu i karbonu (Fig. 9) oraz jakość uszczelnień triasowo-dolnojurajskich (Fig. 13).

Jakość skał zbiornikowych dewonu i karbonu

ZMIENNOŚĆ LITOLOGII

Utwory dewonu środkowego i górnego w omawianej strefie są zdominowane przez skały węglanowe, głównie wapienie i dolomity tworzące wyraźnie wyodrębnione warstwy (Fig. 6). W profilu dewonu margle stanowią nieliczne wkładki w niższej części profilu. W dolnej części profilu występują liczne wkładki utworów klastycznych, głównie piaskowców i iłowców. W uproszczony sposób odwzorowują one układ warstw dewonu dolnego (patrz wyżej).

W kompleksie dolnokrabońskim zaznacza się dominacja skał węglanowych – głównie wapieni. W NE części modelu, w rejonie pokazanym na profilu P3, pojawiają się liczne przewarstwienia dolomitów. W przyspagowych partiach karbonu widoczne są wkładki margli, iłowców, mułowców i niekiedy piaskowców, stanowiące nie więcej niż 10% profilu. W rejonie położonym na NE od otworu Kazimierza Wielka-1 i SE od odwiertu Kobylniki-1, (P6 i P2), w partii przystopowej profilu karbonu, pojawiają się liczne wkładki piaskowców i iłowców. Obszar ten może stanowić NE krawędź strefy, w której osadzały się utwory kompleksu klastycznego (facja kulmu).

ZMIENNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA ZAILENIA

Wielkość współczynnika zailenia utworów dewońskich na ogół nie przekracza 20% (Fig. 7). Wyjątek stanowią dolnodewońskie utwory klastyczne, w których zailenie waha się pomiędzy 30–50%. W południowo-wschodniej części obszaru badań (synklina Skalmierz – Mniszowa, antyklina Kazimierzy Wielkiej) zailenie utworów D₁ przekracza 50%. Natomiast w NE strefie modelu (przekroje P6 i P5 na północ od P2, oraz P3) zailenie D₁ jest zdecydowanie niższe i nie przekracza 40%. Charakterystyczną cechą modelowanego rozkładu jest stosunkowo regularny spadek zailenia ku stropowi dewonu. W rezultacie na całym obszarze badań w wyższej części profilu dewonu zailenie oscyluje wokół wartości 10%. Dopiero w przystopowej warstwie następuje jego ponowny wzrost do ok. 15–20%.

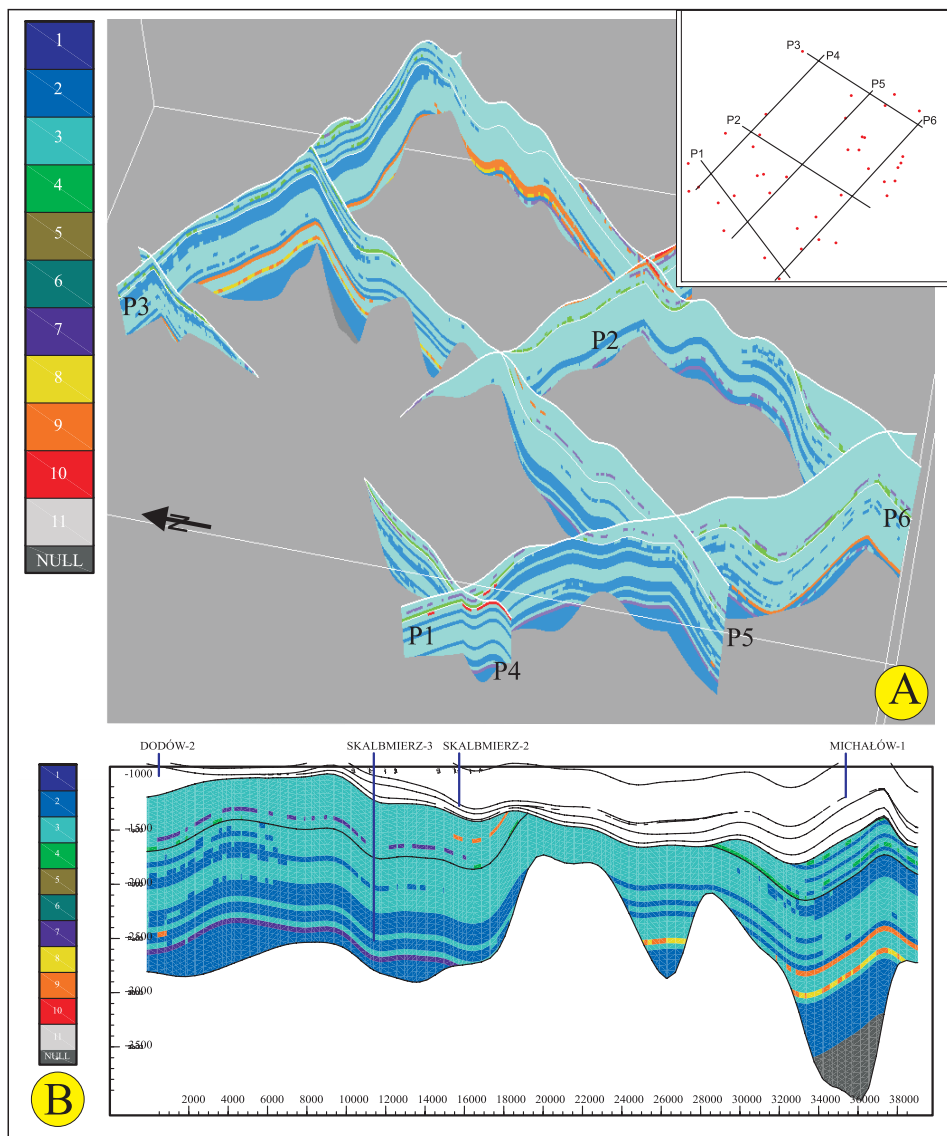


Fig. 6. Zmienność litofacjalna utworów karbonu i dewonu w rejonie Proszowice – Busko – Pińczów: A) diagram płotowy na podstawie modelu 3D; B) zmienność litofacjalna wzdłuż przekroju P5 (na podstawie modelu 3D). Litologia widoczna na analizowanych profilach: 1 – anhydryt; 2 – dolomit; 3 – wapienie; 4 – margle; 5 – opoki; 6 – sole; 7 – iłowce i mułowce; 8 – piaskowce z iłowcami; 9 – piaskowce; 10 – zlepieńce; 11 – brak danych

Fig. 6. Lithofacial variability of Carboniferous and Devonian formations in the Proszowice – Busko – Pińczów region: A) fence diagram based on the 3D model; B) lithofacial variability along the P5 cross section (based on the 3D model). Explanations: Lithologies present in analysed sections: 1 – anhydrite; 2 – dolomite; 3 – limestone; 4 – marl; 5 – gaize; 6 – salts; 7 – claystone and mudstone; 8 – sandstone with claystone; 9 – sandstone; 10 – conglomerate; 11 – lack of data

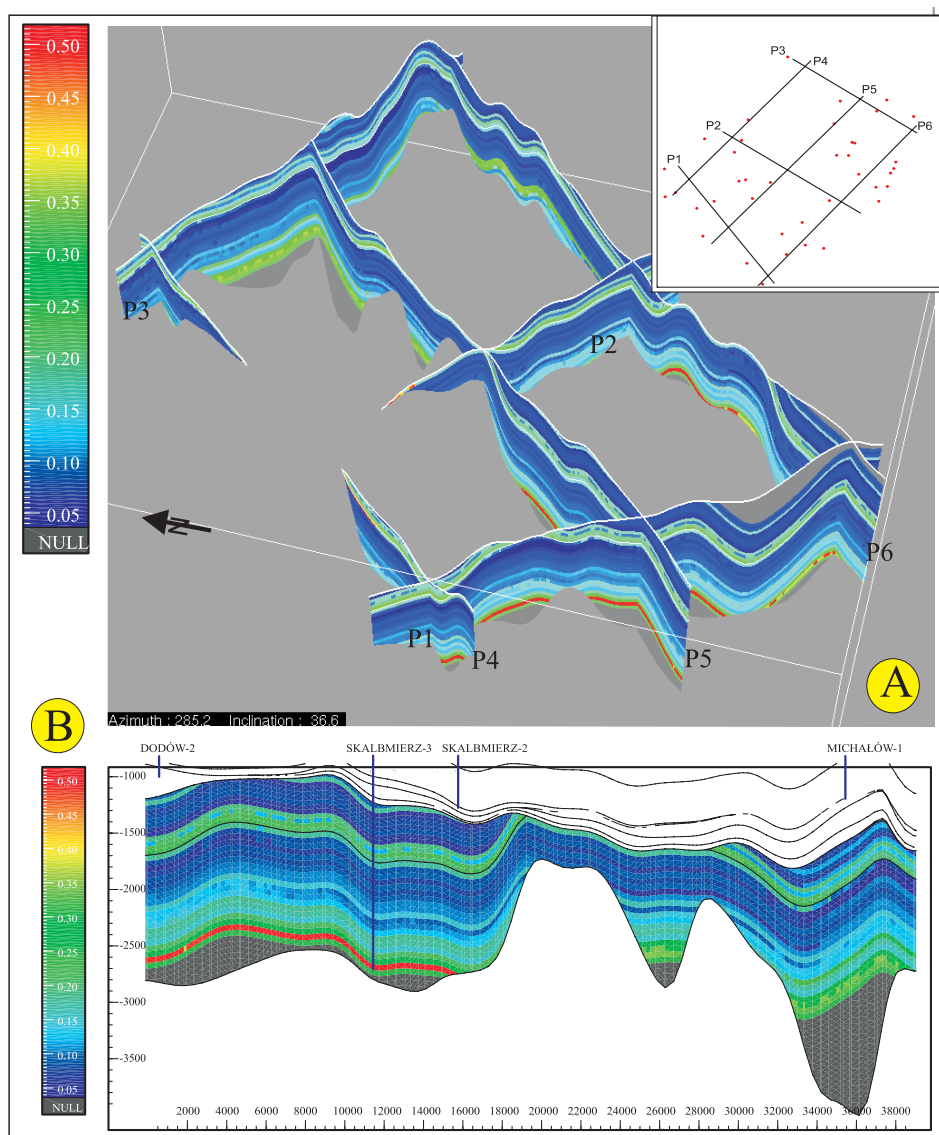


Fig. 7. Zmienności zailenia utworów karbonu i dewonu w rejonie P-B-P: A) diagram płotowy na podstawie modelu 3D; B) zmienność litofacjalna wzdłuż przekroju P5 (na podstawie modelu 3D)

Fig. 7. Variability of clay content in the Carboniferous and Devonian rocks in the Proszowice – Busko – Pińczów region: A) fence diagram based on the 3D model; B) lithofacial variability along the P5 cross section (based on the 3D model)

Utwory karbonu wykazują najwyższe zailenie (15–35%) w przyspągowym wycinku profilu, o miąższości ponad 100 m. Zjawisko to zaznacza się na całym obszarze modelu.

Wydaje się, że występowanie zwiększonego zailenia w spagu karbonu i w stropie dewonu potwierdza założenie ciągłości sedymentacji na obszarze badań, przyjęte do budowy modelu sedymentacyjnego.

W wyższej części profilu karbonu zailenie również jest niskie, zmieniając się od ok. 5 do <20%, zarówno w seriach węglanowych, jak i w klastykach, w rejonie Kobylnik-1.

Podsumowując, niskie zailenia kompleksów dewonu i karbonu sprawia, że biorąc pod uwagę tylko ten parametr, niemal cały ich profil należałoby uznać za potencjalną skałę zbiornikową. Brak warstw o wysokim zaileniu w obrębie karbonu i dewonu bardzo ogranicza możliwość występowania złóż węglowodorów wewnątrz tych kompleksów.

ZMIENNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA POROWATOŚCI

Wielkość współczynnika porowatości w całym profilu dewonu jest bardzo niska. Wzdłuż wszystkich analizowanych przekrojów nie przekracza on 5% niezależnie od zailenia czy wykształcenia litologicznego.

Nieco lepiej w tym względzie prezentują się utwory karbonu. Przewarstwienia o porowatości 5–8% w strefie przyspagowej obserwuje się w rejonie odwiertów Pawłowice-305 i Kazimierza Wielka-10 oraz w synklinie Skalbmierza. Warstwy te często odpowiadają wkładkom skał klastycznych, jednakże wyższe porowatości pojawiają się w tej strefie, także w węglanach (Fig. 7). Podobne wielkości współczynnika porowatości obserwowane są również w przyspagowych partiach karbonu, w strefie wyklinowania, na północnym skrzydle platformy Opatkowic. Nieznaczny wzrost (3–5%) porowatości uwiadcza się w środkowej części profilu karbonu, w zachodniej i centralnej części przekroju P1 oraz wzdłuż przekroju P5.

Wkładowi o porowatości ok. 5–8% uwiadcza się także ok. 50 m poniżej stropu karbonu w centralnej części przekroju 6, przy jego krzyżówce z P2 (rejon odwiertu Kobylniki-1) oraz w utworach karbonu na S skrzydle antykliny Kazimierzy Wielkiej (Fig. 8).

MIAŻSZOŚĆ POZIOMÓW ZBIORNIKOWYCH

W analizowanej strefie kompleks dewońsko-karboński (przeważnie węglanowy) charakteryzuje duża zmienność miąższości. W osiowej części platformy (antykliny) Opatkowic jest on całkowicie zerodowany. Nad antykliną (platformą) Kazimierzy Wielkiej, utwory młodszego paleozoiku są reprezentowane tylko przez dewon, a ich miąższość jest zredukowana do ok. 750 m. Maksymalne miąższości kompleks ten osiąga w interpretowanym sejsmicznie depocentrum, leżącym pomiędzy Pińczowem i Buskiem oraz w rozległej strefie przebiegającej od odwiertu Działoszyce-1 (1250 m) przez Skalbmierz-3, rejon Pawłowice-305 po Mniszów-16 (>2000 m, Fig. 9). Ponadto na E od odwiertów Wechadłów-1 i Lipówka-1 zaznacza się interpretowane na podstawie sejsmiki depocentrum obejmujące wyłącznie utwory dewonu (miąższość >1250 m).

W tej masie skały zbiornikowe spełniające wyżej opisane kryteria stanowią wkładki o sumarycznej miąższości do 490 m. Ich przestrzenna dystrybucja nie jest jednak ściśle powiązana z miąższościami całkowitymi kompleksu. Tezę tę zilustrowano na przykładzie dominujących w przedstawianej strefie utworów węglanowych (Fig. 9). W depocentrum

położonym pomiędzy Buskiem a Pińczowem sumaryczna miąższość potencjalnych zbiorników rzadko zbliża się do 200 m, i to nie w strefach maksymalnych miąższości kompleksu, gdyż tam jest prawdopodobnie niższa od 100 m.

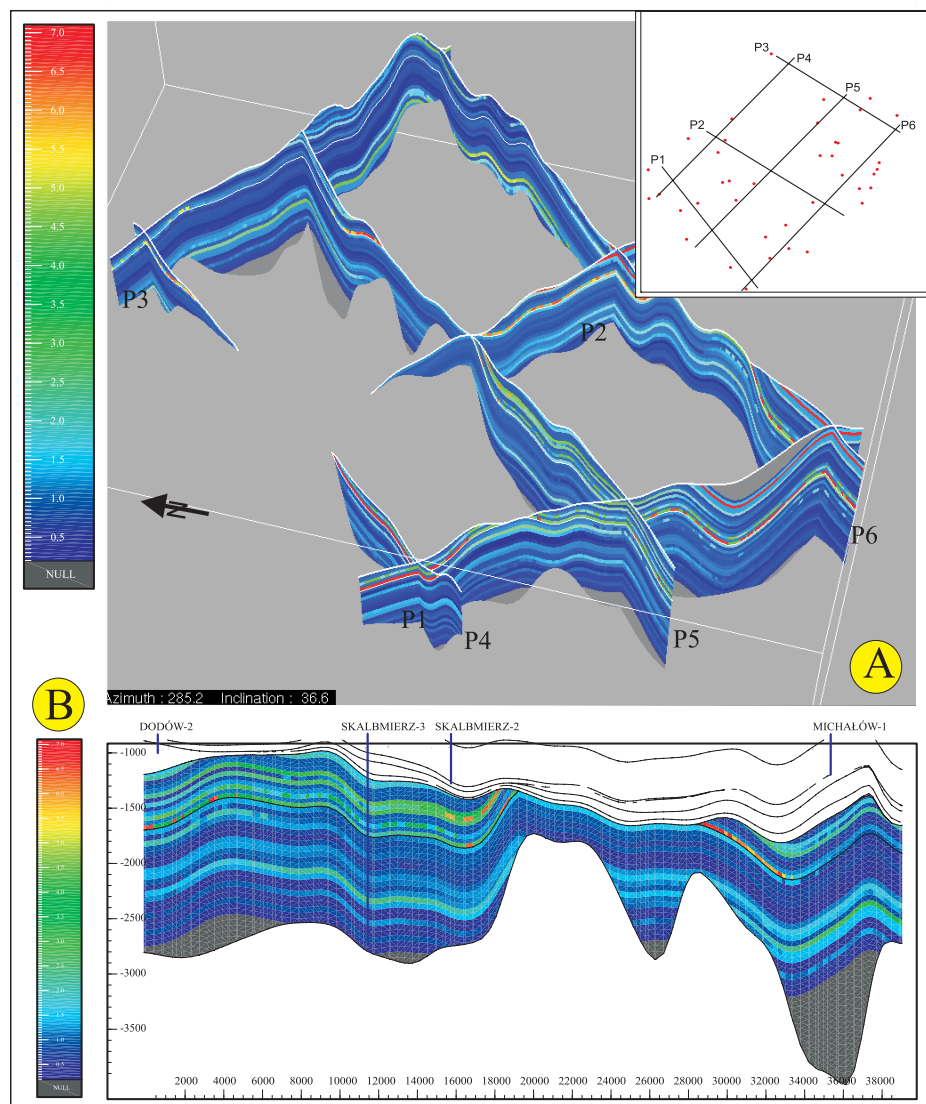


Fig. 8. Zmienności porowatości utworów dewonu i karbonu w rejonie P-B-P: A) diagram płotowy na podstawie modelu 3D; B) zmienność litofacjalna wzdłuż przekroju P5 (na podstawie modelu 3D)

Fig. 8. Variability of porosity in the Carboniferous and Devonian rocks in the Proszowice – Busko – Pińczów region: A) fence diagram based on the 3D model; B) lithofacial variability along the P5 cross section (based on the 3D model)

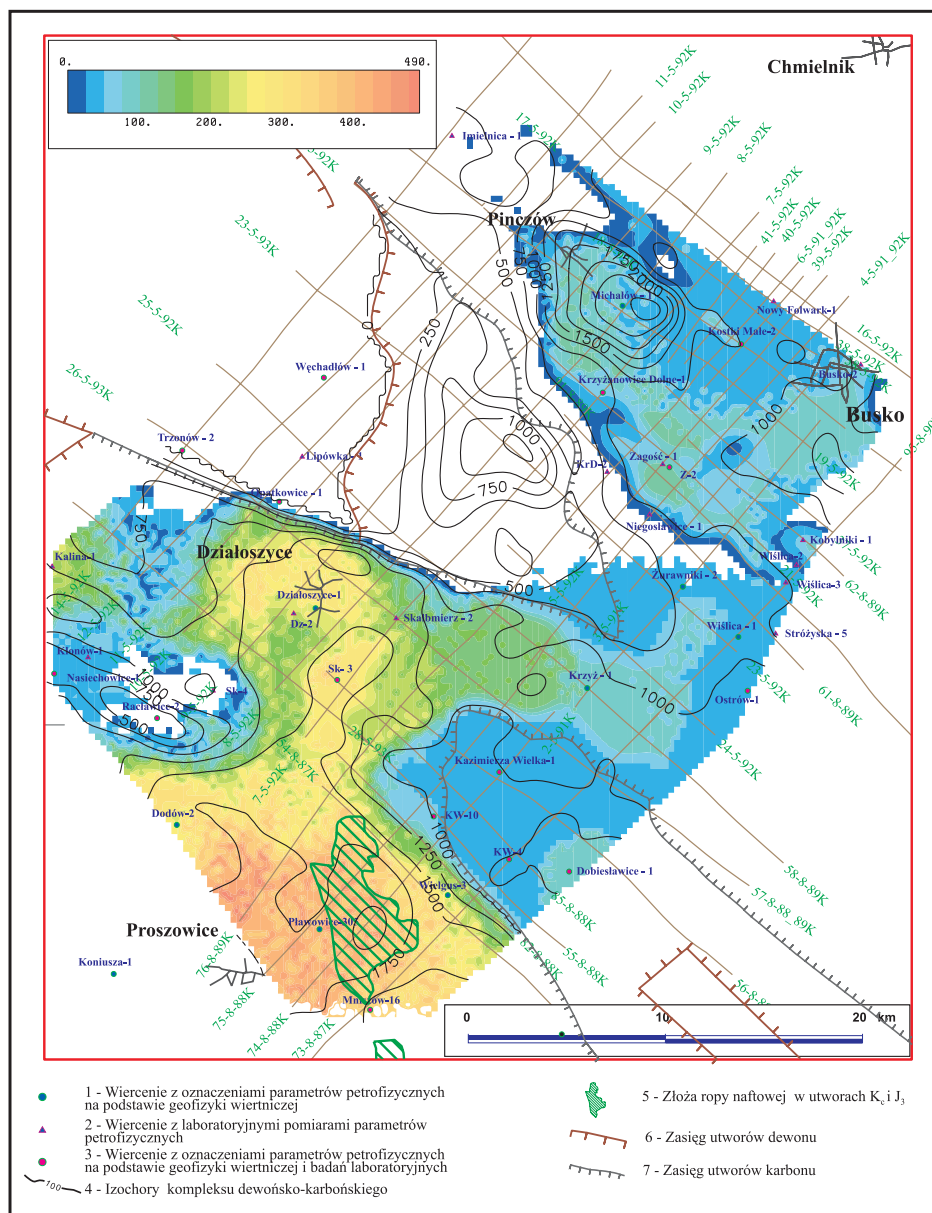


Fig. 9. Mapa miąższości sumarycznej zbiorników w utworach węglanowych dewonu i karbonu

Fig. 9. Map of total thickness of the reservoirs in Devonian and Carboniferous carbonate rocks. Explanations: 1 – boreholes with petrophysical parameters determined basing on well logging data; 2 – boreholes with petrophysical parameters determined basing on laboratory measurements; 3 – boreholes with petrophysical parameters determined basing on well logging data and laboratory measurements; 4 – isochores of the Devonian and Carboniferous deposits; 5 – oil fields in the K_c and J_3 rocks; 6 – extent of Devonian rocks; 7 – extent of Carboniferous rocks

Stosunkowo bliski związek między miąższością całkowitą a sumaryczną miąższością skał zbiornikowych zaznacza się w południowej części obszaru badań, gdzie strefa zwiększonej miąższości zbiorników pokrywa się dobrze z opisaną wyżej strefą Działoszyce – Skalbmierz – Mniszów.

Sytuacja przedstawiona na figurze 9 pokazuje również, iż utwory dewonu w większości przypadków należy uznać za całkowicie pozbawione właściwości zbiornikowych. W obrębie dewońskiego depocentrum na W od Lipówki-1 nie występują skały zakwalifikowane do klasy zbiorników, zaś w rejonie antykliny Kazimierzy Wielkiej ich sumaryczna miąższość jest na ogół niższa od 100 m, pomimo bardzo niskich wymagań progowych w odniesieniu do węglanowych skał zbiornikowych paleozoiku.

Rozprzestrzenienie utworów triasowych i jury środkowej jest na obszarze badań bardzo nierównomierne, rzadko występują jednocześnie wszystkie ich ogniwa (Fig. 2, 13). Sumaryczna miąższość kompleksu jest stosunkowo nieduża we wschodniej części obszaru badań, osiągając 150–250 m. Na zachodzie miąższość sumaryczna wzrasta do >200 m (maks. 450 m). Lokalne anomalie miąższości występują na południu, gdzie miąższość omawianego kompleksu osiąga 300 m w rejonie otworu Raclawice-2 i ok. 550 m w rejonie Pawłowic-305.

ZMIENNOŚĆ LITOLOGII

Trias dolny ($Tp_1 + Tp_2$) ilasto-mułowcowo-piaszczysty największą miąższość osiąga w rejonie otworu Pławowice-305 (ponad 300 m) w S części analizowanego obszaru. Jego utwory występują także w części centralnej oraz NE, na ogół w postaci warstwy ilasto-piaszczystej.

Trias środkowy wykształcony w facji węglanowej – wapieni i wapieni marglistych z nielicznymi wkładkami dolomitów i innych skał – występuje na znacznej części obszaru, poza jego południowym skrajem. Osiąga miąższość średnio 100–200 m. W północnej części występują wkładki skał klastycznych.

Trias górny zbudowany z utworów ilasto-mułowcowych, występujący głównie w części N, a także częściowo centralnej i zachodniej, osiąga niekiedy znaczną miąższość – do ponad 200 m (średnia to ok. 100 m).

Jura środkowa wykształcona jest jako piaskowce z wkładkami iłowców i mułowców. Miąższość jej utworów nie przekracza kilkudziesięciu metrów (Fig. 10).

ZMIENNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA ZAILENIA

Zailenie skał klastycznych dolnego triasu zawiera się zwykle w zakresie 35–60%. W strefach obniżonej miąższości wynosi ok. 50–60%, a w strefach zwiększonej miąższości (na brzegach) zailenie w dolnej części jest niższe – 25–35%. Jest to spowodowane większym udziałem piaskowców.

Stosunkowo jednorodny jest rozkład zailenia skał węglanowych środkowego triasu – na wszystkich przekrojach od ok. 20% przy stropie do ok. 35% przy spągu (z wyjątkiem części N, gdzie zailenie osiąga 50%).

Współczynnik zailenia utworów górnego triasu jest najwyższy spośród utworów mezozoiku i młodszego paleozoiku na całym modelowanym obszarze i wynosi od 60% do ponad 70%. Podobnie jak model porowatości, także i w tym przypadku model współczynnika zailenia utworów górnego triasu w strefach największej jego miąższości nie jest pełny (Fig. 11).

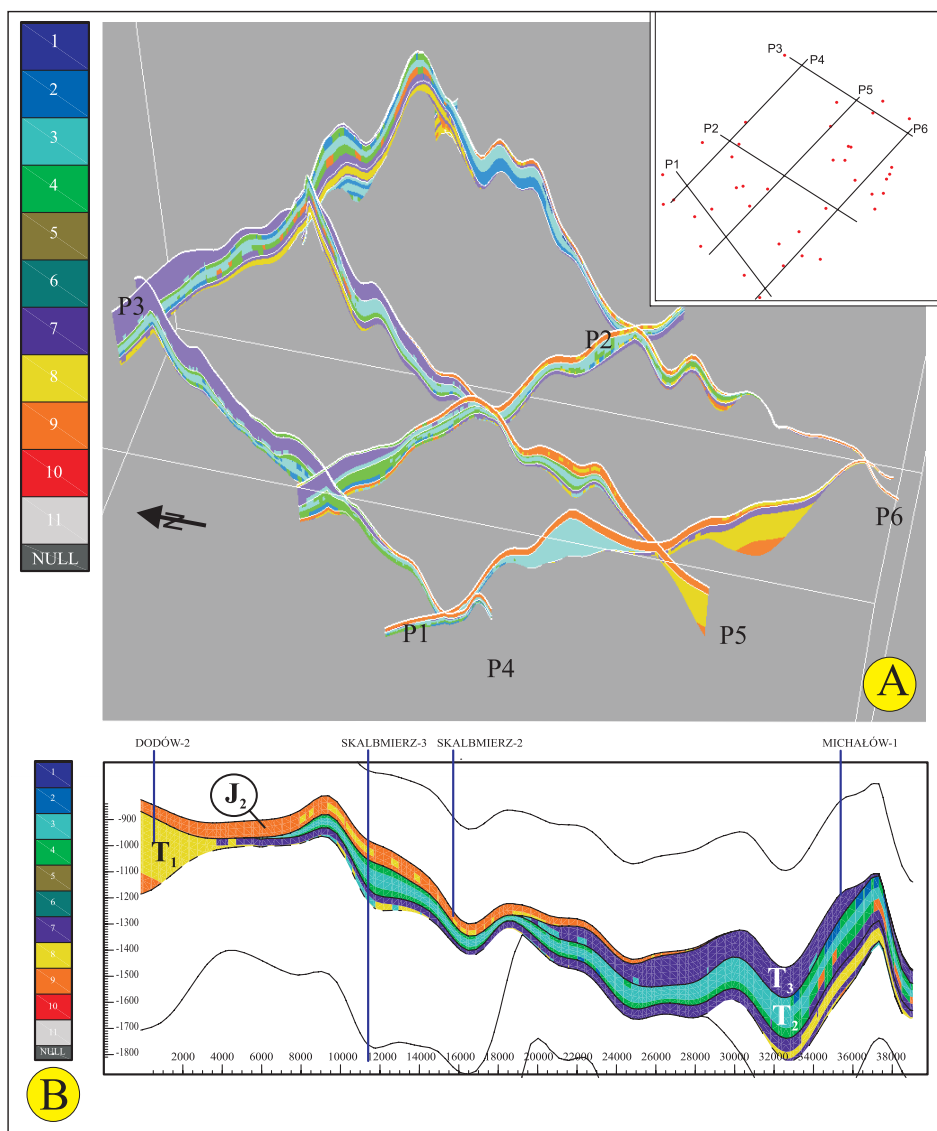


Fig. 10. Zmienność litofacjalna utworów triasu i jury środkowej w rejonie P-B-P: A) diagram płotowy na podstawie modelu 3D; B) zmienność litofacjalna wzdłuż przekroju P5 (na podstawie modelu 3D). Litologia widoczna w analizowanych profilach: 1 – anhydryt; 2 – dolomit; 3 – wapień; 4 – margle; 5 – opoki; 6 – sole; 7 – iłowce i mułowce; 8 – piaskowce z iłowcami; 9 – piaskowce; 10 – zlepienie; 11 – brak danych

Fig. 10. Lithofacial variability of Triassic and Middle Jurassic formations in the Proszowice – Busko – Pińczów region: A) fence diagram based on the 3D model; B) lithofacial variability along the P5 cross section (based on the 3D model). Lithologies present in analysed sections: 1 – anhydrite; 2 – dolomite; 3 – limestone; 4 – marl; 5 – gale; 6 – salts; 7 – claystone and mudstone; 8 – sandstone with claystone; 9 – sandstone; 10 – conglomerates; 11 – lack of data

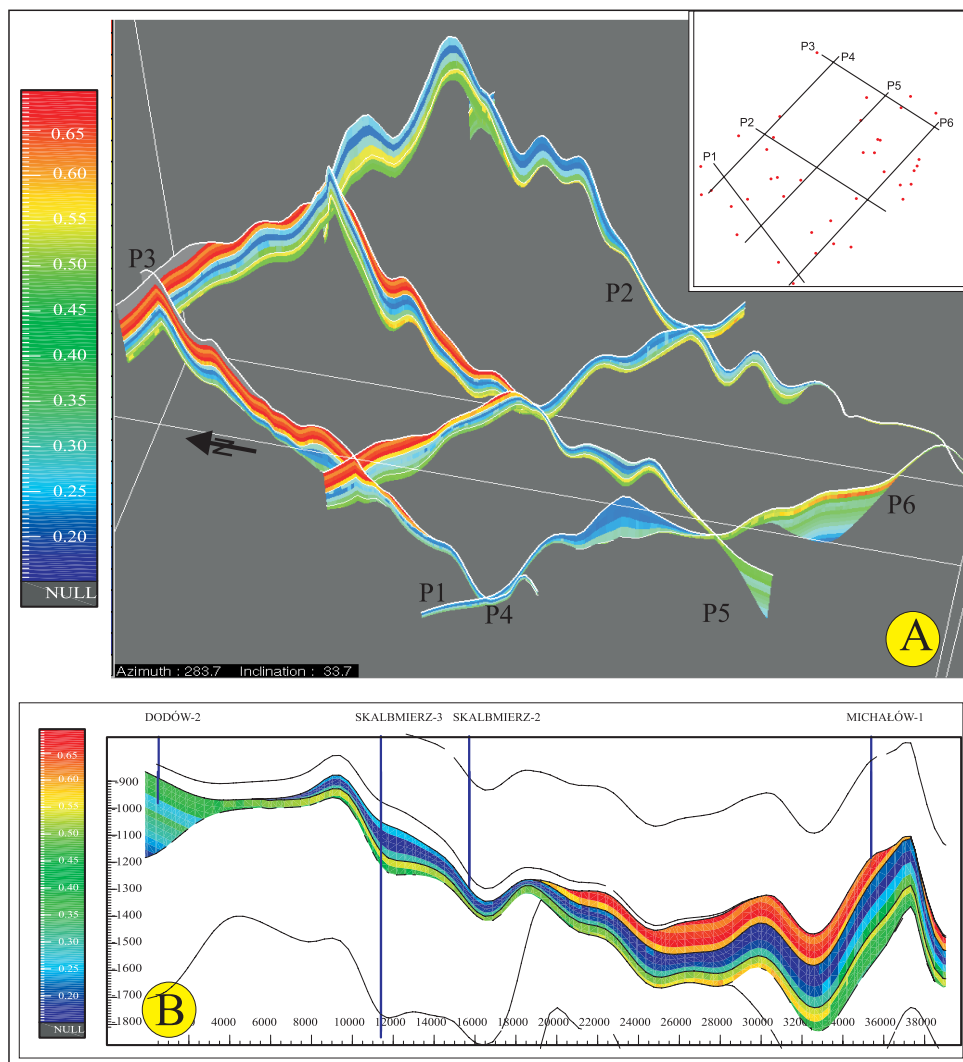


Fig. 11. Zmienności zailenia utworów triasu w rejonie P-B-P: A) diagram płotowy na podstawie modelu 3D; B) zmienność litofacjalna wzdłuż przekroju P5 (na podstawie modelu 3D)

Fig. 11. Variability of clay content in the Triassic rocks in the Proszowice – Busko – Pińczów regio: A) fence diagram based on the 3D model; B) lithofacial variability along the P5 cross section (based on the 3D model)

ZMIENNOŚĆ WSPÓŁCZYNNIKA POROWATOŚCI

Utwory klastyczne dolnego triasu odznaczają się miejscami dużą porowatością – ponad 15%, szczególnie w rejonie otworu Pawłowice-305, poza tym zmienia się ona zwykle od 2–5% przy spągu do ok. 8% w części przystopowej.

Współczynnik porowatości węglanowych utworów triasu środkowego ma dość równomierny rozkład na poziomie 4–6%, utwory zdeponowane w dolnej części profilu T₂ (z wyjątkiem N części) cechuje jednak wyższa porowatość rzędu 7–8%. Lokalnie w okolicach otworów Trzonów-2 i Wiślica-2, -3 oraz w części N przy stropie porowatość przekracza 10%.

Ponieważ osady górnego triasu cechuje znaczne zróżnicowanie miąższości, w strefach, gdzie jest ona największa, model porowatości jest niekompletny z powodu braku dostatecznego ich rozpoznania wiertniczego. W pozostałych strefach porowatość jest wyrównana i wynosi 4–6%, wyjątkiem jest rejon otworu Trzonów-2 z przewarstwieniami piaszczysto-mułowcowymi do 8% (Fig. 12).

JAKOŚĆ PRZEWARSTWIEŃ USZCZELNIAJĄCYCH

Jakość uśrednionych uszczelnień triasowo-dolnojurajskich przedstawiono w formie mapy, na tle miąższości i zasięgów poszczególnych ogniw kompleksu stratygraficznego triasu i jury środkowej (Fig. 13). Wielkość parametru przedstawionego na mapach to suma jakości wszystkich uszczelnień z warstw, gdzie je stwierdzono w obrębie danego kompleksu. Znaczenie tego parametru w sensie ilościowym omówiono w podrozdziale Określenie położenia i jakości przewarstwień mających charakter uszczelniający. Zsumowaną jakość uszczelnień z szeregu „przelawień” należy rozumieć następująco: jeśli wynosi ona np. 3.0 to oznacza, że występują trzy przewarstwienia o jakości 1 albo sześć przewarstwień o jakości 0.5 itd.

Można zauważyć silną korelację strefy najlepszych uszczelnień z zasięgiem występowania utworów górnotriasowych o najwyższym zaileniu. Ponadto w dwu strefach obserwuje się podwyższoną jakość uszczelnień – w otoczeniu otworu Kostki Małe-2 oraz między otworami Stróżyska-5 i Ostrów-1 na SE brzegu modelu. W pierwszym przypadku wynika to z lokalnego wzrostu ilości przewarstwień uszczelniających w środkowym triasie, a w drugim – ze wzrostu miąższości i zailenia triasu dolnego.

PODSUMOWANIE

Na obecnym etapie badań można wyciągnąć szereg roboczych wniosków dotyczących naftowej perspektywiczności utworów piętra waryscyjskiego w kontekście ich wykształcenia facjalno-zbiornikowego oraz rozwoju utworów ekranujących.

Przedstawione wyniki półregionalnego modelowania pokazują, że pomimo niskiego zailenia utwory dewonu w analizowanym wycinku NM stanowią skałę o bardzo słabych własnościach zbiornikowych, o porowatości rzadko osiągającej 5%. Bardziej perspektywiczną skałą zbiornikową są utwory węglanowe karbonu, gdzie występują strefy względnie wysokich porowatości (do 7%) w przyspagowej i przystropowej partii profilu (Fig. 8) – w rejonie Kobylnik-1 na E, Mniszowa – Skalbmierza na S oraz (w mniejszym stopniu) Krzyżanowic Dolnych w centralnej części obszaru badań.

Formułując wnioski odnośnie do właściwości zbiornikowych karbonu i dewonu, trzeba podkreślić, że obecnie nieznana jest wielkość porowatości szczelinowej utworów dewonu, a parametr ten w skałach węglanowych może osiągać znaczące wielkości.

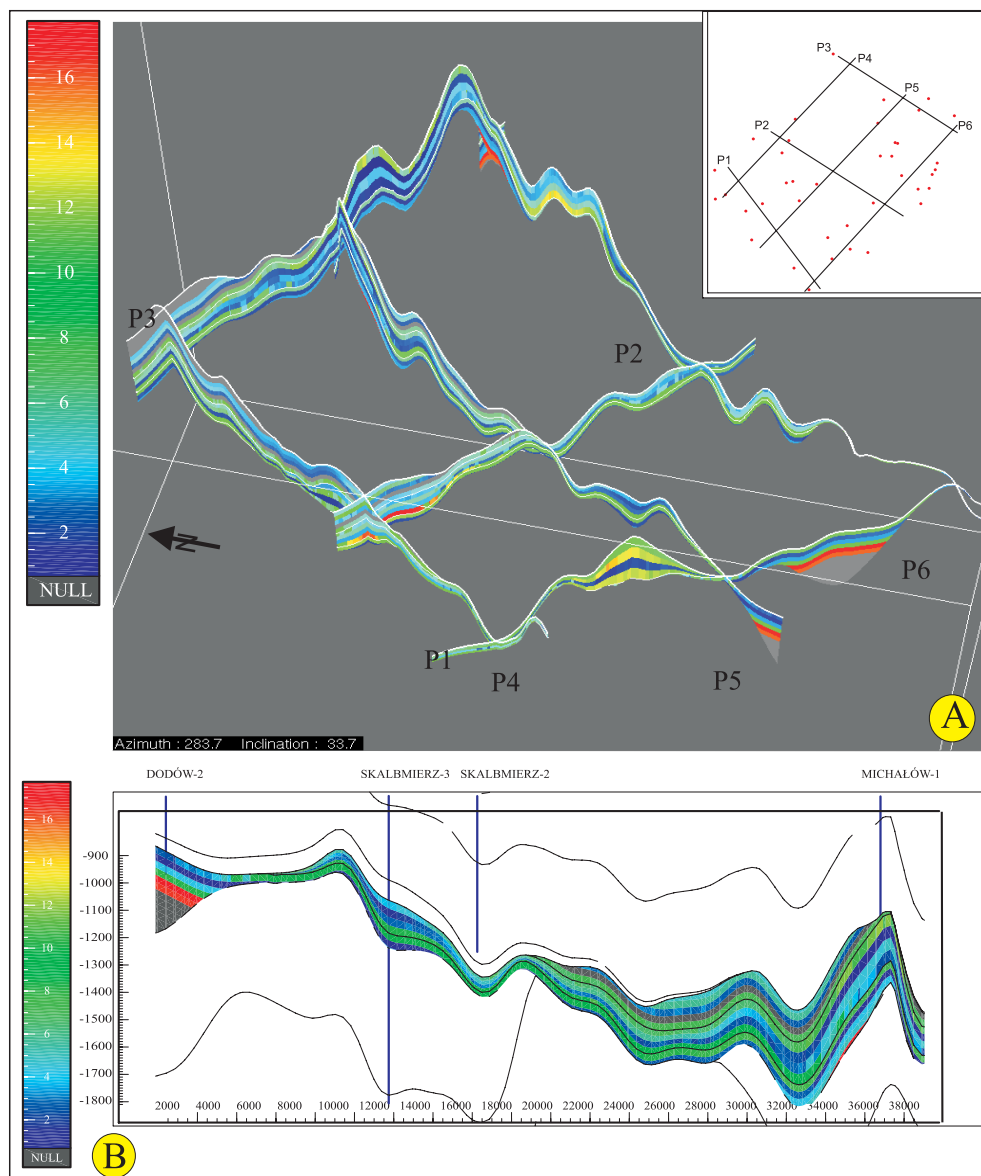


Fig. 12. Zmienność porowatości utworów triasu i jury środkowej w rejonie P-B-P: A) diagram płotowy na podstawie modelu 3D; B) zmienność litofacjalna wzdłuż przekroju P5 (na podstawie modelu 3D)

Fig. 12. Variability of porosity in the Triassic and Middle Jurassic rocks in the Proszowice – Busko – Pińczów region: A) fence diagram based on the 3D model; B) lithofacial variability along the P5 cross section (based on the 3D model)

Stosunkowo duże szanse na znalezienie horyzontu zbiornikowego w utworach karbonu i w mniejszym stopniu dewonu mogłyby wistnieć w południowej części obszaru badań, w strefie Działoszyce – Pawłowice – Mniszów (Fig. 9). Jednakże rejon ten ma zdecydowanie najsłabsze uszczelnienie triasowe (Fig. 13), a brak warstw o wysokim zaileniu w obrębie karbonu i dewonu bardzo ogranicza możliwość występowania złóż węglowodorów wewnątrz tych kompleksów.

Utwory jury środkowej mają największy zasięg spośród badanych kompleksów mezozoicznych (Fig. 13). Budują je osady piaszczyste z wkładkami ilów, jednakże obserwowane zailenie jest na tyle niskie, że osady J₂ nie mogą być uznane za skałę uszczelniającą.

Najkorzystniejsze właściwości uszczelniające wykazują utwory T₃ (kajpru). Uwidacznia się to szczególnie dobrze na diagramach litologicznych (Fig. 10) i zailenia (Fig. 11) oraz na mapie jakości uszczelnień (Fig. 13). Niestety utwory triasu górnego mają najmniejszy zasięg i występują przede wszystkim w strefie, gdzie miąższość kompleksu warwscyjskiego jest silnie zredukowana na skutek erozji.

Węglanowe osady triasu środkowego również nie stanowią horyzontu ekranującego. Miejscami wykazują dość wysokie porowatości. W przyszłości będą one przedmiotem bardziej szczegółowej analizy, także w kontekście wykształcenia strukturalnego stropu jednostki.

Klastyczne utwory triasu dolnego tylko miejscami mają zailenie osiągające 50%, ponadto osady te wykazują bardzo niskie miąższości, zaś w strefach, gdzie są one wyższe, T₁ jest wykształcony w facjach piaszczystych.

Podsumowując, niska ciągłość lateralna pokryw triasowych i środkowojurajskich oraz ich zmienne, na ogół niezbyt wysokie zailenie sprawiają, że warstwy te nie mogą być uznane za warstwy stanowiące regionalne uszczelnienie. W najlepszym wypadku mogłyby one pełnić funkcję lokalnego uszczelnienia dla niewielkich nagromadzeń węglowodorów, choć i to wydaje się mało prawdopodobne.

Badania będące podstawą niniejszego artykułu autorzy wykonali w ramach prac własnych pt. „Analiza prospekcji wybranych rejonów niecki miechowskiej” finansowanych przez WGGiOŚ. Modelowania i wspomagane komputerowo interpretacje wykonano z wykorzystaniem programów ZMAP-Plus, StratModel i SeisWorks przekazanych Zakładowi Surowców Energetycznych AGH przez Landmark Graphics Corporation w wyniku realizacji programu wspierania badań naukowych uniwersytetów (Agreement No. 2003-COM-020272).

LITERATURA

- Alexandrowicz S.W., 1970. Osady dolnego dewonu w Kluczach koło Olkusza. *Rocznik PTG*, 40, 1, 151–165.
- Baran U., Jawor E. & Jawor W., 1995. Geological Recognition and Directions of Exploration for Oil and Gas in the Miocene Sequence and Meso-Paleozoic Basement in Western Part of the Polish Carpathians and Carpathian Foredeep. *Oil and Gas News from Poland. Special Issue for the Annual Congress American Association of Petroleum Geologists*, Houston, March 5–8, Wydawnictwo „Geos”, Kraków, 105–128.

- Baran U., Jawor E. & Jawor W., 1997. Rozpoznanie geologiczne i wyniki prac poszukiwawczych za węglowodorami w zachodniej części polskich Karpat. *Przegląd Geologiczny*, 45, 1, 66–75.
- Barbacki A.P., 2004. *Zbiorniki wód geotermalnych niecki miechowskiej i środkowej części zapadliska przedkarpackiego*. Seria: Studia Rozprawy Monografie 125, Wydawnictwa Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.
- Bełka Z., Skompski S. & Soboń-Podgórska J., 1996. Reconstruction of the lost carbonate platform on the shelf of Fennosarmatia: evidence from Visian polymictic debrites, Holy Cross Mountains, Poland. W: Strogon P., Somerville I.D. & Jones G.L. (eds), *Recent Advances in Lower Carboniferous Geology, Geological Society Special Publications*, 107, 315–330.
- Bojkowski K. & Bukowy S., 1966. Strefy facjalne dolnego karbonu antyklinorium śląsko-krakowskiego. *Acta Geologica Polonica*, 16, 2, 201–225.
- Bukowy S., 1964. Nowe poglądy na budowę północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Materiały do geologii obszaru śląsko-krakowskiego, VII. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 184, 5–15.
- Buła Z., 1994. Problemy stratygrafii i wykształcenia osadów starszego paleozoiku północno-wschodniego obrzeżenia Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Przewodnik 65 Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, 3, 1–57.
- Buła Z., 2000. Dolny paleozoik Górnego Śląska i zachodniej Małopolski. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 171, 1–63.
- Buła Z., Jawor E. & Baran U., 2004. Pozycja geotektoniczna utworów karbonu w południowej części bloku górnośląskiego i małopolskiego. W: Kotarba M. (red.), *Możliwości generowania węglowodorów w skałach karbonu i dewonu w południowej części bloku górnośląskiego i małopolskiego*, *Geosfera*, Kraków.
- Burzewski W., 1969. Strukturalne warunki jury olkusko-wolbromskiej jako brzegowe dla hydrodynamiki złóż naftowych niecki nidziańskiej. *Prace Geologiczne PAN*, 61, 5–85.
- Czarnecki S. & Kwiatkowski S., 1961. Utwory karbonu w zapadlisku przedkarpackim. *Sprawozdanie z posiedzeń Komitetu Polskiej Akademii Nauk, Oddział w Krakowie*, styczeń – czerwiec, 2, 17–222.
- Czarnecki S. & Kwiatkowski S., 1963. Uwagi o rozmieszczeniu facji w dolnym karbonie zapadliska przedkarpackiego. *Rocznik PTG*, 33, 3, 273–279.
- Czarnocki J., 1956. Surowce mineralne w Górach Świętokrzyskich. *Prace Instytutu Geologicznego*, 5, 1, 1–108.
- Czernicki J. & Moryc W., 1990. Złoże ropy naftowej Nosówka koło Rzeszowa. *Nafta*, 46, 4–6, 49–53.
- Dadlez R., Marek S. & Pokorski J., 1998. *Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce*. Wydawnictwa Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.
- Dudek L., Strzetelski J., Botor D. & Florek R., 2003. Potencjał naftowy podłoża mezozoiczno-paleozoicznego w rejonie Bochnia – Tarnów. *Prace IGNiG*.

- Golonka J. & Zając R., 1972. Wstępne wyniki badań mikrofacjalnych młodszego paleozoiku w wierceniu Gumniska-I koło Tarnowa. *Kwartalnik Geologiczny*, 16, 2, 497–498.
- Golonka J., 1972. Osady doggeru w południowo-zachodniej części niecki nidziańskiej. *Zeszyty Naukowe AGH*, 312, *Geologia*, 16, 65–86.
- Golonka J., 1978. Mikrofacje górnej jury przedgórze Karpat. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 310, 1–38.
- Golonka J., Gahagan L., Krobicki M., Marko F., Oszczytko N. & Ślęczka A., 2006. Plate tectonic evolution and paleogeography of the circum-Carpathian region. W: Golonka J. & Picha F.J. (eds), *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources*, *AAPG Memoir*, 84, 11–46.
- Górecki W., Papiernik B., Maćkowski T., Łapinkiewicz A.P., Riecher B., Kotarba M., Kosakowski P., Kowalski A., Smolarski L. & Śliż K., 2001. *Geologiczne i generacyjno-akumulacyjne uwarunkowania występowania złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w niecce miechowskiej – analiza, reprocessing i reinterpretacja w systemie Promax i StrataModel*. Archiwum ZSE AGH [temat finansowany ze środków NFOŚ].
- Hakenberg M. & Świdrowska J., 1996. Rozwój paleogeograficzny niecki miechowskiej i jego strukturalne uwarunkowania w późniejszym triasie oraz wczesnej i środkowej jurze. Zagadnienia geologii Niecki Nidziańskiej. *Prace Instytutu Geograficznego WSP w Kielcach*, nr 1, 77–92, Wydawnictwo Jedność, Kielce.
- Jawor E., 1970. Wgłębna budowa geologiczna na wschód od Krakowa. *Acta Geologica Polonica*, 20, 4, 709–769.
- Jawor E., 1992. Prospection for Oil and Gas in the Western Carpathians and in the Carpathian Foredeep. *Polish Journal of Mineral Resources*, 1, 97–110.
- Jawor E. & Baran U., 2004. *Budowa geologiczna i charakterystyka utworów karbonu w południowej części bloku małopolskiego. Możliwości generowania węglowodorów w skałach karbonu południowej części bloku górnośląskiego i małopolskiego*. W: Kotarba M. (red.), *Możliwości generowania węglowodorów w skałach karbonu i dewonu w południowej części bloku górnośląskiego i małopolskiego*, *Geosfera*, Kraków, 44–48.
- Jurka-Wantuch A., Ratajska E. & Połtowicz S., 1995. *Analiza geologiczno-geofizyczna utworów mezozoicznych w rejonie: Pińczów – Słomniki – Kazimierza Wielka*. Archiwum PGNiG, Kraków.
- Jurka-Wantuch A., Ratajska E. & Połtowicz S., 1998. *Analiza geologiczno-geofizyczna i ocena perspektywiczności utworów mezozoicznych w rejonie Kostki Małej – Zagość – Radzanów*. Archiwum PGNiG, Kraków.
- Jurkiewicz H., 1974. Rozwój triasu na obszarze centralnej części Niecki Nidziańskiej. *Kwartalnik Geologiczny*, 18, 1, 90–108.
- Jurkiewicz H., 1975. Budowa geologiczna podłoża mezozoiku centralnej części Niecki Nidziańskiej. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 28: *Z badań geologicznych regionu świętokrzyskiego*, 11, 5–100.
- Jurkiewicz H. & Żakowa H., 1969. Nowe dane o paleozoiku w podłożu Niecki Nidziańskiej. *Kwartalnik Geologiczny*, 13, 2, 284–299.

- Jurkiewicz H. & Żakowa H., 1972. Rozwój litologiczno-paleogeograficzny dewonu i dolnego karbonu w Niece Nidziańskiej. *Kwartalnik Geologiczny*, 16, 4, 817–850.
- Karnkowski P., 1969. *Formowanie się złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na tle geologii Przedgórza Karpat*. Wydawnictwa Instytutu Geologicznego, Warszawa, 1–116.
- Karnkowski P., 1993. *Złoża ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce. T. 2: Karpaty i zapadlisko przedkarpackie*. Wydawnictwo Geosynoptyków „Geos”, Kraków, 1–256.
- Karnkowski P., 1999. *Oil and Gas Deposits in Poland. Part I–II*. Wydawnictwo Geosynoptyków „Geos”, Kraków, 11–198.
- Karnkowski P. & Głowacki E., 1961. O budowie geologicznej utworów podmiocennskich przedgórza Karpat Środkowych. *Kwartalnik Geologiczny*, 5, 2, 372–419.
- Kicuła J. & Żakowa H., 1966. Paleozoik okolic Skalmierza. *Kwartalnik Geologiczny*, 10, 2, 263–281.
- Kicuła J. & Żakowa H., 1972. Dewon i karbon w podłożu południowej części niecki miechowskiej. *Rocznik PTG*, 42, 2–3, 165–228.
- Kuleta M., 1995. *Dolny i środkowy pstry piaskowiec w centralnej części niecki Nidy*. W: Analiza strukturalna i paleogeograficzna permu i triasu w Górach Świętokrzyskich, Centralne Archiwum Geologiczne, Warszawa.
- Kuleta M., Kowalczewski Z., Zbroja S., Romanek M., Lenartowicz L. & Fijałkowska A., 1995. *Analiza strukturalna i paleogeografia permu i triasu w Górach Świętokrzyskich*. Centralne Archiwum Geologiczne, Warszawa.
- Lenk T. (red.) 1993. *Kompleksowa ocena perspektyw utworów dewonu i karbonu w oparciu o badania geochemiczne, petrofizyczne i geologiczno-geofizyczne obszaru między Tarnowem a Krakowem. T. I–III*. Archiwum PGNiG SA, Kraków.
- Maksym A., Liszka B. & Pietrasiak M., 1998. *Analiza geologiczno-geofizyczna utworów autochtonicznych miocenu i jego podłoża w rejonie Sędziszów – Rzeszów – Zalesie. Etap I: Podłoże trzeciorzędu*. Archiwum PGNiG, Jasło.
- Matyja H., Tomasz A., Lipiec M. & Turnau E., 2001. Stratygrafia dewońsko-karbońskiej serii węglanowej w rejonie Rajbrotu – Tarnawy. W: Matyja H. (red.), Paleozoik podłoża centralnej części polskich Karpat zewnętrznych (rejon Liplas – Tarnawa), *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 174, 5–205.
- Moryc W., 1971. Trias przedgórza Karpat Środkowych. *Rocznik PTG*, 41, 3, 419–486.
- Morycowa E. & Moryc W., 1976. Rozwój utworów jurajskich na Przedgórzu Karpat w rejonie Dąbrowy Tarnowskiej-Szczucina. *Rocznik PTG*, 96, 1–2, 231–273.
- Myśliwiec M., Borys Z., Bosak B., Liszka B., Madej K., Maksym Z., Oleszkiewicz K., Pietrasiak M., Plezia B., Staryszak G., Świętnicka G., Zielińska C., Zychowicz K., Gliniak P., Florek R., Zacharski J., Urbaniec A., Górka A., Karnkowski P. & Karnkowski P.H., 2006. Hydrocarbon resources of the Polish Carpathian Foredeep: Reservoirs, traps, and selected hydrocarbon fields. W: Golonka J. & Picha F.J. (eds), *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources, AAPG Memoir*, 84, 351–393.
- Moryc W., Jurka-Wantuch A., Feret B. & Janczy G., 1990. *Analiza geologiczno-strukturalna utworów karbonu i dewonu w strefie Niwiska – Rzeszów – Nosówka*. Archiwum PGNiG, Kraków.

- Obuchowicz Z., 1963. Budowa geologiczna Przedgórza Karpat Środkowych. *Prace Instytutu Geologicznego*, 30, 4, 321–354.
- Oszczypko N., Krzywiec P., Popadyuk I. & Peryt T., 2006. Carpathian Foredeep Basin (Poland and Ukraine): Its Sedimentary, Structural, and Geodynamic Evolution. W: Golonka J. & Picha F.J. (eds), *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources*, *AAPG Memoir*, 84, 293–350.
- Papiernik B., Łapinkiewicz P. & Górecki W., 2006. Ropogazoność niecki miechowskiej w świetle dotychczasowych badań geologicznych jednostki. *Technika Poszukiwań*, XLV, 238, 2, 17–22.
- Picha F.J., Stranik Z. & Krejci O., 2006. Geology and hydrocarbon resources of the Outer West Carpathians and their foreland, Czech Republic. W: Golonka J. & Picha F.J. (eds), *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources*, *AAPG Memoir*, 84, 49–175.
- Stemulak J. & Jawor E., 1963. Wgłębna budowa geologiczna przedgórza Karpat w obszarze na zachód od Dunajca i Wisły. *Kwartalnik Geologiczny*, 7, 2, 169–186.
- Tokarski A., 1962. Struktura Niwisk. *Prace Geologiczne Komisji Nauk Geologicznych PAN Oddz. w Krakowie*, 13, 1–61.
- Wdowiarz S., 1954. Zarys wgłębnej tektoniki strefy na południowy wschód od Gór Świętokrzyskich. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 218.
- Zajac R., 1975. Nowe dane o utworach dewonu i karbonu w rejonie Grobli. *Kwartalnik Geologiczny*, 19, 4, 964–965.
- Zajac R., 1981. Korelacja utworów dewonu i karbonu dolnego podłoża środkowej części zapadliska przedkarpackiego. *Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 331, 39–56.
- Zawidzka K., 1984. Stratygrafia i mikrofacje wapienia muszlowego w północnej części plakosynkliny miechowskiej. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 54, 1–2.
- Złonkiewicz Z., 1999. *Korelacja i paleogeografia dolnej i środkowej jury w obrębie mezozoicznego Gór Świętokrzyskich i w Niece Nidziańskiej*. Centralne Archiwum Geologiczne, Warszawa.
- Żaba J., 1999. Ewolucja strukturalna utworów dolnopaleozoicznych w strefie granicznej bloków górnośląskiego i małopolskiego. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 166, 5–162.
- Żakowa H., Głowacki E. & Jurkiewicz H., 1963. Wyniki rewizji serii karbońskiej w Załuczy-1. *Kwartalnik Geologiczny*, 7, 2 197–211.
- Żelichowski A.M. & Jurkiewicz H., 1996. *Karbon*. W: Kowalczewski Z. *et al.*, *Paleozoik na tle budowy skorupy ziemskiej w Górach Świętokrzyskich i na obszarach ościennych*, 320–361, Centralne Archiwum Geologiczne, Warszawa.

Summary

Fifty years' petroleum exploration in southern Poland has resulted in the discovery of seven hydrocarbon deposits in the Devonian and Carboniferous formations of the Upper Silesian Block and Małopolska Block. As well the accumulations discovered in the Devo-

nian formations as in the Carboniferous formations have been screened by Miocene rocks of the Carpathian Foredeep, which form a regional seal in areas where they rest directly on Paleozoic.

Up to the present, hydrocarbon deposits have not been discovered in the Variscan basement of the Miechów Trough (Fig. 1). Absence of the Miocene seal (Fig. 2) is a factor that radically reduces prospects of this area. Therefore, the principal conditions of preservation of hydrocarbon accumulations in the Paleozoic formations would have been satisfied by existence of an adequate Mesozoic seal including the Lower, Middle and Upper Triassic and Middle Jurassic rocks (Fig. 3) or occurrence of sealing horizons within the Devonian and Carboniferous formations themselves. The paper presents results of spatial (3D) computer modeling of variations in the lithology and reservoir properties, which was carried out with application of the SeisWorks, ZMAP-Plus and StrataModels programs (from Landmark Graphics Corporation) in the southern Miechów Trough (the Proszowice – Busko – Pińczów region).

To construct the computer model, assumptions based on results of previous geological research were utilized (Figs 4, 5). Input data included seismic (to elaborate the stratigraphic scheme), well log interpretation (lithology, clay content, porosity) and laboratory analyses (lithology and reservoir properties). The modeling results have demonstrated that the Devonian formations (as well clastic D₁ rocks as D₂+D₃ rocks dominated by limestones and dolomites) (Fig. 6), despite their low clay content (Fig. 7) are characterized by very poor porosity (Fig. 8).

The Carboniferous rocks that belong to the carbonate complex are dominated by limestones and dolomites with insignificant admixture of marls and in places, especially at the top, of sandstones. In spite of slightly higher clay content, the rocks reveal a little better porosity (Figs 6–8), which still does not reach 8%. In the Devonian and Carboniferous complex, total thickness of rocks qualified as reservoir rocks ranges from 0 to about 500 m (Fig. 9).

The quality of the Triassic and Middle Jurassic seals is variable but rather poor. The T₁, T₂, T₃ and J₂ rocks have generally low thickness and variable extent. Taking the clay content and porosity into consideration, the best seal for the Paleozoic reservoirs would have been formed by the T₃ rocks, extent of which is limited to the western part of the study areas. Locally, also the T₁ rocks can have quite good sealing properties (Figs 10–12). The T₂ and J₂ rocks reveal too good reservoir properties to recognize them to be seals. As a result, in the Proszowice – Busko – Pińczów area the rocks with good sealing properties occur in the western part (Fig. 13) where potential Variscan reservoirs either are absent or are represented only by Devonian or have small thickness (Figs 3, 9, 13). Moreover, the best potential seals do not rest directly upon Paleozoic formations. All these factors determine that prospects for discovering hydrocarbon deposits in the southern Miechów Trough should be considered to be poor.