

Perspektywiczne obszary poszukiwań węglowodorów w kambrze polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej

Florian Stolarczyk*, Joanna Stolarczyk*, Hanna Wysocka*

Primary areas for hydrocarbon prospecting in the Cambrian of the Polish Part of the East European Platform. *Prz. Geol.*, 52: 403–412.

S u m m a r y. Perspectives of prospecting for hydrocarbons in the Platform Cambrian strata of NE Poland are evaluated. The evaluation includes previous studies on type and distribution of sedimentary facies, possibilities of generating, accumulating and retention of hydrocarbons, reservoir properties of rocks, and presence of local structures. The results of their analysis presented herein allowed to delineate the optimum zone of occurrence of hydrocarbons, and to indicate primary areas within that zone to be prospected first. According to these criteria, the perspective zone for hydrocarbon prospecting in the Cambrian strata occurs on the Western slope of the East European Platform and in its regional depressions, where the Cambrian occurs at depth 1500–3000 metres. A detailed analysis of geological data permits to pinpoint the following especially promising areas within that zone (fig. 7), best suited for hydrocarbon accumulation and deserving special attention: the Siedlce palaeoelevation; the Olsztyn palaeoelevation; an area near the Polish state border near Braniewo, Górowo Iławeckie and Bartoszyce; peri-Baltic part of the Łeba Elevation.

Key words: East European Platform, Middle Cambrian, perspective zone, prospective area.

Poszukiwania węglowodorów w polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej są prowadzone z różnym nasileniem od ponad 40 lat. Pokrywa osadowa stanowiąca przedmiot badań i poszukiwań węglowodorów na tym obszarze rozpoznana jest bardzo nierównomiernie. Dotyczy to szczególnie kompleksu skał staropaleozoicznych, który zbadany jest stosunkowo dobrze wierceniami i metodami geofizycznymi w strefach płytszych. W brzeźnej części platformy, gdzie utwory staropaleozoiczne występują na większych głębokościach (powyżej 4 km), ich rozpoznanie jest bardzo słabe. Niemniej jednak analiza uzyskanych danych geologicznych w tej części kraju pozwala określić regionalny styl budowy geologicznej (ryc. 1), a w tym także litologiczno-facjalne, strukturalne i geochemiczne czynniki warunkujące powstawanie i zachowanie węglowodorów.

Dotychczasowe wyniki

Głównym osiągnięciem w dotychczasowych poszukiwaniach węglowodorów w kambrze północnowschodniej Polski jest uzyskanie w nadmorskiej części wyniesienia Łeby w dziesięciu otworach wiertniczych przyływów ropy naftowej o znaczeniu przemysłowym. Pozytywne rezultaty uzyskano w poszukiwaniach węglowodorów na obszarze Bałtyku, a także w bliskim sąsiedztwie północnej granicy państwa w okolicach Mamonowa i Ładuszki (południowe okolice Kaliningradu). Nieco dalej od granicy (30 km) w równoleżnikowej strefie wyniesień centralnej części Obwodu Kaliningradzkiego Rosji odkryto kilkanaście złóż ropy naftowej w stropie kambru środkowego. Jak można sądzić główną przyczyną słabszych wyników poszukiwawczych w polskiej części platformy było niezadawalające rozpoznanie warunków akumulacji węglowodorów, a w tym w szczególności niedostateczne określenie układu przestrzennego skał pokrywy osadowej, co wynikało z ograniczonych możliwości technicznych i

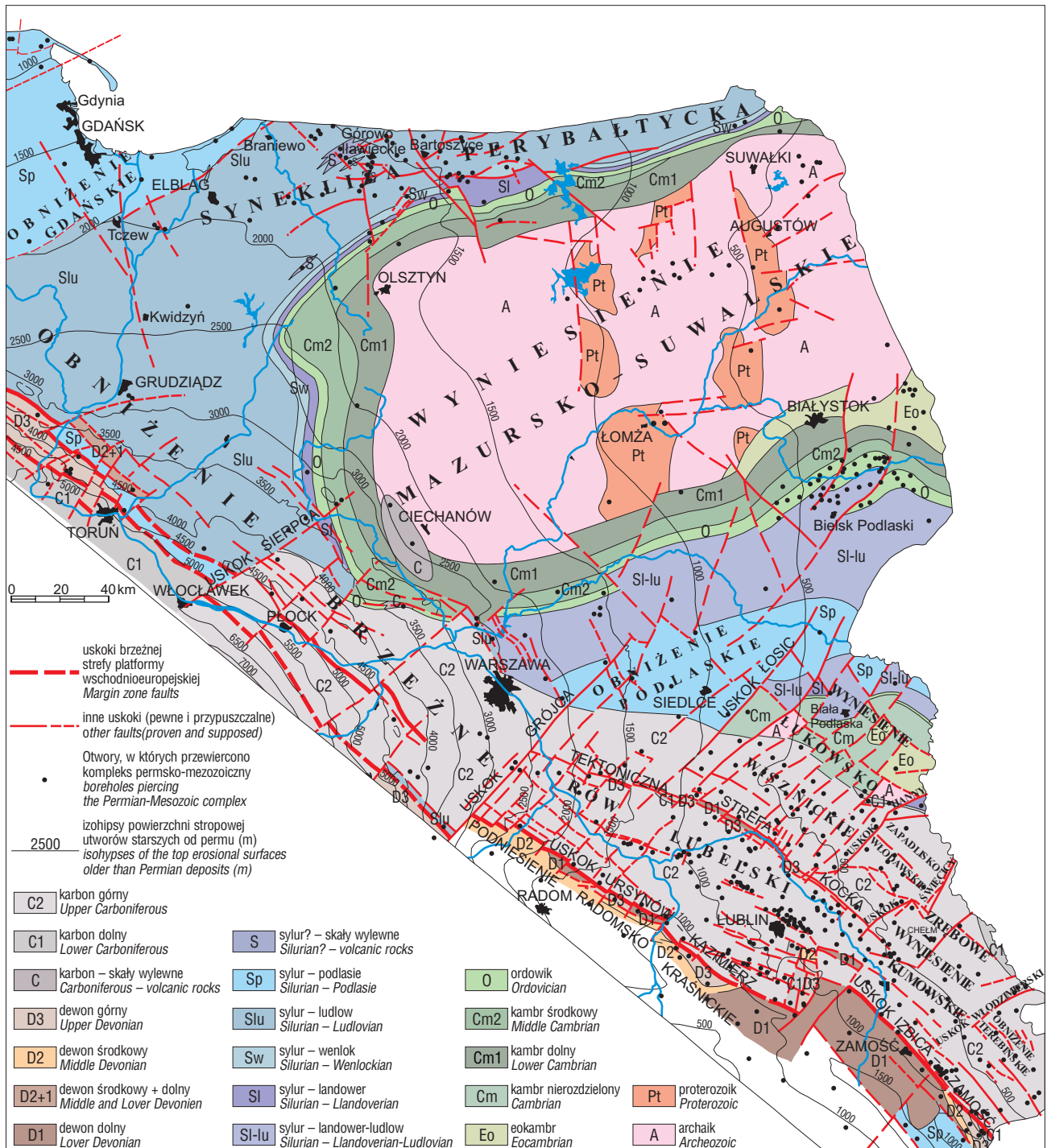
metodycznych ówczesnych badań sejsmicznych. Ponadto we wstępnych koncepcjach poszukiwawczych brano pod uwagę także możliwości akumulacji węglowodorów w strefach wyklinowań zbiornikowych osadów starszego paleozoiku w obrzeżeniu wyniesienia mazursko-suwałskiego dla których uszczelnienie stanowiły osady mezozoiczne (Stolarczyk, 1988). Tezy tej nie potwierdziły odwiercone otwory. Wykonane dotychczas wiercenia w polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej, poza obszarem syneklizy perybałtyckiej, miały w olbrzymiej większości charakter badawczy lub też ich celem było poszukiwanie innych złóż mineralnych niż ropa naftowa i gaz ziemny. Podstawą ich szczegółowej lokalizacji były badania sejsmiczne o małym zagęszczeniu pozwalające w miarę poprawnie określić układ przestrzenny osadów permomezozoicznych. Starsze horyzonty śledzono na przekrojach sejsmicznych z dużymi przerwami lub fragmentarycznie. Wyznaczone na ich podstawie obiekty strukturalne nie były w pełni wiarygodne. Dotyczy to w szczególności obniżenia podlaskiego, a także zapadliska włodawskiego.

Nieporównanie większy zakres badań sejsmicznych wykonano w procesie poszukiwań węglowodorów w syneklizie perybałtyckiej. Po zachęcających wynikach złożowych otworu Kętrzyn IG-1, gdzie z wapieni gruzłowych dolnego syluru uzyskano słaby przyływ ropy naftowej i odkryciu złoża ropy naftowej w rejonie Krasnoborska w Obwodzie Kaliningradzkim, badaniami sejsmicznymi, mającymi na celu wykrycie lokalnych struktur dla wierceń poszukiwawczych, objęto obszary położone w okolicach Kętrzyna i Bartoszyce. W tym rejonie wykonane wcześniej pojedyncze przekroje sejsmiczne charakteryzowały się relatywnie lepszą jakością. W badaniach geofizyki refleksyjnej, choć we fragmentach, ale wyraźne i przekonujące odbicia uzyskiwano od stropu ordowiku, a częściowo także od stropu podłoża krystalicznego, co pozwalało w sposób pośredni wnioskować o ukształtowaniu stropu perspektywicznych osadów kambru środkowego. Niestety, z otworów poszukiwawczych na tak przygotowanych strukturach, nie uzyskano pozytywnych efektów złożowych.

*Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A. ul. Krucza 6/14, 00-537 Warszawa

Przyczyną niepowodzeń, oprócz mniejszej perspektywiczności brzeżnych stref wschodniej części syneklizy, była niedoskonałość ówczesnych geofizycznych metod badawczych.

Stąd też, w miarę napływu informacji o budowie geologicznej i postępu jakościowego prac sejsmicznych, poszukiwaniami węglowodorów obejmowano stopniowo obszary głębszej części syneklizy perybałtyckiej położone na północ i zachód od Lidzbarka Warmińskiego i Górowa



Ryc. 1. Mapa geologiczno-strukturalna obszaru platformy wschodnioeuropejskiej bez utworów młodszych od karbonu. Mapę opracowali: F. Stolarczyk, J. Stolarczyk, H. Wysocka-Kudła na podstawie materiałów archiwalnych BG Geonaftha oraz map i publikacji Państwowego Instytutu Geologicznego ze szczególnym uwzględnieniem opracowań R. Dadleza, P. Karnkowskiego, S. Kubickiego, L. Miłaczewskiego, J. Porzyckiego, W. Pożaryskiego, W. Ryki, H. Tomczyka, J. Znoski, A. Żelichowskiego. Opracowanie graficzne: H. Godlewska, H. Kośnik

Fig. 1. Geological Structure Map of East European Craton without rocks younger than the Carboniferous; Elaborated by F. Stolarczyk, J. Stolarczyk, H. Wysocka-Kudła, on the basis of authors data and published reports Geological Bureau Geonaftha and Polish Geological Institute. Materials of the following scientists were used: R. Dadlez, P. Karnkowski, S. Kubicki, L. Miłaczewski, J. Porzycki, W. Ryka, H. Tomczyk, J. Znosko, A. Żelichowski. Computer technical assistance: H. Godlewska, H. Kośnik

Haweckiego, gdzie spodziewano się występowania osadów staropaleozoicznych w korzystniejszych warunkach do generowania i akumulacji węglowodorów w pułapkach o większych rozmiarach.

Pomimo jakościowej poprawy w śledzeniu horyzontów sejsmicznych w osadach paleozoicznych, ujawnione metodami sejsmicznymi domniemane pułapki złożowe, także w tej strefie nie uzyskały pełnego potwierdzenia. Zbadane wierceniami obiekty strukturalne okazywały się znacznie mniejsze, a ich partie szczytowe znacznie przesunięte w planie, niektóre zaś okazały się strukturami pozornymi. Istotną przeszkodą w uzyskiwaniu wiarygodnego obrazu struktur staropaleozoicznych są tutaj bardziej miękkie i zróżnicowane litologicznie utwory salinarnego cechsztynu, obecność skał wylewnych w obrębie syluru a ponadto stosunkowo gruby, bo ponad 200 m, kompleks najmłodszych utworów przypowierzchniowych o bardzo zróżnicowanej i małej prędkości fal sejsmicznych.

W ostatnich latach jakościowy rozwój geofizycznych metod badawczych pozwala rozwiązywać te zadania ze znacznie lepszymi efektami. Potwierdzeniem tego mogą być prace sejsmiczne z początku lat 90. na wyniesieniu Łeby, gdzie w sposób ciągły udało się prześledzić nie tylko horyzont „Or” (strop ordowiku), ale także i starsze horyzonty sejsmiczne w kambrze (Wilk, 1995).

Znaczny postęp w ostatnich latach uzyskano także w rozpoznaniu genezy litologiczno-petrograficznego charakteru kambru, co ma istotne znaczenie w procesie poszukiwań węglowodorów (Jaworowski, 1979, 1997; Sikorska, 1988; Sikorska & Paczeńska, 1997).

Warto dodać, że obecnie wykonawcy prac wiertniczych dysponują urządzeniami pozwalającymi w sposób ciągły śledzić techniczne parametry wiercenia, jakość przewiercanych skał i badać nasycenie skał węglowodorami za pomocą nowoczesnych próbników złoża.

Rozkład facji w osadach kambru

W staropaleozoicznym kompleksie skał osadowych znaczenie poszukiwawcze mają praktycznie tylko utwory kambru, a zwłaszcza kambru środkowego. W obszarze obniżenia podlaskiego cechy skał zbiornikowych posiadają także niewielkiej miąższości piaskowce tremadoku, lecz stanowią one wraz z kambrem jeden poziom hydrodynamiczny. Osady kambru leżą na erozyjnej i urozmaiconej morfologicznie powierzchni utworów starszych (ryc. 1). Na lubelskim stoku platformy oraz w krańcowo wschodnich obszarach kraju podłoże kambru stanowią piaskowcowo-mułowcowo-iłowcowe osady formacji lubelskiej najwyższego wendy (Lendzion, 1972, 1983; Areń i in., 1979), w obszarze zachodniej syneklizy seria okruczowa formacji żarnowieckiej, w pozostałej części skały krystaliczne fundamentu platformy.

Dane paleontologiczne Lendzion (1972, 1983) wskazują na obecność w obrębie polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej kambru dolnego, środkowego i górnego. Najstarsze ogniwa kambru dolnego zostały stwierdzone w części południowo-wschodniej omawianego obszaru, a udokumentowany kambr górny występuje w najbardziej pograżonej części zbiornika sedymentacyjnego syneklizy perybałtyckiej.

Osady kambru dolnego powstały w rozległym basenie sedymentacyjnym ciągnącym się wzdłuż południowo-zachodniego brzegu platformy wschodnioeuropejskiej. Na platformie było to płytkie szelfowe morze epikontynentalne. Źródłem materiału okruczowego dla osadów kambru były starsze utwory eokambru oraz podłoża krystalicznego. Spągowe osady kambru dolnego płytszej, przybrzeżnej strefy zbiornika sedymentacyjnego są reprezentowane głównie przez piaskowce drobno- i średnioziarniste, przy pewnym udziale ziaren skaleni i glaukonitu, miejscami występują w nich różnej grubości wkładki mułowców i iłowców. W głębszej części zbiornika, gdzie sedymentacja odbywała się poniżej podstawy falowania udział mułowców i iłowców jest większy. Wyższa część profilu kambru dolnego charakteryzuje się występowaniem wzajemnych przekładek piaskowcowo-iłowcowych z licznymi sedymentacyjnymi strukturami deformacyjnymi świadczącymi o niespokojnym przebiegu sedymentacji.

Ruchy dźwigające w obrębie starej platformy spowodowały w środkowym kambrze spłylenie morza. Powstały osady charakterystyczne dla morza regresywnego a mianowicie — piaskowce drobno- i średnioziarniste z mniejszym udziałem przewarstwień ilastych. Ziarna kwarcu w piaskowcach są na ogół dobrze obtoczone, kuliste.

Osady kambru górnego są reprezentowane przez iłowce czarne z soczewkami wapieni, a w najbardziej wschodnim obszarze ich występowania również przez piaskowce i zlepieńce z bardzo liczną fauną agnostusową (Młynary 1; Stolarczyk, 1979).

Porównanie profilów litologicznych kambru (Stolarczyk & Tyski, 1972; Stolarczyk, 1979) z poszczególnych otworów wskazuje, że największe różnice facji obserwuje się na liniach prostopadłych do brzegu platformy, przy czym w kierunku na wschód od brzegu platformy zwiększa się udział piaskowców, zaś wkładki ilaste i mułowcowe zanikają. Ponadto ze szczegółowych porównań profili litologicznych kambru wynika, że w kierunku wschodnim poszczególne ogniwa stratygraficzne w kambrze także wyklinowują się. Podobnie z analizy rozkładu miąższości utworów młodszych wynika, że miąższości te wzrastają w kierunku południowo-zachodnim, zgodnie z regionalnym układem staropaleozoicznego planu tektonicznego. Największą miąższość kambru stwierdzono w otworze Łopiennik IG-1 (na SE od Lublina) i wynosi ona 942 m. Podkreślić więc należy, że zmiany facjalne i miąższościowe zarówno kambru dolnego, jak i środkowego generalnie układają się strefowo, zgodnie z przebiegiem zachodniej granicy platformy wschodnioeuropejskiej, z tym jednak, że w strefach zarysowujących się już w tym czasie platformowych obniżenia na północ i południe od obecnego wyniesienia mazurskiego odchylają się i rozszerzają na NE (Areń i in., 1979; Lendzion, 1983).

Warunki generowania i akumulacji węglowodorów

Według powszechnie przyjmowanych poglądów, wśród osadów starszego paleozoiku kryteria skał macierzystych dla generowania węglowodorów najlepiej spełniają utwory kambru górnego, ordowiku w szczególności karadoku i dolnego syluru zwłaszcza landoweru (Merta, 1991; Swadowska & Sikorska, 1998; Burzewski,

1998; i inni). Zawartość węgla organicznego przekracza w nich 0,5%, a maksymalnie osiąga 2,6% (Grotek, 1999). Dominującym typem materii organicznej zawartej w tych utworach jest syngenetyczny materiał sapropelowy, a ponadto macerały witynitopodobne. Głównym czynnikiem wpływającym na charakter przemian organicznych miały warunki termalne związane z maksymalnym pogażaniem oraz wielkością paleogradientu termicznego (Grotek, 1999). Najprawdopodobniej proces ten rozpoczął się już w sylurze i trwał co najmniej przez okres dewonu i karbonu (Depowski i in., 1979; Witkowski, 1990; Burzewski, 1998).

Jednym ze wskaźników stopnia zaawansowania tych przemian jest refleksyjność witynitów (R_0). Według badań Nering-Lefeld i in. (1997), Swadowskiej i Sikorskiej (1999), jak również Grotek (1999) wskaźnik ten dla skał kompleksu staropaleozoicznego w skrajnie brzeżnej strefie platformy jest najwyższy i przekracza 4%. Tak wysoka wartość wskaźnika R_0 pozwala przypuszczać, że skały kompleksu staropaleozoicznego przeszły tu już główną fazę generowania węglowodorów i osiągnęły końcowy etap generowania gazów suchych lub nawet weszły w stadium zmetamorfizowane (Swadowska & Sikorska, 1998). Analiza rozwoju pokrywy osadowej na omawianym obszarze wskazuje, że osady starszego paleozoiku osiągnęły optymalne warunki dla generowania węglowodorów płynnych i gazowych w nieco płytszych strefach, a w tym także w syneklizie bałtyckiej i obniżeniu podlaskim, gdzie według Grotek (1999) gradient paleotemperatur wynosi ok. 40°C/km, a wartość wskaźnika R_0 zamyka się w granicach 0,82 do 2,3%. Nie dotyczy to jednak krańcowo wschodniej Polski (na wschód od Olsztyna i Kocka), gdyż tu osady te nie spełniły warunków umożliwiających generowanie węglowodorów. Gradienty termiczne w tym obszarze są niskie, np. w otworze Bartoszyce IG-1 — 25°C/km (Swadowska & Sikorska, 1998).

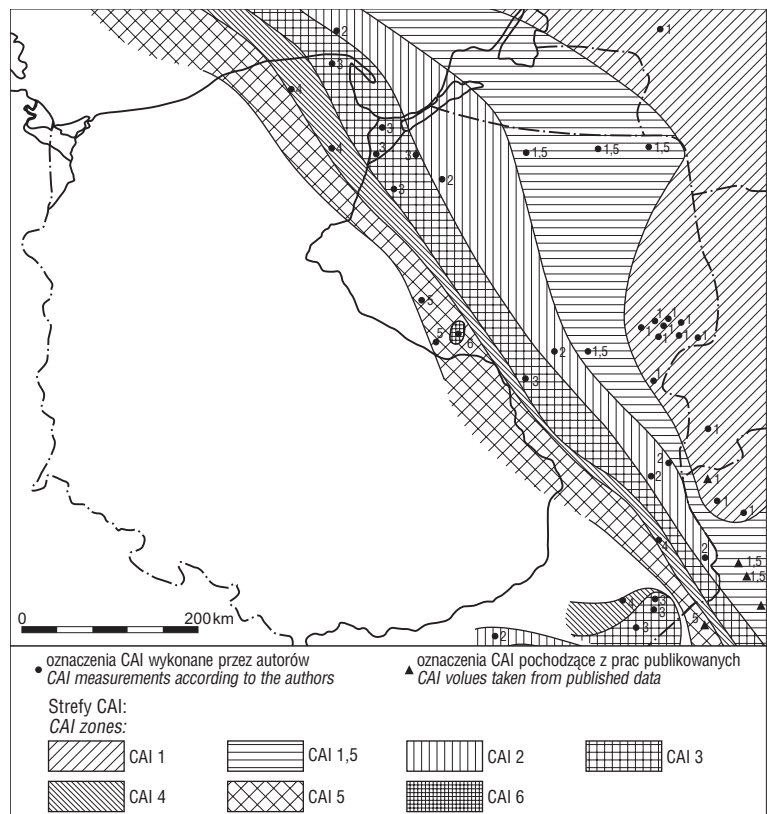
Podobne wnioski wypływają także z najnowszych metodycznych badań poziomu dojrzałości substancji organicznej opartych na zmienności wskaźnika przeobrażenia barwy konodontów CAI. Nering-Lefeld i in. (1997) w badaniach wskaźnika CAI i refleksyjności witynitów utworów ordowiku zaobserwowali wyraźne strefowe ich ułożenie, zgodne z przebiegiem zachodniego brzegu platformy wschodnioeuropejskiej. Wskaźniki te są niskie na wschodzie i zwiększają się wyraźnie ku brzeżnym, bardziej pogażonym częściom platformy (ryc. 2). Utwory ordowiku stref CAI 1 i CAI 1,5 według wymienionych autorów zawierają niedojrzały materiał organiczny. Wartości wskaźnika strefy CAI-2 wskazują na stopień przeobrażenia materiału organicznego, odpowiadający głównej fazie generowania ciekłych węglowodorów. Osady ordowiku zaliczone do strefy CAI-3 osiągnęły fazę generowania gazów mokrych, natomiast strefy CAI-4 i CAI-5 gazów suchych.

Zmiany układu przestrzennego skał jakie nastąpiły w okresie posylurskim umożliwiły poprzez oboczne kontakty kambru z seriami

młodszy przemieszczanie się węglowodorów z młodszych skał macierzystych do skał zbiornikowych kambru. Lateralnej migracji węglowodorów nawet na znaczne, co najmniej kilkudziesięciokilometrowe odległości, sprzyjały, dające się obserwować, regionalnie wzrastające wartości porowatości i przepuszczalności w kierunku wzniosu warstw skał zbiornikowych kambru (ryc. 3). Stąd też, odkryte dotychczas złoża w syneklizie perybałtyckiej występują nie tylko w strefach o najkorzystniejszych warunkach generacji węglowodorów, ale także w ich otoczeniu, a nawet w strefach brzeżnych syneklizy, lecz wtedy są to złoża ropy naftowej o mniejszym wykładniku gazowym (np. złożo Kułdiga w południowej Łotwie — zawartość gazu w ropie 17 m³/t, lub ostatnio odkryte złożo Domnowskoje w Obwodzie Kaliningradzkim ok. 20 km na północ od otworu Bartoszyce IG-1 (informacja ustna uzyskana w ramach współpracy z geologami rosyjskimi).

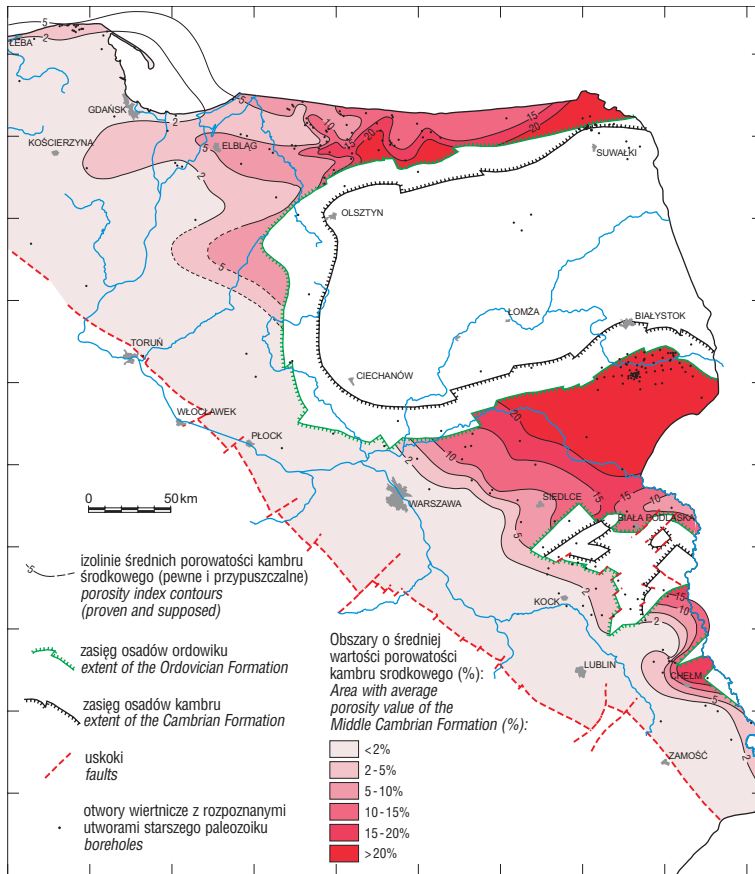
Skały zbiornikowe kambru

Istotnym czynnikiem dla akumulacji węglowodorów są właściwości zbiornikowe perspektywicznych poziomów (ryc. 3). Porowatość osadów kambru wskazuje na wyraźny związek z ich zróżnicowaniem facjalnym, a w tym w szczególności z wielkością zailenia piaskowców. Szczegółowe badania petrograficzne Rydzewskiej (1974), Sikorskiej (1988, 1998), Łabęckiego (1994) i in. wskazują, że w brzeżnej strefie platformy, gdzie udział przewarstwień ilastych w osadzie jest duży, zachodziły silne procesy sylifikacji, które istotnie ograniczały pierwotnie wysoką



Ryc. 2. Zmienność wskaźnika CAI w utworach ordowiku zachodniej części platformy wschodnioeuropejskiej (wg Nering-Lefeld i in., 1997)

Fig. 2. Variability of CAI values in the western part of the East-European Platform (after Nering-Lefeld et al., 1997)



Ryc. 3. Mapa średnich wartości porowatości osadów kambru środkowego
Fig. 3. Map of average porosity value of the Middle Cambrian Formation

porowatość piaskowców. Jedną z głównych przyczyn inicjujących proces sylikacji było ciśnienie warstw nadległych. Pod jego wpływem krzemionka uwalniana z przewartwień ilastych mogła migrować do porowatych osadów piaszczystych i wytrącała się w strefach mniejszych głębokości, a stąd także mniejszych ciśnień i temperatur. Szczegółowe korelacje profili litologicznych kambru środkowego z oznaczeniami porowatości warstw piaskowcowych w kambrze środkowym na wyniesieniu Łeby pozwoliły zauważyć (Stolarczyk i in., 1995), że nawet w warunkach generalnie silnej kwarcytyzacji poszczególne warstwy piaskowcowe w pionowym profilu wykazują znaczące różnice porowatości. W stropie i częściowo w spągu są silnie scementowane i mniej porowate (poniżej 2%) w partiach środkowych zaś porowatości są relatywnie wyższe i osiągają wartości nawet do 5–7%. W dotychczasowych badaniach kambru platformowego, zwłaszcza środkowego, zaobserwowano pewne wyraźne regionalne zależności w rozkładzie wielkości tego parametru, a mianowicie:

□ porowatość zależy od głębokości występowania osadów, a jej wzrost następuje w kierunku regionalnego wzniosu warstw kambru; dalej na NE od brzegu platformy, gdzie kambr leży płycej w osadach dominują piaskowce, porowatość jest wysoka, natomiast wraz z rosnącą głębokością zalegania utworów kambryjskich proces sylikacji nasila się powodując zmniejszanie porowatości między-

ziarnowej; jednak sylikacja nie jest prostą funkcją obecnej głębokości występowania osadów, a o jej wielkości decydowały warunki w jakich znalazł się osad w czasie nasilenia procesów kwarcytyzacji;

□ w obszarach lokalnych wyniesień porowatość jest relatywnie większa w obniżeniach zaś mniejsza;

□ ze wzrostem porowatości wzrasta również przepuszczalność;

□ ponadto obserwuje się znaczne zróżnicowanie porowatości i przepuszczalności w profilu pionowym. W stropie kambru środkowego występują najczęściej piaskowce silnie scementowane i zwarte o znacznie obniżonych wartościach porowatości i przepuszczalności.

Mapa średnich porowatości piaskowców kambru środkowego wskazuje, że w brzeżnej strefie platformy, tj. na SW od Kocka–Warszawy–Kościerzyny i Łeby porowatość kambru wynosi 1–2%, w pobliżu wschodniej granicy państwa zaś osiąga 20% (ryc. 3). Przebieg izolinii średniej porowatości równej 2% traktować można na obecnym etapie rozpoznania omawianego obszaru jako południowo-zachodnie ograniczenie perspektyw poszukiwawczych w kambrze platformowym Polski. Występowanie akumulacji węglowodorów na wyniesieniu Łeby uzasadnia przyjęcie tej granicy na izolacji 2%. Wszystkie odkryte tu złoża mieszczą się pomiędzy izoliniami 2 i 5% średniej porowatości kambru środkowego. Choć na zachód od izolinii równej 2% mogły w kambrze występować lokalnie poziomy o nieco większej porowatości, generalnie osady te nie roszą nadziei na uzyskanie przyływu węglowodorów. Pewien dodatni wpływ na polepszenie właściwości zbiornikowych w strefie brzeżnej platformy może mieć szczelinowatość (Strzetelski, 1979). Powoduje ona, że nawet skała nieporowata może być przepuszczalna. Silniejsze zaangażowanie tektoniczne i większa podatność skał na odkształcenia nieciągłe ze względu na wyższy stopień diagenetyzacji kompleksu staropaleozoicznego w tej strefie stwarza warunki powstawania szczelin. Wstępne badania tego typu zjawisk na wyniesieniu Łeby prowadzone w IGNiG (Lenk i in., 1993) wskazują, że szczelinowatość skał zbiornikowych kambru ma ograniczone znaczenie ze względu na trudności trafnego jej prognozowania. Główną zatem rolę w ocenie warunków zbiornikowych kambru odgrywa porowatość i przepuszczalność porowa.

Warunki hydrogeologiczne

Skały zbiornikowe kambru zostały przykryte grubymi seriami skał nieprzepuszczalnych ordowiku i syluru. Potwierdzają to w pełni badania wód kambryjskich. Badania hydrogeologiczne (Bojarski, 1996) ujawniają w kambrze platformy poziomą strefowość hydrologiczną analogiczną do rozkładu facji i warunków zbiornikowych. Solanki kambryjskie należą do typu wód chlorkowo-wapniowych o stosunkowo wysokim stopniu przeobrażenia

chemicznego przy $r_{Na} : r_{Cl}$ poniżej 0,6. W regionalnym ujęciu mineralizacja solanek wzrasta od peryferyjnych do centralnych części basenu. Największe mineralizacje o wartościach wynoszących powyżej 200g/l stwierdzono w otworach zlokalizowanych w głębszej części platformy (Okuniew IG-1). Małe wartości mineralizacji występują w krańcowo wschodnich rejonach kraju, a po części także w pobliżu wychodni osadów kambru na stokach wyniesienia mazursko-suwalskiego i łukowsko-wisznickiego, gdzie brak jest izolacji kambru nieprzepuszczalnymi węglanowymi osadami ordowiku i ilastymi syluru (ryc. 1, 4). W głębokich partiach basenu mineralizacja jest bardziej wyrównana, a jej zmiany nie następują skokowo. Ze wzrostem mineralizacji na ogół wzrasta także stopień metamorfizmu wód, który nie przekracza 0,3. W pobliżu wychodni kambru, a zwłaszcza w otworach usytuowanych w bliskim sąsiedztwie stref dyslokacyjnych (np. w rejonie Barcian we wschodniej części syneklizy) zaobserwowano lokalnie znaczne zmniejszenie mineralizacji wód kambryjskich (ryc. 4). Można zatem przyjąć, że dyslokacje te są drogami łatwiejszego pionowego przepływu wód, wcześniej natomiast mogły także odgrywać destrukcyjną rolę w procesie akumulacji węglowodorów. Niskie wartości mineralizacji wód kambryjskich, świadczące o gorszych warunkach jego uszczelnienia we wschodniej części polskiego wycinka platformy, można więc przyjąć jako jedno z kryteriów oceny prognoz ropogazoności i wyznaczenia wschodniej granicy optymalnej strefy dla występowania i poszukiwań węglowodorów.

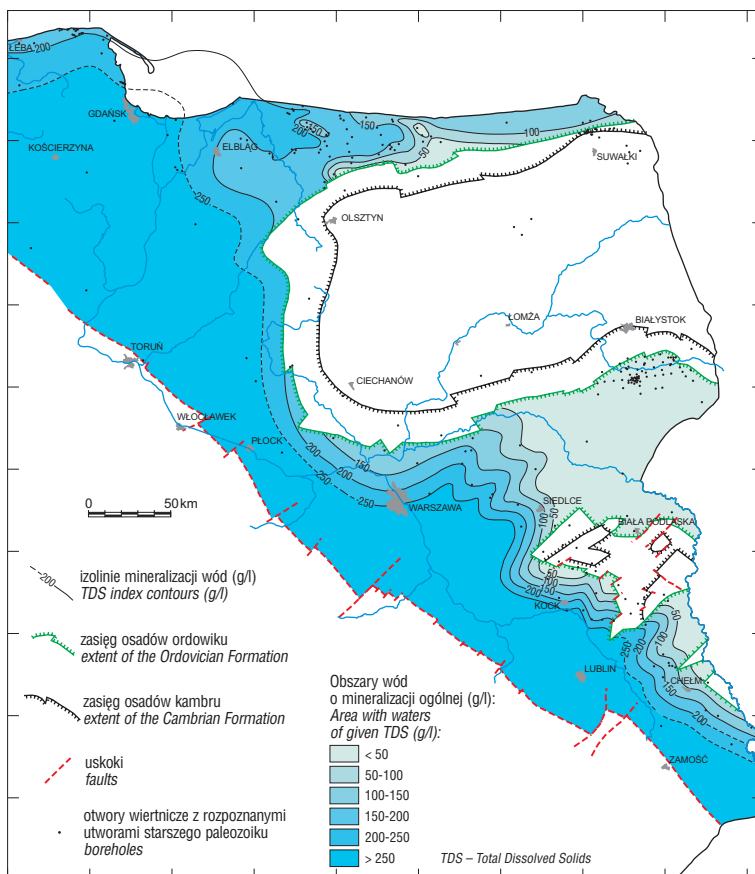
W roponośnej części syneklizy perybałtyckiej mineralizacja wód kambryjskich wynosi z reguły 100–200g/l, w

Obwodzie Kaliningradzkim 120–200 g/l, a najmniejszą mineralizację wielkości 50g/l jaka towarzyszyła akumulacji węglowodorów stwierdzono na Łotwie na złożu Kułdiga. Przez analogię tę wielkość przyjęto jako jeden ze wskaźników określających w miarę korzystne warunki zachowania węglowodorów w polskiej części obszaru platformowego.

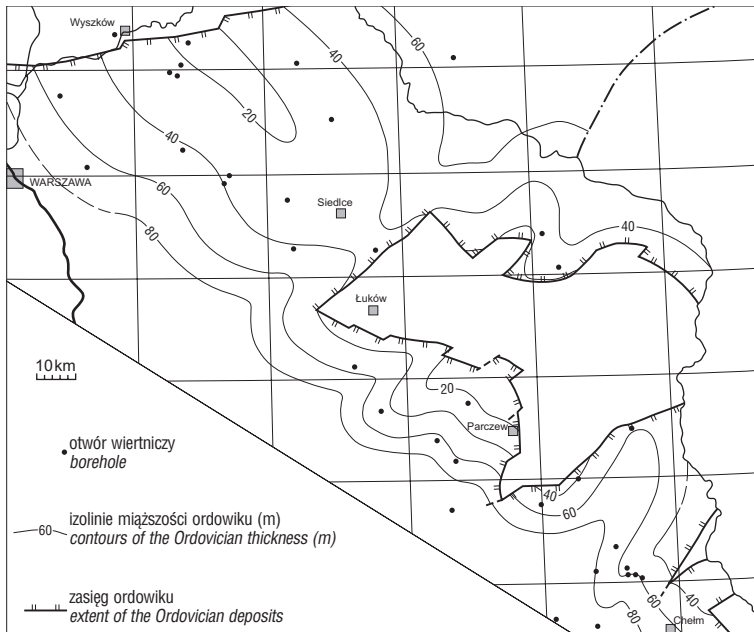
Regionalne warunki tektoniczne akumulacji węglowodorów

Niezmiernie ważnym dla oceny możliwości akumulacji i zachowania węglowodorów jest określenie zasięgu skał uszczelniających, ich miąższości i stopnia zaangażowania tektonicznego. Rolę skał uszczelniających dla kambru spełniają w większości osady węglanowe ordowiku i ilowce syluru. Na ich obecność i współczesny zasięg największy wpływ wywarła posylurska przebudowa planu strukturalnego pokrywy osadowej na platformie wywołana fałdowaniem obszaru geosynkinalnego rozciągającego się na zachodzie (Dadlez, 1998). Kompresyjne naprężenia na platformie w czasie ruchów kaledońskich i waryscyjskich wzdłuż kierunku SW–NE stwarzały sprzyjające warunki formowania pułapek i akumulacji węglowodorów wzdłuż dyslokacji zgodnych z brzegiem platformy. Uaktywnienie w tym czasie systemu poprzecznych do brzegu platformy dyslokacji i zróżnicowanych głównie pionowych ruchów fundamentu platformy było przyczyną ostatecznego wyodrębnienia i uformowania w jej obrębie wyniesionych i obniżonych jednostek tektonicznych (ryc. 1). Późniejsze intensywne procesy erozji w obszarach wyniesień mazursko-suwalskiego, łukowsko-wisznickiego i kumowskiego doprowadziły do usunięcia prawie całej pokrywy skał kompleksu staropaleozoicznego. Przed erozją ocalały jedynie osady dolnych ogniw kambru na wyniesieniu kumowskim i częściowo łukowsko-wisznickim. Ukształtowany w wyniku erozji zasięg nieprzepuszczalnych osadów ordowiku i syluru jest także jednym z istotnych czynników ograniczających możliwości poszukiwań węglowodorów w kambrze.

Kompleks osadów staropaleozoicznych na zboczach wyniesień jest silnie zdyslokowany i posiada zdecydowanie większe nachylenie w kierunku osiowych stref platformowych obniżeń lub brzegu platformy dyslokacje na stokach wyniesień w dewonie i karbonie były uskoki normalnymi, stanowiąc raczej drogi destrukcji złóż węglowodorów. W tego typu warunkach obecność i możliwość udokumentowania roponośnych



Ryc. 4. Mapa mineralizacji wód kambru środkowego
Fig. 4. Map of water mineralization (TDS) of the Middle Cambrian Formation



Ryc. 5. Mapa miąższości osadów ordowiku w obniżeniu podlaskim
 Fig. 5. Thickness map of the Ordovician deposits in Podlasie Depression

lokalnych elementów strukturalnych wydaje się mniej prawdopodobna. Północno-wschodnią granicę realnych perspektyw poszukiwań węglowodorów w kambrze określają zatem:

- zasięg osadów ordowiku przykrywających serie zbiornikowe kambru,
- mineralizacja wód kambryjskich większa niż 50g/l,
- sprzyjające warunki strukturalne formowania i zachowania złóż.

Strefy i obszary perspektywiczne

Przedstawione dane geologiczne pozwalają w kambrze platformowym NE Polski wyznaczyć strefy i obszary o różnych warunkach akumulacji i możliwości poszukiwawczych węglowodorów (ryc. 7).

1. Mało perspektywiczna strefa poszukiwań węglowodorów. Osady kambru leżą tu na wyraźnie pochylonym stoku krystalicznego fundamentu platformy na głębokości powyżej 3000 m, wykształcone w facji ilasto-piaskowcowej, silnie scementowane i zwarte, są przykryte grubymi seriami młodszych skał nieprzepuszczalnych dla ewentualnej migracji węglowodorów. Jest to obszar bardzo ograniczonych możliwości poszukiwań węglowodorów ze względu na bardzo słabe właściwości zbiornikowe skał kambryjskich. Równocześnie jednak, w następstwie silnej diagenety, osady kambru są tu bardziej podatne na odkształcenia nieciągłe. W tych warunkach lokalnie bardzo niska porowatość międzyziarnowa skał może być powiększona o pojemność szczelinową. Znaczenie tego typu kolektorów jest jednak ograniczone i trudne do prognozowania. Z tych względów za zdecydowanie niecelowe uważamy podejmowanie akcji poszukiwawczych w kambrze obniżenia gdańskiego lub rowu lubelskiego (ryc. 1).

2. Perspektywiczna strefa poszukiwań węglowodorów. Obszar ten leży bezpośrednio na wschód od wyżej

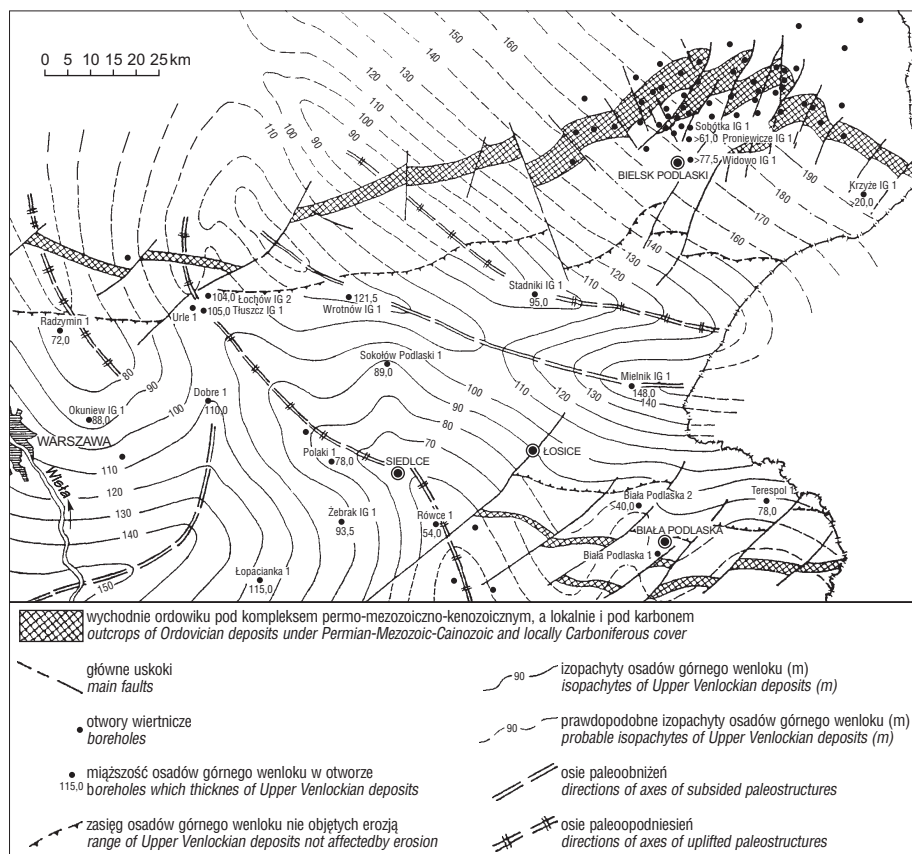
określonej, mało perspektywicznej strefy brzeżnej, a od wschodu jest ograniczony głównie zasięgiem młodszych serii uszczelniających i wielkością mineralizacji wód kambryjskich. Osady kambryjskie kwalifikowane są w tej strefie jako macierzyste dla generowania węglowodorów, a równocześnie w znacznej części ich profilu występują poziomy o korzystnej charakterystyce zbiornikowej. W tego typu warunkach kambru platformowego odkryto dotychczas złoża węglowodorów na wyniesieniu Łęby i poza północną granicą kraju. Akumulacje węglowodorów mogą tu występować w pułapkach typu litologicznego i strukturalnego. Aktualny stan rozpoznania tej strefy pozwala wyróżnić tu dodatkowo obszary o optymalnych warunkach akumulacji węglowodorów i pierwszoplanowym znaczeniu dla poszukiwań:

A) Paleowyniesienie Siedlec. Paleowyniesienie to znajduje się w środkowej części obniżenia podlaskiego na NW przedłużeniu wyniesienia łukowsko-wisznickiego. W rozwoju kompleksu staropaleozoicznego podniesienie zaakcentowało się wzrostem poziomów

piaskowcowych w kambrze środkowym (Stolarczyk i in., 1997), a w ordowiku wyraźną redukcją miąższości (ryc. 5), jak również zmianami litologicznymi, polegającymi na większym udziale sedymentów płytszych facji (Modliński, 1992). Znaczne różnice litologiczne i redukcje miąższości niektórych ogniw syluru zaobserwowano tu także w czasie szczegółowych badań litologiczno-stratygraficznych syluru (Tomczyk & Tomczyk, 1979) — (ryc. 6). Można zatem przypuszczać, że lokalne formy strukturalne mogły tworzyć się tu już stosunkowo wcześniej, tj. przed główną fazą generowania węglowodorów. Wyznaczony na mapie (ryc. 7) obszar wysoko perspektywiczny zajmuje ok. 1600 km².

Dalsze prace badawczo poszukiwawcze powinny tu zmierzać do dokładniejszego poznania układu przestrzennego kompleksu osadów staropaleozoicznych i wyznaczenia pułapek złożowych.

B) Paleowyniesienie olsztyńskie. Paleowyniesienie olsztyńskie obejmuje obszar położony na zachód od Olsztyna na stoku wyniesienia mazursko-suwalskiego. Choć wyniesienie to nie zostało dotychczas rozpoznane wierczeniami, o jego obecności i charakterze świadczą wyniki regionalnych badań sejsmiki zwłaszcza refrakcyjnej, a w sposób pośredni także rezultaty wierceń usytuowanych w bliskim jego sąsiedztwie (Prabuty IG-1, Olsztyn IG-1 i 2). Sygnalizowane na pojedynczych profilach refrakcyjnych płytsze występowanie podłoża krystalicznego fundamentu platformy na zachód od Olsztyna pozostaje w pełnej zgodności z pomiarami stopnia geotermicznego w otworach Olsztyn IG-1 i Prabuty IG-1. W otworze Olsztyn IG-1, położonym w strefie wychodni osadów kambru na północnym skłonie domniemanego wyniesienia olsztyńskiego, wartość stopnia geotermicznego określono na 56 m/1°C. Bardzo zbliżoną wartość stopnia geotermicznego równą 51m/1°C stwierdzono w otworze Prabuty IG-1 usytuowanym ok. 60 km na zachód od Olsztyna IG-1, a zarazem także bezpośrednio na północ od wyniesienia olsztyńskiego (Depowski i in., 1979). Choć stopień geotermiczny nie jest prostą funkcją głębokości skał krystalicznych funda-



Ryc. 6. Mapa miąższości osadów górnego wenloku (piętro Bielsk), w obniżeniu podlaskim (wg Tomczyk & Tomczyka, 1979)

Fig. 6. Thickness map of Upper Venlockian deposits (Bielsk series) in Podlasie Depression (after Tomczyk & Tomczyk, 1979)

mentu platformy, tak relatywnie wysokie jego wartości wskazują na ich płytsze występowanie. Zbieżny z tym poglądem jest również obraz strukturalny stropu kambru przedstawiony przez Modlińskiego i Żelichowskiego (Paczeńska & Sikorska, 1997).

Na podstawie szczegółowych badań litologiczno-sedymentologicznych kambru platformowego Jaworowski (1997) przyjmuje model facjalny, w którym zakłada istnienie na zachodnim skłonie platformy wiele synsedymacyjnych lokalnych wyniesień dna zbiornika stwarzających warunki do powstania rozległych stref akumulacji piaskowców w postaci łobów wychodzących z północno-wschodnich części obszaru, gdzie przeważała depozycja materiału piaszczystego. Wkraczały one na obszar o dominacji heterolitów mułowcowych zanikając w kierunku południowo-zachodnim, tj. do brzegu platformy wschodnioeuropejskiej. Tego typu osady zdaniem Jaworowskiego należą do bardzo obiecujących z punktu widzenia możliwości nagromadzeń węglowodorów. Jedną z takich form przedstawia obraz szkicu litologiczno-paleogeograficznego kambru dolnego w obszarze położonym na zachód od Olsztyna (Jaworowski, 1997).

O istnieniu obecności paleowyniesienia olsztyńskiego świadczy zróżnicowanie facji osadów dolnego syluru (dolnego i środkowego landoweru wg Tomczyka, 1968). U podstawy osadów syluru we wschodniej części syneklizy leży kompleks jasnoszarych wapieni o strukturach bulastych i gruzłowych, w których były i gruzły pokrywają powłoki ilaste. Jaworowski i Modliński (1968) wiążą

powstanie tego typu osadów z procesem synsedymacyjnego budinażu, tj. rozrywania warstwek wapieni pod wpływem pionowych ruchów dna zbiornika sedymencyjnego zachodzących na zboczu wyniesienia. Z rozkładu miąższości ocalałych przed posylurską erozją wapieni gruzłowych przedstawionych w opracowaniach Jaworowskiego i Modlińskiego (1968), a także Depowskiego i in. (1979), wynika, że wyniesienie to przebiegało od rejonu Stoniszek i Kętrzyna w kierunku Olsztyna i dalej na zachód. Obecność tego wyniesienia w czasie sedymencji dolnosylurskiej, w połączeniu z ruchami fazy takońskiej (Tomczyk, 1968), spowodowała powstanie sprzyjających warunków dla rozwoju struktur budinażowych na jego północnym stoku.

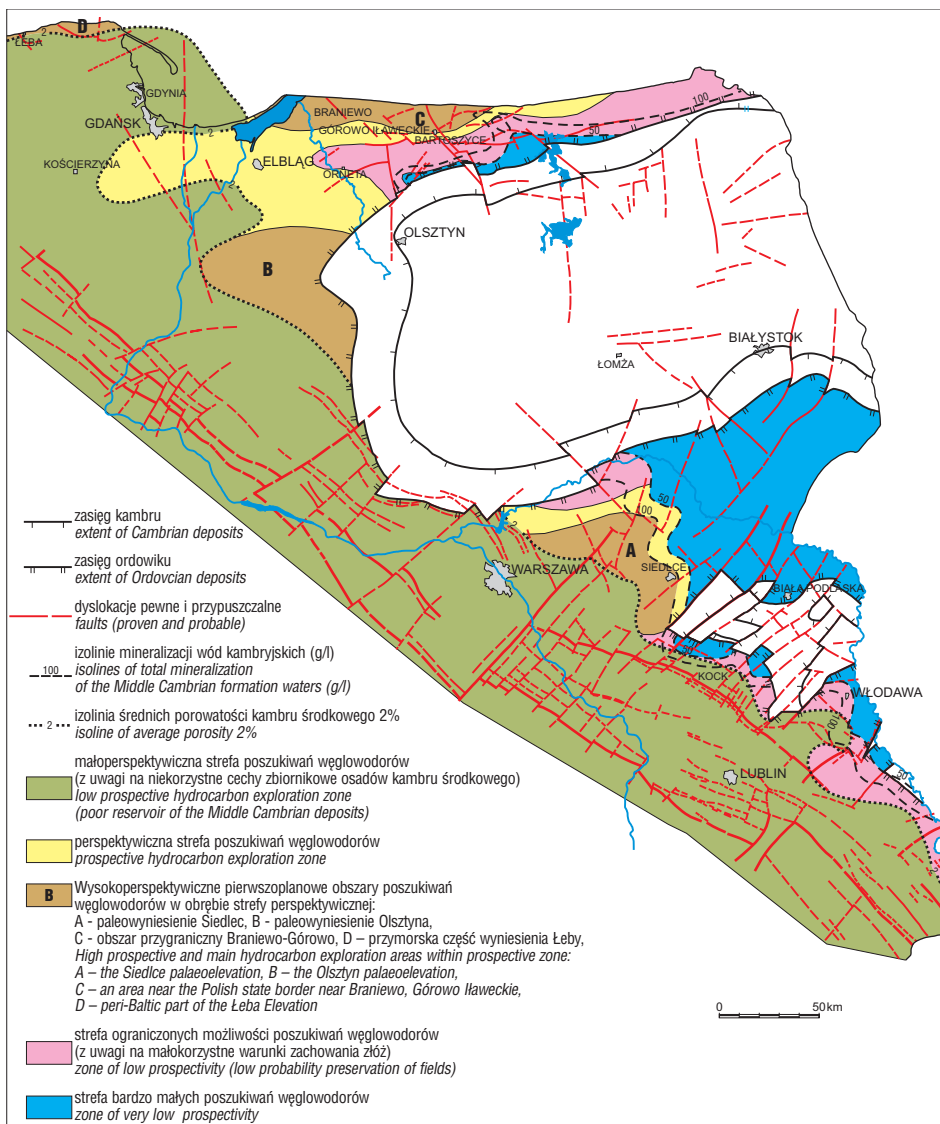
W cechsztynie paleowyniesienie olsztyńskie akcentuje się wyraźnie zmniejszeniem miąższości zwłaszcza starszych cyklotemów Z1 i Z2, a w ich obrębie znacznie szerszym rozwojem płytszych facji, tj. facji węglanowej i siarczanowej (Depowski i in., 1979; Wagner, 1994).

Obszar ten mieści się w strefie przewidywanych korzystnych cech zbiornikowych osadów kambru. Za taką oceną przemawiają obserwacje regionalnych zmian cech zbiornikowych kambru. Dane o wielkości porowatości i przepuszczalności piaskowców kambru w poszczególnych otworach wiertniczych jednoznacznie wskazują, że osady te w strefach staropaleozoicznych podniesień charakteryzują się relatywnie korzystniejszymi cechami zbiornikowymi. Perspektywiczne osady kambru przykryte są tu młodszymi uszczelniającymi utworami ordowiku i syluru o znacznej miąższości.

Przed wznowieniem akcji wiertniczo-poszukiwawczej koniecznym będzie wykonanie tu nowoczesnych badań sejsmiki refleksyjnej.

C) Przygraniczny obszar Braniewo-Górowo Haweckie. Staropaleozoiczny kompleks osadów charakteryzuje się tu stosunkowo płaskim i spokojnym ułożeniem, niewielkimi zrzutami uskoku i stąd korzystniejszymi warunkami do formowania i zachowania akumulacji węglowodorów. Najbardziej perspektywiczne osady kambru środkowego posiadają tu korzystne cechy zbiornikowe (ryc. 3) i przykryte są seriami relatywnie dużej miąższości skał uszczelniających. Potwierdzeniem dobrej izolacji kolektorów kambryjskich jest wysoka mineralizacja wód wynosząca 150–200g/l (ryc. 4).

Strzetelski (1979) na podstawie badań litofacjalnych, w tym w szczególności udziału piaskowców w profilu kambru środkowego, nie widział perspektyw poszukiwaw-



Ryc. 7. Strefy perspektywiczne i pierwszoplanowe obszary poszukiwań węglowodorów w kambrze środkowym NE Polski

Fig. 7. Prospective zones and main areas assigned for petroleum exploration of the Middle Cambrian deposits of NE Poland

czych na wschód od południka Pasłęka, gdyż piaskowce kambryjskie „są tutaj zbyt miększe, a profil jest słabo rozczłonkowany i pozbawiony ekranujących przewarstwień ilastych, co uniemożliwia akumulację węglowodorów”. Kryterium to wydaje się nieprzekonywujące wobec licznych w tym obszarze bezpośrednich przejawów węglowodorów w rdzeniach i w badaniach złożowych, jak również odkrycia złoża ropy naftowej na północ od Bartoszczyca w Obwodzie Kaliningradzkim w odległości zaledwie kilku kilometrów od granicy państwa (informacja ustna w ramach współpracy z geologami rosyjskimi). Natomiast w pełni zgodzić się należy z negatywną oceną wspomnianego autora w odniesieniu do występowania węglowodorów w osadach kambryjskich na obszarze przyległym bezpośrednio do wyniesienia mazursko-suwałskiego (patrz niżej strefa 3 i 4). Nieco dalej na północ od granicy Polski w równoleżnikowej strefie wyniesień ujawniono w stropie kambryjskiego kilkanaście złóż ropy naftowej. Pozwala to oczekiwać pozytywnych wyników poszukiwań także po stronie polskiej w bezpośrednio przyległym obszarze do północnej granicy państwa.

Podstawową trudnością w dotychczasowych poszukiwaniach węglowodorów w tym obszarze było dokładne określenie pułapek złożowych. Istotną przeszkodą w uzyskaniu dobrych jakościowo wyników sejsmicznych są różnicowania litologiczne utworów salinarnego cechsztynu. Jak się okazuje obecność lokalnych wałów anhydrytowych charakteryzujących się wysokimi prędkościami fal sejsmicznych może powodować błędy w odwzorowaniu głębokości staropaleozoicznych horyzontów sejsmicznych nawet do 25 m (Klecan & Głogowski, 2002; Górecki, 2002). Uniknięcie takich błędów jest możliwe przez dodatkowe potwierdzenie obecności pułapek kambryjskich istnieniem redukcji miąższości osadów w utworach młodszych od kambryjskich, tj. redukcji miąższości serii skalnych pomiędzy horyzontami sejsmicznymi (Z1–Or — spąg cechsztynu — strop ordowiku lub Or–Cm2 strop kambryjski — strop kambryjski). Tego typu praktyka stosowana w Obwodzie Kaliningradzkim daje bardzo dobre wyniki.

D) przymorska część wyniesienia Łeży. Roponośność kambryjskiego wyniesienia Łeży potwierdzona została dotychczas

odkryciem kilku niewielkich złóż. Akumulacje węglowodorów występują w poziomach piaskowców o mało korzystnych warunkach zbiornikowych (ryc. 3), stąd też uzyskiwane przyplawy ropy naftowej są niewielkie i wynoszą od jednej do kilku ton na dobę. Średnia porowatość piaskowców kambryjskich wynosi tu 2–5%, a w roponośnych poziomach piaskowcowych ok. 5–7%.

W dotychczasowych poszukiwaniach roponośne okazały się dwa przystropowe poziomy piaskowcowe, przy czym faktycznie zdolność transportową mediów złożowych posiadają tylko kilkumetrowej miąższości nieco słabiej zsylikowane piaskowce występujące w środkowych i dolnych częściach poziomów piaskowcowych. Pułapki złożowe są więc typu strukturalno-litologicznego. Warunki strukturalne w kambrze rozpoznano tu pracami sejsmicznymi w latach 90. w sposób zadawalający.

Dalsze prace poszukiwawcze powinny w pierwszej kolejności zmierzać do wyznaczenia stref o korzystniejszych cechach zbiornikowych wybranych horyzontów piaskowcowych kambryjskiego. Jak się wydaje zada-

nie to jest możliwe do rozwiązania metodami sejsmicznymi. Wstępne wyniki tego typu prac (Wróbel i in., 2002) są zachęcające.

3. Strefa ograniczonych możliwości poszukiwań węglowodorów. Przebudowa planu strukturalnego platformowej pokrywy osadowej w okresie dewonu i karbonu wzmogła migrację węglowodorów z obszarów najbardziej obniżonych. W tym czasie następowało intensywne podnoszenie się wyniesienia mazursko-suwańskiego i łukowsko-wisznickiego. Konsekwentne podnoszenie się tych wyniesień oraz wyodrębnionych bloków na ich stokach wzmogło procesy erozyjne, co nie sprzyjało zachowaniu węglowodorów, gdyż mogło spowodować destrukcję złóż. Dotyczy to w szczególności północnego i południowego stoku wyniesienia mazursko-suwańskiego.

Raczej kompresyjna geneza dyslokacji zgodnych z zachodnim brzegiem platformy w okresie waryscyjskim sprzyjała nieco większej możliwości hamowania migracji w przydyslokacyjnych strefach spękań na zachodnim stoku wyniesienia mazursko-suwańskiego i być może także wzdłuż strefy dyslokacyjnej Kocka.

4. Strefa bardzo małych perspektyw poszukiwawczych węglowodorów. Obejmuje ona krańcowo wschodnie rejonu kraju (ryc. 7), gdzie osady kambru występują na głębokości mniejszej niż 1500 m, mają bardzo korzystne cechy zbiornikowe, lecz są niedostatecznie uszczelnione młodszymi osadami o czym świadczy bardzo niska mineralizacja wód złożowych. Ponadto skały kambryjskie i młodsze zawierają niedojrzały materiał organiczny.

Przedstawiona ocena perspektyw poszukiwań węglowodorów w kambrze na platformie prekambryjskiej w Polsce jest rozwinięciem i udokumentowaniem też częściowo zarysowanych we wcześniejszych publikacjach geologicznych Depowskiego, Tyskiego (1968), Depowskiego, Stolarczyka, Tyskiego (1979) i Stolarczyka i in. (1995, 1997). Uwzględnienie tych ocen w racjonalnie pojętym procesie poszukiwań węglowodorów jest konieczne dla uzyskania korzystnych efektów złożowych.

Literatura

- AREN B., JAWOROWSKI K., JUSKOWIAKOWA M. & LENDZION K. 1979 — The vendian and Lower Cambrian in the Polish part of the East-European Platform. *Biul. Inst. Geol.*, 318: 43–58.
- BOJARSKI L. 1996 — Atlas hydrochemiczny i hydrodynamiczny paleozoiku i mezozoiku oraz ascenzyjnego zasolenia wód podziemnych na Niżu Polskim. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
- BURZEWSKI W. 1998 — Problems of oil potential of the Polish petroleum provinces. *Oil and Gas News from Poland*, 8: 91–99.
- DADLEZ R. 1990 — Tektonika południowego Bałtyku. *Kwart. Geol.*, 34: 1–20.
- DADLEZ R. 1998 — Epikontynentalne baseny sedymentacyjne w Polsce od dewonu po kredę — zależności rozwoju od budowy skorupy krystalicznej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 165: 17–30.
- DEPOWSKI S. & TYSKI S. 1968 — Budowa geologiczna syneklizy perybałtyckiej i warunki występowania bituminów. *Prz. Geol.*, 16: 324–330.
- DEPOWSKI S., STOLARCZYK F. & TYSKI S. 1979 — Ropo- i gazonośność paleozoiku polskiej części syneklizy perybałtyckiej. *Prz. Geol.*, 27: 593–599.
- GÓRECKI W. 2002 — Analiza litofacyjna i strukturalna oraz określenie stref i rejonów optymalnych do podjęcia poszukiwań złóż ropy naftowej i gazu ziemnego w utworach kambru wschodniej części syneklizy perybałtyckiej. Etap I: Reprocessing i reinterpretacja przekrojów sejsmicznych na koncesji PGNiG S.A., Arch. PGNiG — BG Geonafta.
- GROTEK I. 1999 — Origin and thermal maturity of the organic matter in the Lower Palaeozoic rock of the Pomeranian Caledonides and their foreland (northern Poland). *Geol. Quart.*, 43: 297–312.
- JAWOROWSKI K. & MODLIŃSKI Z. 1968 — Dolnosylurskie wapienie gruzłowe w północno-wschodniej Polsce. *Kwart. Geol.*, 12: 493–505.
- JAWOROWSKI K. 1979 — Transgresja morza kambryjskiego w północnej Polsce. *Pr. Inst. Geol.*, 40.
- JAWOROWSKI K. 1997 — Depositional environments of the Lower and Middle Cambrian sandstone bodies; Polish part of the East European Craton. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 377.
- JAWOROWSKI K. 1997 — Warunki depozycji ciał piaszczystych kambru dolnego i środkowego w polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej. *Biul. Państw. Inst. Geol.*
- KLECAN A. & GŁOGOWSKI L. 2002 — Opracowanie badań sejsmicznych reprocessing i reinterpretacja. Temat: Górowo Iławeckie. Arch. PGNiG — BG Geonafta.
- LENDZION K. 1972 — Stratygrafia kambru dolnego na obszarze Podlasia. *Biul. Inst. Geol.*, 233: 69–117.
- LENDZION K. 1983 — Rozwój kambryjskich osadów platformowych Polski. *Pr. Inst. Geol.*, 105.
- LENK T. 1993 — Badania szczelinowatości [W:] — Końcowe opracowanie wyników badań geochemicznych, własności petrofizycznych i petrograficznych skał zbiornikowych, uszczelniających, szczelinowatości i karotazu geomikrobiologicznego — Etap II. Grocholski P. i Zespół Arch. Inst. Naft., Kraków.
- ŁABĘDZKI J. 1994 — Ocena stopnia diagenety i własności zbiornikowych utworów kambru na wyniesieniu Łęby. Arch. PGNiG — BG Geonafta.
- MERTA H. 1991 — Analiza możliwości generowania i akumulacji węglowodorów w osadach paleozoicznych wyniesienia Łęby. Arch. PGNiG — BG Geonafta.
- MODLIŃSKI Z. 1982 — Rozwój litofacyjny i paleotektoniczny ordowiku na obszarze platformy prekambryjskiej w Polsce. *Pr. Inst. Geol.*, 102.
- NARKIEWICZ K. & NEHRING-LEFELD M. 1993 — Zastosowanie wskaźników CAI w analizie basenów sedymentacyjnych. *Prz. Geol.*, 41: 757–763.
- NEHRING-LEFELD M., MODLIŃSKI Z. & SWADOWSKA E. 1997 — Termal evolution of the Ordovician in the western margin of the East-European Platform: CAI and Ro data. *Geol. Quart.*, 41: 129–137.
- RYDZEWSKA K. 1974 — Kambr. Skały platformy prekambryjskiej w Polsce. Cz. 2. Pokrywa osadowa. *Pr. Inst. Geol.*, 74: 42–48.
- SIKORSKA M. 1988 — Mikrofacje skał osadowych kambru środkowego w polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 126.
- SIKORSKA M. & PACZEŚNA J. 1997 — Quartz cementation in Cambrian sandstones on the back ground of their burial history (Polish part of the East European Craton). *Geol. Quart.*, 41: 265–272.
- STOLARCZYK F. & TYSKI S. 1972 — Geologiczne warunki występowania węglowodorów w osadach kambru we wschodniej części syneklizy perybałtyckiej. *Prz. Geol.*, 20: 371–379.
- STOLARCZYK F. 1979 — Powstawanie lokalnych form tektonicznych w polskiej części syneklizy perybałtyckiej na tle rozwoju geologicznego całej jednostki. *Acta Geol. Pol.*, 29: 519–558.
- STOLARCZYK F., STOLARCZYK J., WYSOCKA H. & BUCHELT M. 1995 — Rozkład przestrzenny skał zbiornikowych kambru w aspekcie akumulacji węglowodorów na wyniesieniu Łęby. *Nafta—Gaz*, 51: 81–87.
- STOLARCZYK F., STOLARCZYK J., WYSOCKA H. & BUCHELT M. 1997 — Strefy perspektywiczne dla występowania węglowodorów w kambrze lubelsko-podlaskiej części starej platformy. *Prz. Geol.*, 45: 171–175.
- STOLARCZYK J. 1988 — Rozwój koncepcji poszukiwawczych w starszym paleozoiku platformy prekambryjskiej. *Prz. Geol.*, 36: 257–261.
- STRZELECKI W. 1979 — Litofacja i szczelinowatość roponośnych utworów kambru w syneklizie perybałtyckiej. *Pr. Geol.*, 116.
- SWADOWSKA E. & SIKORSKA M. 1998 — Historia pogrzebania skał kambruna podstawie refleksyjności macerałów wityrinitopodobnych w polskiej części platformy wschodnioeuropejskiej. *Prz. Geol.*, 46: 699–706.
- TOMCZYK H. 1968 — Stratygrafia syluru w obszarze nadbałtyckim Polski na podstawie wierceń. *Kwart. Geol.*, 12: 15–34.
- TOMCZYKOWA E. & TOMCZYK H. 1979 — Middle Silurian in the Podlasie Depression (Eastern Poland). *Biul. Inst. Geol.*, 318: 59–103.
- WAGNER R. 1994 — Stratygrafia osadów i rozwój basenu cełsztyńskiego na Niżu Polskim. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, 146.
- WILK W. 1995 — Opracowanie badań sejsmicznych. Temat: Łeba—Żarnowiec. Arch. PGNiG — BG Geonafta.
- WITKOWSKI A. 1990 — Geodynamiczne i geotermiczne przesłanki ropo-gazonosności południowego Bałtyku. *Kwart. Geol.*, 34: 67–75.
- WRÓBEL K., GŁOGOWSKI L. & ZARZYKA M. 2002 — Opracowanie badań sejsmicznych — Temat: Łeba—Żarnowiec. Arch. PGNiG — BG Geonafta.