

Rozpoznanie stref perspektywicznych występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce – nowe wyniki oraz dalsze kierunki badań

Teresa Podhalańska¹, Maria I. Waksmundzka¹, Anna Becker¹, Joanna Roszkowska-Remin¹



T. Podhalańska



M.I.
Waksmundzka



A. Becker



J. Roszkowska-
-Remin

Investigation of the prospective areas and stratigraphic horizons of the unconventional hydrocarbon resources in Poland – new results and future research directions. *Prz. Geol.*, 64: 953–962.

Abstract. Studies that have recently been carried out by the Polish Geological Survey aim at, among others, deepening and supplementing the knowledge of unconventional hydrocarbon systems in Poland, including petroleum systems of the lower Palaeozoic in the Polish part of the East European Craton and of the Carboniferous in the South-Western Poland. The article presents the main principles and objectives of the research and

the results of the project titled “Identification of prospective zones for unconventional hydrocarbon accumulations in Poland, stage I”, which is the only project that uses a wide range of recently conducted regional geology research and laboratory analyses, integrated with geological information derived from newly drilled boreholes. Geological constraints for the occurrence of unconventional hydrocarbon deposits in the Cambrian, Ordovician Silurian and Carboniferous rocks are presented. What is emphasized is the need to continue the work and to extend it to new research directions aimed at petroleum system modelling (e.g. burial history and analysis of hydrocarbon generation), and the need to refine and clarify some of the results obtained, supplementing them with an analysis of the latest data from newly drilled boreholes.

Keywords: unconventional hydrocarbon systems, geological background, lower Palaeozoic, Carboniferous, East European Craton, South-Western Poland

Stan wiedzy o niekonwencjonalnych systemach węglowodorowych kambru, ordowiku i syluru polskiej części kratonu wschodnioeuropejskiego oraz karbonu południowo-zachodniej Polski, mimo że zaawansowany, wydaje się być ciągle niewystarczający dla pełnej oceny ich perspektywiczności, właściwości zbiornikowych i możliwości ekonomicznego wykorzystania w przyszłości.

Podjęte w Państwowym Instytucie Geologicznym – Państwowym Instytucie Badawczym (PIG-PIB) prace badawcze zmierzają do kompleksowego opracowania problematyki występowania i rozpoznania niekonwencjonalnych systemów węglowodorowych w Polsce. Projekt „Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I”, finansowany przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej i realizowany w latach 2013–2015, stanowi, poprzez dostarczenie nowych wyników badań, ważny głos w dyskusji nad „gazem z polskich łupków” niższego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego i ich perspektywicznością oraz kompleksami karbońskimi południowo-zachodniej Polski.

Ideą przedsięwzięcia było pogłębienie wiedzy na temat niekonwencjonalnych systemów węglowodorowych kambru, ordowiku i syluru kratonu wschodnioeuropejskiego oraz karbonu występującego w SW Polsce w podłożu monokliny przedsudeckiej poprzez integrację nowo uzyskanych w trakcie realizacji projektu wyników regionalnych badań geologicznych i analiz laboratoryjnych z archiwalną informacją geologiczną. Podjęcie tego zagadnienia jest uzasadnione

koniecznością stworzenia kompleksowego opracowania dotyczącego występowania i rozpoznania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce.

W przeszłości były realizowane przez PIG-PIB, samodzielnie lub we współpracy z innymi instytucjami, projekty poświęcone rozpoznaniu systemów węglowodorowych w Polsce, jak np. „Rozpoznanie basenów węglowodorowych pod kątem możliwości występowania i zasobów oraz możliwości koncesjonowania poszukiwań niekonwencjonalnych złóż gazu ziemnego, etap I” (Poprawa & Kiersnowski, 2010), „Systemy naftowe i perspektywy poszukiwawcze utworów staropaleozoicznych polskiego sektora morza bałtyckiego między Łebą a Kamieniem Pomorskim” (Kotarba, 2008), „Historia oraz geneza zdarzeń termicznych w basenie polskim i jego osadowym podłożu – ich znaczenie dla rekonstrukcji procesów generowania węglowodorów” (Poprawa i in., 2011). Wykorzystywały one jednak starszą wiedzę geologiczną i nie uwzględniały danych z najnowszych otworów wiertniczych. Przy realizacji omawianego projektu wykorzystano informację geologiczną pochodzącą z bieżącego dokumentowania prac geologicznych na wybranych koncesjach, pozyskaną dzięki indywidualnym zezwoleniom firm naftowych.

W projekcie uwzględniono liczne dane publikowane dotyczące systemów naftowych tzw. pasa łupkowego rozciągającego się wzdłuż zachodniego skłonu kratonu wschodnioeuropejskiego, wyniki różnorodnych badań geologicznych tego obszaru oraz potencjału występowania złóż węglowodorów w łupkach (m.in. Grotek, 2006; Karnkowski

¹ Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; teresa.podhalanska@pgi.gov.pl, maria.waksmundzka@pgi.gov.pl, anna.becker@pgi.gov.pl, joanna.roszkowska-remin@pgi.gov.pl.

i in., 2010; Kosakowski i in. 2010; Poprawa & Kiersnowski, 2010; Poprawa, 2010; Więclaw i in., 2010; Bielen & Matyasik, 2013; Kiersnowski & Dyrka, 2013; Podhalańska, 2013; Porębski i in., 2013).

Wykorzystując informację geologiczną zawartą w Centralnej Bazie Danych Geologicznych PIG, zanalizowano dane z 230 głębokich otworów wiertniczych. Uzyskano dostęp do informacji geologicznej pochodzącej z 19 nowo odwierconych otworów wiertniczych. Wyselekcjonowano 60 otworów, z których informacja geologiczna służyła bezpośrednio do określenia perspektywiczności formacji i kompleksów skalnych oraz ich charakterystyki; w 21 z nich przeprowadzono szerokie spektrum badań laboratoryjnych oraz analiz profilowań geofizycznych pod kątem określenia potencjału złożowego skał.

W niniejszym artykule przedstawiono główne założenia projektu, cele i najważniejsze efekty jego realizacji, zarys geologii badanych obszarów i kompleksów litologicznych oraz wytyczono dalsze kierunki badań.

UWARUNKOWANIA REGIONALNE

Celem przedsięwzięcia było wyznaczenie i rozpoznanie stref perspektywicznych występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w wybranych interwałach stratygraficznych kambru, ordowiku i syluru w północnej, północno-wschodniej i południowo-wschodniej Polsce (obniżenia bałtyckie i podlaskie, obszar lubelski, w tym obszar Biłgoraj–Narol) oraz w obrębie utworów karbonu południowo-zachodniej Polski (ryc. 1). Głównym obiektem badań były formacje łupkowe (iłowce, mułowce, mułowce piaszczyste; ryc. 2) oraz piaskowcowe i kompleksy mieszane łupkowo-piaskowcowe, tzw. hybrydowe (występujące wśród utworów karbonu południowo-zachodniej Polski), w obrębie których wyznaczono kompleksy skalne posiadające parametry najbardziej korzystne dla generowania i akumulacji węglowodorów.

W pierwszej kolejności wykonano regionalne analizy geologiczne wszystkich obszarów, w tym: badania litologiczno-sedymentologiczne, stratygraficzne oraz analizę profili geofizyki otworowej, których wyniki były podstawą do dalszych badań i interpretacji. Dokonana weryfikacja i uszczegółowienie stratygrafii utworów niższego paleozoiku na podstawie profilowania biostratygraficznego rdzeni wiertniczych (Paczeńska, 2016; Podhalańska i in., 2016a) oraz analizy profilowań geofizycznych (Roman & Podhalańska, 2016) umożliwiły weryfikację zasięgów i uściślenie datowań formacji perspektywicznych w wybranych otworach wiertniczych oraz ich korelację wzdłuż ośmiu linii korelacyjnych (ryc. 1, 3).

Weryfikacja stratygrafii utworów karbonu Polski południowo-zachodniej polegała na skompilowaniu istniejących danych literaturowych i opierała się na regionalnym podziale chronostratygraficznym. Zastosowanie globalnego podziału karbonu oraz litostratygrafii było tutaj niemożliwe ze względu na znikomy zasób danych. Niewystarczające rozpoznanie geologiczno-strukturalne utworów karbonu wpłynęło na wyznaczenie stref perspektywicznych w obrębie profili badanych otworów, bez możliwości korelacji pomiędzy nimi i określenia lateralnego rozprzestrzenia tych stref. Konieczna jest kontynuacja badań utworów karbonu, w celu jego pełniejszego rozpoznania regionalnego, jak również

doprecyzowania zasięgu stref oraz ich perspektywiczności. Wykonano dwa zestawienia otworowe (wzdłuż linii 9 i 10 na ryc. 1) przedstawiające wyznaczone kompleksy litologiczne i strefy perspektywiczne (zob. ryc. 7 w Podhalańska i in., 2016b).

Basen bałtycko-podlasko-lubelski i jego osady – perspektywiczny niekonwencjonalny system węglowodorowy niższego paleozoiku

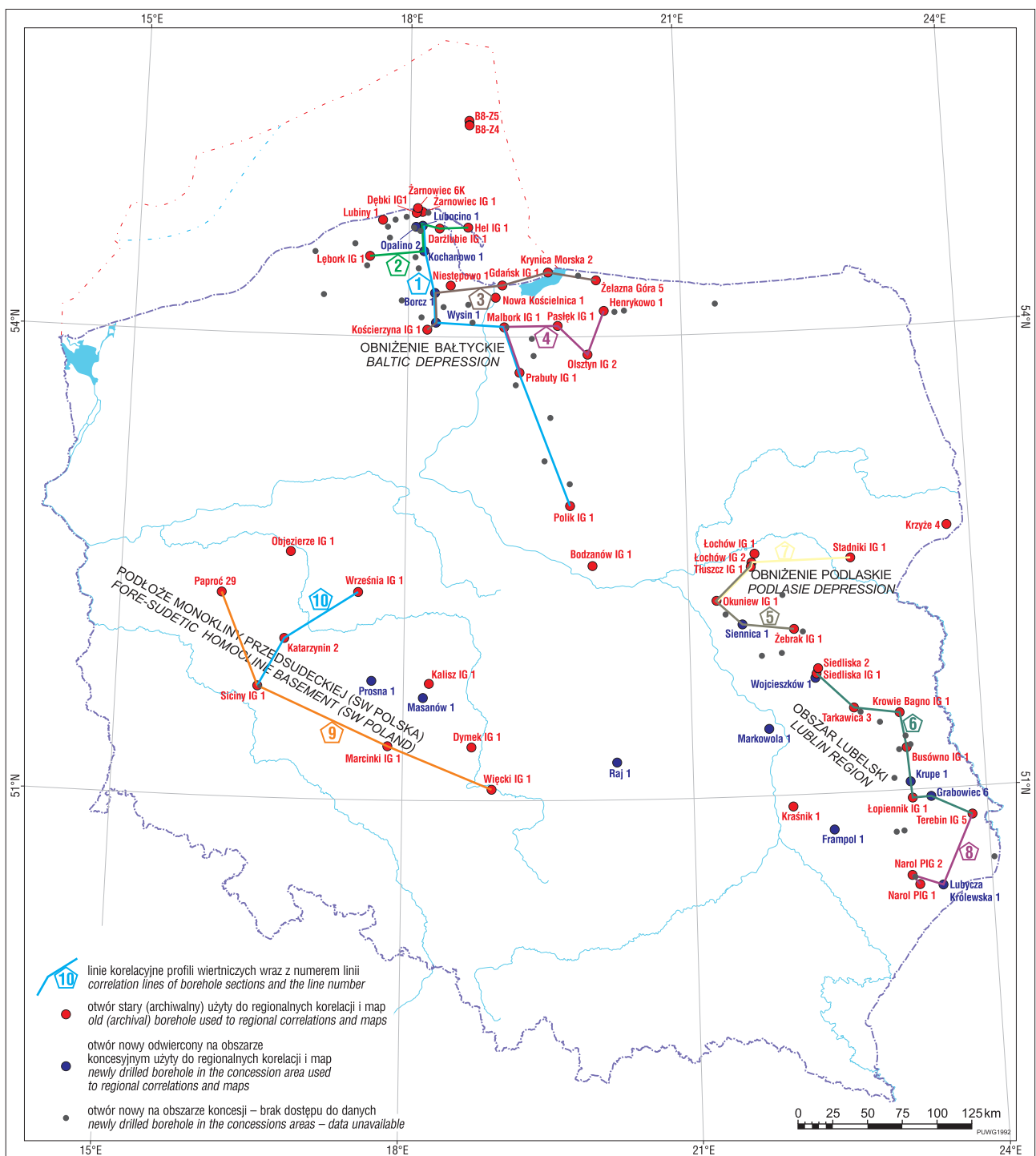
Skały kambru, ordowiku i syluru, występujące w Polsce północnej, wschodniej i południowo-wschodniej są pozostałością znacznie rozleglejszej pokrywy osadowej kratonu wschodnioeuropejskiego. Osady te były deponowane w basenie, którego powstanie w późnym ediakarze było uwarunkowane procesami ryftowymi związanymi z neoproterozoicznym rozpadem kontynentu Rodinii/Pannotii (Jaworowski, 2002; Poprawa & Paczeńska, 2002). Basen ten, zwany pierwotnie bałtyckim (Jaanusson, 1976), dla podkreślenia jego geograficznej rozciągłości na obszarze Polski określony mianem basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego, rozpościł się wzdłuż zachodniego skłonu kratonu. W wyniku późniejszych procesów tektonicznych i erozyjnych został podzielony na trzy części: bałtycką, podlaską i lubelską, rozdzielone elementami tektonicznymi wyniesionymi – wyniesieniem mazursko-suwalskim (inaczej wyniesieniem mazursko-białoruskim) i zrębem Łukowa. Podział obszaru, odpowiadający głównym rejonom występowania perspektywicznych skał łupkowych, na bałtycki oraz podlaski i lubelski jest związany z późniejszym rozwojem tektonicznym.

Sedymentacja w kambrze i ordowiku zachodziła na pasywnym brzegu Bałtyki, a od późnego ordowiku układ litofacjalny w basenie był zależny nie tylko od eustatycznych i lokalnych zmian względnego poziomu morza, ale także od procesów tektonicznych związanych z akrecją Bałtyki i Awalonii (m.in. Jaworowski, 2002; Poprawa, 2006). Basen stał się dystalną częścią zapadliska przedgórskiego, powstałego przed nasuwającym się z zachodu czołem pryzmy akrecyjnej (*op. cit.*). W wyniku uginania się podłoża powstała przestrzeń akomodacyjna, a tempo sedymentacji stopniowo wzrastało, osiągając swoje maksimum w ludlowie i przydolu. Model depozycyjno-stratygraficzny zakłada „sedymentację ciemnych mułowców landoweru–ludlowu w strefie usytuowanej w zewnętrznej części perykratonicznej rampy szelfowej i przylegającej od zachodu do szerokiego przedpola połogiej, progradacyjnej kliniformy zasilanej ze źródła orogenicznego” (Porębski i in., 2013).

Osady wypełniające basen nie uległy późniejszym deformacjom tektonicznym, zalegając na skałach krystalicznych proterozoiku, którego strop obniża się ku zachodowi i południowemu zachodowi do głębokości ponad 5000 m w okolicach Słupska.

Rozwój basenu w brzeżnej części paleokontynentu Bałtyki warunkował strefowy układ litofacjalny z wzrastającym udziałem osadów klastycznych (mułowców i iłowców) w kierunku zachodnim, a osadów węglanowych w kierunku wschodnim (np. Modliński, 2010).

Silikoklastyki ordowiku i syluru to głównie skały stanowiące mieszaninę w zmiennej proporcji iłu i pyłu, głównie iłowce (mułowce) i pyłowce z mniejszym udziałem iłowców, głównie w niższym sylurze i przydolu.



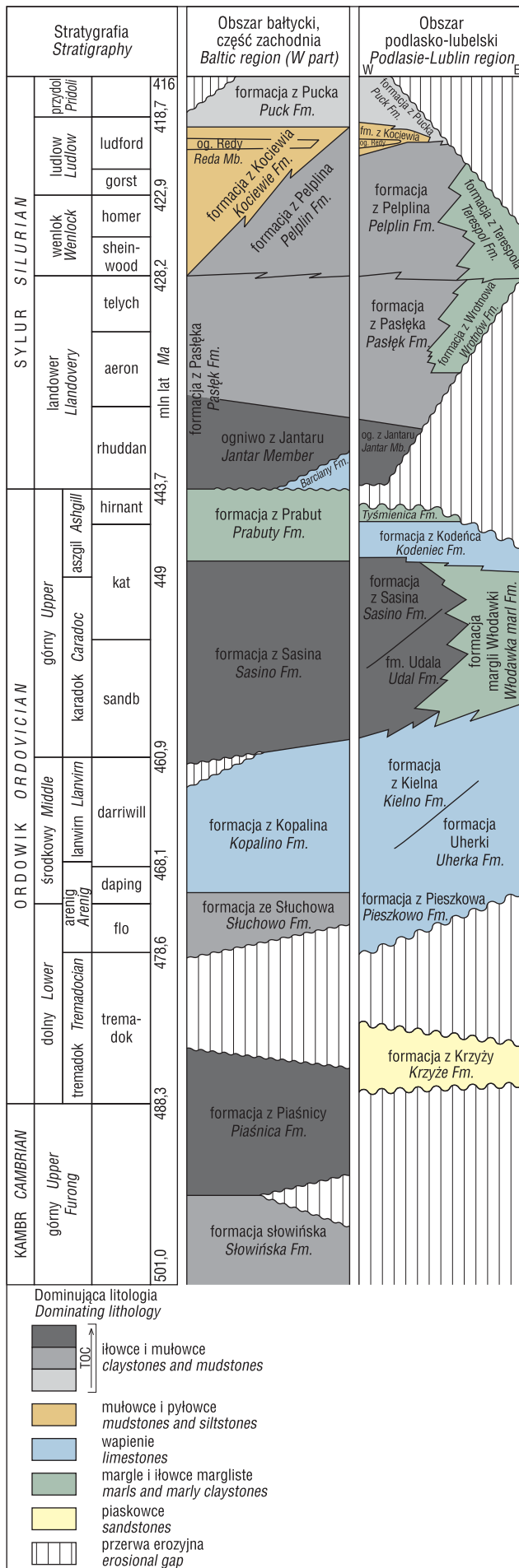
Ryc. 1. Mapa lokalizacyjna obszarów badań (zestawił A. Głuszyński)
Fig. 1. Location map of the investigated areas (compiled by A. Głuszyński)

Wszystkie te skały są często wapieniste. Węgłany występują jako cement w skałach silikoklastycznych, jako przewarstwienia wapieni i dolomitów lub w formie kongrecji wczesnodiagenetycznych w wenloku i ludlowie. Podrzedny udział przypada epizodycznie pojawiającym się, jako cienkie przewarstwienia, skałom piroklastycznym – bentonitom i tufitom, szczególnie w karadoku (sandbie, kacie) oraz w ludlowie.

W kierunku zachodnim utwory proterozoiku i niższego paleozoiku basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego kontaktują wzdłuż uskoku strefy tektonicznej Teisseyre'a-Törnquist

(TTZ) ze zdeformowanymi tektonicznie osadami tzw. strefy szwu transeuropejskiego (TESZ) i platformy paleozoicznej.

Głównym obiektem badań i analiz laboratoryjnych w projekcie były skały drobnoklastyczne wzbogacone w materię organiczną niższego paleozoiku zachodniej części kratonu wschodnioeuropejskiego (i strefy Biłgoraj–Narol) występujące w obrębie następujących formacji: czarnych bitumicznych iłowców z Piaśnicy, iłowców z Sasina i jej regionalnych ekwiwalentów (formacja iłowców Udala w zachodniej części obszaru lubelskiego oraz formacja iłowców i wapieni z Cieszanowa w strefie Biłgoraj–Narol),



Ryc. 2. Zgeneralizowana litostratygrafia utworów kambru górnego–syluru w polskiej części basenu bałtyckiego (część zachodnia) oraz basenu podlasko-lubelskiego (na podstawie Modlińskiego, 1984; Modlińskiego & Szymańskiego, 2008; Modlińskiego & Podhalańskiej, 2010; Podhalańskiej i in., 2010, zmienione), miąższości jednostek litostratygraficznych bez zachowania skali

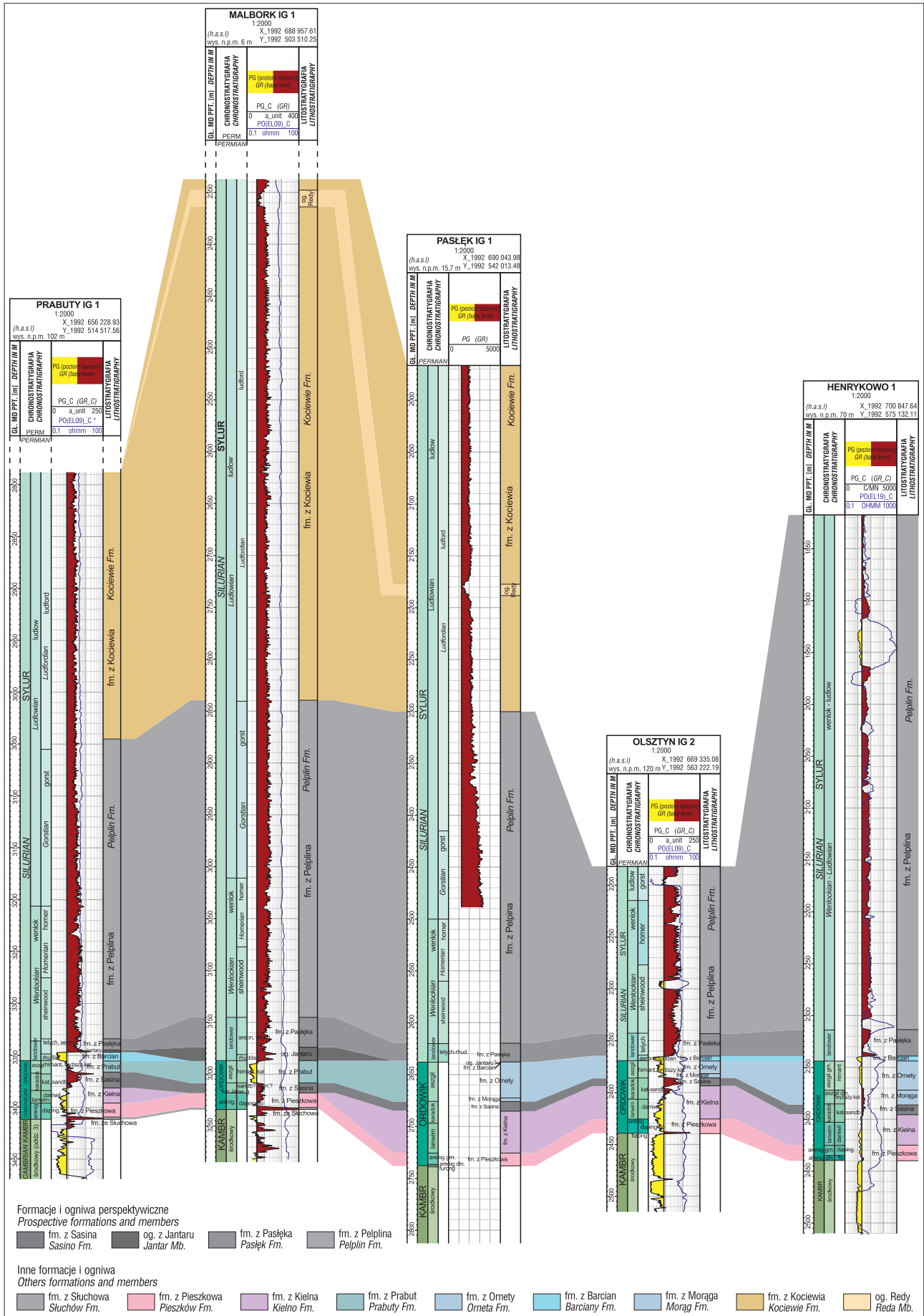


iłowców z Pasłęka, ilowców z Pelplina oraz ogniwa ilowców bitumicznych z Jantaru (ryc. 2).

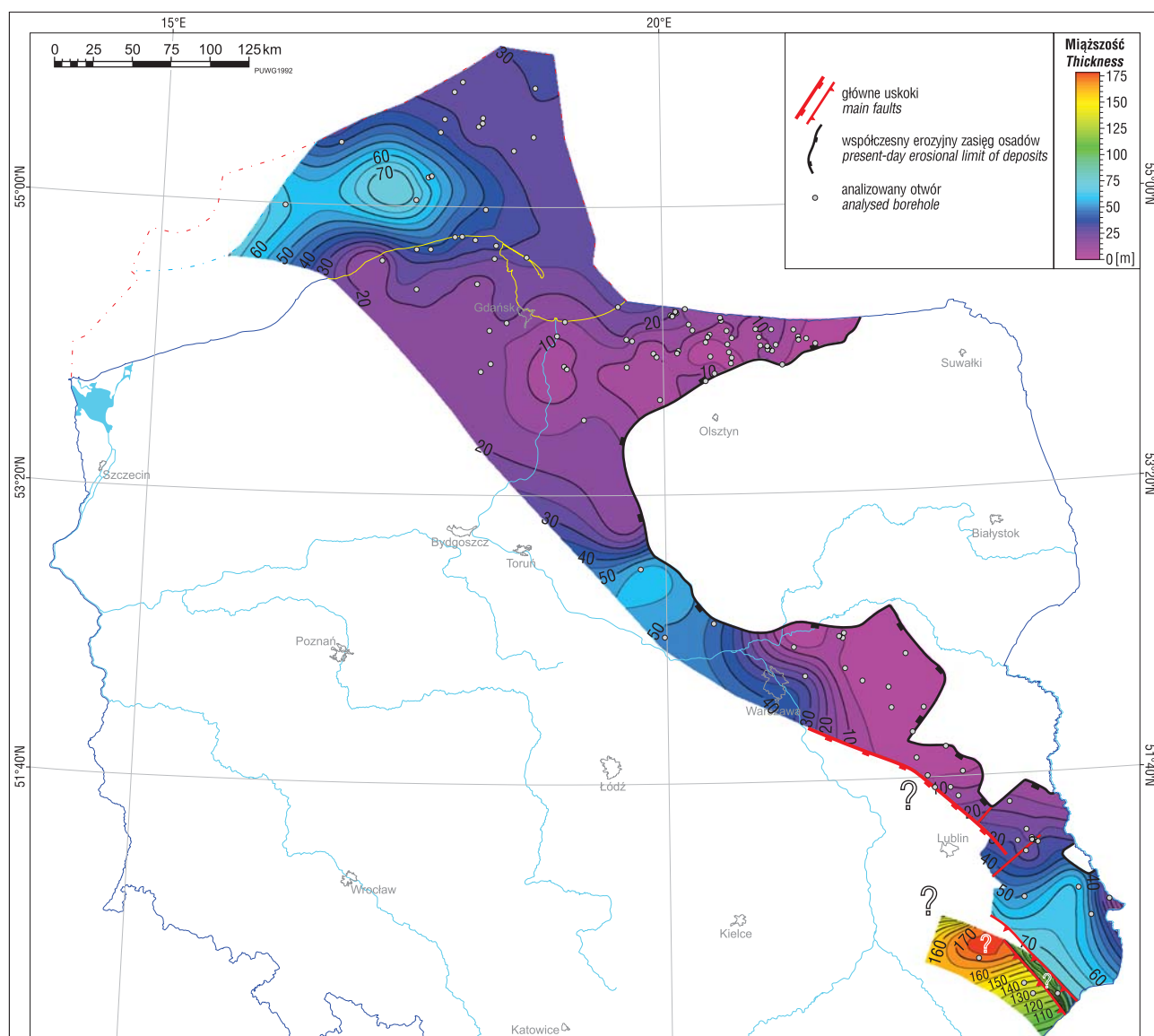
Formacja piaśnicka (iłowców z Piaśnicy) stanowi najstarszy pakiet skał macierzystych dla ropy naftowej w obniżeniu bałtyckim. Formację tę budują czarne ilowce bitumiczne furongu (kambru górnego) oraz miejscowo w obszarze morskim najniższego tremadoku o wysokiej zawartości materii organicznej. Współczesny zasięg tej formacji w Polsce jest bardzo ograniczony powierzchniowo i miąższościowo ze względu na erozję przedarenidzką. Jej miąższość wzrasta od 0 m w najbardziej wschodniej, marginalnej strefie jej występowania do ok. 30 m w depocentrum, zlokalizowanym w strefie morskiej Bałtyku na północ od Żarnowca. Na rozmytej powierzchni formacji z Piaśnicy występują osady formacji ilowców ze Słuchowa wieku flo–daping (dolny arenig), także o podwyższonej zawartości materii organicznej jednak o ograniczonym zasięgu lateralnym i miąższości.

Formacja z Sasina obejmuje skały drobnoklastyczne (mułowce i ilowce) z przewarstwieniami wapieni i skał piroklastycznych sandbu–katu niższego (karadoku), w skrajnie zachodniej części obniżenia bałtyckiego także darriwilu wyższego (lanwirnu) (Modliński & Szymański, 1997). Dolna granica formacji, odpowiadająca powierzchni zalewu morskiego i granicy parasekwencji jest diachroniczna, przebiega w lanwirnie lub niższym karadoku. Spągowa część formacji z ooidami żelazistymi, fosforanowym spoiwem, nagromadzeniem sfosfatyzowanych szczątków organicznych dowodzi spowolnienia tempa sedymentacji i silnej kondensacji osadów (Podhalańska, 1980). Formacja z Sasina jest rozprzestrzeniona we wszystkich obniżonych jednostkach strukturalnych obszaru platformy wschodnioeuropejskiej w Polsce (ryc. 4): obniżeniu bałtyckim, w podłożu niecki płocko-warszawskiej, a w postaci regionalnych ekwiwalentów, na obszarze lubelskim (formacja Udala) oraz w strefie Biłgoraj–Narol (iłowce formacji ilowców i wapieni z Cieszanowa) (Modliński & Szymański, 2005). Zasięg stratygraficzny formacji z Sasina zmniejsza się ku wschodowi i ogranicza się tam do wyższej części karadoku. W obrębie formacji występują skały drobnoklastyczne zaznaczające się na wykresach pomiarów geofizyki otworowej wysokim natężeniem naturalnego promieniowania gamma (Roman & Podhalańska, 2016). Miąższość formacji i jej ekwiwalentów wynosi najczęściej 15–60 m i wzrasta w profilach otworów strefy Biłgoraj–Narol do ok. 150 m.

Formacja z Pasłęka wraz z ogniwo z Jantaru stanowią podstawowy sylurski kompleks skał uznanych za potencjalnie perspektywiczne. Jednostka ta w zachodniej części obniżenia bałtyckiego graniczy z niewielką luką



Ryc. 3. Korelacja litostratygraficzna wzdłuż linii 4: Prabuty IG 1–Henrykowo 1 (opr. graficzne L. Skowroński)
Fig. 3. Lithological correlation along to line 4: Prabuty IG 1–Henrykowo1 (graphics by L. Skowroński)



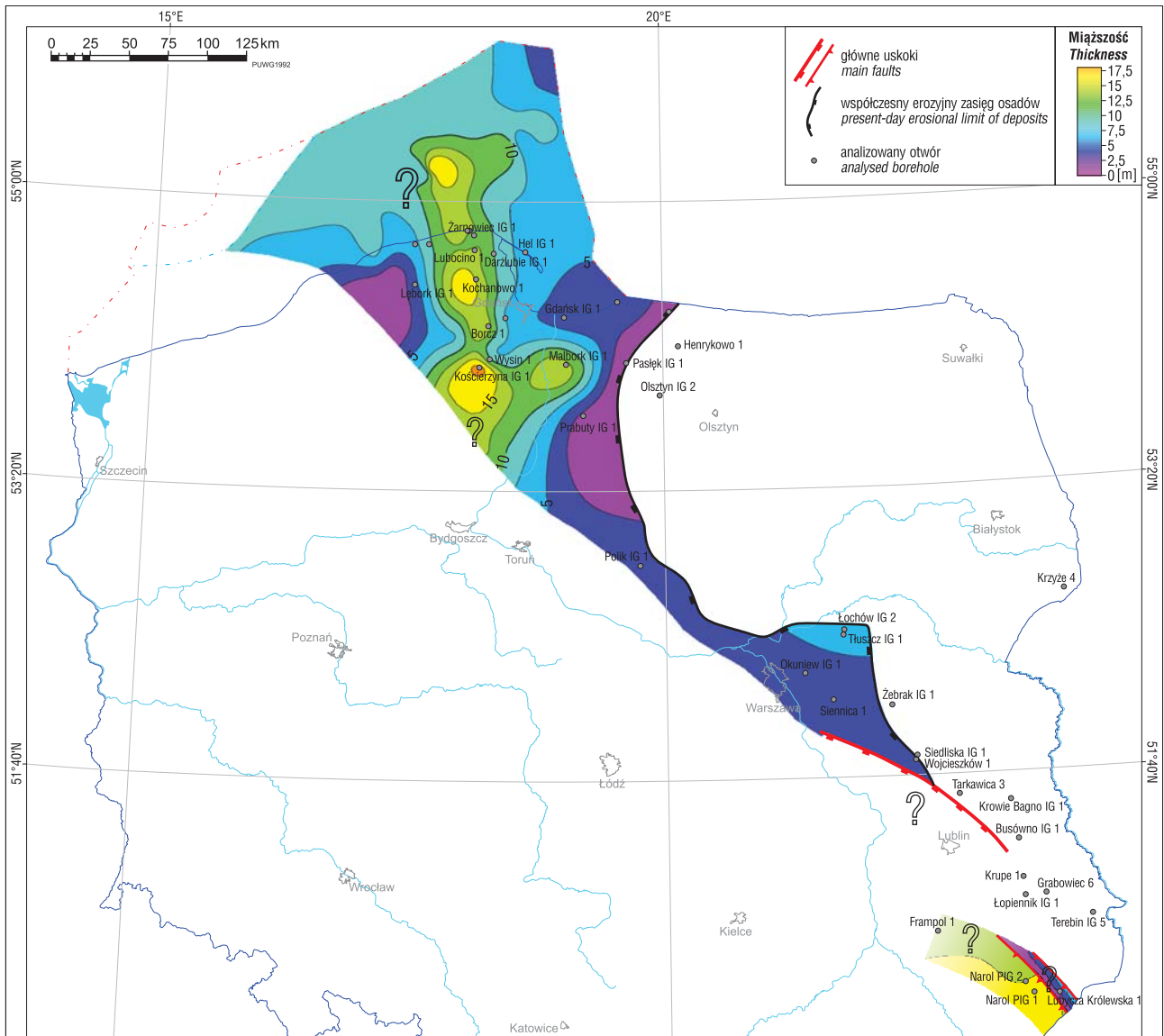
Ryc. 4. Mapa miąższości formacji z Sasina (zestawił A. Głuszyński na podstawie Modlińskiego, 2016, zmienione)
Fig. 4. Thickness map of the Sasino Formation (compiled by A. Głuszyński on the base of Modliński, 2016, modified)

stratygraficzną lub w sposób ciągły z utworami formacji z Prabut górnego ordowiku (hirsantu lub górnego katunizszego aszgilu) (Modliński i in., 2006; Podhalańska, 2009). Budują ją czarne, szare i zielonawe mułowce i iłowce. Zasięg stratygraficzny formacji na obszarze badań obejmuje różne poziomy biostratygraficzne landoweru – od stratygraficznej ciągłości z ordowikiem w zachodniej części obniżenia bałtyckiego do całkowitego wyklinowania we wschodniej części regionu lubelskiego (Podhalańska i in., 2010).

Podstawowym kompleksem perspektywicznym w landowerze jest, ze względu na dużą zawartość węgla organicznego, ogniwo iłowców bitumicznych z Jantaru (ryc. 5). Jego zasięg geograficzny obejmuje przede wszystkim obszar bałtycki. Lokalny brak tego ogniwa w rejonie Morağa i Kętrzyna oraz zastąpienie go formacją z Barcian wynika z obocznych zmian facjalnych (Modliński i in., 2006). Analogiczny poziom czarnych łupków występuje w niższym landowerze w podłożu niecki płocko-warszawskiej i zachodniej część obniżenia podlaskiego. Jego zasięg stratygraficzny w zachodniej części kratonu wschodnioeu-

ropejskiego obejmuje rhuddan, a miejscami także dolną część aeronu (otwór Kościerzyna IG 1). We wschodniej części obniżenia bałtyckiego (np. w profilu Bartoszyce IG 1) facja łupków bitumicznych minimalnej miąższości może pojawiać się nad formacją wapieni gruzłowych z Barcian, stanowiącą tam najniższą jednostkę litostratygraficzną syluru. Iłowce bitumiczne niższego landoweru występujące w obszarze Narola można traktować jako odpowiednik ogniwa z Jantaru (Podhalańska, 2015).

Formacja z Pelplina składająca się z mułowców i iłowców najczęściej wapienistych występuje we wszystkich badanych obszarach kratonu wschodnioeuropejskiego. Została uznana za perspektywiczną szczególnie na obszarze podlasko-lubelskim, ze względu na podwyższoną zawartość węgla organicznego, zwłaszcza w osadach jej niższej części, oraz znaczną miąższość. Jej dolna granica odpowiada stropowi formacji z Pasłęka i górnej granicy landoweru (Modliński i in., 2006; Podhalańska i in., 2010). Strop formacji jest heterochroniczny, a jej maksymalny górny zasięg na obszarze Lubelszczyzny przebiega w ludfordzie (Podhalańska i in., 2010, 2016a).



Ryc. 5. Mapa miąższości ogniwa z Jantaru (wyk. A. Głuszyński)
 Fig. 5. Thickness map of the Jantar Member (made by A. Głuszyński)

Kompleksy skalne karbonu – perspektywiczny niekonwencjonalny system węglowodorowy południowo-zachodniej Polski

Utwory karbonu występujące w południowo-zachodniej Polsce, w podłożu monokliny przedsudeckiej oraz na zachód od Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, należą do zewnętrznej części orogenu waryscyjskiego, określanej jako eksternidy morawsko-śląskie i wielkopolskie. Zewnętrzna granica frontu waryscyjskiego przebiega z północnego zachodu na południowy wschód, a następnie południowy zachód Polski (Jubitz i in., 1986; Pożaryski, Karnkowski, 1992). Ponieważ nie osiągnięto wierceniami spągu karbonu w tym rejonie, brak jest danych dotyczących cech świadczących o granicy karbonu i dewonu. W turneju i wizenie były deponowane głębokomorskie osady fliszowe facji kulmu, dla których przypuszczalnie źródłem materiału osadowego był obszar obecnych Sudetów. Materiał ten był transportowany w kierunku północno-zachodnim i zachodnim (Unrug & Dembowski, 1971). W namurze najgłębsza część basenu, gdzie zachodziła depozycja utworów flisz-

wych facji kulmu, zawężyła się do północnej i wschodniej części obszaru dzisiejszej monokliny przedsudeckiej. W brzeźnych partiach zbiornika morskiego przypuszczalnie osadzały się płytkomorskie klastyki. Na zachodzie i południu Polski, w westfalu A pojawił się obszar lądowy, co było związane z orogenezą waryscyjską. Według dotychczasowych interpretacji obszar podłoża monokliny przedsudeckiej był w westfalu i stefanie denudowanym lądem (Bojkowski & Dembowski, 1988). Interpretacja ta wymaga jednak rewizji w świetle wyników najnowszych badań stratygraficznych (Górecka-Nowak, 2007, 2008, 2009).

Na obszarze Polski południowo-zachodniej odwiercono ok. 100 otworów wiertniczych, w których występują utwory karbonu. Większość z nich nawierciła przystropowe, niewielkiej miąższości partie karbonu. Jedyne w kilku otworach przewiercono bardziej miąższy profil, nie osiągając jednak spągu systemu. Rzeczywista miąższość karbonu nie jest znana, ale wynosi ponad 2500 m, które przewiercono otworem Marcinki IG 1. Badania przeprowadzono na podstawie 5 archiwalnych profili otworów, tj. Marcinki IG 1, Więcki IG 1, Września IG 1, Paproć 29 i Siciny IG 1 (ryc. 1),

w których przewiercono największe miąższości utworów karbonu i posiadały one najnowsze interpretacje chronostratygraficzne.

Profil karbonu jest wykształcony jako utwory piaskowcowo-mułowcowe z przeławieniami zlepieńców i iłowców oraz detrytusem flory. Piaskowce można zaliczyć do dwóch typów litologicznych (Żelichowski, 1995). Pierwszy jest reprezentowany głównie przez waki lityczne złożone z litoklastów, ziarn kwarcu i skaleni. Do drugiego typu włączono monomineralne arenity kwarcowe i kwarcyty. Czasami w profilu karbonu występują cienkie wkładki tufitowe oraz intruzje granitoidowe (*op. cit.*). Na podstawie wykształcenia petrograficznego utworów karbonu wyróżniono dwa rejony charakteryzujące się odmienną kompozycją składników ziarnistych w piaskowcach i zlepieńcach: południowo-zachodni (dolnośląski) oraz północno-wschodni (poznański) (*op. cit.*). Żelichowski podzielił również pionową sukcesję karbonu na dwie duże jednostki litologiczne: dolną i górną. Dolna jest zbudowana z przeławiających się dolnokarbońskich szarych i ciemnoszarych piaskowców (waki i arenity lityczne) oraz ciemnoszarych iłowców, zaliczanych do kompleksu szarogłazowego, powstałego w środowisku głębokomorskim w wyniku działania prądów zawieszinowych (Krzemiński, 1995, 1996). Górną jednostkę budują jasnoszare i szare zsylikowane piaskowce (arenity i waki kwarcowe) przeławione szarymi iłowcami i mułowcami, reprezentującymi najmłodszą część karbonu.

Utwory karbonu są sfałdowane, na co wskazują upady warstw dochodzące do 80–90° obserwowane w rdzeniach wiertniczych. Badania mezostrukturalne materiału rdzeniowego wykazały obecność licznych struktur tektonicznych (Mierzejewski, 1975; Jarosiński, 1997). Często są spotykane szczeliny, nierządki o prawie pionowym przebiegu, które zwykle są zabliznione kalcytem, dolomitom, minerałami zwapnionymi i tlenkami żelaza. Kłapciński i in. (1975) sugerowali, że w rejonie otworów Marcinki IG 1 i Ostrzeszów 1 występują antykliny i synkliny mające osie równoległe do krawędzi bloku przdsudeckiego. Witkowski i Żelichowski (1981) wskazali na istnienie, m.in. w rejonie Ostrzeszowa–Marcinek, Wrześni oraz wału wolsztyńskiego-pogorzelskiego, dużych nasunięć. Jarosiński (1997) stwierdził również występowanie nasunięć w rejonie otworu Paproć 29. Badania tektoniczne i regionalne Aleksandrowskiego i in. (2003) sugerują występowanie deformacji tektonicznych częściej w górnych niż dolnych partiach profili. Pozwoliły one na udokumentowanie obecności nieciągłości tektonicznych, lokalnego odwrócenia warstw i tektonicznej repetycji fragmentów profilu stratygraficznego. Wiek powyższych deformacji jest trudny do udokumentowania (Mazur i in., 2010). Górecka-Nowak (2003) datuje go jako nie starszy od westfalu C. Wysoki stopień komplikacji budowy tektonicznej karbońskiej sukcesji południowo-zachodniej Polski, przy niewielkiej szczegółowości jej rozpoznania, jest istotnym aspektem rozważań dotyczących potencjału niekonwencjonalnych złóż węgłowodórów tego obszaru.

Zróznicowanie regionalne utworów kambru, ordowiku i syluru basenu bałtycko-podlasko-lubelskiego oraz karbonu basenu południowo-zachodniej Polski stanowiło podstawę dalszych, różnorodnych prac przeprowadzonych pod kątem rozpoznania niekonwencjonalnych systemów węgłowodórów w Polsce. Były to badania sedymentologiczne,

mineralogiczne, petrograficzne, petrologiczne, geochemiczne skał i materii organicznej, petrofizyczne oraz interpretacja krzywych geofizyki otworowej. Najważniejsze wyniki badań i analiz służące określeniu perspektywiczności kompleksów skalnych niższego paleozoiku i karbonu zostały przedstawione w pozostałych artykułach zamieszczonych w tym tomie Przeglądu Geologicznego (Dyrka, 2016; Feldman-Olszewska & Roszkowska-Remin, 2016; Gąsior i in., 2016; Grotek, 2016; Karcz & Janas, 2016; Nowak, 2016; Roman, 2016). Badania te stały się podstawą wydzielenia stref perspektywicznych zgodnie z przyjętymi kryteriami w kambryjsko-sylurskim i karbońskim systemach węglowodorowych w Polsce (Podhalańska i in., 2016b). Szczegółowe wyniki badań znajdują się w opracowaniu końcowym z realizacji projektu (Rozpoznanie..., 2016).

EFEKTY REALIZACJI PROJEKTU

Szeroki wachlarz badań i analiz laboratoryjnych przeprowadzonych w ramach projektu, poprzedzony charakterystyką litostratygraficzną, sedymentologiczną i analizą wyników geofizyki otworowej oraz dostęp do nowej informacji geologicznej uzyskanej od firm posiadających koncesje na poszukiwanie węglowodórów w niekonwencjonalnych systemach naftowych wybranych basenów sedymentacyjnych przyniósł konkretne efekty oraz wykazał celowość podejmowania przedsięwzięć badawczych dotyczących perspektyw poszukiwawczych w Polsce. Do najważniejszych osiągnięć należą:

- znaczące rozszerzenie wiedzy dotyczącej systemów węglowodorowych w Polsce poprzez uzyskanie nowych wyników badań stratygraficznych, sedymentologicznych, mineralogicznych, petrograficznych, geochemicznych skał i materii organicznej, petrofizycznych i interpretacji krzywych geofizyki otworowej;

- kompleksowe przedstawienie problematyki perspektywiczności skał niższego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego oraz karbonu w Polsce południowo-zachodniej;

- zdefiniowanie w utworach niższego paleozoiku oraz karbonu stref perspektywicznych spełniających określone kryteria, przyjęte m.in. do obliczania zasobów niekonwencjonalnych złóż węglowodórów (Wójcicki i in., 2015). Strefy te zostały wyznaczone na podstawie aktualnego stanu wiedzy, który jest w znacznym stopniu oparty na wynikach badań i analiz laboratoryjnych przeprowadzonych w ramach projektu;

- skonstruowanie bazy danych pirolitycznych na podstawie wyników starszych analiz oraz nowych badań metodą Rock Eval.

PODSUMOWANIE

Prace realizowane w ramach projektu nie wyczerpały, co zrozumiałe, szeregu spornych kwestii i wątpliwości. Ze względu na rozległy obszar badań, duży zasięg stratygraficzny badanych sukcesji skalnych, szerokie spektrum wykorzystanych metod badawczych, a przede wszystkim napływ nowych danych z otworów odwiercanych na obszarach koncesyjnych, należy podkreślić potrzebę kontynuacji badań w celu dalszego rozpoznawania stref perspektywicznych występowania niekonwencjonalnych złóż

węglowodorów w Polsce. Istnieje konieczność uszczegółowienia i doprecyzowania niektórych spośród uzyskanych wyników, ich rozszerzenia o analizę najnowszych danych z koncesji, jak również postawienia nowych celów badawczych, zmierzających do uzyskania jeszcze pełniejszych danych geologiczno-złożowych dotyczących potencjału niekonwencjonalnych systemów węglowodorowych na obszarze Polski.

Recenzentowi artykułu dr. Markowi Jasionowskiemu dziękujemy za cenne uwagi merytoryczne i formalne. Redakcji Przeglądu Geologicznego dziękujemy za przygotowanie publikacji do druku. Artykuł powstał na podstawie wyników badań projektu „Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I” finansowanego przez NFOŚiGW.

LITERATURA

- ALEKSANDROWSKI P., KUROWSKI L. & MAZUR S. 2003 – Budowa strukturalna i sedymentologia kompleksu karbońskiego eksteriidów waryscyjskich na obszarze monokliny przedsudeckiej na podstawie danych geofizyki otworowej oraz materiału rdzeniowego. Raport II. [W:] Nawrocki J. (red.), Paleozoiczna Akrecja Polski, program badawczy C18/T12/2001. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- BIELEŃ W. & MATYASIK I. 2013 – Shale oil – nowy aspekt poszukiwania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w formacjach łupkowych. *Nafta-Gaz*, 69 (12): 879–886.
- BOJKOWSKI K. & DEMBOWSKI Z. 1988 – Paleogeografia karbonu Lubelskiego Zagłębia Węglowego na tle paleogeografii karbonu Polski. [W:] Dembowski Z. & Porzycki J. (red.), Karbon Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Pr. Inst. Geol., 122: 18–26.
- DYRKA I. 2016 – Charakterystyka petrofizyczno-mineralogiczna wyznaczonych kompleksów perspektywicznych niższego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego i karbonu podłoża monokliny przedsudeckiej na podstawie wybranych wyników badań laboratoryjnych. *Prz. Geol.*, 64 (12): 982–986.
- FELDMAN-OLSZEWSKA A. & ROSZKOWSKA-REMIN J. 2016 – Litofacje formacji perspektywicznych dla gazu i ropy w łupkach w utworach ordowiku i syluru na obszarze bałtyckim i podlasko-lubelskim. *Prz. Geol.*, 64 (12): 968–975.
- GAŚSIOR I., SKUPIO R. & DOHNALIK M. 2016 – Metodyka wyznaczania zawartości substancji organicznej w utworach niższego paleozoiku i karbonu dla archiwalnych otworów wiertniczych. *Prz. Geol.*, 64 (12): 987–994.
- GROTEK I. 2006 – Dojrzałość termiczna materii organicznej z utworów pokrywy osadowej pomorskiego odcinka TESZ, basenu bałtyckiego oraz obszarów przyległych. [W:] Matyja H. & Poprawa P. (red.), Ewolucja fałdowa, tektoniczna i termiczna pomorskiego segmentu szwu transeuropejskiego oraz obszarów przyległych. Pr. Państw. Inst. Geol., 186: 253–269.
- GROTEK I. 2016 – Rozpoznanie petrologiczne i dojrzałość termiczna materii organicznej w utworach kambru, ordowiku i syluru na obszarze bałtyckim i podlasko-lubelskim. *Prz. Geol.*, 64 (12): 1000–1004.
- GÓRECKA-NOWAK A. 2003 – Wyniki analizy palinologicznej osadów młodszego paleozoiku podłoża monokliny przedsudeckiej, II etap. [W:] Nawrocki J. (red.), Paleozoiczna Akrecja Polski, program badawczy C18/T12/2001. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- GÓRECKA-NOWAK A. 2007 – Palynological constraints on the age of Carboniferous elastic succession of western Poland. *Geol. Quart.*, 51 (1): 39–56.
- GÓRECKA-NOWAK A. 2008 – New interpretations of the Carboniferous stratigraphy of SW Poland based on miospore data. *Bull. Geosci.*, 83 (1): 101–116.
- GÓRECKA-NOWAK A. 2009 – Palynological data from Siciny IG 1 and Marcinki IG 1 boreholes and their significance in the recognition of the Carboniferous succession of SW Poland. *Geol. Quart.*, 53 (2): 167–186.
- JAROSIŃSKI M. 1997 – Badania tektoniczne i geodynamiczne w otworze Paproć 29. [W:] Lipiec M. (red.), Analiza utworów karbonu w otworze rozpoznawczym Paproć 29 (aneks do tematu: „Budowa geologiczna strefy waryscyjdów w podłożu monokliny przedsudeckiej”) III.1–III.27, nr inw. 134191. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- JAANUSSON V. 1976 – Faunal dynamics in the Middle Ordovician (Viruan) of Balto-Scandia. The Ordovician System. Univ. Wales press Nation. Mus. Wales, Cardiff: 301–326.
- JAWOROWSKI K. 2002 – Profil dolnego paleozoiku w północnej Polsce – zapis kaledońskiego stadium rozwoju basenu bałtyckiego. *Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol.*, 58 (10): 9–10.
- JUBITZ K.B., ZNOSKO J., FRANKE D. & GARETSKY R. 1986 – Southwest border of the East European Platform. Tectonic Map 1 : 1 500 000. IGCP Project 86. Z.G.I. Berlin.
- KARCZ P. & JANAS M. 2016 – Materia organiczna łupków kambru, ordowiku i syluru w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim Polski. *Prz. Geol.*, 64 (12): 995–999.
- KARNKOWSKI P.H., PIKULSKI L. & WOLNOWSKI T. 2010 – Petroleum geology of the Polish part of the Baltic region – an overview. *Geol. Quart.*, 54, 2: 143–158.
- KIERSNOWSKI H. & DYRKA I., 2013 – Potencjał złożowy ordowiko-sylurskich łupków gazonośnych w Polsce: omówienie dotychczasowych raportów i propozycje udoskonalenia metodyki oceny zasobów gazu w raporcie w 2014 r. *Prz. Geol.*, 61: 354–373.
- KŁAPCZIŃSKI L., GÓRECKA T., JUROSZEK C., LORENC S., SACHANBIŃSKI M., GRODZICKI A., MIERZEJEWSKI M., ŚLUSARCZYK S., TEMPLIN L. & PARKA Z. 1975 – Litologia, petrografia, geochemia, minerały ciężkie, stratygrafia i tektonika podłoża podpermskiego wschodniej części monokliny przedsudeckiej. Arch. Uniw. Wr., ZOOGGN Geonafta, Warszawa.
- KOTARBA (red.) 2008 – Systemy naftowe i perspektywy poszukiwawcze utworów staropaleozoicznych polskiego sektora morza bałtyckiego między Łebą a Kamieniem Pomorskim, opracowanie archiwalne, AGH, Kraków.
- KRZEMIŃSKI L. 1995 – Pochodzenie materiału detrytycznego i diagenetyzacja piaskowców karbońskich wschodniej części podłoża monokliny przedsudeckiej. Opracowanie niepublikowane. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- KRZEMIŃSKI L. 1996 – Geochemia piaskowców karbonu w podłożu monokliny przedsudeckiej: materiał źródłowy i implikacje paleotektoniczne. *Pol. Tow. Miner. Pr. Spec.*, 8: 66–68.
- MAZUR S., ALEKSANDROWSKI P., TURNIAK K., KRZEMIŃSKI L., MASTALERZ K., GÓRECKA-NOWAK A., KUROWSKI I., KRZYWIEC P., ŻELAŻNIEWICZ A. & FANNING M.C. 2010 – Uplift and late orogenic deformation of the Central European Variscan Belt as revealed by sediment provenance and structural record in the Carboniferous foreland basin of western Poland. *Inter. J. Earth Sci.*, 99: 47–64.
- MIERZEJEWSKI M. 1975 – Tektonika. [W:] Kłapczyński L. (red.), Litologia, petrografia, geochemia, minerały ciężkie, stratygrafia i tektonika podłoża podpermskiego wschodniej części monokliny przedsudeckiej. Arch. Uniw. Wr. ZOOGGN Geonafta, Warszawa.
- MODLIŃSKI Z. 1984 – Stratygrafia potremadockich osadów ordowiku Lubelszczyzny. *Kwart. Geol.*, 28 (1): 1–16.
- MODLIŃSKI Z. (red.) 2010 – Atlas map paleomiąższościowo-paleolito-fałdowych paleozoiku podpermskiego kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- MODLIŃSKI Z. 2016 – Zestawienie miąższości osadów z Sasina. Materiał źródłowy nr 1. [W:] Podhalańska T. (red.), Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- MODLIŃSKI Z., PODHALAŃSKAT. 2010 – Outline of the lithology and depositional features of the lower Paleozoic strata in the Polish part of the Baltic region. *Geol. Quart.*, 54 (2): 109–121.
- MODLIŃSKI Z. & SZYMAŃSKI B. 1997 – The Ordovician lithostratigraphy of the Peribaltic Depression (NE Poland). *Geol. Quart.*, 41 (3): 273–288.
- MODLIŃSKI Z. & SZYMAŃSKI B. 2005 – Litostratygrafia ordowiku strefy Biłgoraj-Narol (SE Polska). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 416: 45–79.
- 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 bałtyckiego – część lądowa i morska (N Polska). *Prz. Geol.*, 54 (9): 787–796.
- NOWAK G. 2016 – Rozpoznanie petrologiczne rozproszonej materii organicznej skał karbonu podłoża monokliny przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 64 (12): 1005–1007.
- PACZEŚNA J. 2016 – Analiza litologiczno-stratygraficzna – obszar bałtycki. Kambr. [W:] Podhalańska T. (red.), Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I. Opracowanie końcowe z realizacji projektu. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa.
- PODHALAŃSKA T. 1980 – Stratigraphy and development of Middle and Upper Ordovician deposits in the Leba Elevation (NW Poland). *Acta Geol. Pol.*, 30 (4): 327–390.
- PODHALAŃSKA T. 2009 – Późnoordowickie zlodowacenie Gondwany – zapis zmian środowiskowych w sukcesji osadowej obniżenia bałtyckiego. Pr. Państw. Inst. Geol., 193.

- PODHALAŃSKA T. 2013 – Graptolity – narzędzie stratygraficzne w rozpoznaniu stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów. *Prz. Geol.*, 61 (8): 460–467.
- PODHALAŃSKA T. 2015 – Sylur. [W:] *Narol IG 1, Narol PIG 2. Profile Głęb. Otw. Wiert.*, z. 143: 121–125.
- PODHALAŃSKA T., MODLIŃSKI Z. & SZYMAŃSKI B. 2010 – Nowelizacja stratygrafii syluru brzeżnej części kratonu wschodnioeuropejskiego (obszar Lubelszczyzny i Podlasia). *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa*.
- PODHALAŃSKA T., BECKER A., PACZEŚNA J., WAKSMUNDZKA M.I., MODLIŃSKI Z., GRUDZIEN T. & SKOWROŃSKI L. 2016a – Analiza litologiczno-stratygraficzna na podstawie wybranych profili wiertniczych dla każdego obszaru wraz z weryfikacją podziałów stratygraficznych [W:] Podhalańska T. (red.), *Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I*. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa*.
- PODHALAŃSKA T., WAKSMUNDZKA M.I., BECKER A., ROSZKOWSKA-REMİN J., DYRKA I., FELDMAN-OLSZEWSKA A., GŁUSZYŃSKI A., GROTEK I., JANAS M., KARCZ P., NOWAK G., PACZEŚNA J., ROMAN M., SIKORSKA-JAWOROWSKA M., KUBERSKA M., KOZŁOWSKA A., SOBIEŃ K. 2016b – Strefy perspektywiczne występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w kambryjskich, ordowickich, sylurskich i karbońskich kompleksach skalnych Polski – integracja wyników badań. *Prz. Geol.*, 64 (12): 1008–1021.
- POPRAWA P. 2006 – Rozwój kaledońskiej strefy kolizji wzdłuż zachodniej krawędzi Baltiki oraz jej relacje do basenu przedpola. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 186: 189–212.
- POPRAWA P. 2010 – Potencjał występowania złóż gazu ziemnego w łupkach dolnego paleozoiku w basenie bałtyckim i lubelsko-podlaskim. *Prz. Geol.*, 58 (3): 226–249.
- POPRAWA P. & PACZEŚNA J. 2002 – Rozwój ryftu w późnym neoproterozoiku–wczesnym paleozoiku na lubelsko-podlaskim skłonie kratonu wschodnioeuropejskiego – analiza subsydencji i zapisu facjalnego. *Prz. Geol.*, 50: 49–63.
- POPRAWA P. & KIERSNOWSKI H. 2010 – Rozpoznanie basenów węglowodorowych Polski pod kątem możliwości występowania i zasobów oraz możliwości koncesjonowania poszukiwań niekonwencjonalnych złóż gazu ziemnego, etap I. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa*.
- POPRAWA P., SZCZEPANIK Z., MATYJA H., GROTEK I., NAWROCKI J., ŚRODOŃ J., KRZEMIŃSKI L. & inni. 2011 – Historia oraz geneza zdarzeń termicznych w basenie polskim i jego osadowym podłożu – ich znaczenie dla rekonstrukcji procesów generowania węglowodorów. *Raport z projektu 21.5105.0801.00.0. Inw. 5568/2011. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa*.
- POREBSKI SZ., PRUGAR W. & ZACHARSKI J. 2013 – Łupki sylurskie platformy wschodnioeuropejskiej w Polsce – wybrane problemy poszukiwawcze. *Prz. Geol.*, 61: 468–477.
- POŻARYSKI W. & KARNKOWSKI P. (red.) 1992 – *Tectonic map of Poland during the Variscan time*. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- ROMAN M.G. 2016 – Interpretacja i wizualizacja danych otworowych w utworach niższego paleozoiku obszaru kratonu wschodnioeuropejskiego i karbonu podłoża monokliny przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 64 (12): 976–982.
- ROMAN M.G., PODHALAŃSKA T. 2016 – Weryfikacja profili stratygraficznych w rejonach BO–SNE i BO–SSE [W:] Podhalańska T. (red.), *Rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I*. *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa*.
- ROZPOZNANIE stref perspektywicznych dla występowania niekonwencjonalnych złóż węglowodorów w Polsce, etap I. *Opracowanie końcowe projektu, kier. Podhalańska T. 2016* – *Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa*.
- UNRUG R. & DEMBOWSKI Z. 1971 – Rozwój diastroficzno-sedymentacyjny basenu morawsko-śląskiego. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 41: 119–168.
- WIĘCŁAW D., KOTARBA M.J., KOSAKOWSKI P., KOWALSKI A. & GROTEK I. 2010 – Habitat and hydrocarbon potential of the Lower Paleozoic source rocks in the Polish part of the Baltic region. *Geol. Quart.*, 54 (2): 159–182.
- WITKOWSKI A. & ŻELICHOWSKI A.M., 1981 – Budowa geologiczna utworów podpermskich monokliny przedsudeckiej północnej. *Opracowanie niepublikowane. Nar. Arch. Geol. PIG-PIB, Warszawa*.
- WÓJCICKI A., KIERSNOWSKI H., ADAMCZAK-BIAŁY T., BECKER A., GŁUSZYŃSKI A., JANAS M., KARCZ P., KOZŁOWSKA A., KUBERSKA M., PACZEŚNA J., PODHALAŃSKA T., ROMAN M., SKOWROŃSKI L. & WAKSMUNDZKA M.I. 2015 – Progностyczne zasoby gazu ziemnego i ropy naftowej w skałach łupkowych dolnego paleozoiku w basenie bałtycko-podlasko-lubelskim w Polsce. *PIG-PIB, Warszawa. Raport niepublikowany*.
- ŻELICHOWSKI A.M. 1995 – Lithostratigraphy and sedimentologic-paleogeographic development in Western Pomerania. [W:] Zdanowski A. & Żakowa H. (red.), *The Carboniferous system in Poland*. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 148: 97–100.



Graptolity na powierzchni łupku mułowcowego, formacja z Pelplina, sylur, wenlok. Fot. T. Podhalańska



Piaskowiec średnioziarnisty warstwowany horyzontalnie, karbon, namur A, Siciny IG 1. Fot. M.I. Waksmundzka