

Polskie złoża gazu ziemnego z łupków na tle wybranych niekonwencjonalnych złóż Europy Środkowo-Wschodniej

Przemysław Karcz¹, Marcin Janas¹, Ireneusz Dyrka¹



P. Karcz

M. Janas

I. Dyrka

Polish shale gas deposits in relation to selected shale gas perspective areas of Central and Eastern Europe. *Prz. Geol.*, 61: 411–423.

Abstract. This paper describes a regional overview of selected Central and Eastern European sedimentary basins which hold the unconventional potential for shale gas and shale oil exploration that have attracted interest in the last few years. Organic-rich fine-grained rocks like black and dark-grey shales, mudstones and claystones with varying ages from Cambrian to Miocene are distributed very irregularly across Europe. A long-lasting, dynamic geological evolution and continuous reconstruction of the European continent resulted in the formation of many sedimentary

basins. In some basins, biogeochemical conditions favoured preservation of accumulated organic-rich deposits and led to the generation of hydrocarbons after burial and reaching appropriate maturity levels. Even though shale gas and shale oil exploration in Europe is still in its infancy, shale formations were analyzed before as the source rocks in conventional petroleum systems. Parameters that were used to describe source rocks e.g.: total organic carbon, maturity, thickness, depth of occurrence and areal extent, can indicate preliminary potential for shale gas exploration and allow estimating first resource values. Currently the most intense shale gas exploration takes place in Poland where over 42 wells have been drilled and over 100 concessions for unconventional hydrocarbon exploration have been granted. Upper Ordovician and Lower Silurian shales at the East European Craton (Baltic and Lublin-Podlasie Basins) are the major targets for unconventional exploration in Poland. In Central and Eastern Europe, evaluation of the unconventional potential of gas-bearing shale formations is carried out also in Ukraine, Lithuania, Austria, Czech Republic, Hungary, Romania, Bulgaria, Moldavia and the European sector of Turkey. Despite the fact that each shale rock differs from another by geochemical, petrographical, petrophysical, mechanical and other parameters, some similarities can be seen such as marine type of depositional environment with the predominance of type II kerogen or specific organic matter content. Recoverable resources of shale gas throughout Europe are believed to be as large as 17.6 bln m³ and Poland, Ukraine, France with United Kingdom are thought to have the greatest resources.

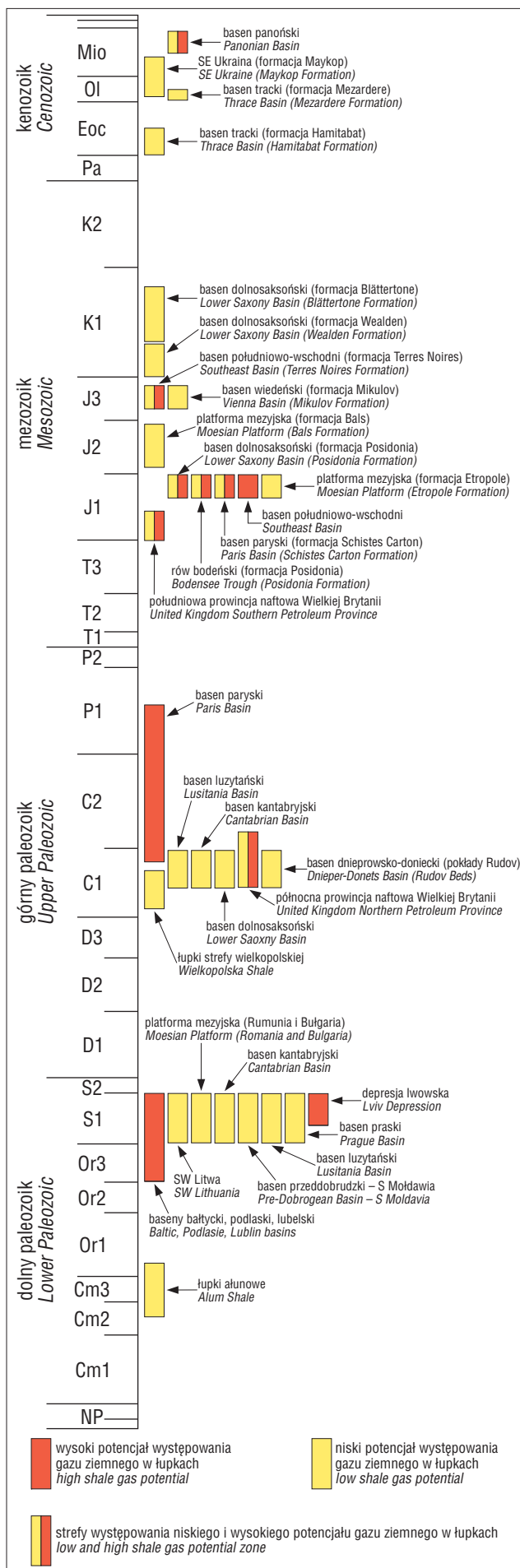
Keywords: Europe, shale gas, shale oil, sedimentary basins, unconventional hydrocarbons, shale gas potential

Niniejszy artykuł ma na celu wprowadzenie czytelnika w jak najbardziej ogólny zarys informacji o europejskich niekonwencjonalnych złożach węglowodorów, tj. ropy naftowej i gazu ziemnego z łupków, które w wyniku dopracowania technologii wydobywczych w ciągu ostatnich kilku lat stały się atrakcyjnym obiektem badań dla wielu firm z sektora naftowego. Łupki i inne skały drobnoklastyczne wzbogacone w materię organiczną, takie jak mułowce i ilowce, które mogą zawierać ropę naftową i gaz ziemny, są rozmieszczone nierównomiernie na obszarze kontynentu europejskiego. Owa szeroka i nieregularna dystrybucja osadów tego typu jest świadectwem pojawiania się i zaniku środowisk sprzyjających akumulacji osadów drobnoklastycznych wzbogaconych w materię organiczną. Migracja drobnoklastycznych środowisk depozycyjnych jest odzwierciedleniem zarówno ewolucji kontynentu europejskiego w zakresie ewolucji strukturalnej, tektonicznej i paleogeograficznej, jak i globalnych i lokalnych zmian poziomu mórz i oceanów wraz z ich produktywnością biologiczną skoncentrowaną w wodach przy powierzchniowych. W konsekwencji dynamicznej historii rozwoju i wielokrotnej przebudowy kontynentu europejskiego relatywnie często pojawiały się i zanikały obszary morskie sprzyjające akumulacji skał osadowych cechujących się podwyższoną zawartością materii organicznej. W wyniku tego występujące w Europie skały macierzyste dla węglowodorów będące celem

poszukiwań złóż niekonwencjonalnych cechują się dużą rozpiętością stratygraficzną i geograficzną, wskutek czego są one wieku od dolnego paleozoiku przez mezozoik aż po kenozoik na obszarach takich państw jak Polska, Rumunia, Bułgaria, Węgry i Ukraina (ryc. 1 – patrz str. 436, ryc. 2). Poza wspomnianymi sektorami, różnego typu i wieku skały łupkowe stanowiące potencjalny cel poszukiwań złóż niekonwencjonalnych znajdują się również na obszarze Hiszpanii, Austrii, Czech, Litwy, Niemiec, Francji i Wielkiej Brytanii. W europejskim sektorze Arktyki, na archipelagu Svalbard i na Nowej Ziemi również odnaleźć można łupki i skały drobnoklastyczne będące celem intensywnych badań naftowych.

Powszechna heterogeniczność łupków, skutkująca ich odmiennymi właściwościami geochemicznymi, petrograficznymi, petrofizycznymi i mechanicznymi, sugeruje, że łupki występujące na obszarze Polski są prawdopodobnie na tyle odmienne od swoich odpowiedników europejskich, a tym bardziej amerykańskich, że prawdopodobnie będą one wymagać dość specyficznego podejścia w odniesieniu do planowanej eksploatacji. Ze względu na ich odmienność należy w sposób bardzo szczegółowy określić ich zdolność do generowania, zatrzymania i uwalniania węglowodorów. Takie badawcze podejście powinno umożliwić zrozumienie tego drobnoklastycznego i wzbogaconego w materię organiczną systemu depozycyjnego z jego biologicznymi,

¹Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; przemyslaw.karcz@pgi.gov.pl, marcin.janas@pgi.gov.pl, ireneusz.dyrka@pgi.gov.pl.



chemicznymi i fizycznymi warunkami, który wraz z pogrzebaniem przemienił się w konwencjonalny i niekonwencjonalny system naftowy. Choć w artykule nie podano rozwiązania tych problemów badawczych, to przyczynić się on może do pełniejszego zrozumienia podstawowych różnic w wybranych cechach geologicznych pomiędzy polskimi łupkami a ich odpowiednikami z Europy Środkowo-Wschodniej. W publikacji skoncentrowano się głównie na obszarach występowania najbardziej perspektywicznych łupków polskich i Europy Środkowo-Wschodniej, które zdaniem wielu autorów mogą rokować nadzieje na opłacalną eksploatację. Do najbardziej perspektywicznych zalicza się łupki z basenów: wiedeńskiego, panońskiego, dniewrowsko-donieckiego, bałtyckiego, podlaskiego, lubelskiego i z depresji lwowskiej (ryc. 1 – patrz str. 436). Do tej grupy należy z pewnością włączyć również łupki alunowe występujące na obszarze Morza Bałtyckiego.

POLSKIE BASENY SEDYMENTACYJNE POTENCJALNIE ZAWIERAJĄCE ROPE NAFTOWĄ I GAZ ZIEMNY W ŁUPKACH

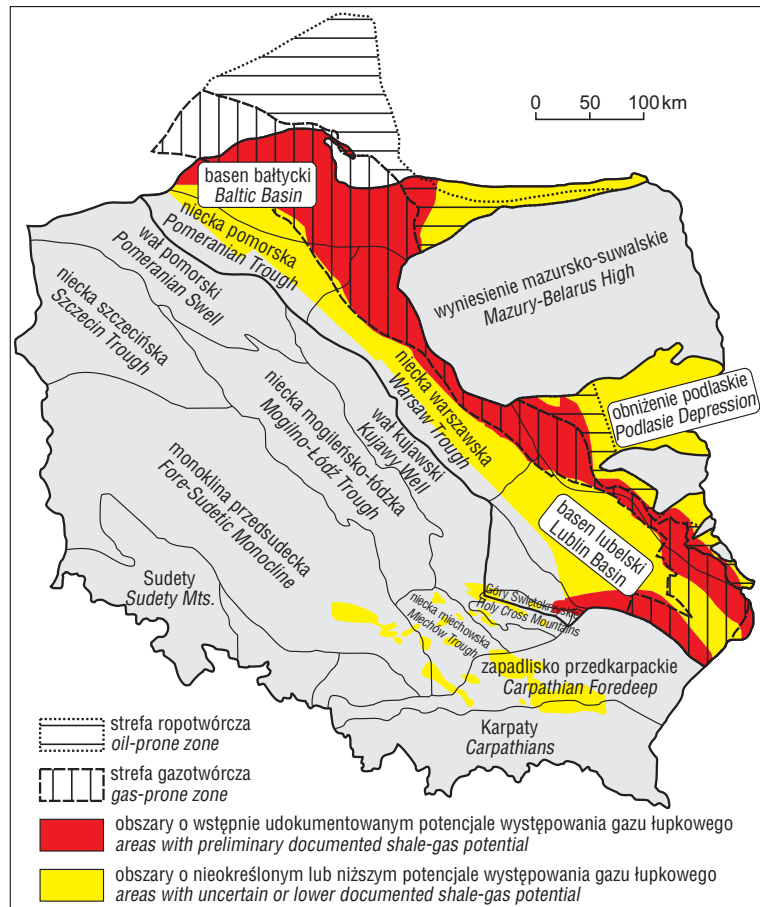
Najbardziej perspektywiczne skały łupkowe na obszarze Polski, które mogą zawierać niekonwencjonalne złoża ropy i gazu, występują w trzech basenach sedymentacyjnych: bałtyckim, podlaskim i lubelskim (ryc. 3). Baseny te charakteryzują się podobnym pionowym układem facjalnym dolnego paleozoiku oraz relatywnie prostą budową tektoniczną. Skały łupkowe górnego ordowiku i dolnego syluru wydają się posiadać odpowiednią charakterystykę geologiczną, co umożliwi zaklasyfikowanie ich nie tylko jako skały macierzyste dla konwencjonalnych złóż węglowodorów, lecz również jako obiecujący cel poszukiwań złóż niekonwencjonalnych. Jednak ich lateralna zmienność facjalna powoduje, że nie na całym obszarze występowania cechują się one jednakową perspektywicznością w odniesieniu do występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów. W karadoku sedymentacja drobnoklastyczna przeważała jedynie w północno-zachodnich obszarach basenu dolnopaleozoicznego, natomiast w regionie południowo-wschodnim zachodził głównie węglanowy typ sedymentacji, który w asygilu zdominował już prawie cały basen dolnopaleozoiczny. Ponowna zmiana warunków sedymentacji rozpoczęła się w sylurze wraz z dominującą akumulacją skał drobnoklastycznych (Modliński i in., 2006; Modliński & Szymański, 2008). Zmiany facjalne i współtowarzyszące im zmiany tempa sedymentacji klastycznej wpłynęły na poziomą i pionową dystrybucję węgla organicznego w tych utworach i przyczyniły się do podwyższenia jego zawartości w facjach przede wszystkim mułowcowych i ilastych, cechujących się niskim tempem sedymentacji. Postępujące w górnym ordowiku i dolnym sylurze migracje facji zależne od przekształcania się środowiska depozycyjnego wraz z jego produktywnością biologiczną i zmianami w zakresie basenowej dystrybucji klastyków spowodowały znaczny diachronizm utworów ilastych i mułowcowych w dolnopaleozoicznym basenie zachodniego skłonu

←
Ryc. 2. Pozycja stratygraficzna i obszar występowania formacji potencjalnie zawierających gaz ziemny w łupkach w Europie
Fig. 2. Stratigraphic position and location of formations with shale gas potential in Europe

kratonu wschodnioeuropejskiego. Odmienna rozpiętość czasowa jest przypisywana także zdarzeniom termicznym, które współkształtowały perspektywiczność węglowodorową. W konsekwencji polskie baseny sedimentacyjne zachodniego skłonu kratonu wschodnioeuropejskiego doświadczyły dwóch wydarzeń termicznych przynależnych stratygraficznie do dewonu i karbonu oraz późnego mezozoiku (Poprawa & Grotek, 2005; Poprawa, 2010a). Rozmieszczenie skał macierzystych dla węglowodorów na obszarze zachodniej krawędzi kratonu cechuje wyraźna strefowość ropo- i gazotwórcza (ryc. 3), odzwierciedlająca odpowiednio wschodnie i zachodnie fragmenty basenów (Poprawa, 2010a).

Szerokie rozprzestrzenienie ordowicko-sylurskich łupków wzbogaconych w materię organiczną w sektorze basenu bałtyckiego skutkuje występowaniem obszarów perspektywicznych na Morzu Bałtyckim, w Rosji, na Litwie oraz w Szwecji. Wielkość basenu i zasięg występowania omawianych utworów klastycznych ordowiku i syluru powodują również, że na różnych obszarach basenu zostały one pograżone do niekiedy znacznie odmiennych głębokości. W konsekwencji utwory landoweru w basenie bałtyckim zostały pogrzebane do głębokości od 1000 m we wschodnim lądowym terytorium Polski do nawet 4500 m w zachodnich granicach swojego zasięgu. Miąższość całego kompleksu landoweru również ulega wahaniom od ok. 20–30 m w rejonach wschodnich do blisko 70 m w rejonach zachodnich. Z kolei utwory wenłoku charakteryzują się dużo większymi miąższościami, które w zależności od regionu różnią się znacząco – od 100–140 m we wschodniej części basenu do 1000 m w regionie zachodnim. Dojrzałość termiczna wykazuje ogromną rozpiętość w granicach od 0,5–0,6% Ro w regionach wschodnich do 4,5% Ro w regionach maksymalnego pogrzebienia. Zawartość węgla organicznego w utworach landoweru jest znacznie zróżnicowana i wynosi 0,5–11,0% wag., z czego najwyższe wartości odnotowuje się w centralnej części Zatoki Gdańskiej. W utworach wenłoku regionalne różnice w zawartości węgla organicznego są znacznie mniejsze i oscylują między 0,5% wag. a 1,4% wag. (Skret & Fabiańska, 2009; Poprawa, 2010a). Jeśli wziąć pod uwagę średnią miąższość łupków netto, wynoszącą ok. 96 m dla landoweru, wyliczone zasoby gazu wydobywalnego to ok. 3,6 bln m³ (Kuuskraa i in., 2011).

W wyniku procesów tektonicznych system dolnopaleozoicznych basenów sedimentacyjnych uległ rozdzieleniu, wskutek czego basen podlaski stanowi obecnie nieco odizolowaną jednostkę z właściwą sobie charakterystyką geologiczną. Utwory landoweru cechują się pogrzebaniem w granicach 500–750 m w regionie wschodnim do blisko 5000 m na obszarze zachodnim. Miąższość utworów wenłoku zmienia się od 80–100 m w regionie wschodnim do nawet 500 m w zachodnich granicach występowania. Dojrzałość termiczna wyrażona w funkcji refleksyjności wityrnytu cechuje się generalnie podobnym trendem wzrostu wartości w kierunku zachodnim i południowo-zachodnim i osiąga wartości rzędu 4,0% Ro w warstwach lando-

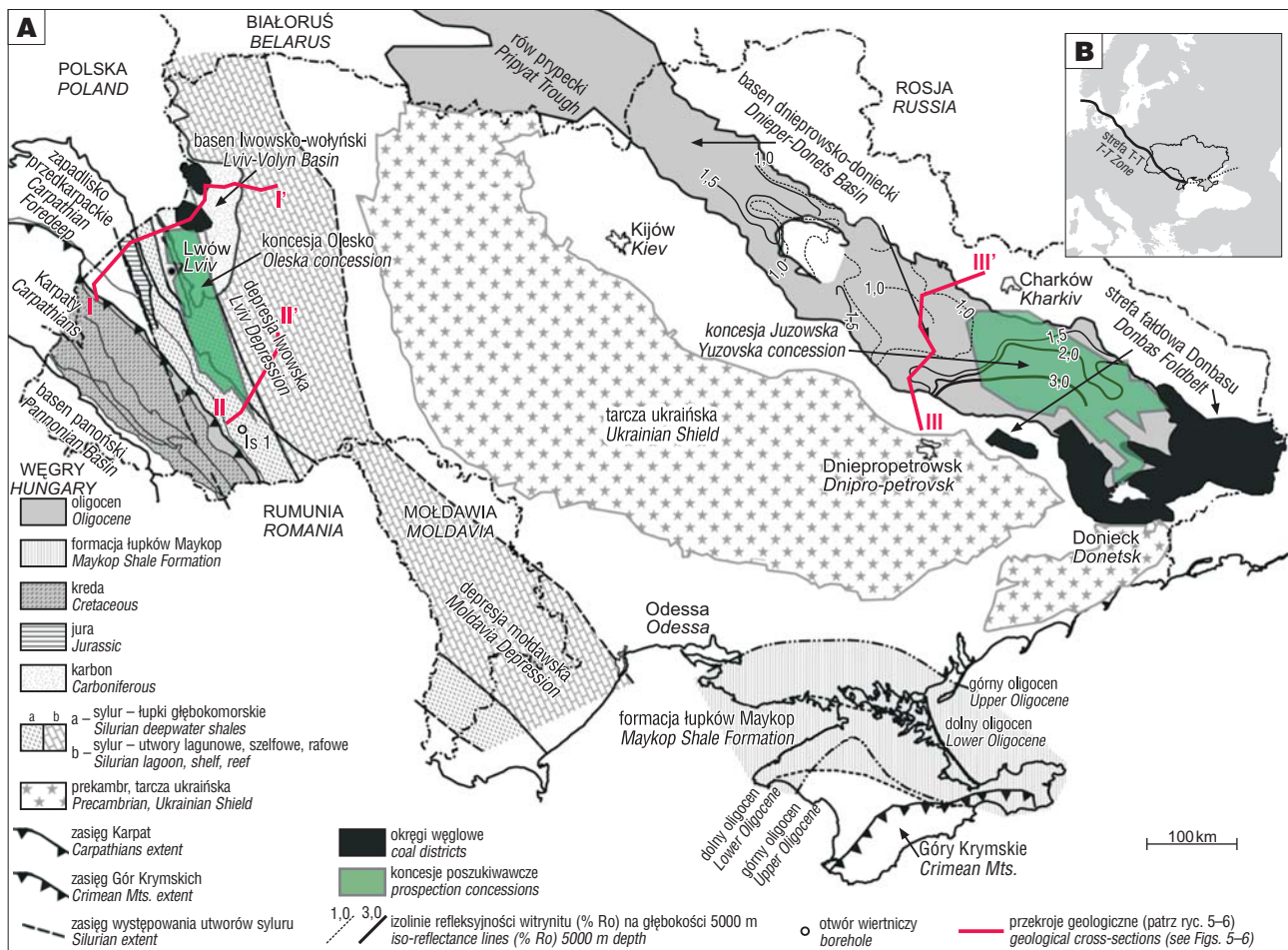


Ryc. 3. Obszary potencjalnego występowania ropy naftowej i gazu ziemnego w łupkach w dolnopaleozoicznych basenach Polski (kompilacja na podstawie Poprawy, 2010a)

Fig. 3. Areas of potential shale-oil and shale-gas occurrence in the Lower Paleozoic basins in Poland (compilation based on Poprawa, 2010a)

weru. Ten sam interwał stratygraficzny na wschodnim obszarze basenu cechuje się dojrzałością termiczną rzędu 0,7–1,3% Ro. Zawartość materii organicznej wynosi od 0,6% wag. do nawet 20,0% wag. w pojedynczych warstwach i wzrasta w kierunku zachodnim (Klimuszko, 2002; Poprawa, 2010a). Orientacyjne oszacowanie miąższości łupków landoweru netto na ok. 90 m umożliwiło określenie ilości wydobywalnego gazu na 0,4 bln m³ (Kuuskraa i in., 2011).

Basen lubelski jest najbardziej wysunięty na południowy wschód (ryc. 3) i charakteryzuje się najbardziej złożoną budową tektoniczną spośród wszystkich polskich dolnopaleozoicznych basenów zawierających pakiety skał drobno-klastycznych mogących zawierać niekonwencjonalne złoża ropy i gazu. Przyczyną skomplikowanej budowy geologicznej były przede wszystkim regionalne wydarzenia tektoniczne, których maksimum aktywności przypadło na dewon i których efektem jest też znaczna odmienność wybranych parametrów geologicznych w odniesieniu do pozostałych basenów, zwłaszcza pod względem pogrzebienia i dojrzałości. Znaczącą rolę w rozwoju struktury basenu lubelskiego odegrały również młodsze wydarzenia tektoniczne we wczesnym karbonie i od późnego karbonu do wczesnego permu (Poprawa 2010a). Głębokość zalegania stropu utworów landoweru waha się tu od 1000 m do 4000 m, z trendem wzrastającym przebiegającym z północnego



Ryc. 4. A – mapa Ukrainy i Mołdawii z zaznaczonymi basenami sedymentacyjnymi zawierającymi skały drobnoklastyczne bogate w materię organiczną (wg Sachsenhofera & Koltuna, 2012, zmieniony); **B** – lokalizacja Ukrainy na tle Europy z zaznaczoną zachodnią granicą platformy wschodnioeuropejskiej (strefa Teisseyre’a-Tornquista; strefa T-T) (wg Sachsenhofera & Koltuna, 2012, zmieniony)

Fig. 4. A – map of Ukraine and Moldavia showing position of sedimentary basins with organic-rich fine-grained rocks (after Sachsenhofer & Koltun, 2012, modified); **B** – position of western margin of the East European Craton and Ukraine within Europe (Teisseyre-Tornquist Zone; T-T Zone) (after Sachsenhofer & Koltun, 2012, modified)

wschodu na południowy zachód. Dojrzałość termiczna zmienia się od 0,6% Ro do 3,0% Ro, również wzdłuż trendu NE-SW. Zawartość węgla organicznego w utworach aszgilu, landoweru i wenloku mieści się w zakresie 0,5–4,5% wag. (Poprawa, 2010a). Miąższość tych interwałów stratygraficznych zmienia się natomiast w granicach odpowiednio 10–50 m oraz 60–180 m. Średnia miąższość łupków wenloku netto dla basenu lubelskiego wynosi 69 m, a wydobywalne zasoby gazu stanowią ok. 1,25 bln m³ (Kuuskraa i in., 2011).

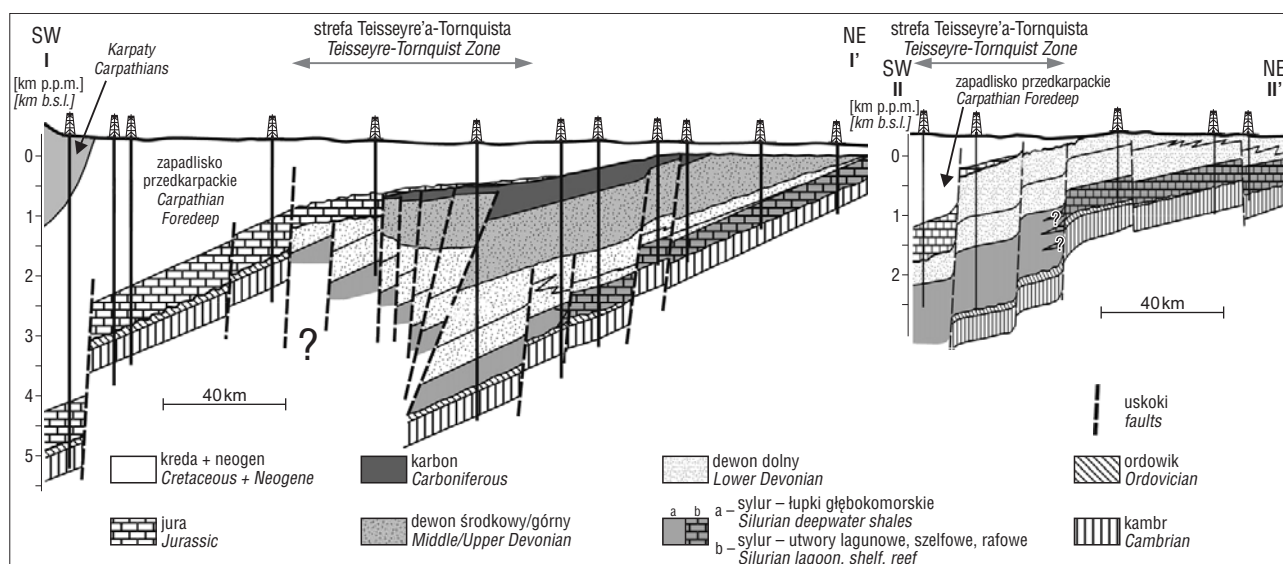
Obecnie na obszarze wszystkich trzech basenów trwają zaawansowane prace wiertnicze prowadzone w celu rozpoznania potencjału niekonwencjonalnych złóż węgłododorów. Grupę najintensywniej poszukującą niekonwencjonalnych złóż ropy i gazu tworzą firmy: PGNiG, PKN Orlen, BNK Petroleum, Chevron, Conoco Philips, Eni, San Leon Energy i 3Legs Resources, które na przestrzeni ostatnich kilku lat wywierciły 42 otwory badawcze.

NEKONWENCJONALNE ZŁOŻA UKRAINY

W 2012 r. koncerny naftowe Chevron, Shell oraz konsorcjum kierowane przez koncern ExxonMobil wygrały konkurs na poszukiwanie i wydobywanie niekonwencjonal-

nych złóż gazu ziemnego na Ukrainie. Chevron rozpocznie prace na koncesji Olesko, która znajduje się na zachodzie kraju i obejmuje obwód lwowski, iwanofrankowski i tarnopolski. Shell otrzymał koncesję na prowadzenie prac poszukiwawczo-wydobywczych na wschodzie kraju, w obrębie obwodu charkowskiego i donieckiego, natomiast konsorcjum składające się z firm ExxonMobil, Shell, Petrom i Nadra Ukrainy będzie odpowiedzialne za prace na koncesji Skifska, zarówno na lądzie, jak i na szelfie Morza Czarnego (ryc. 4).

Celem poszukiwań w obrębie koncesji Olesko są sylurskie łupki depresji lwowskiej, która jest kontynuacją struktur geologicznych regionu lubelskiego, będącego w Polsce obszarem intensywnych prac poszukiwawczych. Sylurskie skały stanowią część sukcesji osadowej deponowanej od wendy do dewonu i występują w depresji lwowskiej w postaci 200-kilometrowego pasa ciągnącego się wzdłuż zachodniej granicy kratonu wschodnioeuropejskiego (Sachsenhofer & Koltun, 2012). Utwory syluru są wykształcone w postaci łupków oraz wapieni. Ku wschodowi łupki przechodzą w równowiekowe płytkomorskie facje węglanowe (Sachsenhofer & Koltun, 2012), które odsłaniają się na powierzchni w licznych wychodniach. Łupki perspektywicz-



Ryc. 5. Przekroje geologiczne I-I' i II-II' przez depresję lwowską. Lokalizacja przekrojów na ryc. 4 (wg Skompskiego i in., 2008; Dryganta, 2010, zmieniony)

Fig. 5. Cross-sections I-I' and II-II' through the Lviv Depression. See Fig. 4 for location (after Skompski et al., 2008; Drygant, 2010, modified)

ne dla akumulacji gazu ziemnego są przykryte utworami dewonu, mezozoiku i kenozoiku (Sachsenhofer & Koltun, 2012).

Głębokość zalegania łupków w obszarze perspektywicznym wynosi 1000–5000 m, a ich miąższość całkowita to 400–1000 m (Kuuskraa i in., 2011).

Występowanie utworów sylurskich w obrębie rozłamów wgłębnych strefy Teisseyre'a-Tornquista sprawia, że budowa tektoniczna depresji lwowskiej ma złożony charakter (ryc. 5). Układ strukturalny utworów dolnopaleozoicznych w postaci systemu bloków tektonicznych wpływa na podwyższenie ryzyka poszukiwawczego zarówno w regionie lubelskim w Polsce (Poprawa, 2010a), jak i w depresji lwowskiej na Ukrainie.

Istnieją nieliczne dane o zawartości materii organicznej w omawianych łupkach. Zawartość materii organicznej stwierdzona w próbach z otworu Is 1 (ryc. 4) wynosi 0,24–0,68% wag. (Sachsenhofer & Koltun, 2012). Wysoki stopień dojrzałości termicznej oraz II typ kerogenu wskazują, że pierwotna zawartość materii organicznej przekraczała 3% wag. (Kotarba & Koltun, 2006).

Jeśli założyć, że łupki sylurskie depresji lwowskiej są wykształcone podobnie do równowiekowych łupków regionu lubelskiego, można przyjąć, że obecna średnia zawartość materii organicznej oscyluje w granicach 1–1,7% wag.

Wyniki badań przeobrażenia konodontów (CAI) oraz wyniki badań dojrzałości termicznej wyrażonej w funkcji refleksyjność wityrytu sugerują, że utwory dolnopaleozoiczne w depresji lwowskiej osiągają stopień przeobrażenia odpowiadający oknu generowania ropy (CAI 1,5–2; 0,7–1,3% Ro). Pograżone na większe głębokości łupki znajdują się w oknie generowania gazu (CAI 3–4; 1,3–3,5% Ro) lub są przejrzyste termicznie (CAI >5; >3,6% Ro) (Drygant, 1993; Sachsenhofer & Koltun, 2012).

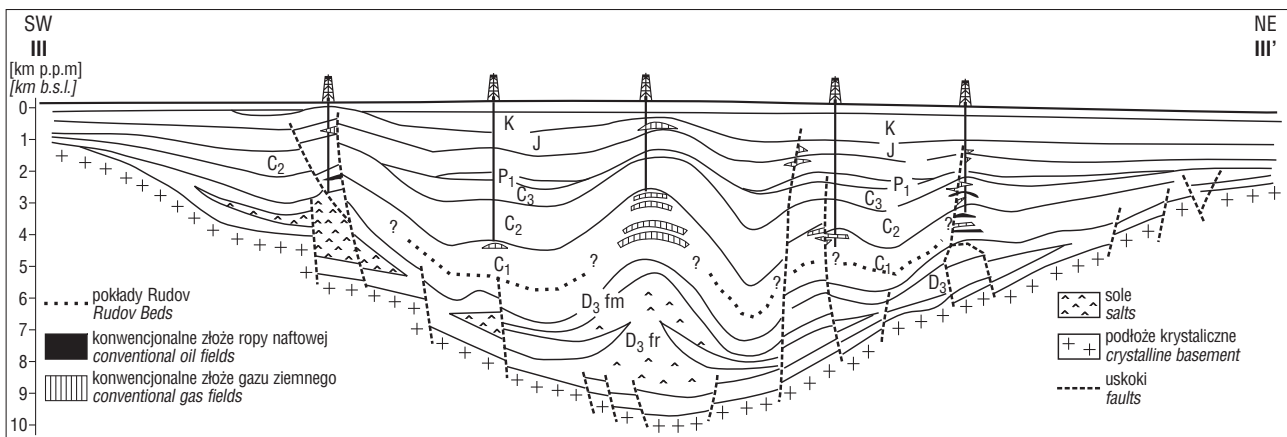
Objawy ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach syluru zaobserwowano w trakcie prowadzenia prac wiertniczych w rejonie miejscowości Dzierażnia, Słobidka, Lisna, Dawideny i Krasnoilsk (Kurovets i in., 2011), jednakże do oceny potencjału występowania gazu ziemnego w jak

dotąd słabo zbadanych łupkach sylurskich depresji lwowskiej niezbędne są nowe otwory wiertnicze oraz szczegółowy zestaw badań geologicznych, geochemicznych i geofizycznych.

Koncesja przyznana koncernowi Shell obejmuje południowo-wschodnią część basenu dniewrowsko-donieckiego (BDD; ang. Dnieper-Donets Basin), gdzie największe perspektywy poszukiwawcze złóż niekonwencjonalnych są związane z karbońskimi czarnymi łupkami oraz pokładami węgli kamiennych.

Basen dniewrowsko-doniecki to dewońska struktura ryftowa o rozciągłości NW-SE, zlokalizowana na kratonie wschodnioeuropejskim w granicach Białorusi, Ukrainy i Rosji (Schulz i in., 2010). Wypełnienie basenu stanowi sukcesja górnodewońska o miąższości ok. 4000 m oraz sukcesja karbońsko-kenozoiczna, której miąższość wzrasta aż do 15 000 m w kierunku południowo-wschodnim (ryc. 6) (Schulz i in., 2010). Sukcesja karbońska w BDD charakteryzuje się obecnością licznych sekwencji transgresywno-regresywnych, w których skład wchodzi czarne łupki bogate w materię organiczną (średnio 2–4% wag.) zawierającą kerogen III i II typu (Schulz i in., 2010; Sachsenhofer & Koltun, 2012). Najbardziej wzbogacone w organikę są tzw. górnowieńskie pokłady Rudov, w których zawartość materii organicznej sięga 12% wag., a średnio wynosi 5% wag. (Schulz i in., 2010). Pokłady Rudov, o miąższości dochodzącej do 70 m i dojrzałości termicznej odpowiadającej co najmniej oknu generowania ropy, stanowią przypuszczalną skałę macierzystą dla licznych konwencjonalnych złóż naftowych i w związku z tym są uznawane za najbardziej perspektywiczne z punktu widzenia poszukiwań niekonwencjonalnych złóż gazu ziemnego na obszarze BDD (Sachsenhofer & Koltun, 2012).

Celem konsorcjum kierowanego przez ExxonMobil będzie m.in. rozpoznanie potencjału produkcyjnego łupków formacji Maykop, wieku oligocen-dolny miocen, stanowiących skałę macierzystą złóż konwencjonalnych znajdujących się na Morzu Czarnym, Kaukazie oraz Morzu Kaspijskim (Sachsenhofer & Koltun, 2012).



Ryc. 6. Przekrój geologiczny III–III' przez basen dniewrowsko-doniecki. Lokalizacja przekroju na ryc. 4 (wg Lawa i in., 1998; Ulmishka, 2001, zmieniony)

Fig. 6. Cross-section III–III' through the Dnieper-Donets Basin. See Fig. 4 for location (after Law et al., 1998; Ulmishka, 2001, modified)

Według firmy Advanced Resources International całkowite zasoby gazu ziemnego szacowane łącznie dla depresji lwowskiej i basenu dniewrowsko-donieckiego wynoszą 5 bln m³, przy czym wydobywalne zasoby są równe 1 bln m³ (Kuuskraa i in., 2011).

NIEKONWENCJONALNE ZŁOŻA WĘGIER

Obejmujący obszar Węgier neogeński basen pannoński (ang. Pannonian Basin; ryc. 7), przykrywający basen paleogeński i większe jednostki alpejskiej strefy fałdowej (Dolton, 2006), rozciąga się z północy na południe na szerokość 500 km i ze wschodu na zachód na długość 600 km. Basen ten jest złożony z licznych subbasenów typu ekstensyjnego, związanych z wyniesionymi blokami podłoża, tj. Makó, Békés, Derecske i innych.

Skałami macierzystymi w tym rejonie są łupki i margle triasu, bogate w materię organiczną, reprezentujące formacje Kössen (retyk) i Veszprém (karnik) (Kókai & Pogácsás, 1991). Według Pogácsása i in. (1996) całkowita zawartość materii organicznej w utworach formacji Kössen wynosi 3–20% wag., a formacji Veszprém 3–5% wag. Dominuje I i II typ kerogenu, głównie pochodzenia morskiego. W utworach triasu stwierdzono co najmniej pięć złóż konwencjonalnych ropy naftowej, w tym duże złożo Nagylengyel (Dolton, 2006).

Poziomem macierzystym są także węglany platformowe i margle górnej jury, których równowiekowym odpowiednikiem jest formacja Mikulov w basenie wiedeńskim (ang. Vienna Basin). Ich geochemiczne wskaźniki macierzystości i dojrzałości mają wartości zbliżone do tych z formacji Mikulov.

Łupki, margle i ilowce margliste górnej kredy i paleogenu są skałami macierzystymi w północnej części basenu pannońskiego, jednak odkryte tam złoża węglowodorów są nieliczne.

Skały wieku mioceńskiego są uważane za skały macierzyste dla ropy naftowej i gazu ziemnego w większej części basenu pannońskiego (Dolton, 2006). Są to margle formacji Endrőd, która zawiera 2–5% wag. materii organicznej, reprezentującej II i III typ kerogenu. Skały te osiągnęły mładszość rzędu 6000 m w basenie Békés i 7000 m w rowie Makó. Formacja Endrőd jest najbardziej perspektywiczną

formacją w basenie pannońskim pod względem występowania gazu ziemnego w łupkach.

Wymienione formacje nie są typowymi formacjami *shale gas*, ponieważ w większości są to skały węglanowe, które mimo dobrych właściwości geochemicznych charakteryzują się nie najlepszymi parametrami petrofizycznymi, w znaczący sposób ograniczającymi przyszłe ekonomiczne wydobycie. Na tym obszarze na dzień dzisiejszy bardziej perspektywiczne wydają się formacje zawierające gaz ziemny zamknięty (*tight gas*), zwłaszcza wieku mioceńskiego, których przykładem jest formacja Szolnok, zbudowana z piaskowców i ilowców. Ekstrakcji gazu ziemnego z tych skał sprzyjają korzystne parametry złożowe, tj. wysokie ciśnienie i temperatura.

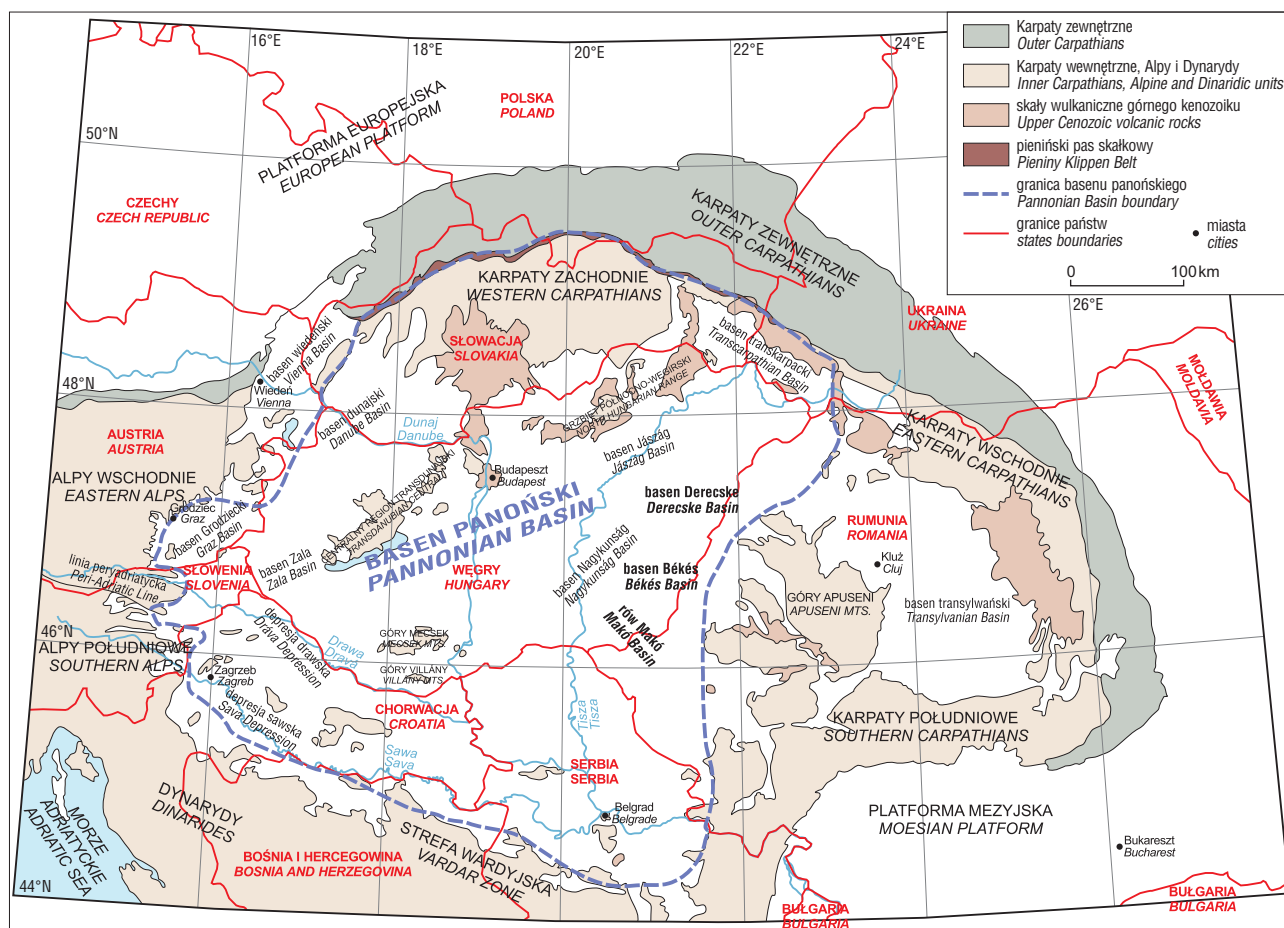
Najwięcej złóż węglowodorów konwencjonalnych na Węgrzech odkryto w utworach neogenu (61%), pozostałe w skałach zbiornikowych paleogenu (Dank, 1987). Produkcja odbywa się z wielu stref, zwłaszcza z dużych pułapek antyklinalnych (Dolton, 2006).

Według Advanced Resources International zasoby gazu ziemnego z łupków na Węgrzech, w Rumuni i Bułgarii, w strefie bałkańsko-karpackiej, szacuje się na 538 mld m³. Na obszarze południowo-wschodnich Węgier i zachodniej Rumunii, w obrębie subbasenów Makó, Békés i Derecske w basenie pannońskim, prowadzone są aktualnie prace poszukiwawcze (ryc. 7). Głównym ich celem oprócz gazu ziemnego z łupków jest również gaz zamknięty. Badania są prowadzone przede wszystkim przez węgierskie spółki MOL i TXM Olaj-és Gázkutató Kft.

NIEKONWENCJONALNE ZŁOŻA RUMUNII, BUŁGARII I MOŁDAWII

W Rumunii, oprócz obszaru basenu pannońskiego, prowadzi się rozpoznanie perspektywiczności łupków sylurskich i jurajskich w obrębie platformy mezyjskiej na południu kraju oraz łupków sylurskich na platformach mołdawskiej i scytyjskiej przy granicy z Mołdawią (Krezsek i in., 2012).

Platforma mezyjska jest podłużną strukturą o rozciągłości równoleżnikowej, od północy i zachodu otoczoną Karpatami, a od południa Bałkanidami (Seghedi i in., 2005). Od dawna jest znaną prowincją naftową, z licznymi konwencjonalnymi złożami zakumulowanymi w utworach



Ryc. 7. Lokalizacja basenu panońskiego na tle Europy z zaznaczonymi tektonicznymi i geograficznymi jednostkami (Dolton, 2006)
 Fig. 7. Position of the Pannonian Basin within Europe with tectonic and geographic units (Dolton, 2006)

dewonu, triasu, jury, kredy, górnego miocenu i pliocenu (Pawlewicz, 2007). Na obszarze platformy mezyjskiej niekonwencjonalne złoża węglowodorów mogą występować w sylurskich łupkach formacji Tandarei oraz łupkach doggeru formacji Bals (Tari i in., 2011; Krezsek i in., 2012). Formację Tandarei tworzą czarne łupki graptolitowe o miąższości ok. 600 m, natomiast formację Bals stanowi sekwencja czarnych bitumicznych skał ilastych, przewarstwionych piaskowcami, o miąższości ok. 400 m oraz o zawartości materii organicznej równej ok. 1,2–2,0% wag. (Stefanescu i in., 2006). Łupki formacji Bals są przykryte płaszczowinami karpacczymi i występują w północnej części platformy mezyjskiej. Modelowania generacji węglowodorów wykazały, że łupki doggeru znajdują się w oknie generowania ropy i gazu na głębokości 4000–6000 m, co może wykluczać opłacalność poszukiwań (Krezsek i in., 2012).

Na platformach mołdawskiej i scytyjskiej utwory syluru są wykształcone głównie jako łupki ilaste wenloku i landoweru, w których stwierdzono objawy gazu ziemnego (Stefanescu i in., 2006)

Koncesje poszukiwawcze w wymienionych obszarach należą głównie do rumuńskiego koncernu Petrom, jednak zainteresowanie eksploracją rumuńskich złóż niekonwencjonalnych wykazują także zagraniczne firmy, wśród których znajduje się gigant naftowy Chevron.

W bułgarskiej części platformy mezyjskiej złoża konwencjonalne odkryto w węglanowych utworach triasu oraz

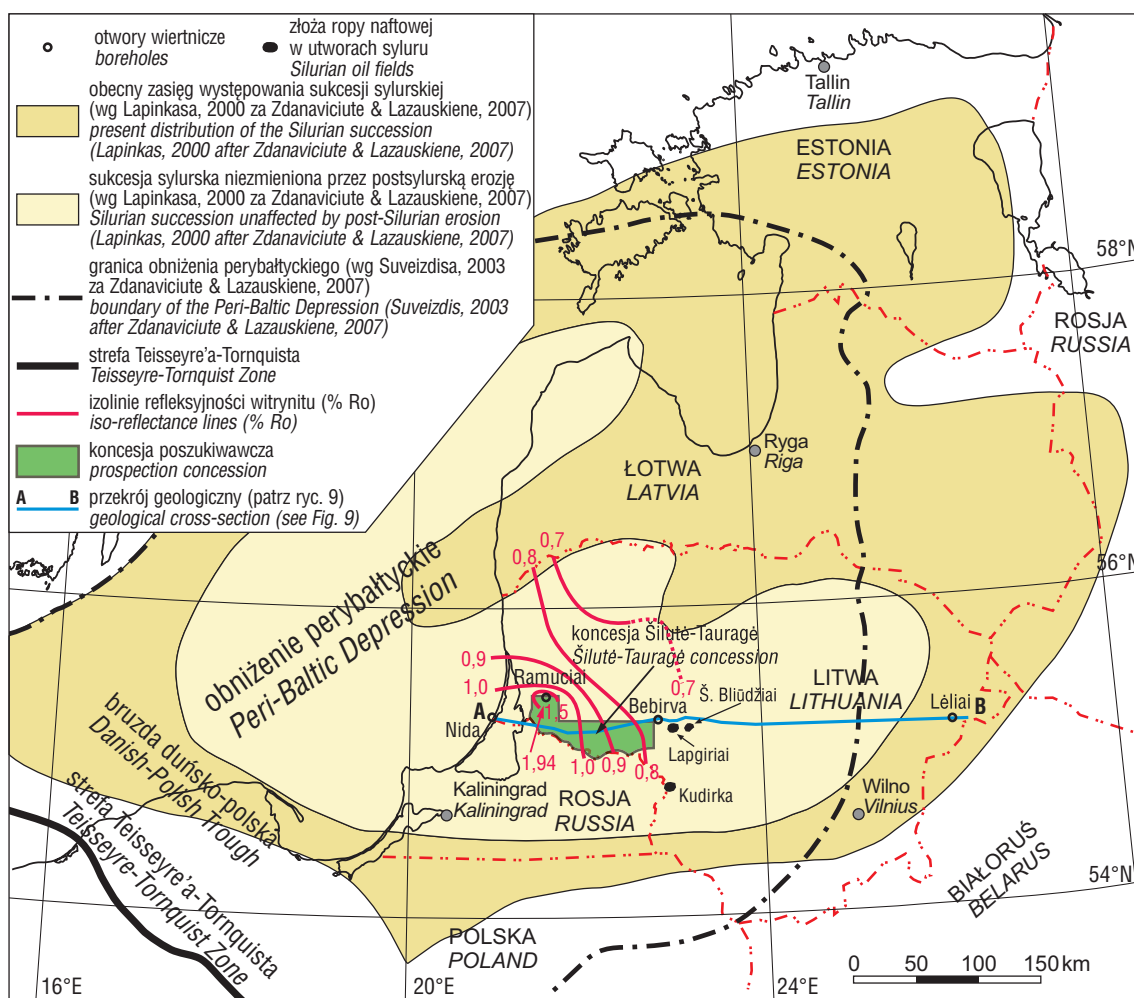
klastycznych skałach dolnej i środkowej jury (Pawlewicz, 2007), natomiast celem poszukiwania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów są łupki sylurskie oraz łupki liasu zwane formacją Etropole (Tari i in., 2011). Na początku 2012 r. w Bułgarii zawieszono jednak proces przyznawania nowych koncesji poszukiwawczych oraz zakazano prowadzenia prac wiertniczych z użyciem procesu szczelinowania hydraulicznego.

Mołdawia również może posiadać niekonwencjonalne złoża gazu ziemnego. Łupki sylurskie o podwyższonej zawartości materii organicznej oraz znacznych miąższościach występują na południu kraju, w obrębie tzw. basenu przeddobrudzkiego (Sliupa i in., 2006). Poszukiwanie gazu ziemnego z łupków południowej Mołdawii rozważane jest przez firmę Canyon Oil & Gas.

Badania potencjału łupków rumuńskich, bułgarskich i mołdawskich są na dzień dzisiejszy w bardzo wczesnej fazie i brak jest danych pozwalających określić, czy w krajach tych będzie możliwa eksploatacja złóż niekonwencjonalnych.

NIEKONWENCJONALNE ZŁOŻA LITWY

W litewskiej części basenu bałtyckiego dolnosylurskie łupki wytypowano jako potencjalnie zawierające niekonwencjonalne złoża ropy naftowej i gazu ziemnego (ryc. 8) (Zdanaviciute & Lazauskiene, 2009).



Ryc. 8. Zgeneralizowana mapa występowania sukcesji sylurskiej w obrębie obniżenia perybałtyckiego z zaznaczonymi izoliniami wartości refleksyjności wityrnytu dla utworów sylurskich na Litwie (wg Zdanaviciute & Lazauskiene, 2007, zmieniony)

Fig. 8. Generalised map of the distribution of the Silurian succession in the Peri-Baltic Depression with the distribution of vitrinite reflectance values in the Silurian strata in Lithuania (after Zdanaviciute & Lazauskiene, 2007, modified)

Sukcesja sylurska litewskiej części basenu bałtyckiego jest wykształcona na zachodzie w postaci czarnych i szarych facji łupkowych głębokiego szelfu. W centrum i na wschodzie występują margle i wapień otwartego szelfu oraz facje lagunowe (wapień i dolomity) (ryc. 9) (Zdanaviciute & Lazauskiene, 2009).

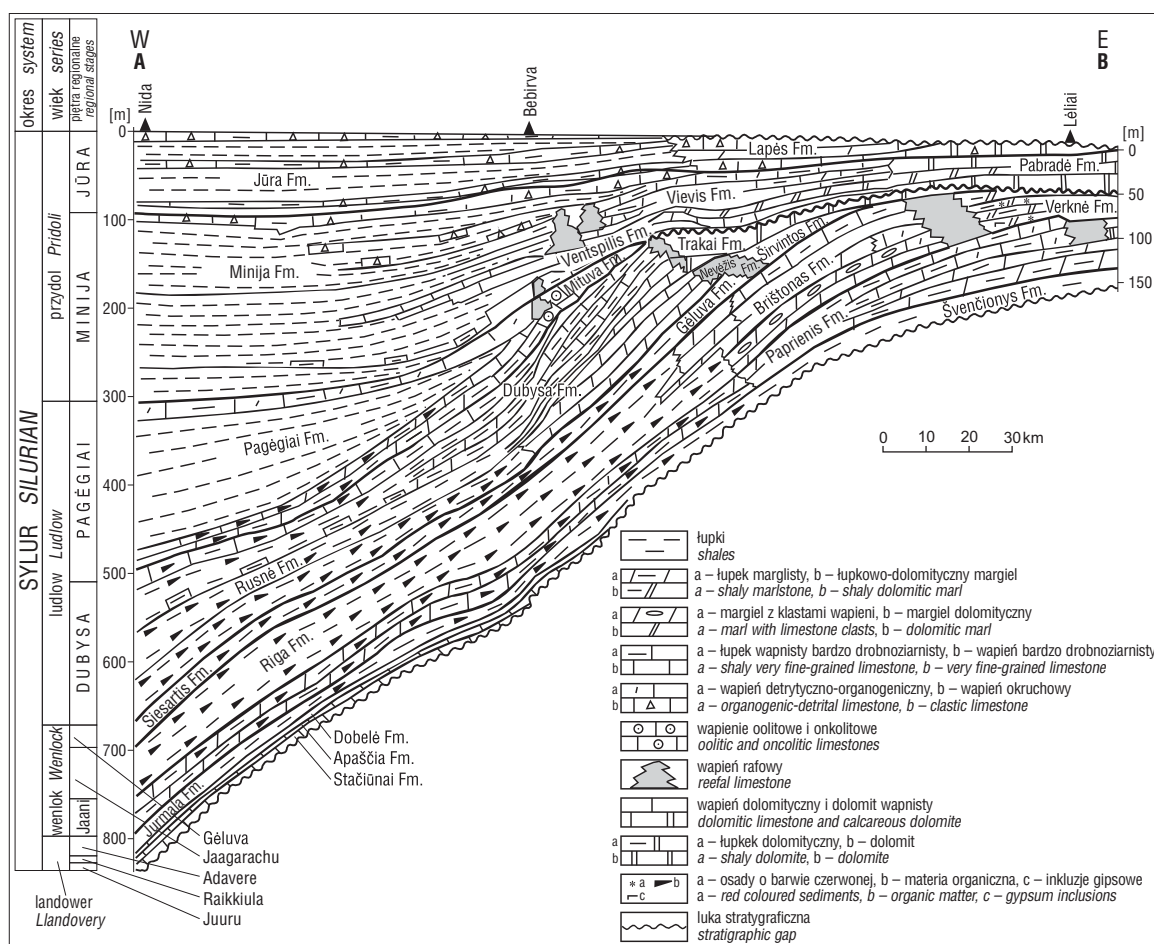
Skały dolnosylurskie zapadają w kierunku południowo-zachodnim. Na wchodzie Litwy ich spąg występuje na głębokości ok. 200 m, natomiast na zachodzie na głębokości 2050 m (Zdanaviciute & Lazauskiene, 2009). Miąższość łupków waha się w przedziale 110–160 m (Zdanaviciute & Lazauskiene, 2009).

Zawartość materii organicznej w utworach syluru charakteryzuje się dużą zmiennością i wynosi od 0,7% wag. do 19,2% wag., przy czym najbogatsze w materię organiczną są kompleksy środkowego landoweru–dolnego ludlowu (Zdanaviciute & Lazauskiene, 2009; Lazauskiene, 2012). Wyniki badań pirolitycznych wskazują, że materia organiczna zawiera saptopelny kerogen II typu (Zdanaviciute & Lazauskiene, 2009).

Dojrzałość termiczna utworów wynosi od 0,56–0,7% Ro do 0,9–1,2% Ro, najwyższą jej wartością charakteryzują się skały w otworze Ramuciai-1 (1,94% Ro), gdzie odno-

owano występowanie intruzji magmowych (Zdanaviciute & Lazauskiene, 2009). Dojrzałość termiczna rośnie w kierunku południowo-zachodnim, co jest związane z głębokością pograżenia (ryc. 8) (Zdanaviciute & Lazauskiene, 2009). Łupki osiągnęły na znacznym obszarze stopień przeobrażenia termicznego odpowiadający oknu generowania ropy, a w południowo-zachodniej części kraju mogą znajdować się w fazie okna generowania gazu suchego (Zdanaviciute & Lazauskiene, 2009). Zdaniem Poprawy (2010a) w łupkach litewskich można jednak spodziewać się występowania ropy naftowej. Obecność niewielkich konwencjonalnych złóż ropy naftowej w górnosylurskich ciałach rafowych w centralno-wschodniej części kraju (ryc. 9; Brangulis i in., 1993; Zdanaviciute & Lazauskiene, 2007) zdaje się potwierdzać tę tezę, gdyż pograżone na południowym zachodzie łupki sylurskie stanowią zapewne skałę macierzystą tego konwencjonalnego systemu naftowego.

W 2012 r. na Litwie ogłoszono konkurs, którego celem było wyłonienie inwestora do prowadzenia prac poszukiwawczo-wydobywczych na bloku Šilutė-Tauragė zlokalizowanym na południowym zachodzie kraju. Łupki dolnego syluru osiągają tam największą miąższość i dojrzałość termiczną (Satkūnas i in., 2012). Na podstawie doniesień



Ryc. 9. Przekrój geologiczny przez sukcesję sylurską na Litwie. Lokalizacja przekroju na ryc. 8 (wg Lapinkasa, 2000 za Zdanaviciute & Lazauskiene, 2007, zmieniony)

Fig. 9. Geological cross-section through the Silurian succession in Lithuania. See Fig. 8 for location (Lapinkas, 2000 after Zdanaviciute & Lazauskiene, 2007, modified)

prasowych można przypuszczać, że koncesyjobiorcą zostanie koncern Chevron, który posiada już jedną koncesję na poszukiwanie węglowodorów na Litwie.

Całkowite zasoby gazu ziemnego występującego w sylurskich łupkach Litwy są szacowane na 481 mld m³, z czego zasoby wydobywalne wynoszą 113 mld m³ (Kuuskraa i in., 2011).

NIEKONWENCJONALNE ZŁOŻA AUSTRII

Basen wiedeński, leżący częściowo na terenie Austrii, jest jedną z ważniejszych prowincji naftowych Europy Środkowej stanowiących potencjalny cel poszukiwań złóż gazu ziemnego w łupkach. Pierwszego odkrycia konwencjonalnego złoża ropy naftowej w basenie wiedeńskim dokonano w 1930 r. Od tego czasu wykonano ponad 3000 otworów poszukiwawczych i obszar ten stał się intensywnie eksplorowany głównie za sprawą rodzimej firmy poszukiwawczej OMV. Obecnie prowincje konwencjonalnych złóż ropy i gazu stanowi co najmniej 46 złóż (Schulz i in., 2010).

W ostatnich latach zainteresowanie przemysłu wzbużył gaz z łupków górnourajskiej formacji łupków Mikulov, która jest główną skałą macierzystą dla ropy i gazu w basenie wiedeńskim (Ladwein, 1988; Picha & Peters, 1998; Adámek, 2005).

Basen wiedeński o długości ok. 200 km i szerokości 60 km rozciąga się od południowo-wschodnich Czech przez południowo-zachodnią Słowację do południowej Austrii (ryc. 10). Basen ten jest idealnym przykładem romboedrycznego basenu typu *pull-apart*, który rozwinął się na szczycie allochtonicznego systemu alpejsko-karpackiego nasunięcia terranowego na tle środowiska kontrakcji litosfery (Allen & Allen, 2005). Basen uformował się w neogenie w wyniku działalności tektoniki przesuwowej.

Basen wiedeński jest wypełniony klastycznymi utworami neogenu, fliszem (od jury do paleogenu) oraz wapienną formacją alpejską (od permu do kredy).

Utwory klastyczne i w niewielkim stopniu węglanowe neogenu osiągają miąższość ponad 5000 m w depocentrum basenu (Ladwein, 1988), na południe od Wiednia i wzdłuż północnej granicy Austrii. Potencjalne pułapki naftowe stanowią piaskowce.

Poniżej występują utwory fliszowe oraz wapienne składające się przeważnie z wapieni oraz margli, a podrzędnie łupków, piaskowców i ewaporatów permu, triasu, jury i kredy (Ladwein, 1988). Skały zbiornikowe mezozoiku, w których zostały odkryte konwencjonalne złoża ropy i gazu, to głównie dolomity i piaskowce górnego triasu.

Na podstawie licznych badań geochemicznych (Ladwein, 1988; Picha & Peters, 1998; Franců i in., 1996; Adámek, 2005) górnourajską formację Mikulov leżącą

pod utworami fliszowymi (ryc. 11) uznano za najważniejszą skałę macierzystą basenu wiedeńskiego, będącą źródłem ropy, gazu i kondensatu. Górną jurę tworzą węglany platformowe i odpowiednio margle basenowe, które były deponowane w środowisku redukcyjnym (Ladwein, 1988). Formacja Mikulov nie jest typową formacją łupkową, ponieważ w większości są to wzbogacone w węglany mułowce o dużej zawartości materii organicznej. Zawartość materii organicznej mieści się w przedziale 0,2–10% wag., średnio wynosi 1,9% wag. (Adámek, 2005). Typ kerogenu (II–III) jest charakterystyczny dla substancji organicznej deponowanej w środowisku lądowym i przejściowym między morzem i lądem. Górnajurajskie skały macierzyste osiągnęły okno generowania ropy na głębokości 4000–6000 m. Główna faza generowania gazu termogenicznego występowała poniżej 6000 m, przy wartości dojrzałości termicznej wyrażonej w funkcji refleksyjności wityrytu przekraczającej 1,6% Ro (Ladwein, 1988). Potencjał gazotwórczy formacji Mikulov wzrasta w kierunku południowo-wschodnim ku depocentrum basenu wiedeńskiego (ryc. 11). Potencjał ten potwierdza lokalizacja licznych złóż gazu i ropy poło-

zonych w pobliżu depocentrum basenu, co wskazuje na powszechny pionowy kierunek migracji węglowodorów we wczesnym miocenie (Ladwein, 1988).

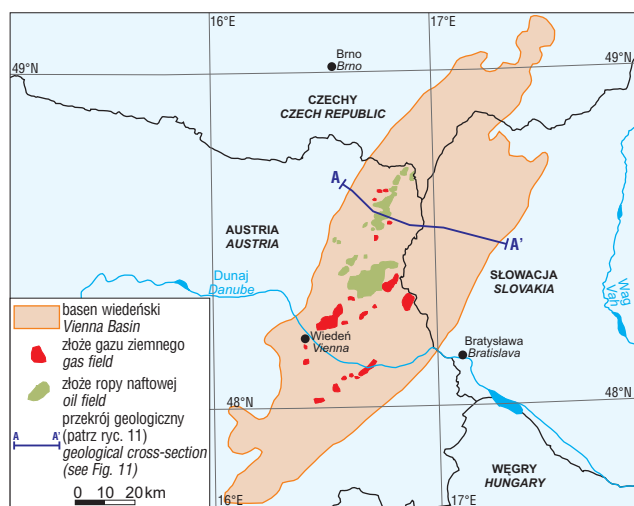
Objawy gazu w formacji Mikulov były obserwowane na dużych głębokościach (rzędu 7500–8500 m) w zeszcelinowanym odcinku pionowym otworu Zistersdorf UT 1 (Wessely, 1990). Przepuszczalnie przyływ gazu jest związany z wysokim ciśnieniem złożowym. Wysokie ciśnienie na tych głębokościach jest spowodowane prawdopodobnie ciągłą ekspulsją węglowodorów.

Potencjalne zasoby gazu ziemnego z łupków formacji Mikulov sięgają 1 bln m³ (według szacunków firmy Advanced Resources International). Dobre właściwości geochemiczne skał czynią je perspektywicznymi, jednak duża zawartość minerałów ilastych w połączeniu ze skomplikowaną budową tektoniczną basenu oraz dużą głębokością występowania potencjalnych stref eksploatacji sprawiają, że na dzień dzisiejszy formacja Mikulov jest nieekonomiczna pod względem eksploatacji. Mimo to jej potencjał gazowy jest obecnie przedmiotem badań prowadzonych przez firmę OMV, która wykonuje wiercenia poziome oraz udostępnia i szczelinuje istniejące już otwory (Schulz i in., 2010).

NIEKONWENCJONALNE ZŁOŻA CZECH I EUROPEJSKIEJ CZĘŚCI TURCJI

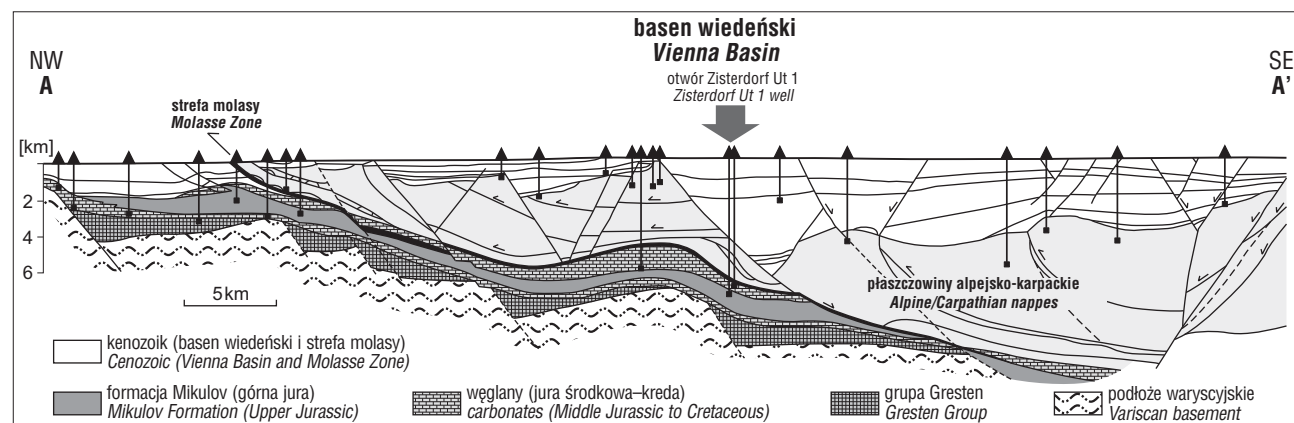
W północno-zachodniej, europejskiej części Turcji zlokalizowany jest basen tracki (ang. Thrace Basin), perspektywiczny pod względem występowania gazu ziemnego w łupkach. W tym basenie znajdują się dwie potencjalne formacje łupkowe: Hamitabat (eocen) oraz Mezardere (oligocen). Ze względu na młody wiek tych formacji łupki często osiągają dojrzałość do generowania gazu poniżej 5000 m. Według Advanced Resources International technicznie wydobywalne zasoby gazu ziemnego z łupków w basenie trackim wynoszą 170 mld m³.

W Czechach obiecującym obszarem jest basen praski (ang. Prague Basin), w którym formację perspektywiczną tworzą łupki wieku ordowik–sylur. Charakteryzuje je duża miąższość oraz wysoka zawartość materii organicznej, niestety łupki te cechują się niską dojrzałością.



Ryc. 10. Lokalizacja basenu wiedeńskiego (Kuuskraa i in., 2011, zmienione)

Fig. 10. Location of the Vienna Basin (Kuuskraa et al., 2011, modified)



Ryc. 11. Geologiczny przekrój poprzeczny przez basen wiedeński ukazujący formację łupków Mikulov jako potencjalny system z gazem w łupkach (wg Schulza i in., 2010, zmieniony). Lokalizacja przekroju na ryc.10

Fig. 11. Geological cross-section of the Vienna Basin showing the Mikulov Marl Formation as a potential shale gas system (after Schulz et al., 2010, modified). See Fig. 11 for location

Tab. 1. Zestawienie podstawowych parametrów geologicznych charakteryzujących skały łupkowe Europy Środkowo-Wschodniej
Table 1. Set of basic geological parameters characterizing Central and Eastern European shale rocks

Państwo <i>State</i>	Basen sedymenacyjny <i>Sedimentary basin</i>	Wiek skał macierzystych <i>Source rocks age</i>	Litologia <i>Lithology</i>	Środowisko depozycyjne <i>Depositional environment</i>	Typ materii organicz- nej <i>Organic matter type</i>	Zawartość materii organicznej <i>Organic matter content [% wag.]</i>		Pogrzebanie <i>Burial [m]</i>	Miaższość skali macie- rzystych netto <i>Source rocks net thickness [m]</i>	Dojrza- łość ter- miczna <i>Thermal maturity [Ro]</i>	Perspektywicz- ność węglowo- dorowa <i>Hydrocarbon prospectivity</i>	Zasoby techniczne wydobywalne <i>Technically recoverable resources [bln m³]</i>		
						całkowita <i>total</i>	średnia <i>average</i>					3,6*	0,34– 0,76 (maks/ max 0,11)**	0,4* max 1,9)**
Polska <i>Poland</i>	bałtycki <i>Baltic</i>	ordowik–sylur (karadok–wenlok) <i>Ordovician–Silurian (Caradoc–Wenlock)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II	0,5–11,0	b.d.	1000–4500	96	0,5–4,5	gazowo-ropna <i>gas-oil</i>	3,6*	0,5	
	podlaski <i>Podlasie</i>	ordowik–sylur (karadok–wenlok) <i>Ordovician–Silurian (Caradoc–Wenlock)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II	0,6–20,0	1,5–6,0	500–5000	90	0,7–4,0	gazowo-ropna <i>gas-oil</i>	0,4*		
	lubelski <i>Lublin</i>	ordowik–sylur (karadok–wenlok) <i>Ordovician–Silurian (Caradoc–Wenlock)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II	0,5–4,5	b.d.	1000–4000	69	0,6–3,0	gazowo-ropna <i>gas-oil</i>	1,3*		
Litwa <i>Lithuania</i>	bałtycki <i>Baltic</i>	sylur (landower–wenlok) <i>Silurian (Llandovery–Wenlock)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II	0,7–19,2	b.d.	1950–2120	110–160	0,5–1,9	ropna <i>oil</i>	0,1		
	depresja lwowska <i>Lviv Depression</i>	sylur (wenlok–ludlow) <i>Silurian (Wenlock–Ludlow)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II	0,2–1,7	1,0	1000–1500	b.d.	0,7–3,6	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	1,0		
Ukraina <i>Ukraine</i>	dniewprowsko- doniecki <i>Dnieper-Donets</i>	karbon (wizean) <i>Carboniferous (Visean)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II, III	2,0–12,0	5,0	b.d.	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
	łupki Maykop <i>Maykop Shales</i>	oligocen–mioceen <i>Oligocene–Miocene</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
Rumunia <i>Romania</i>	panoński <i>Panonian</i>	mioceen <i>Miocene</i>	łupki/magle <i>shales/marls</i>	morskie <i>marine</i>	II, III	2,0–5,0	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
	platforma mezyjska <i>Moesian Platform</i>	sylur (landower–wenlok) <i>Silurian (Llandovery–Wenlock)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II	b.d.	b.d.	2000–4000	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
	platforma moldaw- ska/scytyjska <i>Moldavian/ Scythian Platform</i>	Jura (dogger) <i>Jurassic (Dogger)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II?	0,5–6,0	2,0	1800–4400	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
Bułgaria <i>Bulgaria</i>	platforma mezyjska <i>Moesian Platform</i>	sylur (landower–wenlok) <i>Silurian (Llandovery–Wenlock)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
	platforma mezyjska <i>Moesian Platform</i>	sylur–dewon (landower–zedyn) <i>Silurian–Devonian (Llandovery–Gedinnian)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II, III?	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
Węgry <i>Hungary</i>	panoński/Panonian	jura (lias) <i>Jurassic (Lias)</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	II?	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
Moldawia <i>Moldova</i>	przeddobrudzki <i>Pre-Dobrogean</i>	mioceen <i>Miocene</i>	łupki/magle <i>shales/marls</i>	morskie <i>marine</i>	II, III	2,0–5,0	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
Austria <i>Austria</i>	wiedeński/Vienna	jura (malm) <i>Jurassic (Malm)</i>	łupki/magle <i>shales/marls</i>	morskie <i>marine</i>	II, III	b.d.	b.d.	1000–5000	b.d.	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	b.d.		
Turcja <i>Turkey</i> (c.e.)	tracki/Thrace	eocen–oligocen <i>Eocene–Oligocene</i>	łupki <i>shales</i>	morskie <i>marine</i>	b.d.	b.d.	b.d.	2000–8500	80–500?	b.d.	ropna i gazowa <i>oil-gas</i>	1,0		

*Kuuskräa i in. (2011)/Kuuskräa et al. (2011); **PIG-PIB (2012); ***Gautier i in. (2012)/Gautier et al. (2012).
 Objaśnienia/Explanations: c.e. – część europejska/European part, b.d. – brak danych lub dane niepewne/no data or uncertain data.

PODSUMOWANIE

Procesowi formowania się kontynentu europejskiego na przestrzeni dziejów okresowo współtowarzyszyły wydarzenia i procesy geologiczne mające wpływ na akumulację drobnoklastycznych skał osadowych wzbogaconych w materię organiczną. W paleozoiku i mezozoiku do procesów tych należały z pewnością zmiany klimatyczne, zmiany kształtów i rozmieszczenia teranów wraz z otaczającymi je morzami oraz zmiany skali i zakresu produktywności biologicznej. W efekcie na obszarze kontynentu europejskiego rozpoznać można facje organiczne deponowane w kilku okresach wzmożonej depozycji materiału organicznego w środowiskach morskich. Spośród tych najważniejszych najstarszym stratygraficznie jest okres kambryjski, którego wąsko rozprzestrzenione utwory występują w polskim sektorze morskim basenu bałtyckiego, a także w sektorach takich państw jak Dania i Szwecja. Dwa nieco młodsze okresy akumulacji łupków bitumicznych przypadły kolejno na przełom ordowiku i syluru oraz na karbon, przyczyniając się do akumulacji tych utworów na znacznych obszarach Europy (ryc. 1 – patrz str. 436). Najmłodszym z okresów sprzyjających akumulacji łupków była niższa jura, kiedy to wskutek transgresji morskiej rozwinęły się rozległe płytkie morza epikontynentalne. Na wybranych obszarach tych mórz aktywność prądów wznoszących sprzyjała produktywności biologicznej, w konsekwencji drobnoklastyczne utwory dolnej jury o podwyższonej zawartości materii organicznej cechują się najbardziej rozległym występowaniem.

Mimo zróżnicowania stratygraficznego łupków europejskich istnieją między nimi pewne podobieństwa, jeśli chodzi o zakres kilku podstawowych parametrów geologicznych. Zdecydowana większość z nich powstała w środowisku morskim zdominowanym przez II typ kerogenu. Do wyjątków należą łupki karbońskie, jurajskie i paleogeńskie i neogeńskie, w których występuje również III typ kerogenu, wymieszany w różnych proporcjach z typem II (tab. 1). Zawartość węgla organicznego we wszystkich typach stratygraficznych jest znacznie zróżnicowana i wynosi od poniżej 1% wag. do 15% wag. lub w niektórych przypadkach nawet do 20% wag., nie wykazują one przy tym żadnej typowej charakterystyki zawartości węgla organicznego dla konkretnych interwałów stratygraficznych. Miąższości łupków netto są obciążone na tyle dużą niepewnością ze względu na ich lateralną zmienność i braki w rozpoznaniu geologicznym, że nie można przeprowadzić analiz określających zdolność poszczególnych basenów sedimentacyjnych w danym interwale stratygraficznym do tworzenia facji organicznych.

W tym świetle wydaje się, że dane dotyczące basenów z obszaru Polski mogą cechować się zdecydowanie większą wiarygodnością niż w przypadku pozostałych basenów, które wymagają pełniejszego rozpoznania.

Szacunki zasobów dotyczących ropy naftowej i gazu ziemnego z łupków w odniesieniu do obszaru Polski i innych krajów europejskich były już przedstawiane zarówno przez kilka firm konsultingowych, jak i jednostki badawcze poszczególnych państw. Wiele z tych danych różniło się znacząco między sobą, w zależności od przyjętej metodyki obliczeniowej. Jeśli wziąć pod uwagę fakt, że na ilość zasobów mają wpływ dane geologiczne takie jak miąższość

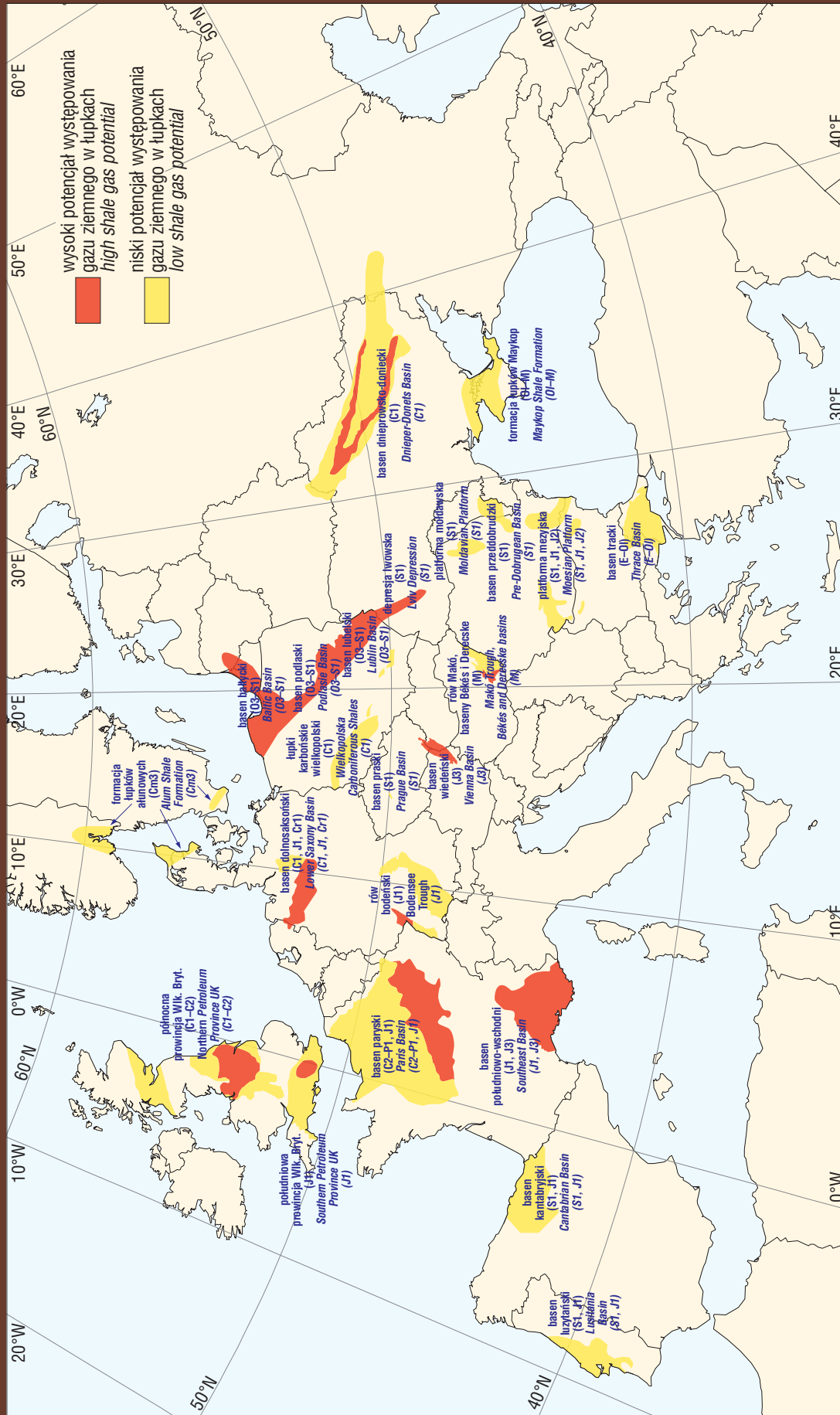
łupków i powierzchnia, jaką zajmują, zawartość materii organicznej i jej dojrzałość termiczna itd., to porównanie potencjału zasobowego łupków z basenów polskich z innymi odpowiednikami europejskimi jest tematem bardzo trudnym i ma jedynie charakter ogólnikowy (tab. 1).

LITERATURA

- ADÁMEK J. 2005 – The Jurassic floor of the Bohemian Massif in Moravia – geology and paleogeography. *Bull. Geosci.*, 80: 291–305.
- ALLEN P.A. & ALLEN J.R. 2005 – Basin analysis: principle and applications. Second Edition. Blackwell Publ., Oxford, s. 549.
- BGR 2012 – Abschätzung des Erdgaspotenzials aus dichten Tongesteinen (Schiefergas) in Deutschland. BGR, Hannover.
- BRANGULIS A.P., KANEV S.V., MARGULIS L.S. & POMERANTSEVA R.A. 1993 – Geology and hydrocarbon prospects of the Paleozoic in the Baltic region. [W:] Parker J.R. (red.) Petroleum geology of north-west Europe. Proceedings of the 4th Conference, London, March–April 1992. *Geol. Soc.*, London: 651–656.
- DANK V. 1987 – The role of Neogene deposits among the mineral resources in Hungary. [W:] Proceedings of the 8th Congress of the Regional Committee on Mediterranean Neogene Stratigraphy, Symposium on European Late Cenozoic Mineral Resources, Budapest, September 15–22, 1985. *Ann. Hung. Geol. Inst.*, Budapest, 70: 9–17.
- DOLTON G.L. 2006 – Pannonian Basin Province, Central Europe (Province 4808) – petroleum geology, total petroleum systems, and petroleum resource assessment. *USGS Bull.*, 2204-B, s. 47.
- DRYGANT D.M. 1993 – Conodont colour as the indicator of the geological processes (Volyn-Podillia) [po ukraińsku, z angielskim abstraktem]. *Paleontologiceskij Zurnal*, 23: 35–37.
- DRYGANT D.M. 2010 – Devonian Conodonts from South-West Margin of the East European Platform (Volyn-Podolian, Ukraine) [po ukraińsku, z angielskim abstraktem]. *Academperiodyka*, Kyiv: 1–156.
- FRANČU J., RADKE M., SCHAEFER R.G., POELCHAU H.S., ČÁSLAVSKÝ J. & BOHÁČEK Z. 1996 – Oil-oil and oil-source rock correlations in the northern Vienna Basin and adjacent Carpathian Flysch Zone (Czech and Slovak area). [W:] Wessely G. & Liebl W. (red.) Oil and gas in Alpidic thrustbelts and basins of Central and Eastern Europe. *Spec. Publ. Europ. Assoc. Geosci. Eng.*, 5: 343–353.
- GAUTIER D.L., PITMAN J.K., CHARPENTIER R.R., COOK T., KLETT T.R. & SCHENK C.J. 2012 – Potential for technically recoverable unconventional gas and oil resources in the Polish-Ukrainian Foredeep, Poland. *USGS Fact Sheet 2012–3102*, s. 2 [http://pubs.usgs.gov/fs/2012/3102].
- KLIMUSZKO E. 2002 – Utwory syluru południowo-wschodniej Polski jako skały potencjalnie macierzyste dla dewońskich rop naftowych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 402: 75–100.
- KÓKAI J. & POGÁCSÁS G. 1991 – Tectono-stratigraphical evolution and hydrocarbon habitat of the Pannonian Basin. [W:] Spencer A.M. (red.) Generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons I. *Spec. Publ. Europ. Assoc. Petrol. Geosci. Eng.*, 1: 307–317.
- KOTARBA M.J. & KOLTUN Y.V. 2006 – The origin and habitat of hydrocarbons of the Polish and Ukrainian parts of the Carpathian Province. [W:] Golonka J. & Picha F.J. (red.) The Carpathians and their foreland: geology and hydrocarbon resources. *AAPG Mem.*, 84: 395–442.
- KREZSEK C., LANGE S., OLARU R., UNGUREANU C., NAMAZ P., DUDUS R. & TURI V. 2012 – Non-conventional plays in Romania: the experience of OMV Petrom. [W:] SPE/EAGE European Unconventional Resources Conference and Exhibition, Vienna, Austria, March 20–22, 2012. Conference paper. *Soc. Petrol. Eng., USA, SPE 153028*.
- KUROVETS I.M. & KOLTUN Y.V. 2012 – Depositional environments of prospective for shale gas Silurian deposits of the East European Platform, Ukraine. [W:] 74th EAGE Conference & Exhibition, Copenhagen, June 4, 2012 [http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=59368].
- KUROVETS I., PRYTULKA H., SHYRA A., SHUFLYAK Y. & PERYT T.M. 2011 – Petrophysical properties of the pre-Miocene rocks of the outer zone of the Ukrainian Carpathian Foredeep. *Ann. Soc. Geol. Pol.*, 81: 363–373.
- KUUSKRAA V., STEVENS S., VAN LEEUWEN T. & MOODHE K. 2011 – World shale gas resources: an initial assessment of 14 regions outside the United States. *U.S. EIA & U.S. DOE*, Washington, s. 365.
- LADWEIN H.W. 1988 – Organic geochemistry of Vienna Basin: model for hydrocarbon generation in overthrust belts. *AAPG Bull.*, 72: 586–599.

- LAW B.E., ULMISHEK G.F., CLAYTON J.L., KABYSHEV B.P., PASHOVA N.T. & KRIVOSHEYA V.A. 1998 – Basin-centered gas evaluated in Dnieper-Donets basin, Donbas foldbelt, Ukraine. *Oil and Gas J.*, 96: 74–78.
- LAZAUSKIENE J. 2012 – Potential shale gas (oil) formations in Lithuania. EuroGeoSurvey Workshop: Assessment of the shale gas potential of the lower Paleozoic shales in Baltic Basin, Vilnius, Lithuania, August 23–24, 2012 [materiały konferencyjne].
- MODLIŃSKI Z. & SZYMAŃSKI B. 2008 – Litostratygrafia ordowiku w obniżeniu podlaskim i w podłożu niecki płocko-warszawskiej (wschodnia Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 430: 79–112.
- MODLIŃSKI Z., SZYMAŃSKI B. & TELLER L. 2006 – Litostratygrafia syluru polskiej części obniżenia perybałtyckiego – część lądowa i morska (N Polska). *Prz. Geol.*, 54: 787–796.
- PAWLEWICZ M. 2007 – Total petroleum systems of the Carpathian-Balkanian Basin Province of Romania and Bulgaria. *USGS Bull.*, 2204-F: 1–17.
- PICHA F.J. & PETERS K.E. 1998 – Biomarker oil-to-source rock correlation in the Western Carpathians and their foreland, Czech Republic. *Petrol. Geosci.*, 4: 289–302.
- PIG-PIB 2012 – Ocena zasobów wydobywalnych gazu ziemnego i ropy naftowej w formacjach łupkowych dolnego paleozoiku w Polsce (basen bałtycko-podlasko-lubelski). Raport pierwszy. Państw. Inst. Geol., Warszawa, s. 29.
- POGÁCSÁS G., SZALAY Á., BÉRCZY I., BARDÓCZ B., SZALOKI I. & KONCZ I. 1996 – Hydrocarbons in Hungary – exploration and development. [W:] Wessely G. & Liebl W. (red.) *Oil and gas in Alpidic thrustbelts and basins of Central and Eastern Europe*. Spec. Publ. Europ. Assoc. Geosci. Eng., 5: 37–38.
- POPRAWA P. 2010a – Potencjał występowania złóż gazu ziemnego w łupkach dolnego paleozoiku w basenie bałtyckim i lubelsko-podlaskim. *Prz. Geol.*, 58: 226–249.
- POPRAWA P. 2010b – System węglowodorowy z gazem ziemnym w łupkach – północnoamerykańskie doświadczenia i europejskie perspektywy. *Prz. Geol.*, 58: 216–225.
- POPRAWA P. & GROTEK I. 2005 – Revealing paleo-heat flow and paleooverpressures in the Baltic Basin from thermal maturity modeling. *Mineralogia Spec. Pap.*, 26: 235–238.
- SACHSENHOFER R.F. & KOLTUN Y.V. 2012 – Black shales in Ukraine – a review. *Mar. Petrol. Geol.*, 31: 125–136.
- SATKŪNAS J., ČYŽIENĖ J. & LAZAUSKIENĖ J. 2012 – Geothermal and unconventional energy development in Western Lithuania. 2nd International Conference EastLink: The Way to Knowledge Economy, Palanga, October 1–2, 2012 [<http://www.east-link.eu/files/Main/2012/presentation/Geothermal%20and%20unconventional%20energy%20development%20in%20Western%20Lithuania%20-%20Dr.%20Jonas%20Satkunas.pdf>]
- SCHULZ H.-M., HORSFIELD B. & SACHSENHOFER R.F. 2010 – Shale gas in Europe: a regional overview and current research activities. *Geol. Soc. London, Petrol. Geol. Conf. Ser.*, 7: 1079–1085.
- SEGHEDI A., VAIDA M., IORDAN M. & VERNIERS J. 2005 – Paleozoic evolution of the Romanian part of the Moesian Platform: an overview. *Geol. Belg.*, 8: 99–120.
- SKOMPSKI S., ŁUCZYŃSKI P., DRYGANT D. & KOZŁOWSKI W. 2008 – High-energy sedimentary events in lagoonal successions of the Upper Silurian of Podolia, Ukraine. *Facies*, 54: 277–296.
- SKRĘT U. & FABIĄŃSKA M.J. 2009 – Geochemical characteristics of organic matter in the Lower Palaeozoic rocks of the Peribaltic Syneclise (Poland). *Geochem. J.*, 43: 343–369.
- SLIAUPA S., FOKIN P., LAZAUSKIENE J. & STEPHENSON R.A. 2006 – The Vendian–Early Palaeozoic sedimentary basins of the East European Craton. *Geol. Soc. London, Mem.*, 32: 449–462.
- STEFANESCU M., DICEA O., BUTAC A. & CIULAVU D. 2006 – Hydrocarbon geology of the Romanian Carpathians, their foreland, and the Transylvanian Basin. [W:] Golonka J. & Picha F.J. (red.) *The Carpathians and their foreland: geology and hydrocarbon resources*. AAPG Mem., 84: 521–567.
- SZALAY A. & KONCZ I. 1993 – Migration and accumulation of oil and natural gas generated from Neogene source rocks in the Hungarian part of the Panonian Basin. [W:] Spencer A.M. (red.) *generation, accumulation and production of Europe's hydrocarbons III*. Spec. Publ. EAGE, 3: 303–309.
- ULMISHEK G.F. 2001 – Petroleum geology and resources of the Dnieper-Donets Basin, Ukraine and Russia. *USGS Bull.*, 2201-E, s. 14.
- TARI G., CIUDIN D., KOSTNER A., RAILEANU A., TULUCAN A., VACARESCU G. & VANGELOV D. 2011 – Play types of the Moesian Platform of Romania and Bulgaria. *Search Discov.*, article #10311.
- VELICIU S. & POPESCU B. 2012 – Paleozoic shale gas plays of the Eastern Europe: Romania case study. [W:] *Romania Oil & Gas Conference*, Bucharest, December, 4–5, 2012 [http://www.romania-og.com/RomaniaOG/media/Site_Images/ContentPhotos/Intercontinental/4-Bogdan-Popescu_Zeta.pdf].
- WESSELY G. 1990 – Geological results of deep exploration in the Vienna Basin. *Geol. Rund.*, 79: 513–520.
- ZDANAVICIUTE O. & LAZAUSKIENE J. 2007 – The petroleum potential of the Silurian succession in Lithuania. *J. Petrol. Geol.*, 30: 325–337.
- ZDANAVICIUTE O. & LAZAUSKIENE J. 2009 – Organic matter of Early Silurian succession – the potential source of unconventional gas in the Baltic Basin (Lithuania). *Baltica*, 22: 89–99.

Polskie złoża gazu ziemnego z łupków na tle wybranych niekonwencjonalnych złóż Europy Środkowo-Wschodniej (patrz str. 411)
Polish shale gas deposits in relation to selected shale gas prospective areas of Central and Eastern Europe (see p. 411)



Ryc. 1. Najważniejsze europejskie baseny sedymentacyjne zawierające gaz ziemny w łupkach. Kompilacja na podstawie Szalaya i Koncez (1993), Poprawy (2010b), Shulzka i in. (2010), Kuuskraa i in. (2011), BGR (2012), Krezka i in. (2012), Kurovetsa i Koltuna (2012), Sachsenhofer i Koltuna (2012), Velicu & Popescu (2012)
Fig. 1. Major European sedimentary basins with shale gas potential. Compilation based on Szalaya and Koncez (1993), Poprawa (2010b), Shulzka et al. (2010), Kuuskraa et al. (2011), BGR (2012), Krezsek et al. (2012), Kurovets and Koltun (2012), Sachsenhofer and Koltun (2012), Velicu and Popescu (2012)