

SEISMOGEOLOGICZNA DOKUMENTACJA PERSPEKTYW ODKRYCIA NOWYCH ZŁÓŻ GAZONOŚNYCH W PIASKOWCACH MIOCEŃSKICH POD NASUNIĘCIEM KARPACKIM MIĘDZY HUSOWEM A PRZEMYŚLEM

**Seismogeologic documentation of prospects for new gas discoveries
in Miocene sandstones under the Carpathian overthrust
between Husów and Przemyśl**

Urszula BARAN & Eugeniusz JAWOR

*Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A., Departament Poszukiwania Złóż;
ul. Kasprzaka 25A, 01-224 Warszawa; e-mail: urszula.baran@neostrada.pl*

Treść: Wnikliwa analiza materiałów geologiczno-złożowych i sejsmicznych ujawniła występowanie nierozpoznanych dotychczas pułapek złożowych w autochtonicznych osadach miocenu pod nasunięciem karpacko-stebnickim. Pułapki te, zlokalizowane w otoczeniu odkrytych złóż gazowych, nie były dotąd objęte pracami wiertniczymi. We wschodniej części zapadliska przedkarpackiego odkryto dotychczas złoża gazu w pułapkach antyklinalnych typu kompakcyjnego nad podniesieniami podłoża oraz strukturalno-tektonicznych, uformowanych przez nasunięty allochton karpacko-stebnicki. Zwrócono szczególną uwagę na przedmioceńskie, głębokie paleodoliny w podłożu miocenu, rozpoznane na przedpolu nasunięcia, zanurzające się pod Karpaty. Paleodoliny wypełnione są grubym kompleksem osadów badenu i sarmatu, z dużym udziałem litofacji piaskowcowych, wyklinowujących się stopniowo na skłonach podłoża. Zarówno paleodoliny, jak i ich skłony są dotychczas bardzo słabo rozpoznane. Wyklinowujące się serie porowate, uszczelnione osadami ilastymi, stworzyły korzystne warunki dla akumulacji gazu ziemnego w pułapkach typu litologiczno-stratygraficznego i litologicznego. Możliwości odkrycia złóż, poza strefami wyklinowań, wiążą się ze strukturami antyklinalnymi typu kompakcyjnego oraz pułapkami związanymi z tektonicznym podgięciem autochtonicznych osadów miocenu ekranowanych pokrywą allochtonu.

Słowa kluczowe: zapadlisko przedkarpackie, gazonośne osady miocenu, morfologia podłoża, paleodoliny, nasunięcie karpackie, pułapki złożowe

Abstract: Penetrating analysis of the geologic and seismic material revealed occurrence of hitherto unrecognized of reservoir traps in the autochthonous Miocene strata under the Carpathian-Stebnik overthrust. These traps, situated in the vicinity of discovered gas fields, have not been drilled up to the present. In the eastern part of the Carpathian Foredeep, gas fields have been, so far, discovered in compaction anticlines over the basement elevations and in structural-tectonic traps formed by the thrust Carpathian-Stebnik allochthon. Special attention has been given to pre-Miocene deep paleovalleys in the basement of the Miocene formations, submerging under the Carpathians, which have been recognized in the foreland of the overthrust. The paleovalleys are filled up with thick complex of Badenian and Sarmatian sediments, containing a high proportion of sandy lithofacies that gradually wedge out at the basement slopes. The paleovalleys and their slopes have been very poorly recognized by boreholes. Wedging out porous series, sealed by argillaceous sediments, created favourable conditions for gas accumulation in lithologic-stratigraphic and lithologic traps. Beyond the zones of the wedging out, potential for gas discoveries lies in compaction anticlines and traps related to tectonic turn-up of the autochthonous Miocene formations screened by the allochthonous cover.

Key words: Carpathian Foredeep, gas-bearing Miocene deposits, basement morphology, paleovalleys, Carpathian overthrust, reservoir traps

WSTĘP

Rejon badań o powierzchni około 590 km² obejmuje wschodnią część zapadliska pod nasunięciem karpacko-stebnickim łącznie z wąską strefą u jego czoła. Celem badań była reinterpretacja wgłębnej budowy geologicznej autochtonicznych osadów miocenu w aspekcie identyfikacji nierozpoznanych dotychczas potencjalnych pułapek złożowych. Przedmiotem interpretacji były obszerne dokumentacje archiwalne PGNiG, w szczególności profilowania geofizyki wiertniczej kilkunastu otworów, badania sejsmiczne 2D, a głównie najnowsze zdjęcia 3D. Prezentowane odwzorowania wgłębnej budowy geologicznej oparte są na analizie 33 profili sejsmicznych 2D oraz 90 profili sejsmicznych 3D wykonanych i opracowanych przez Geofizykę Kraków (Kachlik & Raczyńska 1994, 1998, Bojdyś 2000, Borowska 2004, Filo & Kachlik 2008) i 22 profili sejsmicznych z lat 1994–1996 poddanych reprocessingowi systemem ProMAX w Katedrze Surowców Energetycznych AGH (Marecik 2008). Koncepcję budowy wgłębnej i uzyskane wyniki interpretacji wsparto studiami bogatej literatury dotyczącej omawianego obszaru i jego sąsiedztwa, a także szerszej, zachodniej strefy zapadliska, podanej w spisie i cytowanej w tekście.

Proponowane rozwiązania podjętej tematyki opierają się również na własnych doświadczeniach prospekcyjnych, nabytych w trakcie ponad 40-letniej pracy zawodowej autorów w górnictwie naftowym, przede wszystkim w zachodniej części zapadliska przedkarpackiego w zakresie poszukiwania mioceńskich złóż gazowych związanych z pułapkami różnego typu, między innymi w strefach wyklinowań serii zbiornikowych na skłonach i w obniżeniach, oraz ze zmianami facjalno-litologicznymi w zróżnicowanych warunkach depozycji osadów, nie tylko mioceńskich (Jawor 1973, Jawor & Baran 2001). Niemniej zaangażowanie się w realizację polsko-ukraińskiego projektu badawczego nr PBS/PUPW/6/2005 pt. *Badania transgraniczne wgłębnych struktur geologicznych brzeżnej strefy Karpat w aspekcie odkryć i udostępnienia nowych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego* – wobec dotychczas ograniczonej znajomości szczegółów budowy geologicznej tego regionu – implikowało nowe podejście prospekcyjne, odróżniające się od uprzednio stosowanych schematów.

Poszukiwanie i rozpoznawanie tzw. nieantyklinalnych pułapek złożowych jest zagadnieniem bardzo złożonym ze względu na trudności ich identyfikacji konwencjonalnymi metodami geofizycznymi, a także konieczny szeroki zakres badań: paleogeomorfologicznych, litologicznych, a szczególnie sedimentologicznych (King 1972, Hobson 1977). Badania te pozwalają na rozpoznanie depozycyjnych sekwencji osadów, ich rozmieszczenia w przekroju pionowym i lateralnym, wyznaczenia cykli transgresyjno-regresyjnych i dyskordancji, a w konsekwencji określenia typu pułapek.

W niniejszej publikacji szczególną uwagę zwrócono na strefy zmian litologicznych i wyklinowań. Wyznaczone obszary perspektywiczne przedstawiono na mapach (Fig. 1–3), a pułapki – na zinterpretowanych profilach sejsmicznych (Fig. 5–15). Zdaniem autorów ich budowa geologiczna powinna być przedmiotem szczegółowej i kompleksowej analizy w celu wyznaczenia najbardziej perspektywicznych stref dla odkrycia nowych akumulacji gazu ziemnego.

ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ I GAZONOŚNOŚCI ZAPADLIKA

W zapadliku przedkarpackim wyróżnia się dwie strefy (Ney 1968, Oszczytko 1996): wewnętrzną i zewnętrzną. Południowa część strefy wewnętrznej reprezentowana przez najstarsze utwory neogenu, od eggenburgianu do dolnego badenu włącznie, związana jest z najwcześniejszym wtargnięciem morza do tego rowu przedgórskiego. Utwory te, na obszarze Polski znane jako osady allochtoniczne jednostki stebnickiej, zostały odkłute, sfałdowane i nasunięte wraz z fliszem na osady autochtoniczne. Profil stratygraficzny utworów jednostki stebnickiej na terenie Polski obejmuje warstwy worotyszczzańskie górne (eggenburg; wg Gareckiej & Olszewskiej 1997: ottang-karpat), warstwy stebnickie (ottang) i warstwy balickie (karpat), najlepiej rozwinięte w rejonie Przemyśla (Ney 1968, Oszczytko 1996), gdzie są zachodnim przedłużeniem strefy samborskiej z terenu Ukrainy.

Wiek autochtonicznych utworów miocenu, w świetle aktualnego rozpoznania, datowany jest na karpat, a nawet eggenburg-ottang (Ślęczka 1977, Moryc 1989, Oszczytko 1996, 2001, 2006, Oszczytko *et al.* 2006), po późny sarmat-wczesny panon (Dziedzio *et al.* 2006, Oszczytko 2006). Osady najstarsze występują w strefie wewnętrznej, w miarę przesuwania się osi basenu ku północy następowała przekraczająca sedymentacja coraz to młodszych ogniw miocenu (Oszczytko 1996, 2006).

Utwory molasowe miocenu autochtonicznego zalegają niezgodnie na formacjach podłoża o bardzo zróżnicowanym wieku, od prekambriu po górną kredę. Tak bardzo urozmaicony geologicznie obraz powierzchni podmiocenińskiej świadczy o mobilności tego obszaru w kolejnych orogenezach od kaledońskiej po alpejską, w których podlegał on licznym deformacjom tektonicznym i intensywnym procesom erozyjnym. W analizowanym obszarze i jego otoczeniu podłoża miocenu budują osadowe formacje górnego prekambriu wykształcone jednolicie jako zdiagenezowane fyllity, słabo zmetamorfizowane, w znacznej jego części mocno zaburzone, o upadach warstw w granicach 60–90°. Na południe od strefy uskokuwej Książyc (Fig. 1) fyllity prekambriu zalegają bardziej płasko z upadami 6–40° (Cisowa IG-1 ~100, Kuźmina-1 ~10–40°, Drohobyczka-4 ~6°). Wiek tych utworów określany jest na wend/ryfej (Samsonowicz 1955, Głowacki & Karnkowski 1963, Głowacki *et al.* 1966). W profilu odwiertu Kuźmina-1 osady prekambriu nawiercono na głębokość 7390 m; są to, wg Wiesera (1989), iłowce i mułowce typu metaargilitów i metaaleurolitów. Reprezentować one mogą neoproterozoik-kambr dolny (wend-kambr dolny, Pożaryski *et al.* 1981, Moryc 1992, Dziedzio & Jachowicz 1996, Oszczytko *et al.* 2006).

Wyjściową podstawą do analizy kompleksu miocenińskiego był szkic strukturalny stropu podłoża (Fig. 1–3), uwzględniający wyniki uzyskane w otworach, które w nim nawiercono. Dane z otworów nanoszono na profile sejsmiczne w wersji głębokościowej. Granica miocen-prekambr dobrze się identyfikuje na profilach sejsmicznych w obszarze przedpola nasunięcia, a rejestracja w miocenie jest zaburzona tylko w strefie kontaktu z nasunięciem. Na skłonie platformy, przy większych głębokościach podłoża, obraz jest mniej czytelny. Pogarszanie rejestracji sejsmicznej w obszarach głębokiego zalegania podłoża może wiązać się z obecnością miększych, intensywnie sfałdowanych i zróżnicowanych litologicznie serii fliszowych, ale także z bardziej złożoną litologią profilu starszego miocenu. Sejsmika rejestruje mniej lub bardziej wyraźne układy refleksów, często zaburzonych i kontaktujących ze

sobą niezgodnie kątowo, co może wskazywać zarówno na niezgodności sedymentacyjne, jak i tektoniczne. W środkowej i północno-zachodniej części analizowanego obszaru, o płytszym nieco zaleganiu podłoża niż w części południowo-wschodniej, czytelność materiałów sejsmicznych jest bardziej wiarygodna. Dotyczy to zarówno wewnętrznej budowy kompleksu miocenijskiego, jak i ograniczających go dwóch głównych powierzchni: stropu podłoża i spągu nasunięcia allochtonu fliszowo-stebnickiego.

Głównym elementem tektonicznym odgrywającym ważną rolę w procesach sedymentacji i w późniejszej tektonicznej przebudowie omawianego obszaru jest złożony system uskoku Książyc (Ney 1968, Kuśmierk & Baran 2008) o amplitudzie zrzutu osiągającej ponad 2000 m (Fig. 1, 15), między obszarem złoża Przemysł a otworem Huwniki-1, w którym do głębokości 5014 m nie osiągnięto podłoża miocenu. Na południe od systemu uskoku Książyc, w bardziej pograżonej części podłoża, wyznaczono kilka ważniejszych uskoku o charakterze normalnym i odwróconym o głównym kierunku przebiegu NW–SE (Fig. 1–3), zapewne o założeniach staropaleozoicznych, reaktywowanych w miocenie, czego dowodem jest rozcinanie oprócz podłoża także starszych serii miocenu i ich „wygaszanie” w młodszych utworach miocenu. Ich geometria jest zgodna z systemem dyslokacji uprzednio rozpoznanych we wschodniej części zapadliska, dokładnie omawianym w literaturze (Karnkowski 1969, 1974, Dziadzio & Jachowicz 1996, Maksym *et al.* 1997, Krzywiec 1997, 1999, 2006, Krzywiec *et al.* 2008). Także ten typ i kierunek uskoku jest powszechny na Ukrainie w obrębie górnoproterozoicznego piętra strukturalno-tektonicznego (Kolodij *et al.* 2004), korespondując z systemem uskoku wschodniej części przedpola Karpat (Maksym *et al.* 1997, Oszczytko *et al.* 2006). Analogiczny system uskoku o kierunku NW–SE, udokumentowany wynikami wierceń i badaniami sejsmicznymi, występuje pod nasunięciem Karpat w obszarze na S i W od Bochni (Jawor 1983a, Poborski & Jawor 1987, Jachowicz & Moryc 1995, Jawor & Baran 2004, 2008).

Powierzchnia przedmiocenijska, w środkowej i wschodniej części zapadliska, ukształtowana procesami tektonicznymi i intensywną erozją, charakteryzuje się występowaniem głębokich obniż (paleodolin) oraz podniesionych paleogrzbiatów, być może o założeniach tektonicznych, które rozpoznano na przedpolu nasunięcia jako zanurzające się pod Karpaty, co tłumaczyć należy kierunkiem spływu przedmiocenijskich rzek do znajdującego się na południu paratetydzkiego zbiornika morskiego. Paleodoliny te zostały później wykorzystane przez postępujące ku północy morze miocenijskie, bowiem wypełniają je najstarsze utwory miocenu autochtonicznego (Ślącza 1977, Moryc 1989, Oszczytko 2006). Erozje poprzedziły ruchy fazy laramijskiej, które spowodowały powstanie uskoku inwersyjnych (Jachowicz & Moryc 1995, Oszczytko 1996, 2001, Krzywiec 1997, 1999, Jawor & Baran 2008). Urozmaicony paleorelief powierzchni podłoża odegrał ważną rolę w rozwoju osadów molasowych miocenu, szczególnie starszych (baden-dolny sarmat) oraz ich litologicznego zróżnicowania i przestrzennego zasięgu.

Kompleks osadów wieku górny baden-sarmat wypełniający zapadlisko, na N od brzegu nasunięcia i w jego brzeżnej strefie, budują iłowce, mułowce, piaskowce i piaskowce mułowcowe na przemian przewarstwiające się i faćjalnie ząębające. W dolnej części profilu występują ponadto osady ewaporatowe wieku górny baden-wczesny sarmat? (Oszczytko 1996, Olszewska 1999, Peryt 2006), a podścielają je utwory ilasto-margliste z możliwymi zlepionkami lub piaskowcami w spągu, powszechnie określane jako warstwy baranowskie,

uznawane za odpowiednik warstw skawińskich na Górnym Śląsku, wieku środkowy baden (Garecka & Jugowiec 1999). Zasięg warstw baranowskich i osadów ewaporatowych pod Karpatami nie został rozpoznany, szczególnie po S (SW) stronie regionalnej strefy uskokowej Książyc. Z dotychczas wykonanych otworów, które przewierciły cały profil osadów miocenu i osiągnęły jego podłoże (prekambr) (Fig. 1–3), tylko w pięciu stwierdzono występowanie ewaporatów i osadów podewaporatowych, pomijając brzeżną strefę nasunięcia, w północno-zachodniej i środkowej części omawianego obszaru. Są to otwory: Rączyna-8, Drohobyczka-1, -4, Przemyśl-130 i -136. W pozostałych otworach stwierdzono zalegające bezpośrednio na podłożu miocenu młodsze osady górnego badenu i sarmatu. Natomiast w odwiercie Bachórze-1 pod nasuniętą jednostką skolską, na głębokości 4050 m, nawiercono wprost utworu prekambru.

Starsze ogniwa miocenu pojawiają się w części wschodniej, na południe od pola gazowego Przemyśl, po południowej stronie strefy tektonicznej Książyc, gdzie podłoże miocenu jest głębiej pograżone, pod nasunięciem karpacko-stebnickim. W wykonanych w tej części otworach: Huwniki-1, Cisowa IG-1, Kuźmina-1 nie stwierdzono osadów młodszych od dolnego badenu. W profilu otworu Huwniki-1, po przebicciu nasunięcia na głębokości 3730 m, przewiercono osady dolnego badenu o miąższości ok. 870 m (łupki, mułowce, piaskowce kwarcytowe), leżące na osadach karpatu łupki ilasto-mułowcowe z wtrąceniami anhydrytów, a od głębokości 4997 m – sole kamienne, w których zakończono wiercenie (na głębokości 5014 m). W wykonanym najdalej na południe otworze Kuźmina-1 profil osadów zaliczony do miocenu autochtonicznego występuje w przedziale głębokości 7062–7390 m, w tym: na głębokości 7062–7221 m jest to seria olistolitów fliszowych (?) o nieokreślonym wieku, a poniżej, w przedziale głębokości 7221–7390 m mułowce z wkładkami iłowców, piaskowców i zlepieńców, z zespołem otwornic najniższego badenu (oprócz redeponowanych), z tym że poniżej głębokości 7340 m mogą to być już utwory karpatu (Malata & Żyto 2006). W zachodniej części zapadliska, pod nasunięciem karpackim, za najstarsze osady dolnomiocenijskie uznano formację z Zawoi (Moryc 1989), stwierdzoną w otworze Zawoja-1 na głębokości 4666–4825.5 m, zbudowaną w spągu ze zlepieńców przechodzących ku górze w około 120-metrowy kompleks ciemnoszarych żwirów z przewarstwieniami czarnych mułowców, z zielonymi iłowcami w górnej części. Ponad tymi utworami leży formacja suska, a wyżej stryszawska, w profilu Sucha IG-1 (Ślącza 1977) zaliczone do otnangu-karpatu.

Dotychczasowe prace poszukiwawcze w wewnętrznej części zapadliska – poza brzeżną strefą kontaktu nasunięcia z autochtonicznym mioceniem – ukierunkowane były głównie na poszukiwania złóż gazu ziemnego w pułapkach antyklinalnych typu kompakcyjnego (Czernicki 1977, Karnkowski 1993, 2001, Borys 1996, Myśliwiec 2004b), nad wyniesieniami podłoża (np. wielohoryzontowe złożo Jodłówka), a także w pułapkach strukturalno-tektonicznych uszczelnionych powierzchnią nasunięcia karpacko-stebnickiego (np. złożo Rączyna). W antyklinach kompakcyjnych wielohoryzontowe akumulacje gazu ziemnego związane są z warstwami piaskowców o miąższościach kilku, kilkunastu metrów, uszczelnionych przez rozdzielające je łupki ilaste. Dotychczasowe rozpoznanie wiertnicze głębokich stref obniżonych (paleodolin) i ich skłonów jest bardzo słabe. Mogą w nich występować nie tylko osady wczesnego górnego badenu, ale i środkowego, łącznie z ewaporatami i warstwami baranowskimi z piaskowcami w spągu, w pełniejszym rozwoju i o znacznie

większych miąższościach niż na podniesieniach, gdzie piaskowce młodszego górnego badenu, a także niższego sarmatu wyklinowują się sukcesywnie na skłonach podłoża. Autorzy mają nadzieję, że w najbliższych latach zostaną w nich odkryte kolejne akumulacje, zarówno pod nasunięciem, jak i w zewnętrznej części zapadliska, co poruszają również Czerwińska & Gąsiorek (2004).

Na takie sytuacje geologiczne jednoznacznie wskazują zarejestrowane układy refleksów na profilach sejsmicznych 2D, a szczególnie 3D wykonanych w badanym obszarze. Zostały one potwierdzone wiertniczym rozpoznaniem części paleodoliny, wynurzającej się na skłon podniesienia Husowa, z otworem Husów-56 (Fig. 4, 5) od SW rejonu złoża Rączyna. W odwiercie Rączyna-1, wykonanym w obniżonej części paleodoliny, miąższość osadów miocenu wynosi 1712 m. W profilu wiercenia poziomy piaskowce rozwinięte są szczególnie w niższej jego części (Fig. 5). W otworze Husów-56 usytuowanym na wyniesieniu (Fig. 4) miąższość osadów miocenu wynosi tylko 604 m. Brak jest całej dolnej części profilu, łącznie z kompleksem piaskowców z otworu Rączyna-1, które stopniowo wyklinowały się na wynurzającym się podłożu pomiędzy otworami Rączyna-1 i Husów-56 (Fig. 5). Sedymentacyjną redukcję dolnej części osadów miocenu z poziomami piaskowców rejestruje także profil sejsmiczny XL-200 (Fig. 8) na odcinku od otworu Drohobyczka-4 do otworu Rączyna-3 (Fig. 1).

Przykładem wyklinowywania się piaskowców mioceńskich na skłonach paleodolin i akumulacji w nich gazu ziemnego jest wielohoryzontowe złożo gazu ziemnego Tarnów (Baran & Jawor 1994), występujące pod nasunięciem, w czterech poziomach piaskowców o porowatości od 16 do 30% i przepuszczalności do ponad 1D. Piaskowce izolowane warstwami ilastymi leżąc przekraczając, wyklinowują się na skłonie głębokiej paleodoliny wypreparowanej w utworach mezozoicznych górnej kredy (Fig. 6). Ponad złożem, ok. 200 m wyżej, występuje oddzielny horyzont gazowy uszczelniony nasunięciem. Na zewnątrz od brzegu nasunięcia, na skłonie głębokiej paleodoliny, rozcinającej utwory górnej kredy, odkryto również wielohoryzontowe złożo gazu Dąbrówka i w sąsiedztwie złożo Borek (Jawor 1983b).

Współczesna miąższość osadów autochtonicznych miocenu pod nasunięciem jest zróżnicowana i zależna od ukształtowania powierzchni podłoża, intensywności procesów synsedymencyjnej subsydenacji i stopnia ich ścięcia przez nasuwający się górotwór karpacko-stebnicki. Ukształtowanie powierzchni podłoża mioceńskiego miało decydujący wpływ na formowanie i typ pułapek dla złóż gazowych, szczególnie na rozwój osadów piaskowcowych i ich wyklinowania na skłonach paleodolin, niższy stopień kompaktacji osadów ilasto-piaszczystych ponad wyniesieniami, charakter środowisk depozycyjnych, a ponadto ścinający i deformujący wpływ nasuwającego się górotworu (poddarcia i zafałdowania serii autochtonicznych).

Złoża gazu ziemnego wysokometanowego, dotychczas odkryte w brzeźnej strefie nasunięcia i pod Karpatami, związane są z nadanhydrytowym kompleksem osadów, które w części wschodniej mają miąższości od ponad 3000–2500 m, w środkowej (Pilzno – Bochnia) 1500–800 m, a w zachodniej 700–400 m. Strefa ta ciągnie się od wschodniej granicy przez Przemyśl, Pilzno, Tarnów, Bochnię i dalej ku zachodowi, do granicy w rejonie Śląska Cieszyńskiego. Odkryto tu szereg wielohoryzontowych i zasobnych złóż gazu w utworach górnego badenu i sarmatu. Należą do nich, idąc od wschodu: pole gazowe

Przemyśl (obejmuje złoża: Przemyśl, Jaksmanice, Maćkowice, Wapowce i Tuligłowy), Pruchnik, Jodłówka, Rączyna, Husów, Albigowa – Krasne, Zalesie, Kielanówka, Nosówka, Czarna Sędziszowska, Sędziszów (Obuchowicz 1963, Karnkowski 1969, 1993, 2001, Czernicki 1977, Cisek & Czernicki 1988, Dziadzio *et al.* 1997, Maksym *et al.* 1997, Myśliwiec 2004a, 2004b i inni), Pilzno, Jaśniny Północ, Tarnów (Baran & Jawor 1994), oraz – dalej w kierunku zachodnim – małe złoża Jadowniki, Łąka, Grabina, Raciborsko (dokumentacje złożowe, archiwum Ośrodka Kraków), Dębowiec Śląski (Tołwiński 1946) i Pogórz (Stemulak 1958). Złoże gazu ziemnego Dębowiec Śląski k. Cieszyna odkryto w 1946 roku i jest ono pierwszym odkrytym złożem w strefie brzeżnej, w piaskowcach badenu, ściętych od południa i uszczelnionych tektonicznie powierzchnią nasunięcia.

Wschodnia część strefy, w obszarze pomiędzy Przemyślem a Rzeszowem, gdzie występują najgrubsze miąższości osadów miocenu, jest najbardziej zasobna. Pole Przemyśl jest największą akumulacją gazu ziemnego wysokometanowego w Polsce pod względem wielkości udokumentowanych zasobów oraz liczby horyzontów w przekroju pionowym (Czernicki 1977, Cisek & Czernicki 1988, Karnkowski 1993, Myśliwiec 2004b i inni). Akumulacje gazu ziemnego występują w utworach ilasto-piaskowcowych i piaskowcowych. W niższej części profilu (nad anhydrytami) są to osady turbidytowe, drobnorytmiczne, wyżej utwory środowiska depozycyjnego stożków podmorskich z dużym udziałem piaskowców rozpoznanych w złożach wzdłuż strefy od Dębicy do Przemyśla w różnych częściach facyjnych stożka (Maksym *et al.* 1997, Dziadzio 2000, Dziadzio *et al.* 2000), o wysokich porowatościach – do 27%, i przepuszczalnościach – do kilkuset mD (Myśliwiec 2004a). Osady stożków podmorskich są zastępowane stopniowo przez utwory deltowe (Karnkowski 1978, 1989, 2001, Baran & Jawor 1990, Dziadzio *et al.* 1997, 2006, Maksym *et al.* 1997, Dziadzio 2000), w których między innymi ważną cechą jest ilasto-piaszczysta litologia i cykliczność osadów w pionowym profilu, a także bardzo dobre cechy zbiornikowe.

W strefie przykarpackiej zapadliska i brzeżnej pod nasunięciem, szczególnie pomiędzy Przemyślem a Bochnią, w profilu osadów nadanhydrytowych procentowy udział piaskowców jest wysoki (Czernicki 1977, Karnkowski 1978, 1989, Jawor 1983a, Połtowicz 1991, Baran & Jawor 1994, Zubrzycki 1996, Dziadzio *et al.* 1997, 2006, Maksym *et al.* 1998, Dziadzio 2000, Myśliwiec 2004a, 2004b). Charakteryzują je bardzo dobre parametry zbiornikowe: porowatość do 25–30%, a przepuszczalność do ponad 1 D. Przewarstwienia osadami ilastymi stwarzają pionową izolację, a maksymalne miąższości utworów górnego badenu-sarmatu w części wschodniej i środkowej oraz dobre uszczelnienie tektoniczne przez nasunięcie karpacko-stebnickie sprzyjały powstaniu i zachowaniu wielohoryzontowych i zasobnych złóż gazu ziemnego. Ten układ i odkryte w północnej strefie analizowanego obszaru złoża oraz przemysłowe przypiływy gazu w otworach: Przemyśl-198 (cztery horyzonty z przedziału głębokości 3093–2920 m), Przemyśl-165 (dwa horyzonty z przedziału głębokości 2740–2623 m), Husów-6 z głębokości 2397–2380 m, Husów-56 z głębokości 2053–2044 m, a także objawy lub małe przypiływy węglowodorów w trakcie opróbowania odwiertów Skopów-1, -3, -6 i Zagórze-1, usytuowanych poza złożami, stwarzają realne perspektywy odkrycia kolejnych akumulacji w potencjalnych pułapkach różnego typu, szczególnie położonych w bliskim sąsiedztwie złóż (Fig. 3). Należy zwrócić uwagę, że w porównaniu ze strefą północną ku południowi osady miocenu są bardziej zailone (facja ilasto-piaszczysta) i w przekroju pionowym występuje mniej czystych poziomów piaskowcowych

(Fig. 16), następuje też stopniowe pogorszenie własności zbiornikowych: porowatości są rzędu od kilku do 16%, a przepuszczalności od 0 do kilkunastu mD (dane z badań laboratoryjnych). Te wyniki potwierdzają również pomiary geofizyki otworowej (Bała *et al.* 2003, Jarzyna *et al.* 2004), a także uzyskiwane wielkości przyływów węglowodorów lub solanek z badanych horyzontów. Nie jest to jednak zjawisko o charakterze powszechnym, bowiem w profilach Drohobyczka-1, -4 i -3 czy Skopów-5 występują facje bardziej czystych piaskowców o korzystniejszych parametrach zbiornikowych, co świadczy o okresowych depozycjach grubszego materiału. Przykładem pozytywnym są tu również wyniki złożowe (wielkość przyływów) z otworów Przemyśl-198 i Drohobyczka-4.

CHARAKTERYSTYKA WYDZIELONYCH OBSZARÓW PERSPEKTYWICZNYCH

W wyniku przeprowadzonej analizy wydzielono szereg obszarów perspektywicznych związanych z różnego typu pułapkami, są to:

- strefy wyklinowania utworów miocenu na skłonach wyniesień podłoża (Fig. 1);
- antykliny i struktury antyklinalne typu kompacyjnego na podniesieniach podłoża (Fig. 1, 2);
- struktury związane z tektonicznym podgięciem (poddarciem) osadów miocenu i ich łagodnym zafałdowaniem, uszczelnione powierzchnią nasunięcia (Fig. 1, 2);
- pułapki związane z tektonicznym poddarciem osadów miocenu, uszczelnione powierzchnią nasunięcia (Fig. 2).

Strefy wyklinowania utworów miocenu na skłonach wyniesień podłoża

Na omawianym obszarze, szczególnie w jego środkowej i północno-zachodniej części, występuje kilka głębokich paleodolin zanurzających się ku SW pod Karpaty (Fig. 1–4). W paleodolinach rozwinięte są maksymalne miąższości osadów miocenu redukujące się na rozdzielających je podniesieniach. Takie ukształtowanie dna basenu sedymentacyjnego sprzyjało stopniowemu wyklinowywaniu serii zbiornikowych na skłonach podniesień i powstaniu pułapek dla akumulacji gazu ziemnego, izolowanych osadami ilastymi.

Morfologia prekambryjskiego podłoża w strefie południowego skłonu struktury złożowej **Rączyna** w powiązaniu z analizą miąższości i litologii profili osadów miocenijskich uzasadnia interpretację lokalizacji osi dwóch paleodolin: głównej, o kierunku SW–NE i drugorzędnej, odgałęziającej się ku NW, w kierunku wypiętrzenia **Husowa**. Formy te, rozpoznane sejsmicznie (Fig. 1, 4, 5), potwierdzają również profile wierceń. W profilu odwiertu Rączyna-1 (w obniżeniu paleodoliny) miąższość osadów miocenu (górną baden-sarmat) wynosi 1712 m z licznymi poziomami piaskowcowymi, ale szczególnie należy zwrócić uwagę na kompleks piaskowcowy, przedzielany warstwami ilastymi, w dolnej jego części (Fig. 5). Natomiast w otworze Husów-56, usytuowanym na wyniesieniu Husowa (Fig. 4, 5), miąższość osadów miocenu wynosi tylko 604 m. W profilu Husowa-56 brak jest całej niższej części osadów, łącznie z dolnym kompleksem piaskowcowym, które wyklinowały się na odcinku Rączyna-1 – Husów-56. Tektonicznie ścięta jest także górna część profilu.

W otworze Husów-56 z dolnej partii miocenu, po perforacji w głębokości 2053–2044 m, uzyskano przyływ gazu $V_p = 13 \text{ m}^3/\text{min}$. Powiązanie danych z otworu Husów-56 z profilem sejsmicznym 30-II-91K (Fig. 5) sugeruje, że uzyskany przyływ gazu może mieć również związek z wyklinującym się piaskowcem. W otworze Rączyna-1 przyływ gazu ziemnego uzyskano z osadów miocenu pod nasunięciem karpacko-stebnickim, które stanowi uszczelnienie dla złoża Rączyna (Rączyna-3, -6, -7k, -9k). W obniżonej części paleodoliny wykonano również otwór Rączyna-5 do głębokości 3111 m. Wiercenie zakończono w utworach miocenu (po przewierceniu 1141 m), zalegających na głębokościach zbliżonych do profilu Rączyna-1. Otwór usytuowany jest poza zasięgiem horyzontu gazowego w otworze Rączyna-1, który został ścięty przez nasunięcie. W osadach miocenu wykonano dwanaście opróbowań złożowych, uzyskując z dziesięciu horyzontów przyływy solanek o zróżnicowanych wydajnościach, do $1.6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Interesująco przedstawia się również strefa południowa obrzeża Husowa z kilkoma wciętymi paleodolinami, wynurzającymi się w kierunku wyniesienia (Fig. 4). Ten układ morfologii podłoża sprzyja powstaniu pułapek związanych z wyklinowaniem serii porowatych na skłonach wyniesień. Perspektywiczność tej strefy potwierdzają wyniki badań otworu Husów-6, w którym z piaskowca wyklinowującego się do podłoża na N od otworu (Fig. 4), po perforacji na głębokości 2397–2380 m uzyskano przyływ gazu ziemnego $V_p = 35 \text{ m}^3/\text{min}$.

Na perspektywiczność strefy wyklinowań na południowym skłonie wyniesienia Husowa zwrócono również uwagę w podsumowaniu wyników prac sejsmicznych 3D; temat *Hadle Szklarskie – Husów* (Gąsiorek, w: Bojdyś *et al.* 2000).

Podobny do wyżej opisanego układ wyklinowywania się piaskowców występuje na południowy wschód od złoża Rączyna (Fig. 1), gdzie na skłonach paleodolin rozcinających podniesienia w podłożu (Rączyna, Jodłówka, Drohobyczka, Skopów) na profilach sejsmicznych rejestrowane są wyraźne strefy wyklinowywania się osadów dolnej części miocenu. W obrębie tych paleodolin, a równocześnie wyznaczonych perspektywicznych stref wyklinowywania się warstw piaskowców (**Rączyna SE, Jodłówka N, Jodłówka S, Drohobyczka, Skopów W, Skopów S i Skopów E** – Fig. 1), tylko otwór Drohobyczka-4 przewiercił cały profil miocenu (miąższość 1430 m) i osiągnął prekamb. Pozostałe otwory: Rączyna-2, Drohobyczka-5 i -2, Pruchnik-2 oraz Jodłówka-31, nie rozpoznały pełnego profilu miocenu, szczególnie dolnych jego partii, z oczekiwanymi wyklinowaniami na skłonach podłoża. W profilu otworu Rączyna-2 nawiercono 1771 m miocenu (głębokość otworu 3521 m), stwierdzając kilka serii piaskowcowych o zróżnicowanych miąższościach i porowatościach od kilku do 16% (wg badań laboratoryjnych). W profilu otworu Drohobyczka-4 spągowa część osadów górnego badenu (ok. 200 m) jest ilasta i ilasto-mułowcowa z cienkimi przekładkami piaskowców i możliwymi zlepieńcami lub piaskowcami w spągu (Fig. 8). Wyżej zalega ok. 400-metrowy kompleks piaskowców z przewarstwieniami ilastymi (wg profilowań geofizyki wiertniczej możliwe piaskowce korytowe). Ten kompleks redukuje swoją miąższość i wyklinowuje się na odcinku do otworu Rączyna-3 (Fig. 8). Poniżej głębokości końcowej otworu Rączyna-3 może występować tylko górna część tego piaskowcowego pakietu.

Omawiany typ pułapek jest interesujący w tym obszarze ze względu na uzyskane wyniki:

- w odwiercie Skopów-6 (na konturze wyklinowań) ze spągowej części utworów górnego badenu, na kontakcie z prekambrem, uzyskano z oddzielnych prób złożowych: na głębokości 3228.5–3101 m gaz z gazoliną $V_p = 3.1 \text{ m}^3/\text{min}$ oraz na głębokości 2895–2875 m gaz $V_p = 2.7 \text{ m}^3/\text{min}$;
- w odwiercie Skopów-1 na głębokości 3252.5–3177 m (kontakt miocenu z prekambrem) gaz $V_p = 6.5 \text{ m}^3/\text{min}$ ze śladami solanki;
- w odwiercie Skopów-3 na głębokości 3262.8–3149 m gaz $V_p = 5.1 \text{ m}^3/\text{min}$.

Wymienione otwory zostały wykonane poza strefą optymalną dla wyklinowań (Fig. 1, 13).

W głębokich paleodolinach i na ich skłonach mogą być rozwinięte również osady ewaporatowe i warstwy baranowskie z piaskowcami w spągu. W korzystnych warunkach w piaskowcach baranowskich, uszczelnionych osadami ilastymi (ilasto-marglistymi) i ewaporatowymi mogą również wystąpić akumulacje gazu ziemnego w pułapkach stratygraficzno-litologicznych. Bardziej na południe, w obszarze paleodolin, możliwe są osady starsze z utworami piaskowcowymi (paleogeńskie?), w analogii do obszaru Moraw, gdzie odkryto w nich złoża węglowodorów (Picha 1979, 1996). Możliwości występowania złóż gazu ziemnego pod Karpatami w głęboko zalegającym basenie osadowym są sygnalizowane w pracy Jankowskiego *et al.* (2008).

Część perspektywicznych stref związanych z wyklinowywaniem warstw (piaskowców) pokrywa się z pułapkami strukturalnymi, zarejestrowanymi wewnątrz profilu miocenu, a także z częścią pułapek strukturalno-tektonicznych uformowanych przez nasuwający się górotwór karpacko-stebnicki (poddarcia warstw miocenu lub ukształtowane łagodnie formy antyklinalne (Fig. 3).

Antykliny i struktury antyklinalne typu kompacyjnego na podniesieniach podłoża

W grupie pułapek strukturalnych geneza części z nich związana jest z wyniesieniami podłoża. Są to formy oblekające i częściowo odwzorowujące kształt podniesień w podłożu. Tego typu obiekty wyznaczono w rejonie podniesienia Skopowa i Drohobyczki (Fig. 1); podniesienie Skopowa było również sygnalizowane przez Góreckiego *et al.* (2004).

W obrębie struktury **Skopowa** wykonano otwory Skopów-1, -6 i -9, nawiercające utwory prekambru (Fig. 1, 13). Miąższość osadów miocenu w obszarze struktury zmienia się od 260 do 457 m, co wynika z jednej strony z wyklinowywania się horyzontów wokół podniesienia, a z drugiej – ze ścięcia przez nasunięcie karpacko-stebnickie. Otwory Skopów-6 i -9 usytuowane są poza strefą najbardziej podniesioną, która występuje na S od tych otworów (Fig. 1), a otwór Skopów-1 jest już na skłonie. Jak już podano, przy omawianiu stref wyklinowania do podłoża, w otworach Skopów-1, -6 i -9 rejestrowano małe przyplawy węglowodorów.

Kolejna pułapka, **Drohobyczka**, również nie została rozpoznana w najbardziej elewowanej części (Fig. 1). Otwory Drohobyczka-5, -2 i -3 usytuowane są poza obszarem opty-

malnego podniesienia. Wykonane w tych otworach opróbowania złożowe dały w efekcie: w otworze Drohobyczka-5 przyływy solanek o wydajności od 1.5 do 2.65 m³/h z objawami gazu ziemnego, wskazujące na korzystne parametry petrofizyczne badanych horyzontów; w otworach Drohobyczka-2 i -3 braki przyływów albo bardzo małe wydajności solanek z objawami gazu ziemnego świadczące o niskich parametrach zbiornikowych utworów miocenu w profilach tych otworów, potwierdzone zostały badaniami prób rdzeni (porowatości od kilku do 14% przy przepuszczalnościach od 0 do 17 mD). Perspektywiczny obszar, maksymalnie podniesiony, wyznaczono pomiędzy otworami Drohobyczka-5 i -3 (Fig. 1). Na zachód od potencjalnej pałapki Drohobyczka, na skłonie, w otworze Drohobyczka-4 przewiercono cały profil miocenu (1430 m) w przedziale głębokości 2735–4165 m. Po perforacjach uzyskiwano przyływy solanek z objawami gazu ziemnego, w tym z głębokości 3218–3191 m o wydajności 28.8 m³/h, oraz z głębokości 2957–2945 m o wydajności 1.93 m³/h, z dwóch horyzontów nie uzyskano przyływu. W profilu Drohobyczka-4, jak wynika z pomiarów geofizyki wiertniczej, występuje szereg poziomów piaszczystych o korzystnych parametrach petrofizycznych (Fig. 12). Na bardzo dobre własności zbiornikowe niektórych poziomów wskazują też wyżej podane wyniki prób złożowych. W świetle omówionych wyników z otworów Drohobyczka-5 i -4 oraz Drohobyczka-2 i -3 na obiekcie Drohobyczka korzystniejszych cech zbiornikowych można spodziewać się w N i NW części perspektywicznego obszaru (Fig. 1).

W środkowej części omawianego obszaru w utworach górnego badenu i sarmatu rysują się dwa ciągi form strukturalnych o kierunku NW–SE (Fig. 1, 7–9, 14). Bardziej południowy (**Jodłówka S – Rączyna S**) przebiega w bliskim sąsiedztwie na S od złóż Jodłówka i Rączyna. Ciąg północny (**Rączyna N**) występuje na NW od obszaru złożowego Jodłówka – Rączyna. Wyniki analizy i układ strukturalny osadów mioceńskich wskazują na możliwości poszerzenia obszarów złożowych, szczególnie złoża Rączyna, i udokumentowania przyrostu zasobów.

Na wschód od złoża Jodłówka występuje kolejne podniesienie **Jodłówka E** o przebiegu osi SW–NE. W jego południowej części wykonano trzy otwory Jodłówka-28, -1 i Pruchnik-3 (Fig. 1, 9). Nie uzyskały one pozytywnych wyników złożowych, jednak można wnioskować, że oś struktury wynurza się ku NE, zgodnie z układem strukturalnym podłoża. Na NE od otworu Pruchnik-3 omawiana forma łączy się ze strefą Pruchnik – Tuligłowy (Fig. 1). Pomiedzy tymi złożami może wystąpić korzystna sytuacja dla akumulacji gazu ziemnego. Perspektywiczność tego obiektu została również wykazana we wnioskach geologicznych z prac sejsmicznych 3D wykonanych w tym rejonie (Piech, w: Borowska 2004)

Struktury związane z tektonicznym podgięciem (poddarciem) osadów miocenu i ich łagodnym zafaldowaniem, uszczelnione powierzchnią nasunięcia

W brzeżnej części nasunięcia i przed jego czołem rozciąga się perspektywiczny układ strukturalny (antyklinalny), częściowo ścięty przez allochton. Południowo-wschodnia część tej strefy zamyka się na złożu Tuligłowy (Fig. 1, 2). W kierunku NW przechodzi ona przez złożo Pruchnik i prawdopodobnie kontynuuje się dalej ku NW, co sugerują otwory gazowe:

Pantalowice-1, -3 i -4 (dane złożowe podano w: Baran & Jawor 2009). Jako perspektywiczny ocenia się obszar pomiędzy otworami gazowymi Pruchnik-10, -4, -17 i -31. Profile sejsmiczne wykonane w ramach tematu *Jodłówka 3D* (Kachlik & Raczyńska 1994) obejmują swym zasięgiem tylko jego południowe skrzydło i rejestrują podnoszenie się w kierunku NE. Strefa pomiędzy złożami Pruchnik i Tuligłowy, mimo zarysowującego się korzystnego układu strukturalnego, nie została dotychczas rozpoznana. Oczekiwane akumulacje gazu ziemnego przewidywane są w płytszej części profilu miocenu, ale również powinna zostać rozpoznana wynurzająca się ku NE paleodolina pomiędzy złożami Jodłówka i Rączyna (Fig. 1), prawdopodobnie zamknięta poza analizowanym obszarem. Wymaga ona również dopracowania w kontekście korzystnego zapisu atrybutów w strefach wyklinowań (Dacewicz, w: Borowska 2004).

Pułapki związane z tektonicznym poddarcie osadów miocenu, uszczelnione powierzchnią nasunięcia

Wyróżnić można dwa obszary występowania tych pułapek. Pierwszy w rejonie **Rączyna – Jodłówka**, w płytszej części miocenu, w pasie pomiędzy wymienionymi złożami a brzegiem nasunięcia (Fig. 2), gdzie zarysowuje się wyraźny układ refleksów wskazujący na podgięcie warstw i uszczelnienie ich nasunięciem karpacko-stebnickim (Fig. 7–10, 14). W obszarze złoża Rączyna i na jego obrzeżu występuje podobny układ strukturalny związany z głębszą częścią profilu miocenu. Układ ten przechodzi ku dołowi w pułapki strukturalne (Fig. 7, 8).

Gazoność pułapek strukturalno-tektonicznych w tym obszarze potwierdzają otwory gazowe Rączyna-1, -3, -6, -7k oraz -9k. W odległości ok. 0.6 km na SE od otworu Rączyna-3 występuje korzystniejsza sytuacja strukturalna i potrzeba rozpoznania głębszych horyzontów, łącznie ze strefą wyklinowań (Fig. 3, 7, 8). Na południowy zachód od odwiertów Rączyna-6, -7k i -9k zarysowuje się również układ strukturalny perspektywiczny dla akumulacji gazu ziemnego (Fig. 3, 8).

Na północno-wschodnim skłonie podniesienia Skopowa występuje pułapka strukturalno-tektoniczna w obrębie głębszej części profilu miocenu, uszczelniona przez nasunięcie karpacko-stebnickie (Fig. 1, 2). W tej strefie, w otworze Przemyśl-198, uzyskano z czterech horyzontów przyływy gazu ziemnego: z głębokości 3093–3057 m – $V_p = 2.4 \text{ m}^3/\text{min}$; z głębokości 3020–2988 m – $V_p = 10 \text{ m}^3/\text{min}$; z głębokości 2950–2943 m – $V_p = 297 \text{ m}^3/\text{min}$ i z głębokości 2932–2920 m – $V_p = 550 \text{ m}^3/\text{min}$. Sądząc z układu refleksów, powierzchniowy zasięg tej pułapki jest ograniczony, od strony SW została ona ścięta przez nasunięcie. Do powierzchni nasunięcia w tym kierunku dochodzą coraz głębsze serie miocenijskie, ale wyniki opróbowań otworów Przemyśl-230 i -235 (brak przyływu) nie roszą nadziei na pozytywne efekty przemysłowe.

Forma strukturalna z otworem Przemyśl-198 kontynuuje się w kierunku NW z kulminacją w odległości ok. 0.6–0.7 km od otworu produktywnego (Fig. 1). W opracowaniu wyników badań sejsmicznych 3D (Borowska *et al.*, w: Borowska 2004) przedstawiono szczegółową analizę strukturalną i atrybutową obiektu, typowanego jako perspektywiczny. Z tą strefą związane są również wyklinowania warstw na skłonie podłoża w dolnej części

profilu miocénskiego oraz duże sedymentacyjne redukcje miąższości (Fig. 1), co rejestrują profile sejsmiczne i potwierdzają wyniki z otworów. Otwór Przemyśl-230 przewiercił cały profil miocenu i osiągnął utwory prekambry na głębokości 3700 m (miąższość osadów miocenu 600 m), na zanurzonej już części strefy wyklinowań. W odwiercie przebadano cztery horyzonty nie uzyskując przyływu. W otworach Przemyśl-219 i -235 nie rozpoznano niższej części profilu miocenu (głębokość otworów 3208 i 3212 m). W otworze Skopów-4 nawiercono 635 m osadów miocénskich, również nie osiągając podłoża; opróbowano sześć horyzontów, z trzech uzyskano śladowe objawy gazu, a z pozostałych nie uzyskano przyływu. Wyniki złożowe wskazują na słabe własności zbiornikowe. Wykonane otwory nie rozpoznały jednak dolnej części profilu miocenu. W celu pełnej oceny omawianej strefy należy wykonać bardziej szczegółową analizę ze zwróceniem uwagi na obszary wyklinowań i na charakterystykę zbiornikową. W przypadku pozytywnych wyników analizy, uwzględniającej również element ekonomiczny, powinno się rozważyć wykonanie wiercenia w odległości ok. 0.7 km od Przemyśla-198, z dowierceniem do podłoża i przebadaniem także strefy wyklinowań.

Południowe obrzeże złoża Przemyśl

We wschodniej części omawianego obszaru, w rejonie sigmoidy przemyskiej, na południe od strefy uskokowej Książyc (Fig. 1, 16), następuje znaczne pogorszenie własności zbiornikowych utworów miocénskich. Pewne możliwości uzyskania pozytywnych rezultatów i poszerzenia zasobów wiążą się z południowym obrzeżem złoża Przemyśl. Na podniesionym skrzydle uskoku Książyc mogą wystąpić nierozpoznane jeszcze pułapki związane z wyklinowaniem warstw oraz formy strukturalno-tektoniczne związane z poddarciami przez nasunięcie (Fig. 1, 15). Analizę tej strefy oparto tylko na profilach sejsmicznych 2D po reprocessingu systemem ProMAX w Katedrze Surowców Energetycznych AGH.

PODSUMOWANIE I OCENA PROGNOZ POSZUKIWAWCZYCH

Autochtoniczne utwory miocenu, występujące ponad poziomem ewaporatów, budują głównie osady ilaste i piaskowcowe powstałe w różnych warunkach środowisk depozycyjnych. Pakiety ilaste zapewniają powszechność generowania gazu mikrobialnego w kompleksie miocénskim (Kotarba 1999), a liczne porowate piaskowce – występowanie wielohoryzontowych akumulacji, potwierdzone odkryciem zasobnych złóż wysokometanowego gazu ziemnego w różnego typu pułapkach, strukturalnych i niestrukturalnych. Współczesna miąższość osadów autochtonicznych miocenu jest zróżnicowana, szczególnie pod nasunięciem, i zależna od konfiguracji powierzchni morfologicznej podłoża, intensywności procesów depozycyjnych w strefach paleodolin oraz stopnia ścięcia przez nasuwający się allochton karpacko-stebnicki. Na formowanie i typ pułapek dla złóż gazowych decydujący wpływ miały takie czynniki, jak: ukształtowanie powierzchni podłoża miocénskiego (głębokie paleodoliny i grzbiety morfologiczne) oraz wyklinowania serii porowatych piaskowców na skłonach podłoża, kompakcja osadów nad wyniesieniami, charakter środowisk depozycyjnych oraz ścinający i deformujący (poddarcia i zafałdowania) wpływ nasuwającego się

orogenu karpacko-stebnickiego na osady autochtonu. Ważnym elementem dla uformowania się złóż w pułapkach są parametry petrofizyczne skał zbiornikowych. W strefie przykarpackiej zapadliska i brzeżnej pod nasunięciem, pomiędzy Przemyślem a Bochnią, procentowy udział piaskowców w profilu miocenu jest wysoki. Charakteryzują je bardzo dobre parametry zbiornikowe, porowatości 25–30% oraz przepuszczalności do ponad 1 D. Ku południowi i południowemu zachodowi w opisywanym obszarze, poczynając od podniesień Drohobyczka – Skopów (Fig. 1), następuje wzrost zailenia i stopniowe pogarszanie własności (Fig. 16): porowatości wahają się od 4 do 16%, a przepuszczalności od 0 do kilkunastu mD. Bardziej korzystne parametry zbiornikowe mogą występować w strefach paleodolin, co sygnalizują wyniki z otworów Drohobyczka-4 i -1.

Na omawianym obszarze, szczególnie w środkowej i północno-zachodniej jego części, w podłożu miocenu rozpoznano występowanie kilku paleogrzbiatów i rozdzielających je głębokich paleodolin zanurzających się ku SW, pod Karpaty; prawdopodobnie są to koryta rzek spływających z północy do znajdującego się na południu zbiornika morskiego (Fig. 1–4). W paleodolinach rozwinięte są maksymalne miąższości osadów miocenu (baden-sarmat), które w niższej części profilu stopniowo wyklinowują się na skłonach podniesień. Największe redukcje sedimentacyjne profili osadów występują na podniesieniach (paleogrzbiętach). Taki układ sprzyjał wyklinowaniu serii porowatych na skłonach podłoża, co rejestrują profile sejsmiczne, a potwierdzają dane z pojedynczych głębokich odwiertów (Fig. 5, 7–13). Wyklinowujące się serie porowate, uszczelnione osadami ilastymi, stworzyły korzystne warunki dla powstania pułapek litologiczno-stratygraficznych i litologicznych oraz akumulacji w nich gazu ziemnego (Fig. 6).

Z pułapkami tego typu – w nawiązaniu do złóż gazu ziemnego Tarnów i Dąbrówka w miocenie oraz ropy naftowej Grobla – Pławowice w strefie wyklinowania piaskowców cenomańskich – autorzy wiążą duże szanse odkrycia zasobnych złóż gazu na analizowanym obszarze. Poza strefami wyklinowań możliwości odkrycia złóż związane są ze strukturami antyklinalnymi typu kompakcyjnego oraz z pułapkami w „poddartych” osadach autochtonicznych miocenu, często dodatkowo łagodnie zafałdowanych, uszczelnionych tektonicznie pokrywą karpacko-stebnicką, a także z małoamplitudowymi formami antyklinalnymi wewnątrz profilu miocenu (Fig. 1–3). Z wykonanej analizy wynika również, że są szanse poszerzenia obszaru złoża Rączyna, a prawdopodobnie także złoża Jodłówka, i udokumentowania przyrostu zasobów gazu ziemnego. Obszary perspektywiczne w kilku przypadkach nakładają się na siebie (Fig. 3), co daje możliwość szybszego i bardziej efektywnego rozpoznania.

Potencjalne strefy i pułapki powinny być poddane szczegółowej, kompleksowej analizie w celu wyznaczenia optymalnych obszarów przewidywanych akumulacji gazu ziemnego i ustalenia lokalizacji otworów poszukiwawczych. W pierwszej kolejności pracami poszukiwawczymi należy objąć obiekty znajdujące się w środkowej i północno-zachodniej części obszaru, z uwagi na sąsiedztwo już odkrytych złóż gazu Husów, Rączyna, Jodłówka, Pruchnik, Tuligłowy, Jaksmanice, Przemyśl oraz wysoki udział piaskowców o bardzo dobrych parametrach petrofizycznych i mniejsze grubości pokrywy nasunięcia karpacko-stebnickiego, co jest również ważne w pracach wiertniczych.

Rozpoznawanie wierceniami pułapek związanych z wyklinowaniami serii porowatych oraz formami piaszczystymi, które powstają w zmiennych środowiskach depozycyjnych

mają różne kształty, wymaga bieżącego analizowania między innymi kierunków transportu i przebiegu (rozwoju) form z wykorzystaniem do tego celu badań geofizyki otworowej (profilowania upadomierzem, SP, radiometryczne), a to z kolei pozwoli korygować lokalizacje planowanych otworów.

Autorzy serdecznie dziękują prof. dr. hab. inż. Janowi Kuśmierkowi za uwagi merytoryczne oraz mgr. inż. Julianowi Krachowi za tłumaczenia anglojęzyczne i uwagi edytorskie.

Analizę wykonano w ramach realizacji polsko-ukraińskiego projektu badawczego nr PBS/PUPW/6/2005 pt. „Badania transgraniczne w głębszych struktur geologicznych brzeżnej strefy Karpat w aspekcie odkryć i udostępnienia nowych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego”.

ZESTAWIENIE FIGUR DO ARTYKUŁU

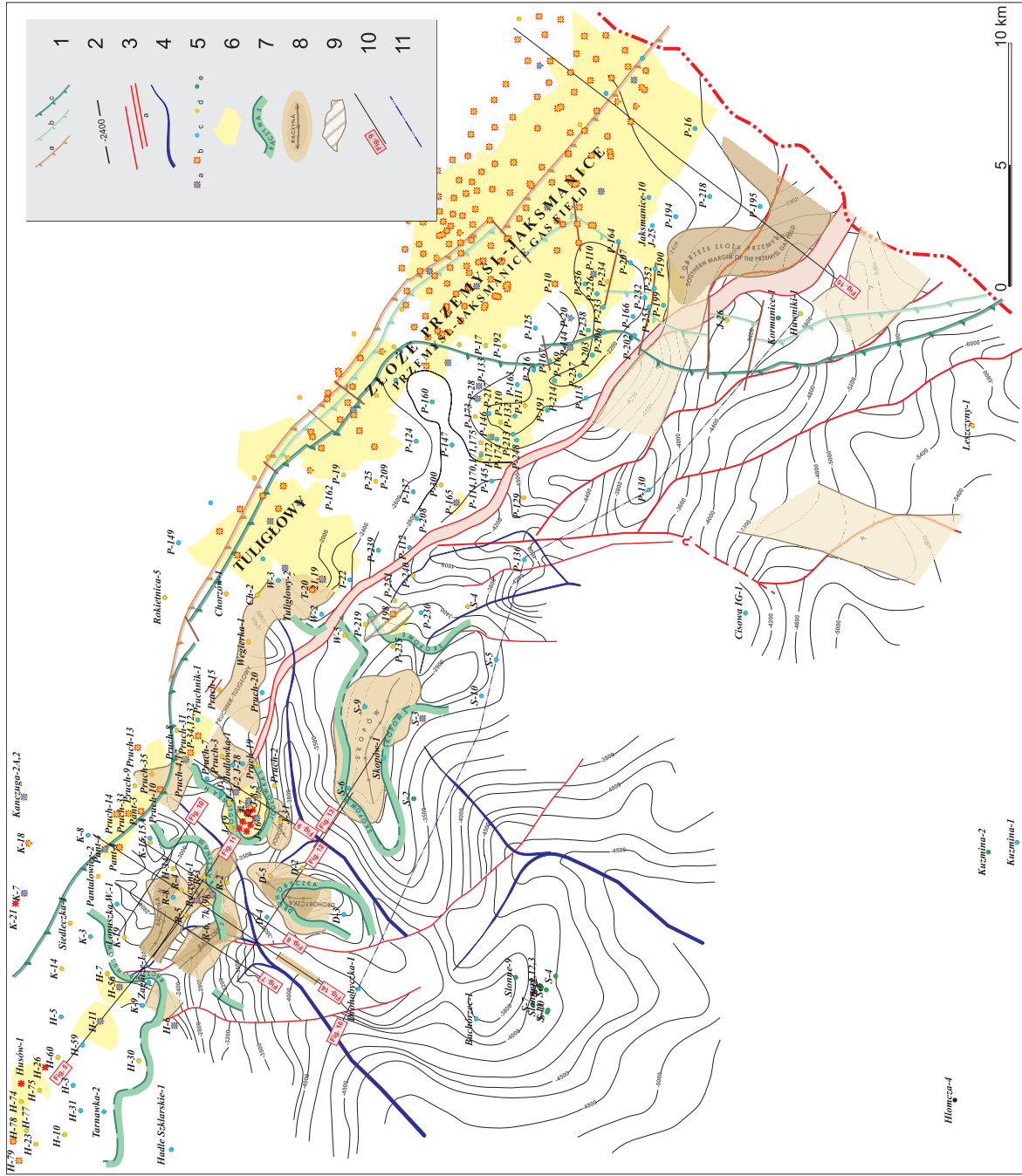


Fig. 1. Mapa sytuacyjna potencjalnych pułapek złóżowych na tle szkicu strukturalnego podłoża: strefy wyklinań i formy strukturalne miocenu autochtonicznego: 1 – nasunięcia płaszczowin i jednostek: a – stebnickiej, b – boryslawsko-pokuckiej, c – skolskiej; 2 – izolipsy stropu podłoża miocenu (prekambru); wg interpretacji profili sejsmicznych 2D i 3D (Kachlik & Raczyńska 1994, Kachlik *et al.* 1998, Bojdyś 2000) zmodyfikowane przez Baran & Jawor; 3 – główne uskoki (a – system uskokiowy Książęce); 4 – osie paleodoliny w podłożu; 5 – odwierty: a – z przyrywem dowierające podłożu, b – z przyrywem gazu ziemnego, c – zakończone w miocenie, d – zakończone w utworach nasunięcia; 6 – złoża gazu ziemnego; 7 – strefy wyklinań piaskowców (zasięg od strony wzniosłu); 8 – formy strukturalne; 9 – struktura wyznaczona w: Borowska 2004; 10 – ślady przekrojów sejsmicznych zamieszczonych w artykule; 11 – linia korelacji

Fig. 1. Location map of potential reservoir traps against the background of the structural sketch of the basement: wedge-out zones and structural forms of the autochthonous Miocene strata: 1 – overthrusts of nappes and units: a – Stebnik, b – Boryslav-Pokuttya, c – Skole; 2 – isohyps of top of the basement of Miocene strata (Precambrian), according to interpretation of 2D and 3D seismic sections (Kachlik & Raczyńska 1994, Kachlik *et al.* 1998, Bojdyś 2000), modified by Baran & Jawor; 3 – main faults (a – Książęce fault system); 4 – axes of paleovalleys in the basement; 5 – wells: a – reaching the basement, with gas inflow, b – bottomed in the Miocene strata, with gas inflow, c – reaching the basement, dry, d – bottomed in the Miocene strata, e – bottomed in the Carpathian overthrust rocks; 6 – gas fields; 7 – zone of wedging out of sandstones (extent from the updip side); 8 – structural forms; 9 – structure delineated by Borowska (2004); 10 – lines of seismic sections presented here; 11 – correlation line

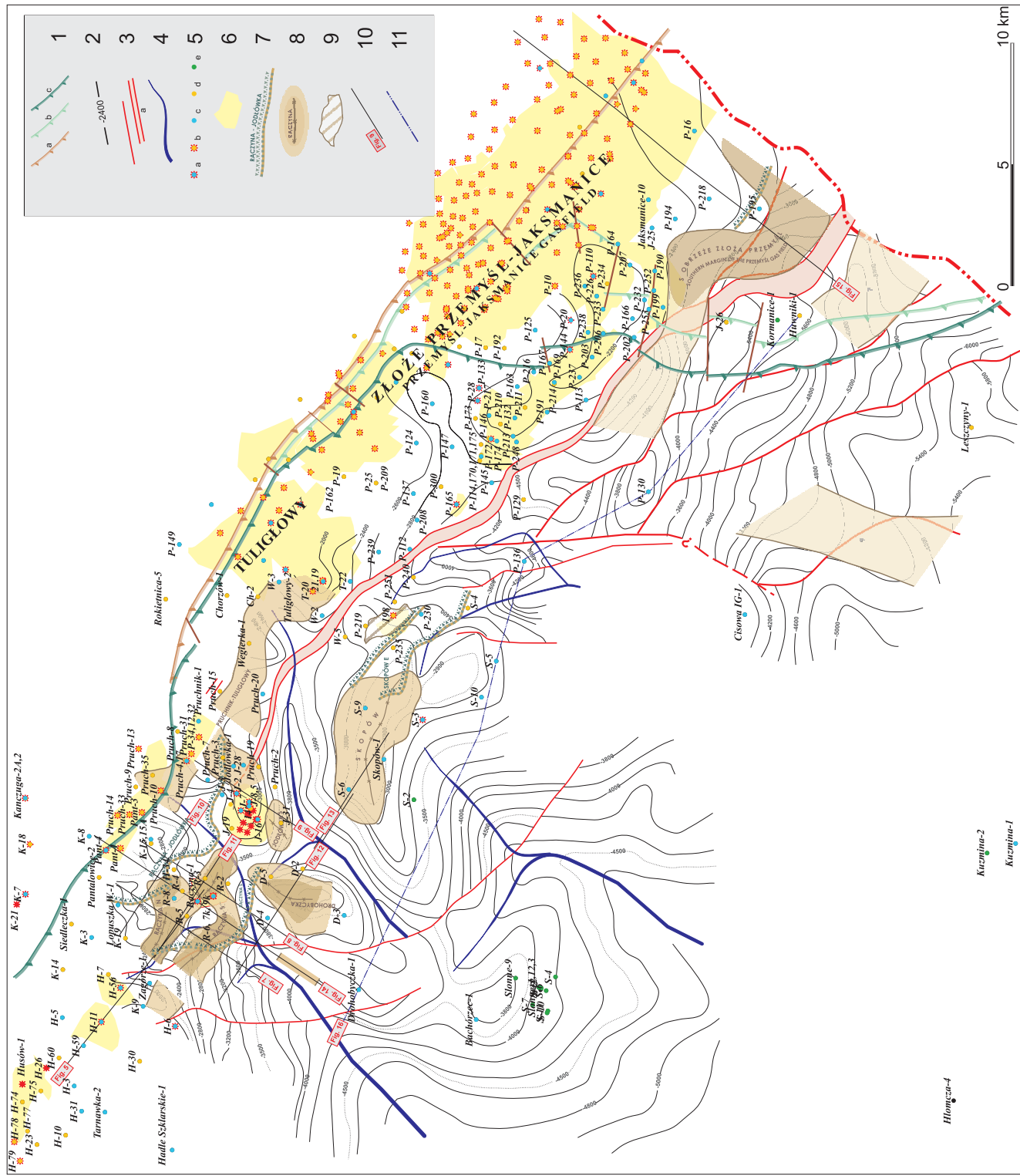


Fig. 2. Mapa sytuacyjna potencjalnych pułapek złóżowych na tle szkieletu strukturalnego podłoża: formy strukturalne i strefy poddarcia miocenu autochtonicznego pod nasunięciem karpackim: 7 – strefy poddarcia kompleksów miocenu autochtonicznego pod nasunięciem, zasięg od strony wzniosu (kontakt z nasunięciem). Pozostałe objaśnienia jak do figury 1

Fig. 2. Location map of potential reservoir traps against the background of the structural sketch: structural forms and zones of turn-up of the autochthonous Miocene under the Carpathian overthrust: 7 – zones of turn-up of the autochthonous Miocene complexes under the Carpathian overthrust, extent from the up dip side (contact with the overthrust). Further explanations as for figure 1

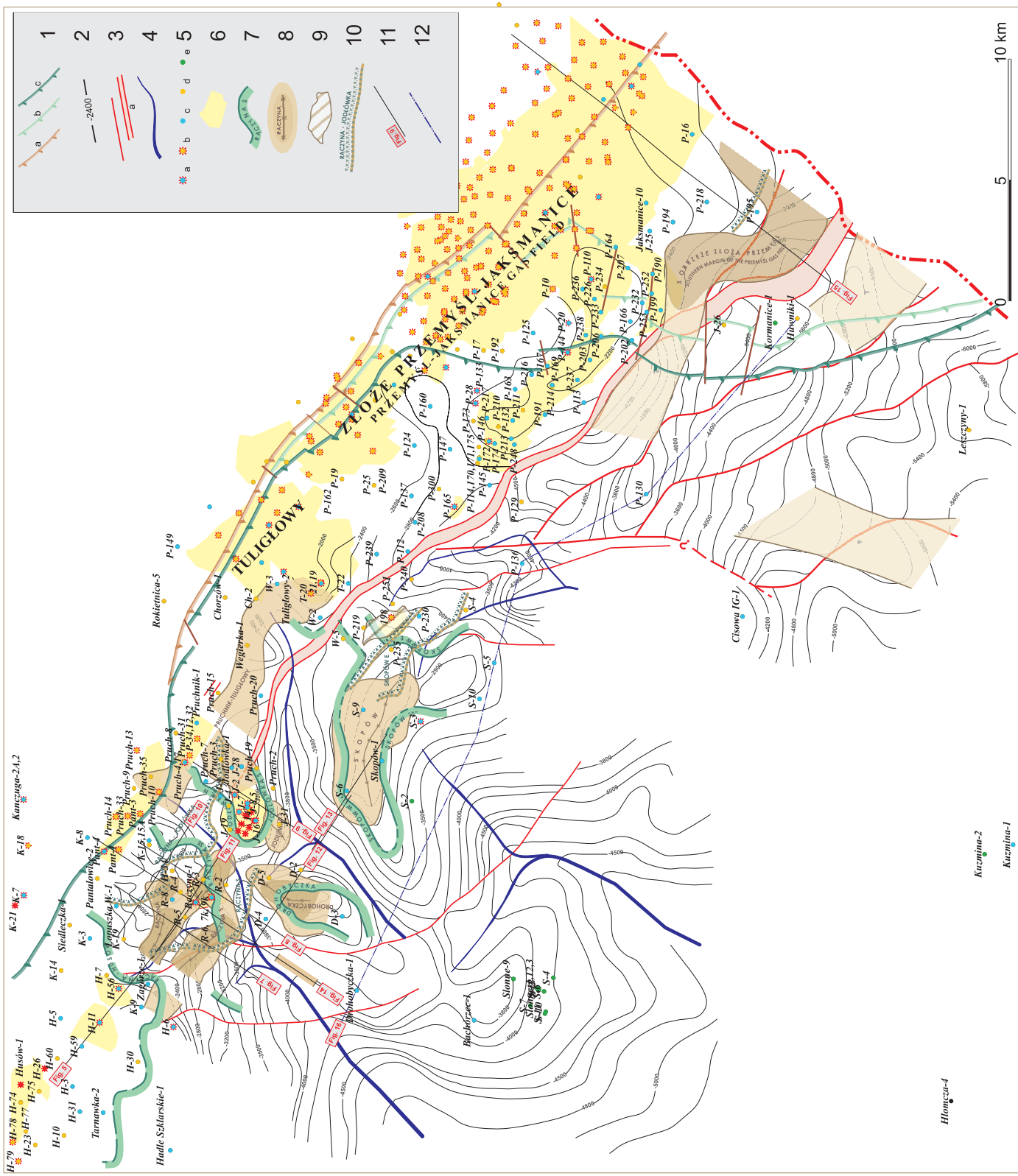
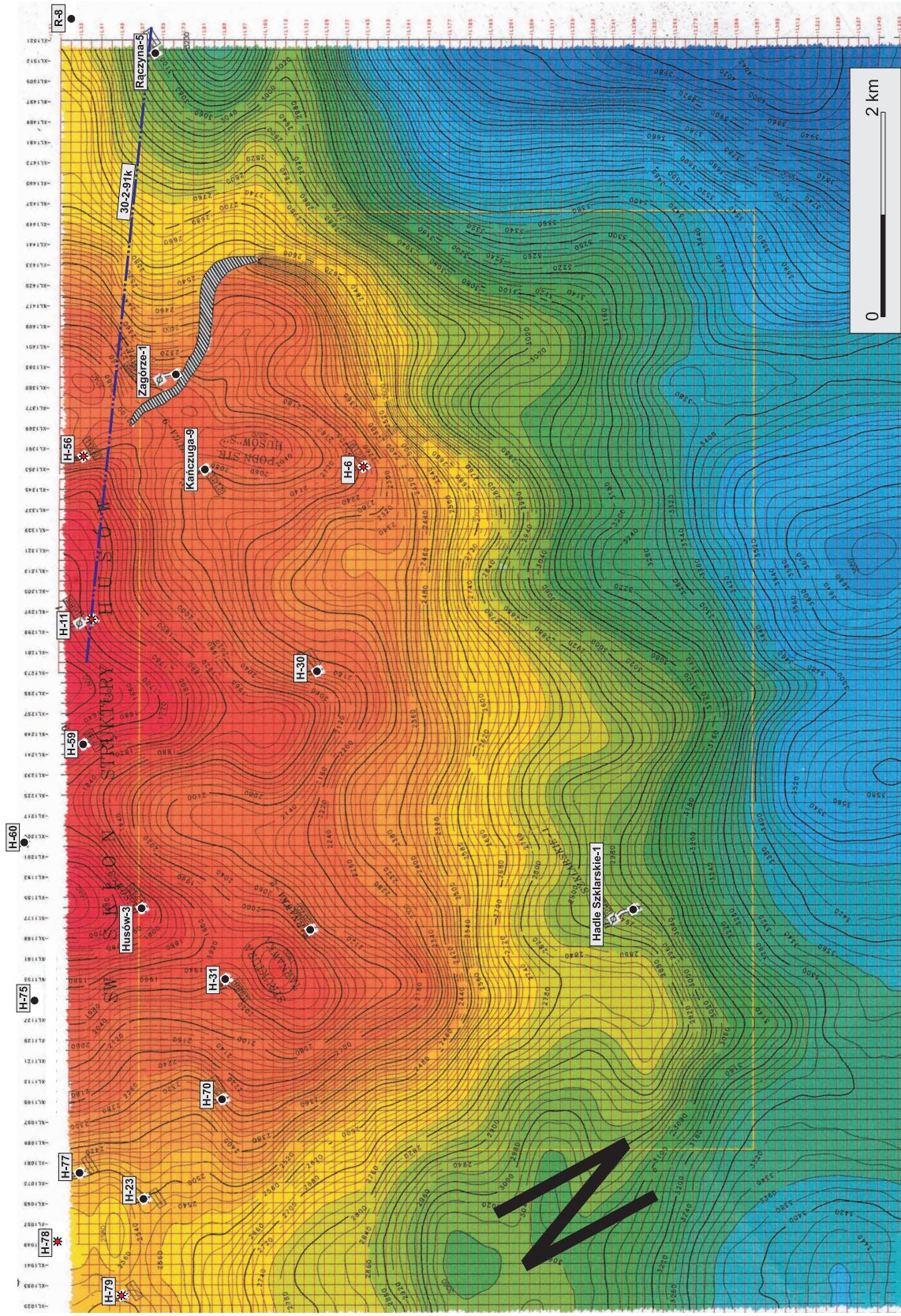


Fig. 3. Zbiorcza mapa sytuacji potencjalnych pułapek złóżowych w utworach miocenu autochtonicznego na tle szkieletu strukturalnego podłoża. Objasnienia – jak do figur 1 i 2

Fig. 3. Composite location map of potential reservoir traps in the autochthonous Miocene strata against the background of the sketch of the basement. Explanations as for figures 1 and 2



★ 1 • 2 — 30-291k 3

Fig. 4. Mapa strukturalna granicy sejsmicznej Msp (spąg miocenu). Temat: *Hadle Szklarskie – Husów 3D, rok 1999* wg Bojdzysa, Garbicza & Kowala (w: Bojdzys *et al.* 2000): 1 – odwierty z przypiływem gazu ziemnego, 2 – odwierty negatywne pod względem złożowym, 3 – ślad przekroju sejsmicznego (Fig. 5)

Fig. 4. Structural map of the seismic boundary Msp (base of the Miocene strata). Theme: *Hadle Szklarskie – Husów 3D, year 1999*, after Bojdzys, Garbicz & Kowal (in: Bojdzys *et al.* 2000): 1 – wells with gas inflow, 2 – dry wells, 3 – line of the seismic section from figure 5

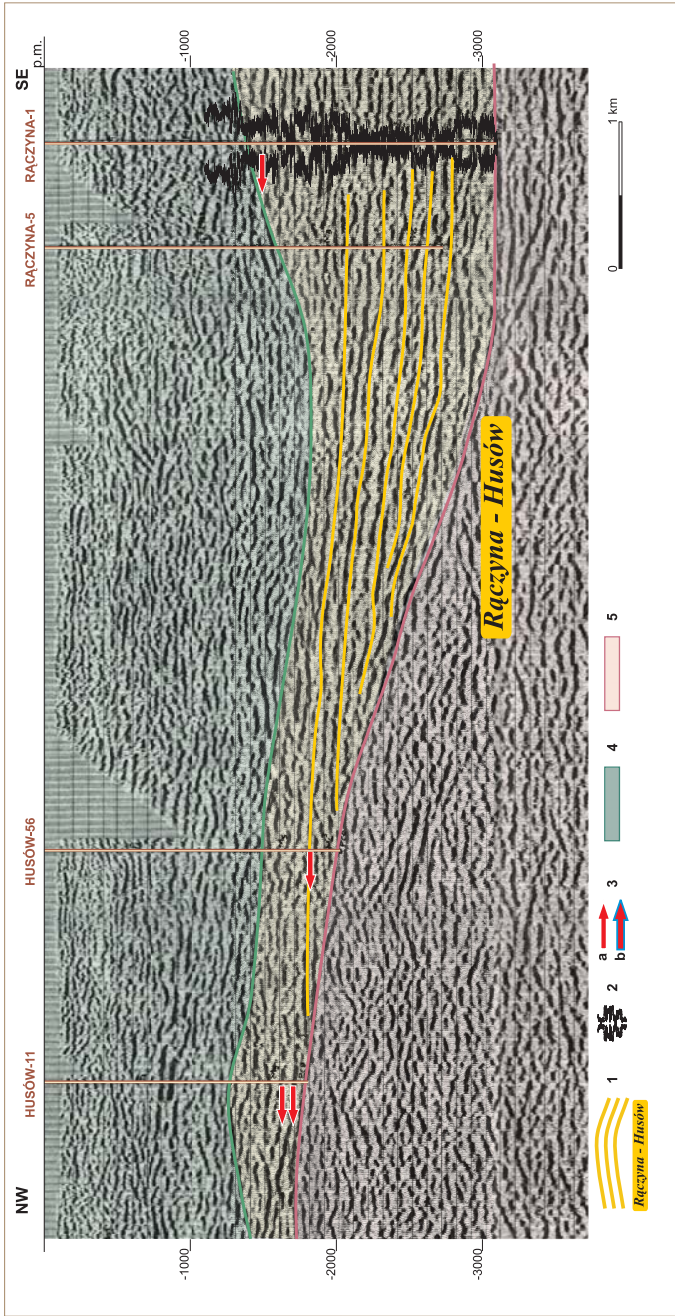


Fig. 5. Przekrój sejsmiczny 30-II-91; temat *Zalesie – Jodłówka – Skopów* (fragment). Objasnienia do figur 5 i 7–15: 1 – strefy występowania potencjalnych pułapek złóżowych w interpretacji Baran & Jawor; 2 – profilowanie gamma (z odbiciem zwierciadlanym), 3a – przyływ gazu ziemnego, 3b – przyływ gazu ziemnego z wodą złożową, 4 – utwory fliszu karpackiego i jednostki stebnickiej wg interpretacji: na figurach 8–13 Kachlik & Raczynskiej; na figurze 14 Kachlik, Filio & Raczynska, 5 – utwory podłoża miocenu (prekambru), wg interpretacji: na figurach 8–13 Kachlik & Raczynskiej; na figurze 14 Kachlik, Filio & Raczynskiej, zmodyfikowane przez Baran & Jawor

Fig. 5. Seismic section 30-II-91, theme *Zalesie – Jodłówka – Skopów* (a fragment). Explanations for figures 5 and 7–15: 1 – zones of occurrence of potential reservoir traps according to the interpretation by Baran & Jawor; 2 – Gamma-Ray Log (with mirror image); 3a – gas inflow; 3b – gas inflow with formation water; 4 – deposits of the Carpathian flysch and Stebnik Unit according to the interpretation by the following persons: figures 8–13 – Kachlik & Raczynska, figure 14 – Kachlik, Filio & Raczynska; 5 – basement of the Miocene (Precambrian) according to the interpretation by the following persons: figures 8–13 – Kachlik & Raczynska, figure 14 – Kachlik, Filio & Raczynska, modified by Baran & Jawor

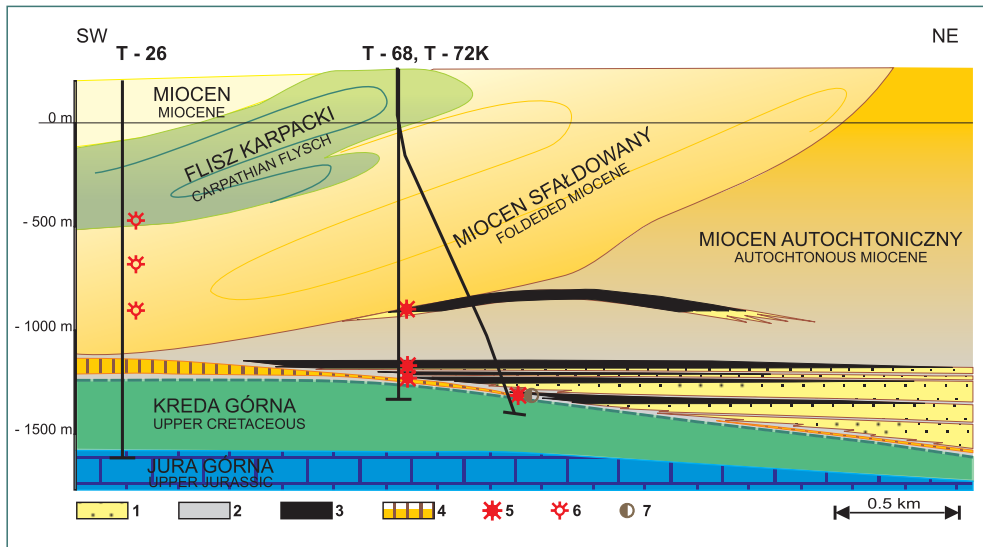


Fig. 6. Przekrój geologiczny przez złożę gazu ziemnego Tarnów V w utworach mioceenu (Baran & Jawor 1994): 1 – piaskowce, 2 – ilowce, 3 – poziomy gazonośne, 4 – ewaporaty, 5 – gaz ziemny, 6 – objawy gazu ziemnego, 7 – gazolina

Fig. 6. Geological cross-section through the Tarnów V gas field in the Miocene deposits (after Baran & Jawor 1994): 1 – sandstones, 2 – claystones, 3 – gas-bearing horizons, 4 – evaporates, 5 – gas inflow, 6 – gas shows, 7 – gasoline

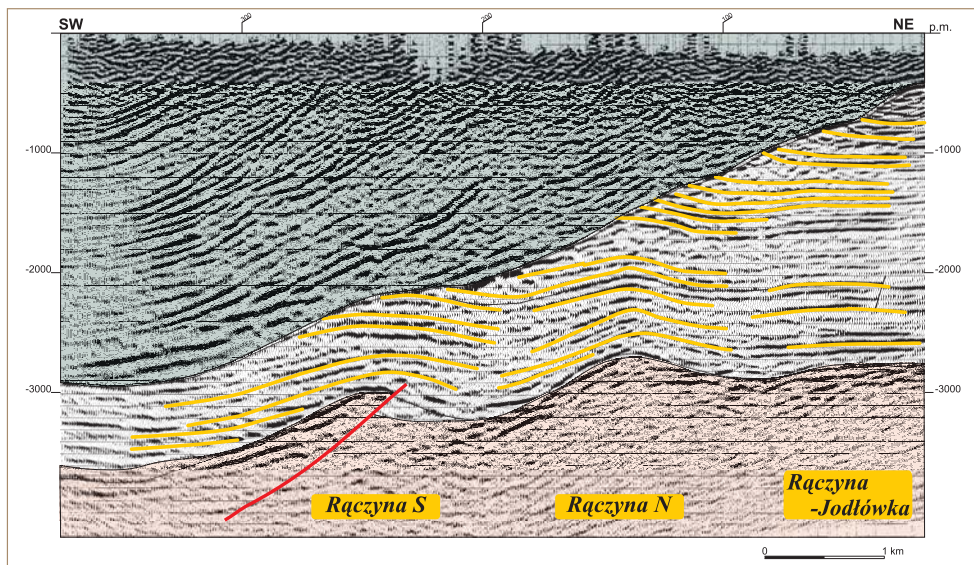


Fig. 7. Przekrój sejsmiczny XL-100; temat Jodłówka 3D – 1994. Objasnienia jak do figury 5

Fig. 7. Seismic section XL-100; theme Jodłówka 3D – 1994. See figure 5 for explanations

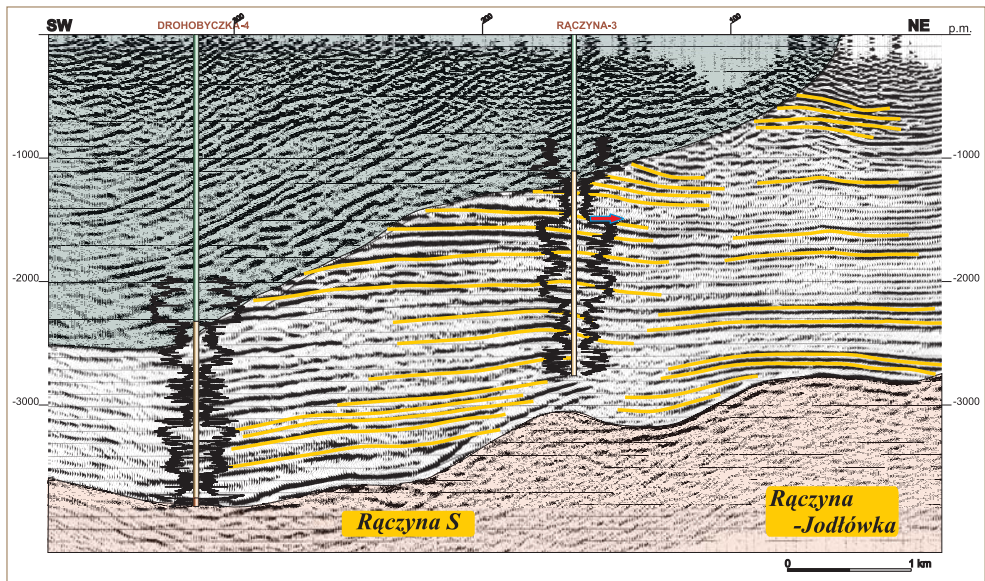


Fig. 8. Przekrój sejsmiczny XL-200; temat *Jodłówka 3D – 1994*. Objasnienia jak do figury 5

Fig. 8. Seismic section XL-200; theme *Jodłówka 3D – 1994*. See figure 5 for explanations

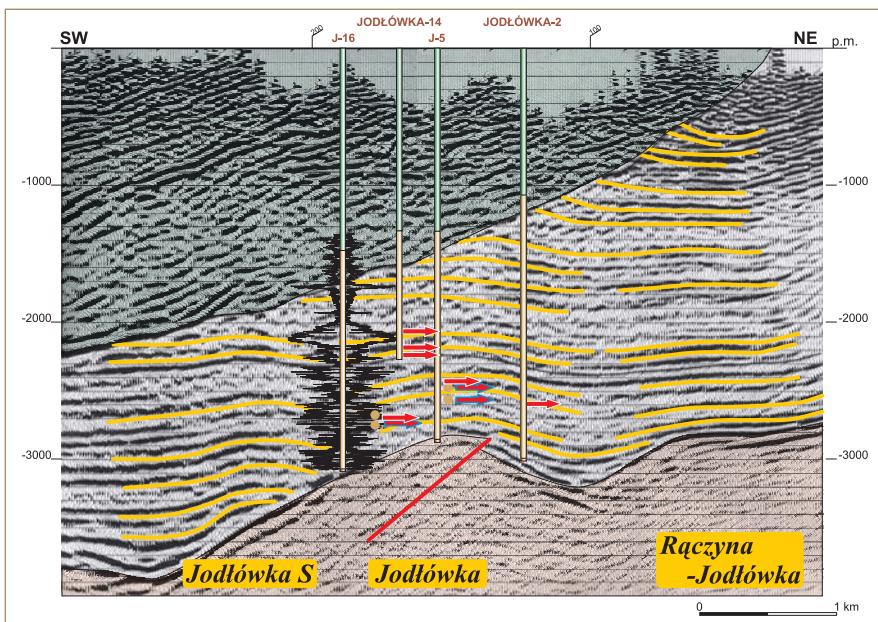


Fig. 9. Przekrój sejsmiczny XL-400; temat *Jodłówka 3D – 1994* (fragment). Objasnienia jak do figury 5

Fig. 9. Seismic section XL-400; theme *Jodłówka 3D – 1994* (fragment). See figure 5 for explanations

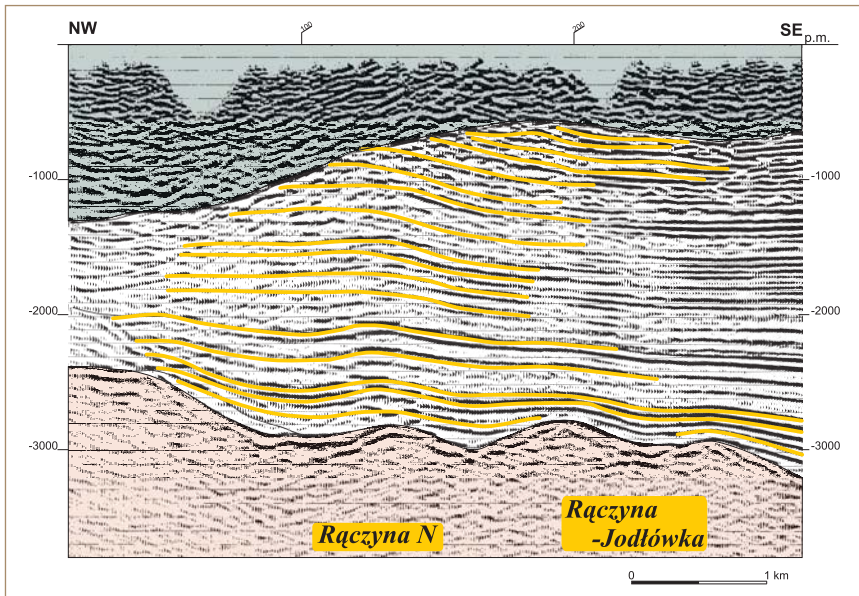


Fig. 10. Przekrój sejsmiczny IL-80; temat *Jodłówka 3D – 1994* (fragment).
Objaśnienia jak do figury 5

Fig. 10. Seismic section IL-80; theme *Jodłówka 3D – 1994* (fragment). See figure 5 for explanations

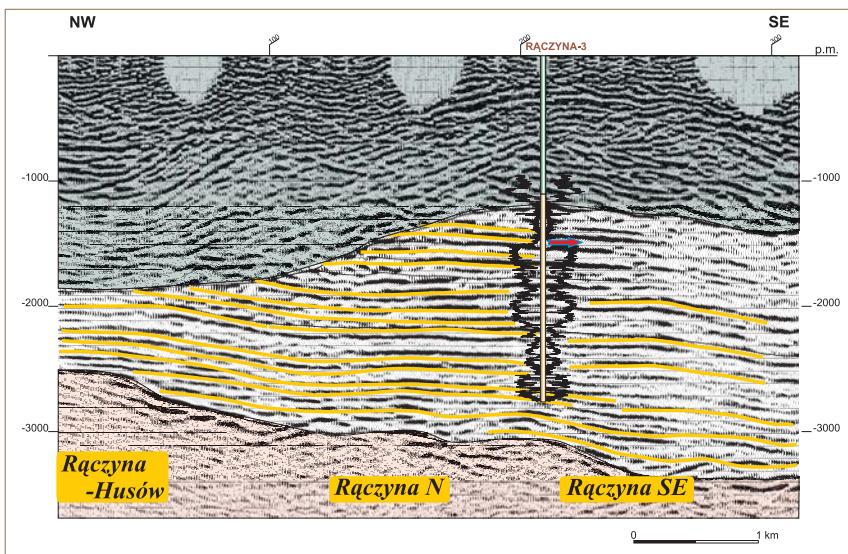


Fig. 11. Przekrój sejsmiczny IL-165; temat *Jodłówka 3D – 1994* (fragment).
Objaśnienia jak do figury 5

Fig. 11. Seismic section IL-165; theme *Jodłówka 3D – 1994* (fragment). See figure 5 for explanations

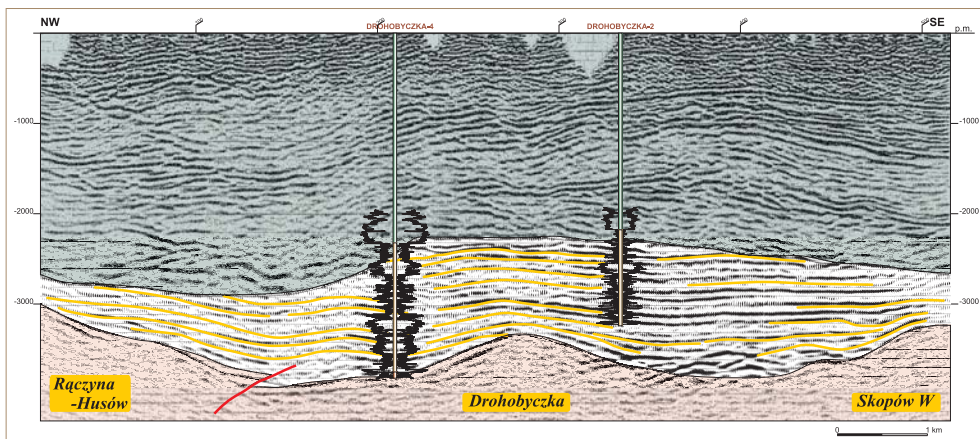


Fig. 12. Przekrój sejsmiczny IL-325; temat *Jodłówka 3D – 1994*. objaśnienia jak do figury 5
Fig. 12. Seismic section IL-325; theme *Jodłówka 3D – 1994*. See figure 5 for explanations

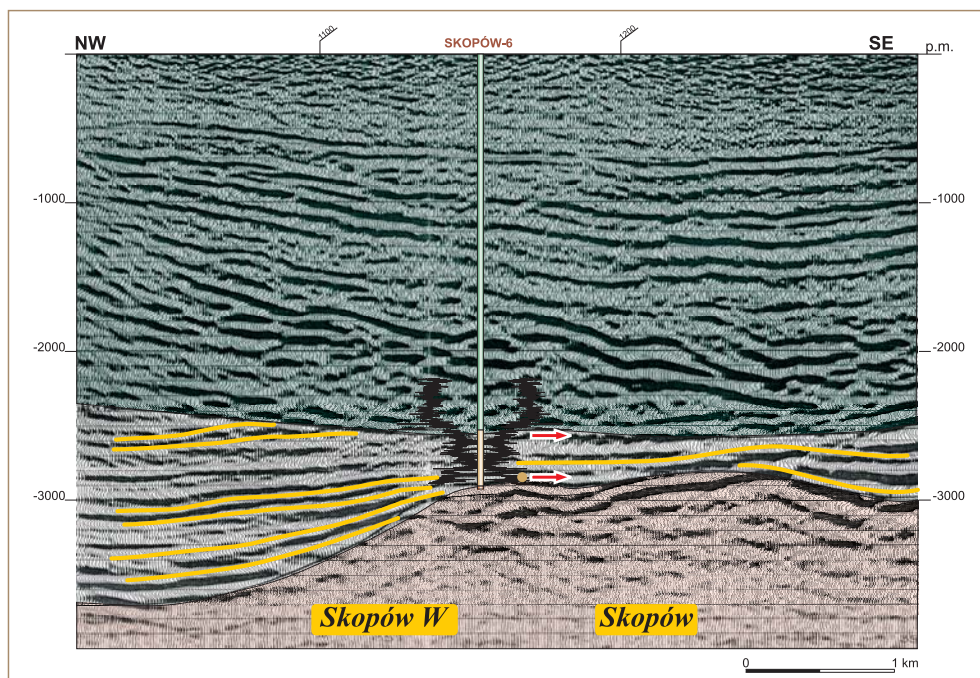


Fig. 13. Przekrój sejsmiczny IL-351; temat *Pruchnik – Tuligłowy 3D* (fragment). objaśnienia jak do figury 5

Fig. 13. Seismic section IL-351; theme *Pruchnik – Tuligłowy 3D* (fragment). See figure 5 for explanations

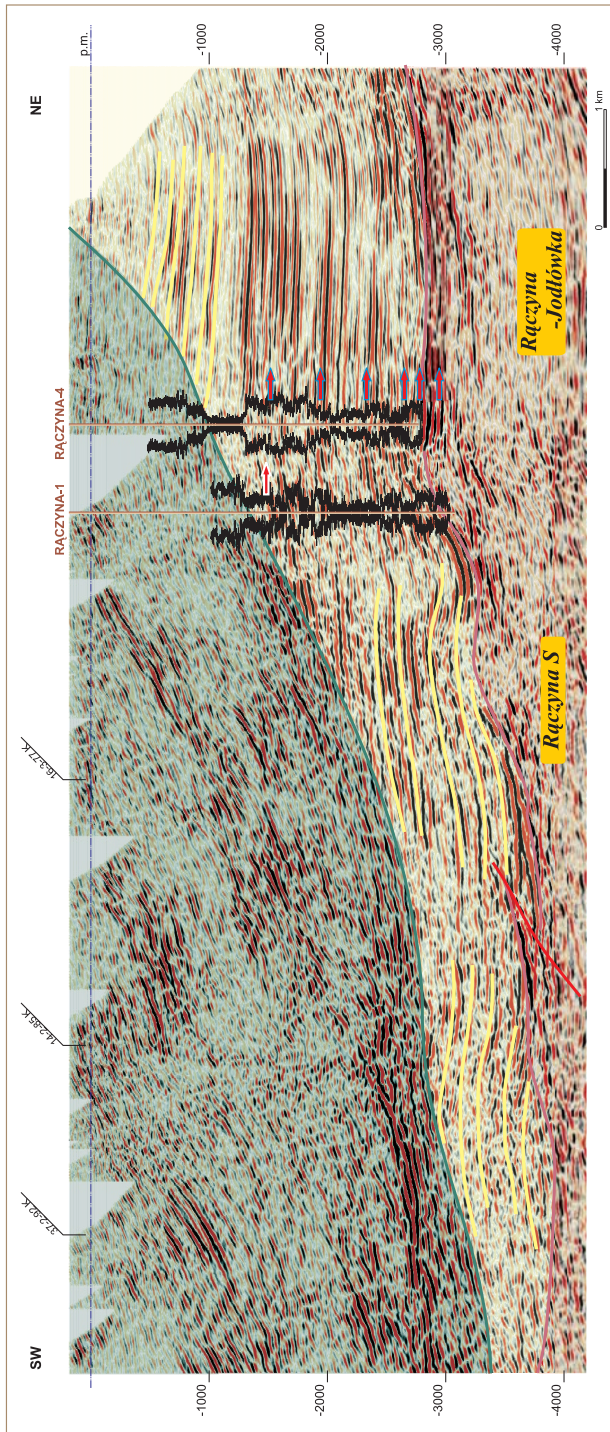


Fig. 14. Przekrój sejsmiczny 16A-2-91K; temat *Drohobyczka – Skopów* (fragment). Objaśnienia jak do figury 5

Fig. 14. Seismic section 16A-2-91K; theme *Drohobyczka – Skopów* (fragment). See figure 5 for explanations

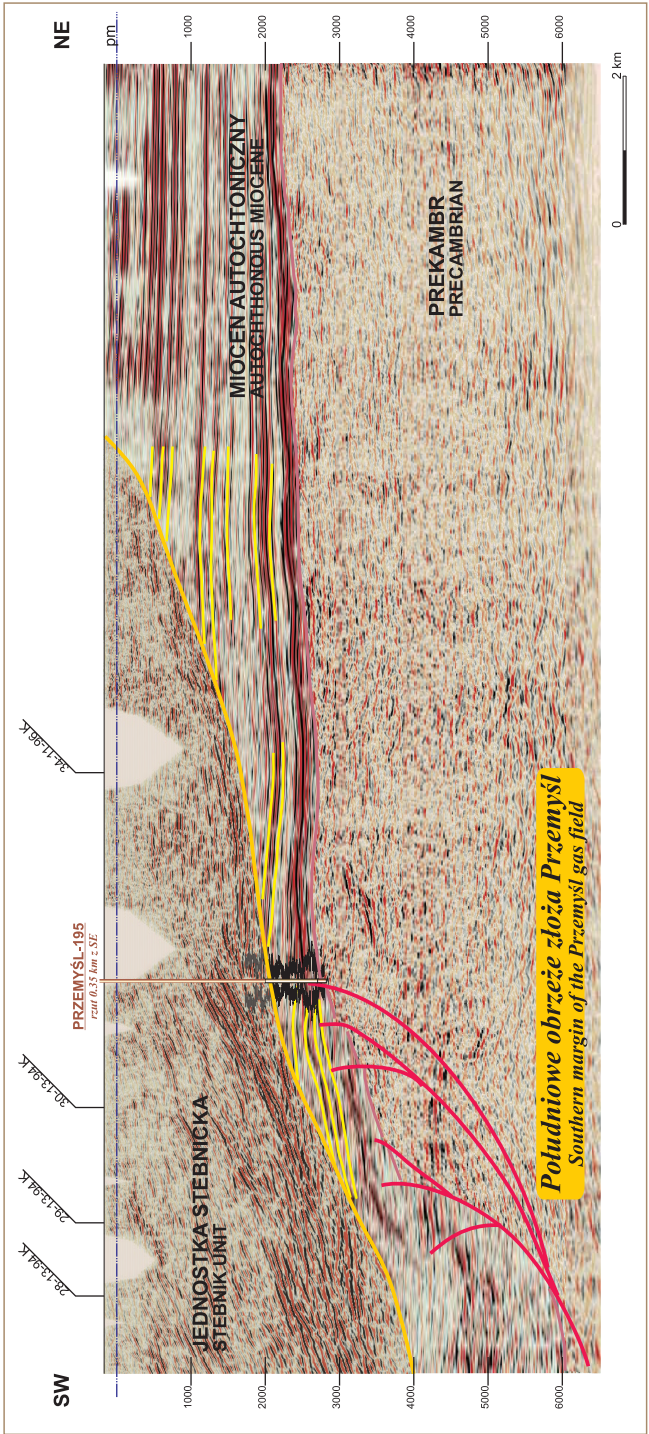


Fig. 15. Przekrój sejsmiczny 19-11-96K; temat Skopów – Kormanice (fragment).
Fig. 15. Seismic section 19-11-96K; theme Skopów – Kormanice (fragment). See figure 5 for explanations

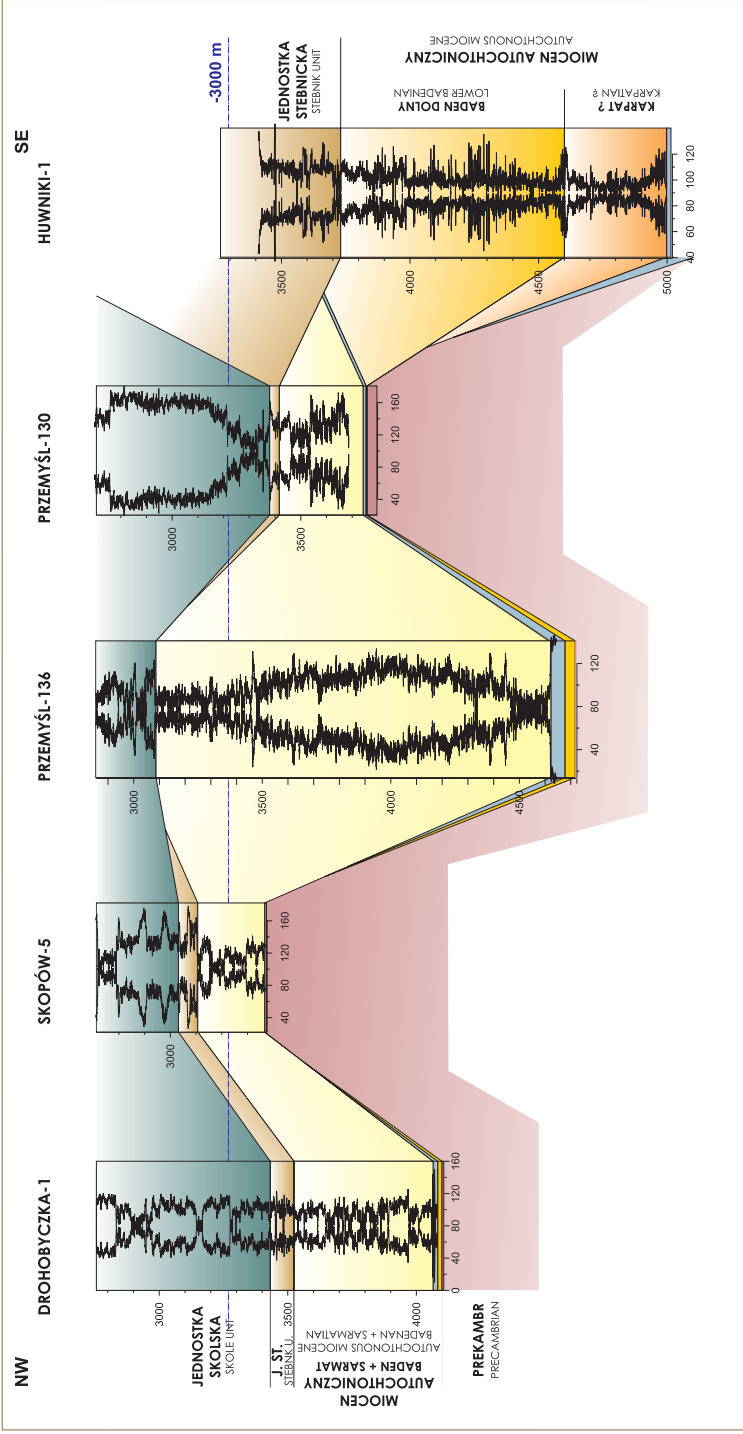


Fig. 16. Korelacja utworów miocenu wzdłuż linii Drohobyczka-1 – Huwniki-1 w zestawieniu z profilowaniem gamma

Fig. 16. Correlation of the Miocene strata along the line Drohobyczka-1 – Huwniki-1, compared to the Gamma-Ray Log

LITERATURA

- Bała M., Jarzyna J., Górecka N., Czopek B., Nowak N., Kotuła M., Wawrzyniak K. & Naleźniak A., 2003. *Analiza potencjalnych pułapek złożowych w oparciu o badania sejsmiczne i analizę geologiczną w strefie Drohobyczka – Skopów. Część 3: Szczegółowa korelacja utworów miocenu autochtonicznego*. Towarzystwo Geosynoptyków „Geos” Zespół Specjalistów, Kraków.
- Baran U. & Jawor E., 1994. Warunki akumulacji gazu ziemnego w utworach miocenu i dalsze perspektywy poszukiwań w strefie Tarnów – Pilzno. *Nafta-Gaz*, 4, 133–143.
- Baran U. & Jawor E., 2009. Analiza autochtonicznych osadów miocenu pod nasunięciem karpacko – stebnickim i wyznaczenie perspektywicznych obszarów dla odkrycia kolejnych złóż gazu ziemnego w zróżnicowanych typach pułapek między Husowem a Przemyślem. W: Górecki W. et al., *Dokumentacja merytoryczna projektu PBS/PUPW/6/2005 pt. „Badania transgraniczne wglębnych struktur geologicznych brzeżnej strefy Karpat w aspekcie odkryć i udostępnienia nowych złóż ropy naftowej i gazu ziemnego”*, Archiwum KSE AGH, Kraków, 1–27.
- Baran U. & Jawor W., 1990. Możliwości wykrywania utworów deltowych i złóż węglowodorów w zapadlisku przedkarpackim na przykładzie węgierskiej części basenu neogeńskiego. *Nafta*, 1–3, 8–12.
- Bojdys M., 2000. *Opracowanie wyników badań sejsmicznych; temat: Hadle Szklarskie – Husów – 3D, rok 1999*. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o. o., Kraków.
- Borowska L., 2004. *Opracowanie wyników badań sejsmicznych; temat: Jodłówka – 3D (DMBS); Reprocessing i reinterpretacja sejsmiki 3D z zastosowaniem migracji głębokościowej przed składaniem, rok 2004*. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o. o., Kraków.
- Borys Z., 1996. Aktualne problemy poszukiwań węglowodorów we wschodniej części przedgórz Karpat. *Przegląd Geologiczny*, 44, 10, 1019–1023.
- Cisek B. & Czernicki J., 1988. Złoże gazu Przemyśl oraz perspektywy poszukiwania ropy i gazu w rejonie przemyskim. *Przegląd Geologiczny*, 36, 6, 334–338.
- Czernicki J., 1977. *Warunki geologiczno-strukturalne pułapek i parametry złóż gazu ziemnego w miocenie autochtonicznym w strefie nasunięcia Karpat między Rzeszowem a Przemyślem*. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, .
- Czerwińska B. & Gąsiorek E., 2004. Czy istnieją pułapki nieantyklinalne we wschodniej części przedgórz? *Polish Journal of Mineral Resources*, 8, 213–217.
- Dziadzio P., 2000. Sekwencje depozycyjne w utworach badenu i sarmatu w SE części zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 48, 12, 1124–1138.
- Dziadzio P. & Jachowicz M., 1996. Budowa podłoża utworów miocenu na SW od wyniesienia Lubaczowa. *Przegląd Geologiczny*, 44, 11, 1124–1130.
- Dziadzio P., Liszka B., Maksym A. & Staryszak G., 1997. Środowisko sedymentacji utworów miocenu autochtonicznego w brzeżnej strefie Karpat, a interpretacja geologiczno-złożowa w obszarze Husów – Albigowa – Krasne. *Nafta-Gaz*, 9, 407–414.

- Dziazio P., Maksym A. & Olszewska B., 2006. Sedymentacja utworów miocenu we wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 54, 5, 413–420.
- Filo M. & Kachlik J., 2008. *Opracowanie wyników badań sejsmicznych dla tematu: Reprocessing i reinterpretacja prac sejsmicznych 3D Pruchnik – Tuligłowy, rok 2007*. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o. o., Kraków.
- Garecka M. & Jugowiec M., 1999. Wyniki badań biostratygraficznych miocenu zapadliska przedkarpackiego na podstawie nanoplanktonu wapiennego. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 158, 29–42.
- Garecka M. & Olszewska B., 1997. O stratygrafii jednostki stebnickiej w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 45, 8, 793–798.
- Głowacki E., Jurkiewicz H. & Karnkowski P., 1966. Geologia rejonu Przemyśla w świetle głębokich wierceń. *Kwartalnik Geologiczny*, 10, 1, 211–246.
- Głowacki E. & Karnkowski P., 1963. Porównanie górnego prekambru (ryfeju) przedgórze Karpat środkowych z serią zielonych łupków Dobrudży. *Kwartalnik Geologiczny*, 7, 2, 187–195.
- Górecki W., Maćkowski T., Reicher B., Śliż K.K., Smolarski L., Pieniądz K., Łapinkiewicz A.P., Maksym A. & Siupik J., 2004. Specyfika poszukiwań naftowych w miocenie autochtonicznym i jego podłożu pod nasunięciem karpacko-stebnickim. *Polish Journal of Mineral Resources „Aktualne problemy poszukiwań, wydobywania i sprzedaży węglowodorów w Polsce w świetle nowych perspektyw złożowych”*, 8, 115–124.
- Habson G.D., 1977. *Developments in Petroleum Geology – 1*. Applied Science Publishers LTD, London, 83–274.
- Jachowicz M. & Moryc W., 1995. Platformowe utwory dolnego kambru z wierceń Rajbrot -1 i -2 na południe od Bochni. *Przegląd Geologiczny*, 43, 11, 935–940.
- Jankowski J., Guterch A., Józwiak W. & Karnkowski P., 2008. O możliwości występowania złóż gazu ziemnego głęboko pod Karpatami (artykuł dyskusyjny). *Nafta-Gaz*, 4, 227–230.
- Jarzyna J., Wawrzyniak K., Bała M., Reicher B. & Maćkowski T., 2004. Korelacja mioceńskich horyzontów w strefie Drohobyczka – Rączyna – Skopów we wschodniej części zapadliska przedkarpackiego na podstawie profilowań geofizyki otworowej i sejsmiki 2D. *Nafta-Gaz*, 3, 145–155.
- Jawor E., 1973. Warunki złożowe strefy Grobla – Pławowice na tle tektoniki wglębnej obszaru na wschód od Krakowa. *Prace Geologiczne Polskiej Akademii Nauk, Oddział w Krakowie*, 7–68.
- Jawor E., 1983a. Utwory miocenu między Krakowem a Dębicą. *Przegląd Geologiczny*, 31, 12, 635–641.
- Jawor E., 1983b. Poszukiwanie i rozpoznawanie złóż węglowodorów w nieantyklinalnych pułapkach w środkowej części Zapadliska Przedkarpackiego. *Nafta*, 6, 161–167.
- Jawor E. & Baran U., 2001. Piaskowce cenomanu – rozpoznanie i perspektywy poszukiwawcze. *Nafta-Gaz*, 57, 2, 79–97.

- Jawor E. & Baran U., 2004. Budowa geologiczna i charakterystyka utworów karbonu w południowej części bloku małopolskiego. W: Kotarba M.J. (red.), *Możliwości generowania węglowodorów w skałach karbonu południowej części bloku górnośląskiego i małopolskiego*, Wydawnictwo Naukowe Akapit, Kraków, 25–48.
- Jawor E. & Baran U., 2008. Uskoki i ich rola w formowaniu pułapek i złóż ropy i gazu w platformowym podłożu przedgórze i Karpat. *Nafta-Gaz*, 2, 71–83.
- Kachlik J. & Raczyńska J., 1994. *Opracowanie wyników badań sejsmicznych; temat: Jodłówka 3D, rok 1994*. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o. o., Kraków.
- Kachlik J. & Raczyńska J., 1998. *Opracowanie wyników badań sejsmicznych z tematu Pruchnik – Tuligłowy 3D*. Archiwum Geofizyka Kraków Sp. z o. o., Kraków.
- Karnkowski P., 1969. *Formowanie się złóż ropy naftowej i gazu ziemnego na tle geologii przedgórze Karpat*. Wydawnictwo Instytutu Geologicznego, Warszawa.
- Karnkowski P., 1974. Zapadlisko przedkarpackie. Część wschodnia (na wschód od Krakowa). W: *Budowa Geologiczna Polski, tom IV, część 1*, 402–416.
- Karnkowski P., 1978. Paleodelta w miocenie przedgórze Karpat. *Przegląd Geologiczny*, 11, 625–629.
- Karnkowski P., 1989. Utwory deltowe przedgórze Karpat. *Przegląd Geologiczny*, 1, 28–32.
- Karnkowski P., 1993. *Złóża ropy naftowej i gazu ziemnego w Polsce. T. 2: Karpaty i zapadlisko przedkarpackie*. Wydawnictwo Geosynoptyków „Geos”, Kraków.
- Karnkowski P., 2001. Geologia i ropogazonośność przedgórze Karpat. *Prace Instytutu Górniczo-Naftowego i Gazownictwa*, 109, 1–80.
- King R.E., 1972. Stratigraphic Oil and Gas Fields-classification, Exploration Methods, and Case Histories. *SEG Special Publication No. 10, Tulsa, Oklahoma* (w tłumaczeniu na język rosyjski: Maksimov S.P. (red.), *Stratigrafičeskie i litologičeskie zaleži niefti i gaza*, Niedra, Moskwa, 1975, 7–258).
- Kolodij V.V., Bojko G.Û., Bojčevs'ka L.E. et al., 2004. *Karpat's'ka naftogazonosna provinciâ*. Ukraïns'kij Vidavničij Centr, L'viv – Kiïv.
- Kotarba M.J., 1999. Warunki generowania i akumulacji węglowodorów oraz charakterystyka geochemiczna substancji organicznej w utworach miocenu autochtonicznego zapadliska przedkarpackiego. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 168, 277–295.
- Krzywiec P., 1997. Large-scale tectono-sedimentary Middle Miocene history of the central and eastern Polish Carpathian Foredeep Basin – results of seismic data interpretation. *Przegląd Geologiczny*, 45, 10/B, 1039–1053.
- Krzywiec P., 1999. Miocenna ewolucja tektoniczna wschodniej części zapadliska przedkarpackiego (Przemysł – Lubaczów) w świetle interpretacji danych sejsmicznych. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 168, 249–276.
- Krzywiec P., 2001. Contrasting tectonic and sedimentary history of the central and eastern parts of the Polish Carpathian Foredeep Basin – results of seismic data interpretation. *Marine and Petroleum Geology*, 18, 13–38.
- Krzywiec P., 2006. Geodynamiczne i tektoniczne uwarunkowania ewolucji basenów przedgórskich, z odniesieniami do zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 54, 5, 404–412.

- Krzywiec P., Wysocka A., Oszczytko N., Mastalerz K., Papiernik B., Wróbel G., Oszczytko-Clowes M., Aleksandrowski P., Madej K. & Kijewska S., 2008. Ewolucja utworów miocenijskich zapadliska przedkarpackiego w rejonie Rzeszowa (obszar zdjęć sejsmicznego 3D Sokołów – Smolarzyny). *Przegląd Geologiczny*, 56, 3, 232–244.
- Kuśmierz J. & Baran U., 2008. Wgłębna budowa Karpat w strefie sigmoidy przemyskiej: interpretacja profili sejsmicznych i ocena prognoz naftowych. *Geologia* (kwartalnik AGH), 34, 3, 365–384.
- Maksym A., Dziadzio P., Liszka B. & Staryszak G., 1997. Środowisko sedymentacji utworów miocenu autochtonicznego w brzeźnej strefie Karpat a interpretacja geologiczno-złożowa w obszarze Husów – Albigowa – Krasne. *Nafta-Gaz*, 9, 407–414.
- Malata T. & Żytka K. (red. nauk.), 2006. *Kuźmina-1. Profile głębokich otworów wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa.
- Marecik T., Pieniąż K. & Smolarski L., 2008. Metodyka wybranych procedur przetwarzania danych sejsmicznych z obszaru sigmoidy przemyskiej. *Geologia* (kwartalnik AGH), 34, 3, 527–540.
- Moryc W., 1989. Miocen przedgórza Karpat Zachodnich w strefie Bielsko – Kraków. W: Tektonika Karpat i Przedgórza w świetle badań geofizycznych i geologicznych (zagadnienia wybrane), *Referaty sesji Komisji Tektonicznej Komitetu Nauk Geologicznych PAN*, Kraków, 170–195.
- Moryc W., 1992. Budowa geologiczna utworów podłoża miocenu w rejonie Sędziszów Młp. – Rzeszów i ich perspektywiczność. *Nafta-Gaz*, 48, 9–10, 205–223.
- Moryc W. & Jachowicz M., 2000. Utwory prekambryjskie w rejonie Bochnia – Tarnów – Dębica. *Przegląd Geologiczny*, 48, 7, 601–606.
- Myśliwiec M., 2004a. Miocenijskie skały zbiornikowe zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 52, 7, 581–592.
- Myśliwiec M., 2004b. Typy pułapek gazu ziemnego i strefowość występowania ich złóż w osadach miocenu wschodniej części zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 52, 8/1, 657–664.
- Ney R., 1968. Rola rygla krakowskiego w geologii Zapadliska Przedkarpackiego i rozmieszczeniu złóż ropy i gazu. *Prace Geologiczne Polskiej Akademii Nauk*, 45, 1–82.
- Obuchowicz Z., 1963. Złoża ropy i gazu w zapadlisku przedkarpackim. *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, 33, 3, 397–411.
- Olszewska B., 1999. Biostratygrafia neogenu zapadliska przedkarpackiego w świetle nowych danych mikropaleontologicznych. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, 168, 8–28.
- Oszczytko N., 1996. Miocenijska dynamika polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 44, 10, 1007–1018.
- Oszczytko N., 2001. Rozwój zapadliska przedkarpackiego w miocenie. *Przegląd Geologiczny*, 49, 8, 717–723.

- Oszczypko N., 2006. Powstanie i rozwój polskiej części zapadliska przedkarpackiego. *Przegląd Geologiczny*, 54, 5, 396–403.
- Oszczypko N., Krzywiec P., Popadyuk I. & Peryt T., 2006. Carpathian Foredeep Basin (Poland and Ukraine) – its sedimentary, structural and geodynamic evolution. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 84, 293–350.
- Peryt T.M., 2006. Sedymentacja ewaporatów badeńskich w zbiorniku przedkarpackim. *Przegląd Geologiczny*, 54, 5, 438–444.
- Picha F., 1979. Ancient Submarine Canyons of Tethyan Continental Margins, Czechoslovakia. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63, 67–86.
- Picha F., 1996. Exploring for hydrocarbons under thrust belts – a challenging new frontier in the Carpathians and elsewhere. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 80, 1547–1564.
- Poborski J. & Jawor E., 1987. Old Basement of the Miocene Salt – bearing Formation in the Vicinities of Gdów (Podkarpacie Region). *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*, 35, 3, 215–219.
- Połowicz S. 1991. Miocen strefy karpackiej między Dębicą a Przemyślem. *Geologia* (kwartalnik AGH), 17, 5–27.
- Pożaryski W., Vidal G. & Brochwicz-Lewiński W., 1981. Nowe dane o dolnym kambrze południowego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich. W: *Przewodnik 53. Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego*, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, 27–34.
- Samsonowicz J., 1955. O górnym prekambrze (ryfeju) w Polsce. *Przegląd Geologiczny*, 3, 12, 588–589.
- Stemulak J., 1958. Wgłębna budowa geologiczna obszaru między rzekami Olza i Biała. *Kwartalnik Geologiczny*, 2, 4, 825–840.
- Ślęczka A., 1977. Development of the Miocen deposits from the bore-hole Sucha IG-1. *Kwartalnik Geologiczny*, 21, 404–405.
- Tołwiński K., 1946. *Na zachodnim brzegu Karpat (odkrycie Dębowca)*. Czytelnik, Kraków.
- Wieser T., 1989. Petrografia skał podłoża i pokrywy mioceńskiej z otworu wiertniczego Kuźmina-1. *Kwartalnik Geologiczny*, 33, 2, 363–364.
- Zubrzycki A., 1996. Analiza facjalna i rozwój pułapek litologicznych w utworach miocenu autochtonicznego zapadliska przedkarpackiego między Rzeszowem a Pilzнем. *Prace Geologiczne Polskiej Akademii Nauk*, 131, 1–37.
- Dokumentacje wynikowe otworów. Bank Danych PITAKA i materiały archiwalne Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa.

Summary

Autochthonous Miocene deposits that overlie the evaporite horizon are composed principally of argillaceous and sandy deposits formed in various conditions of depositional environments. The argillaceous packages secure common generation of microbial gas in the Miocene complex (Kotarba 1999) and numerous porous sandstones secure the occurrence

of multihorizontal accumulations, which have been confirmed by discoveries of rich, high-methane gas fields in various structural and non-structural traps. The recent thickness of the autochthonous Miocene deposits is diversified, particularly below the overthrust, and it is dependent on the configuration of the morphologic surface of the basement, intensity of depositional processes in paleovalleys, and degree of truncation by the thrusting Carpathian-Stebnik allochthon. Formation and type of gas traps were mostly controlled by: morphology of the top surface of the basement of the Miocene strata (deep paleovalleys and morphologic ridges) and wedging-out of porous sandstone series at the basement slopes; compaction of sediments over elevations; character of depositional environments; and the truncating and deforming effects of the thrusting Carpathian – Stebnik orogen on the autochthonous sediments. Petrophysical parameters of reservoir rocks represent an important factor of formation of gas accumulations in the traps. In the peri-Carpathian zone of the Foredeep and in the marginal zone below the Carpathian overthrust, between Przemyśl and Bochnia, the percentage of sandstones in the Miocene section is high. The sandstones are characterized by very good reservoir properties: porosities from 25 to 30% and permeabilities up to over 1D. Toward the south and southwest, starting from the Drohobyczka – Skopów elevations (Fig. 1), gradual increase in shaliness and aggravation of reservoir properties take place (Fig. 16): porosities range from 4 to 16% and permeabilities from 0 to several md. In paleovalleys, reservoir parameters may be more favourable, which has been indicated by results of the Drohobyczka-4 and Drohobyczka-1 wells.

In the study area, particularly in its central and northwestern parts, in the basement of the Miocene strata, several deep paleovalleys and separating paleoridges were recognized. They submerge toward SW, under the Carpathians, and they probably represent channels of rivers flowing from the north to the marine basin situated in the south (Figs 1–4). Within the paleovalleys, maximum thicknesses of the Miocene (Badenian-Sarmatian) sediments are developed, which gradually wedge out at slopes of elevations. The most severe sedimentary reductions of the section occur on paleoelevations (paleoridges). Such a setting was favourable for wedging out of porous series at the basement slopes, which has been recorded by seismic sections and confirmed by data from a few deep wells (Figs 5, 7–13). The wedging out porous series, sealed by argillaceous deposits, created favourable conditions for origin of lithologic-stratigraphic and lithologic traps and accumulation of gas within them (Fig. 6).

With reference to the Tarnów gas field in the Miocene formations and Grobla – Pławowice oil field in the zone of wedging out of Cenomanian sandstones, in authors' opinion, good prospects for discovering rich gas fields should be set on traps of this type. Beyond the zones of the wedging out, potential for gas discoveries lies in compaction anticlines and traps related to tectonic “turn-up” of the autochthonous Miocene formations, often additionally gently folded, tectonically sealed by the Carpathian – Stebnik cover, and in low-amplitude anticlines within the Miocene section (Figs 1–3). It also results from the analysis that there are chances of increasing the area of the Rączyna field and documenting additions to reserves; it most likely refers also to the Jodłówka field. In several cases, superposition of the prospective areas takes place (Fig. 3), which offers possibility of faster and more effective exploration and appraisal.

The potential zones and reservoir traps should be subjected to detailed, complex analysis in order to delineate optimum areas of predicted gas accumulations and to settle locations of first exploratory wells. First of all, the exploratory work should be carried out on objects situated in the central and northwestern parts of the study area, in view of the vicinity of the discovered gas fields Husów, Rączyna, Jodłówka, Pruchnik, Tuligłowy, Jaksmanice, and Przemyśl, and in consideration of high proportion of sandstones with very good petrophysical parameters and smaller thicknesses of the Carpathian – Stebnik cover, which is important also for drilling operations.

Drilling recognition of traps related to the wedging out of porous series and with sandy forms, which have different shapes due to their origin in variable depositional environments, requires current analysis, among others, of transport directions and courses of development of these forms, with application of well logging (dipmeter, SP, radiometric), which will allow to correct locations of the planned wells.