

Wacława Piesik-Buś

*Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno*

## Rezultaty modelowania hydrodynamicznego basenu permskiego monokliny przedsudeckiej dla oceny jego perspektyw złożowych

*Artykuł dedykowany śp. prof. Ludwikowi Zawiszy*

Podstawą klasyfikacji hydrodynamicznej basenów sedymentacyjnych są procesy różniące fazę płynną, a zwłaszcza czynniki związane z ruchem płynów złożowych. Zdefiniowanie typu basenu hydrodynamicznego polega na określeniu, w jakim stadium rozwoju znajduje się basen aktualnie: przed, w trakcie czy po inwazji wód infiltracyjnych.

Teoria akumulacji opracowana przez Huberta traktuje obowiązującą dotychczas w poszukiwaniach naftowych tzw. teorię antyklinalną jako szczególnie przypadek osiągnięcia równowagi płynów złożowych, która zachodzi w warunkach hydrostatycznych w wyniku działania sił grawitacji. Uogólnienie teorii akumulacji węglowodorów według Huberta [5, 6] dotyczy osiągnięcia stanu równowagi pomiędzy statyczną fazą kolektora a dynamiczną fazą płynów złożowych w zróżnicowanym systemie pułapek strukturalnych, stratygraficznych, litologicznych i mieszanych, przy założeniu, że wody wgłębne znajdują się w stanie regionalnego przepływu.

Jeżeli woda złożowa znajduje się w spoczynku, tzn. w stanie równowagi hydrostatycznej, powierzchnie kontaktów ropa–gaz, ropa–woda, gaz–woda układają się zwykle poziomo, a złożo znajduje się w szczycie struktury, natomiast złoża powstałe w warunkach hydrodynamicznych wykazują zawsze nachylenie powierzchni międzyfazowej woda–węglowodór w kierunku przepływu, przy czym kąt nachylenia jest większy dla ropy i niewielki dla gazu [3].

Złoża ropy i gazu mogą więc istnieć nie tylko w antyklinalach, ale także w terasach, nosach strukturalnych i innych formach strukturalnych niezamkniętych litologicznie.

Monoklina przedsudecka jest megastrukturą zbudowaną z kilku kompleksów strukturalnych: kaledońskiego, wa-

ryscyjskiego, laramijskiego oraz pokrywy polaramijskiej. Z punktu widzenia rozpoznania warunków akumulacji interesujące są kompleksy waryscyjski oraz laramijski. Kompleks waryscyjski, stanowiący podłoże dla utworów permu, zbudowany jest w swej najwyższej części z fliszowych utworów dolnokarbońskich, wykazujących wysoki stopień zaangażowania tektonicznego [12]. Utwory te uległy silnym procesom erozyjno-denudacyjnym, w wyniku których ukształtowała się ich zróżnicowana powaryscyjska powierzchnia morfologiczna. W zasięgu monokliny zaznacza się występowanie kilku jednostek strukturalnych [4, 7–15]. Są to:

- zapadlisko zielonogórskie, wypełnione osadami saksonu,
- wał wolsztyński, o długości ok. 200 km i szerokości 30–50 km, w większości pozbawiony osadów saksonu,
- zapadlisko poznańskie, wypełnione klastycznymi osadami saksonu, z udziałem zlepieńców w strefach brzeżnych,
- wyniesienie Myśliborza-Rokietnicy,
- zapadlisko pomorskie.

Elementy te miały istotny wpływ na warunki tworzenia osadów permskich, szczególnie czerwonego spągowca, których sedymentacja rozpoczęła się w największych obniżeniach i przechodziła stopniowo na obszary położone wyżej. Osady czerwonego spągowca (saksonu) pokryte są serią utworów anhydrytowo-solnych cechsztynu, a następnie triasu, jury oraz kredy. Najmłodszą pokrywą na całym obszarze tworzą utwory trzecio- i czwartorzędu reprezentujące kompleks polaramijski. W geotektonicznych kryteriach podziału waryscyjskiego systemu sedymentacyjno-orogenicznego dolnopermski basen czerwonego

spągowca odpowiada pozycji młodszej molasy postwaryscyjskiej [11].

Strukturalne granice autuńskiego basenu sedymentacyjno-wulkanicznego przekracza seria terygeniczných utworów saksonu, która nieznaczną luką stratygraficzną zalega na utworach autunu.

W polskiej części basenu dolnopermickiego wydziela się dwie zasadnicze strefy facjalne saksonu:

- ilasto-mułowcową typu playa, obejmującą centralną część basenu,
- piaskowcową, zajmującą brzeżne partie basenu, a w tym prawie cały obszar przedsudecki.

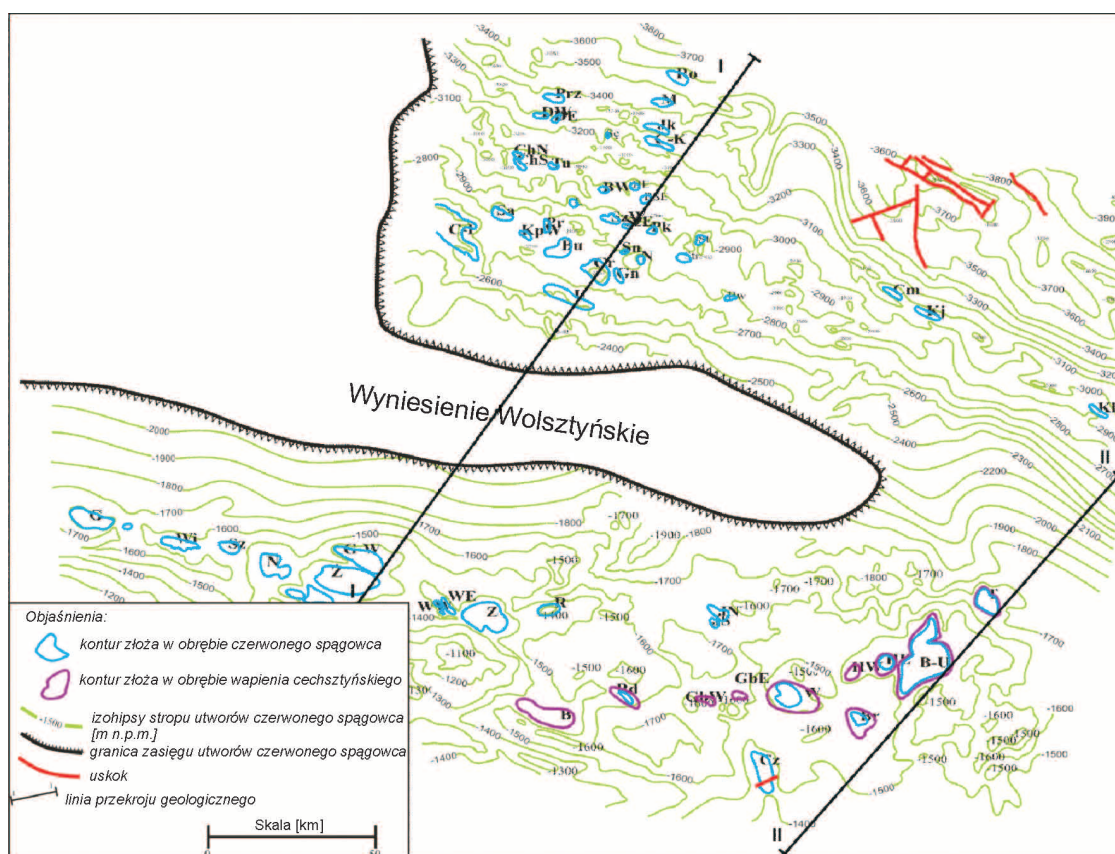
Zalegająca przekraczająco, w stosunku do kompleksu saksońskiego, cechsztyńska formacja ewaporatowa jest tu kwalifikowana jako spągowy kompleks pokrywy platformowej młodej platformy epiwaryscyjskiej [13, 14]. Tworzy ona regionalne uszczelnienie dla gazonośnego basenu czerwonego spągowca (rysunek 1).

Osady klastyczne czerwonego i białego spągowca przykryte są przez utwory cechsztyńskiego wapienia podstawowego. W spągowej partii tych utworów występuje przeważnie seria łupków miedzionośnych. Wapień podstawowy składa się z facji węglanowo-terygeniczných, występującej w brzeżnej części basenu, facji dolomitów

i wapieni masywnych oraz facji węglanowo-mułowcowej, dominującej w centralnej części basenu. Charakter strukturalny poziomu wapienia podstawowego zbliżony jest do obserwowanego w poziomie czerwonego spągowca. Wyjątek stanowią obszary o dużych miąższościach utworów węglanowych tworzących budowle rafowe lub rafopodobne (rysunek 2).

Układ przestrzenny utworów czerwonego spągowca jest złożony. Wpłynęły na to takie czynniki jak: ukształtowanie podpermickiej powierzchni morfologiczných, facjalno-litológiczne warunki powstawania osadów oraz ruchy górotwórcze, głównie fazy saalskiej. W strefach okalających obszary alimentacyjne (wyniesienie wolsztyńskie) powstawały fluwialne utwory autunu. Utwory te wykazują duże zróżnicowanie miąższości związane z sedymentogenezą na zróżnicowanym morfologiczním obszarze podłoża (rysunek 2).

Profil utworów czerwonego spągowca reprezentowany jest przez szare piaskowce drobnoziarniste, w różnym stopniu zwięzłe, i leżące niżej czerwono-rdzawe piaskowce drobno- i średnioziarniste, które partiami są rozsypliwe. Są to piaskowce o strukturze aleurytowo-psamitowej, teksturze bezładnej i partiami warstwowanej, bez wyraźnego uporządkowania frakcjonalnego. Złożone są w podstawowej



Rys. 1. Mapa strukturalna stropu czerwonego spągowca

masie z ziaren kwarcu, skał krzemionkowych, a także węglanów i ilowców. Spoiwo jest ilasto-krzemionkowo-żelaziste, w stropie węglanowe. Utwory osadowe saksonu wolno przybierają na miąższości ku południowi i szybko

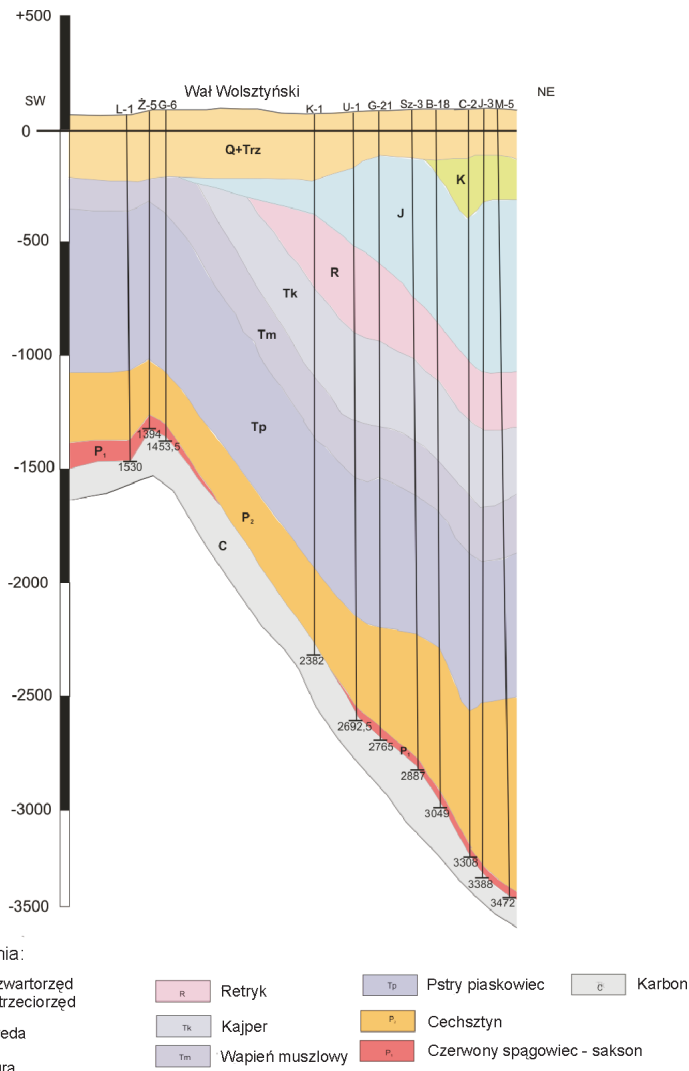
wykazują przesunięcia w pionie w granicach 100÷400 m. Bloki zrzucone przy dyslokacjach WNW-ESE znajdują się po stronie NNE, a przy dyslokacjach zbliżonych do południkowych – od strony zachodniej.

W programie badań hydrodynamicznych dla utworów czerwonego spągowca obszaru przedsudeckiego wykonano [15, 17] następujące mapy: strukturalną stropu czerwonego spągowca, przepuszczalności, mineralizacji wód wglębnych, hydrochemiczne wód wglębnych, potencjometryczną wód złożowych, gradientów naporów hydraulicznych, bezwzględnych wartości równych prędkości filtracji dla wody złożowej, przekrój hydrodynamiczny. Mapa strukturalna została przedstawiona na rysunku 1.

Mapę mineralizacji wód złożowych wykonano na podstawie analiz laboratoryjnych. Mineralizacja wód wglębnych w utworach saksonu monokliny przedsudeckiej mieści się w granicach od 221÷312 g/dm<sup>3</sup> (rysunek 3). Spadek mineralizacji następuje w rejonie wyniesienia wolsztyńskiego, po obu jego stronach. Wyniesienie to stanowi niejako zaporę dla przepływu wód wglębnych, wokół której następuje stopniowe wysładzanie się wód wglębnych.

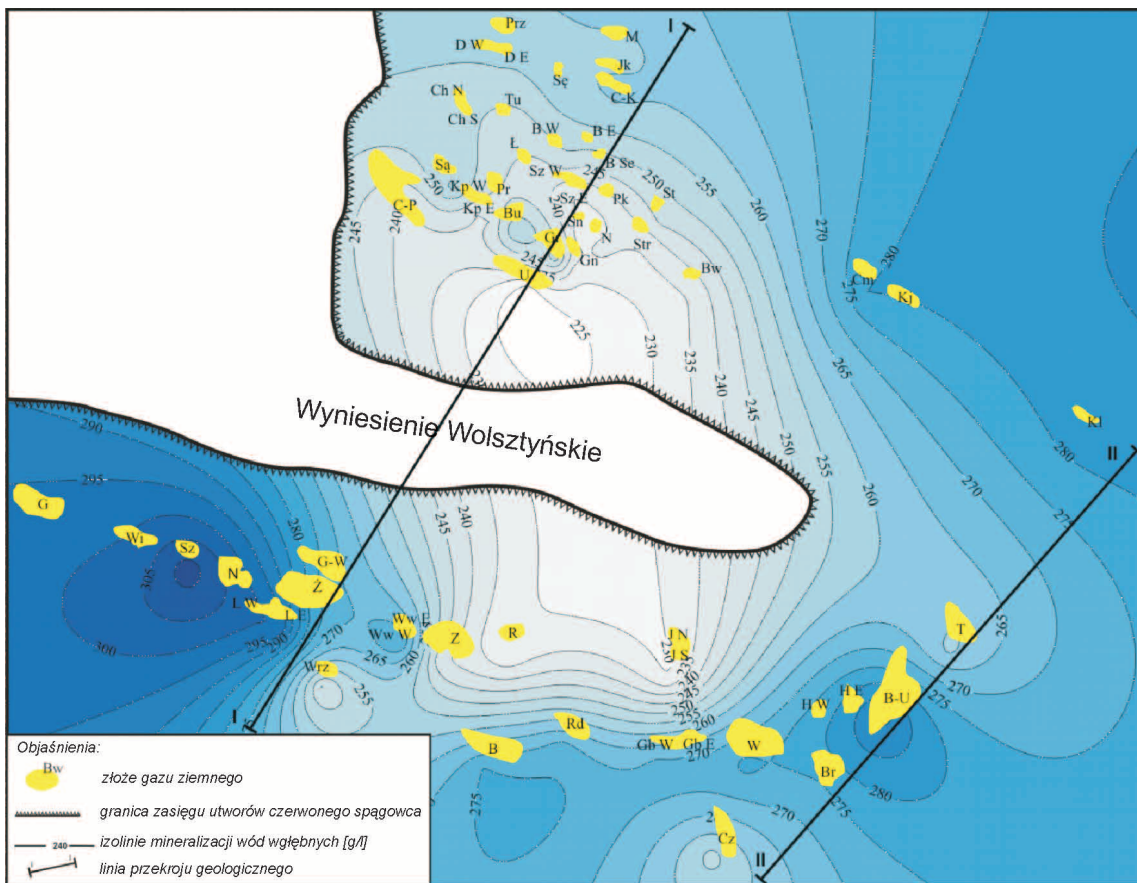
Charakterystykę składu chemicznego wód podziemnych powszechnie uważa się za jeden z pośrednich wskaźników prognoz ropo-gazonośności [16, 18, 20, 21, 22, 24]. Celem scharakteryzowania wód złożowych w utworach saksonu monokliny przedsudeckiej pod kątem występowania złóż węglowodorów wybrano grupę stosunków jonowych najczęściej stosowanych w geologii naftowej: rNa/rCl, rSO<sub>4</sub> · 100/rCl oraz Cl/Br. Wartość wskaźnika rNa/rCl pozwala na ocenę wskaźnika wymiany jonu sodowego przez jony wapniowe, określa

stopień metamorfizmu wód i wskazuje na strefy perspektywiczne [1, 2, 16, 18, 20, 21, 22, 24]. Podwyższone wartości wskaźnika rSO<sub>4</sub> · 100/rCl wskazują na współczesną infiltrację wód powierzchniowych i perspektywiczność [1, 2, 16, 18, 20, 21, 22, 24]. Z danych przedstawionych na mapach tych współczynników wynika, że wartości poszczególnych wskaźników hydrochemicznych wykazują podobny rozkład zmienności w analizowanym rejonie badań. Minimalne wartości współczynnika rNa/rCl (rysunek 4) występują w rejonie wyniesienia wolsztyńskiego i w rejonie jego przedłużenia w kierunku wschodnim, natomiast w kierunku południowym, w rejonie złóż gazu ziemnego – Janowo,

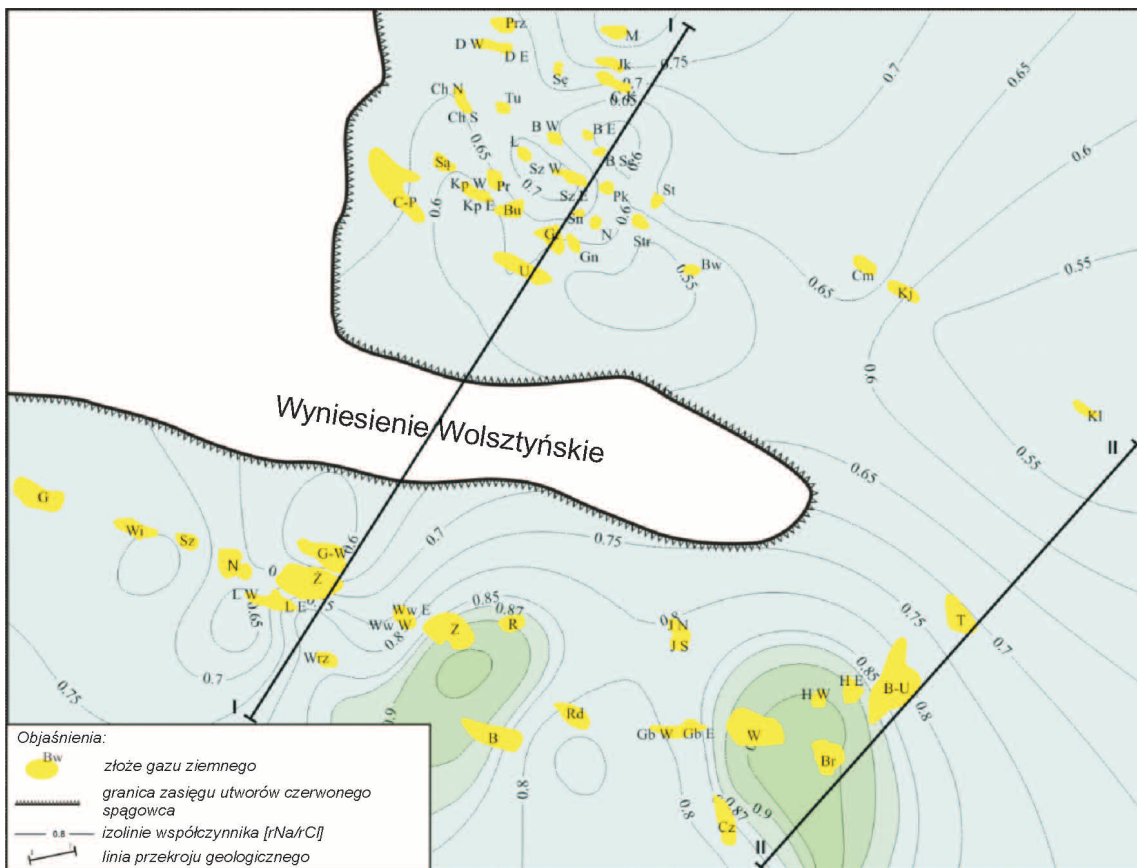


Rys. 2. Mapa mineralizacji wód wglębnych w utworach czerwonego spągowca

ku północy. W miąższości utworów saksonu i morfologii powierzchni podpermskiej wyraźnie zaznacza się niecka zielonogórska oraz grzęda kętrzyńsko-wolsztyńsko-gostyńska. Skały eruptywne środkowego poziomu saksonu, genetycznie związane z liniami tektonicznymi waryscydów, wypełniają głównie zachodnią część niecki zielonogórskiej. Górny poziom saksonu do pewnego stopnia kompensuje kontrasty morfologiczne wywołane częściową erozją i eruptywami, wypełniając strefy największych obniżeń osadami największej miąższości [14]. Deformacje tektoniczne w obrębie basenu czerwonego spągowca są deformacjami nieciągłymi lub mieszаныmi. Dyslokacje te



Rys. 3. Mapa mineralizacji wód wglębnych w utworach czerwonego spągowca

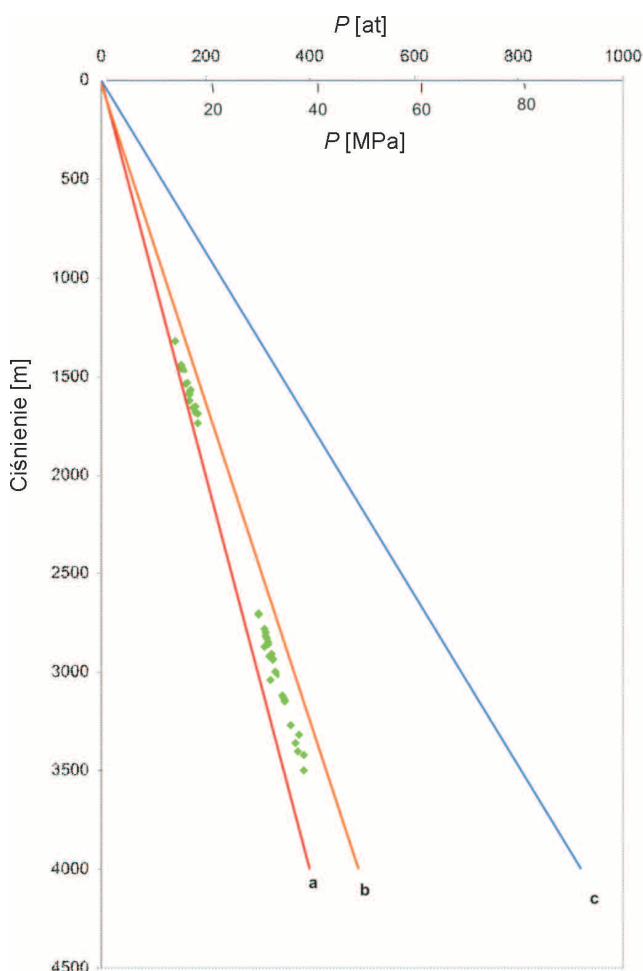


Rys. 4. Mapa współczynnika rNa/rCa

Rawicz, Grabówka, Wierzchowice i Brzostowo, wzrasta wartość tego współczynnika, co świadczy o infiltracji wód powierzchniowych. Na rysunku 5 przedstawiono wykres ciśnień złożowych w funkcji głębokości w utworach czerwonego spągowca monokliny przedsudeckiej.

Mapa potencjometryczna wód złożowych w utworach saksonu (rysunek 6) przedstawia rozkład pola hydrodynamicznego, główne kierunki przepływu, a także położenie obszarów zasilania i drenażu. Wartości naporów hydraulicznych w utworach saksonu są bardzo wysokie i wynoszą od 150 m do 530 m słupa wody słodkiej n.p.m. Przepływ wód podziemnych odbywa się od centrum basenu do jego wychodni w kierunku N i NW.

Z mapy bezwzględnych równych prędkości filtracji dla wody złożowej (rysunek 7) wynika, że prędkości filtracji wód podziemnych są stosunkowo wysokie i wynoszą od



Rys. 5. Wykres ciśnień złożowych w utworach czerwonego spągowca monokliny przedsudeckiej: a – normalny gradient ciśnienia hydrostatycznego odp. ciężarowi słupa wody słodkiej  $a = 0,1$  at/m, b – gradient ciśnienia hydrostatycznego odp. ciężarowi solanki o średniej mineralizacji  $b = 0,11$  at/m, c – gradient ciśnienia geostatycznego odp. ciężarowi skał nakładu  $c = 0,23$  at/m

kilku do 190 cm/rok. Liczne akumulacje złożowe występują w strefach o obniżonej prędkości filtracji. Zmniejszenie prędkości filtracji następuje w rejonie wyniesienia wolsztyńskiego, które stanowi niejako zaporę dla przepływających wód wglębnych.

Na tle przekroju hydrodynamicznego I-I' (rysunek 8) przedstawiono rozkład naporów hydraulicznych oraz kierunki przepływu wód wglębnych w utworach saksonu. Z danych wynika, że ciśnienia złożowe są równe ciśnieniom hydrostatycznym lub są wyższe od ciśnień hydrostatycznych oraz że przepływy wód wglębnych są odśrodkowe.

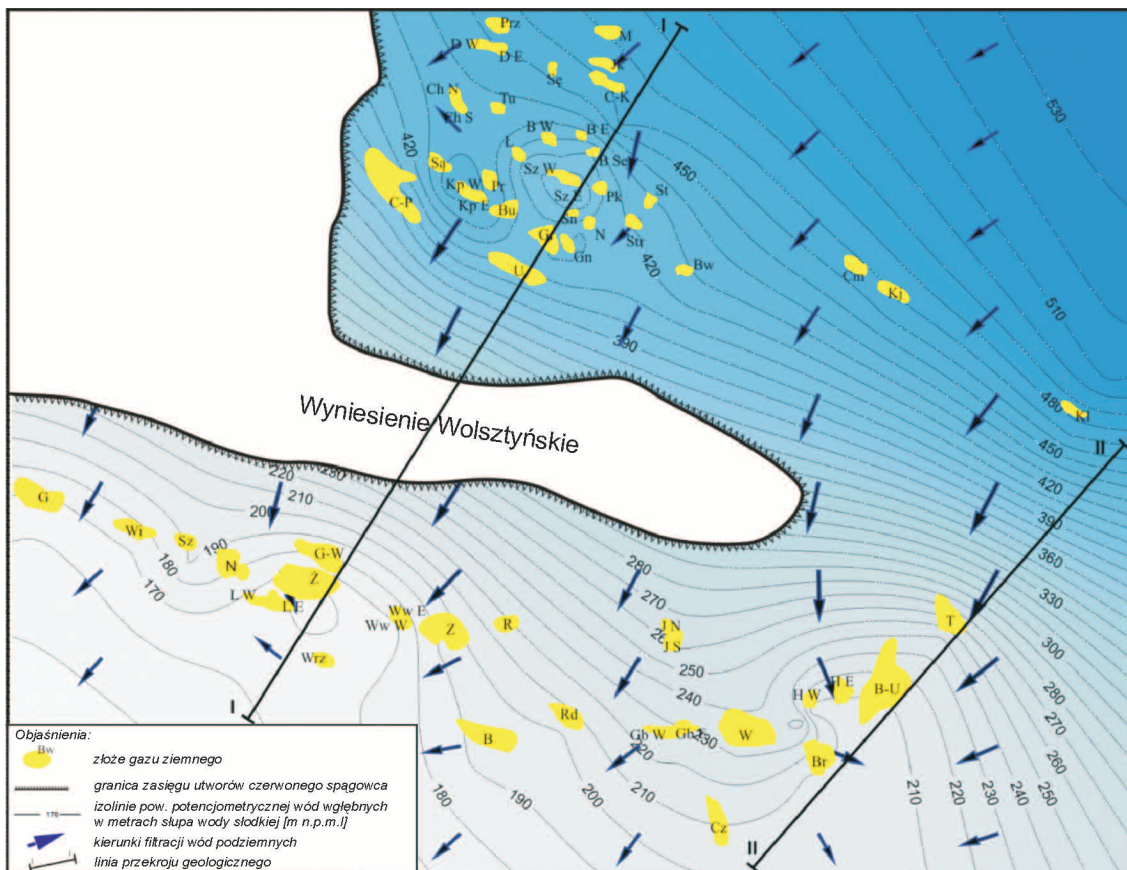
Sumując wyniki rozważań hydrodynamicznych przeprowadzonych dla basenu permskiego monokliny przedsudeckiej, można stwierdzić, że:

- wody złożowe w utworach saksonu posiadają wysoką mineralizację – w granicach  $221 \div 312$  g/dm<sup>3</sup>,
- ciśnienia złożowe są równe ciśnieniom hydrostatycznym lub są od nich wyższe,
- kierunki przepływu wód wglębnych są odśrodkowe,
- gradienty hydrauliczne są stosunkowo wysokie i wynoszą od 0,0015 do 0,200,
- prędkości przepływu wód wglębnych są również wysokie i wynoszą od 5 cm/rok do 190 cm/rok,
- licznym akumulacjom złożowym towarzyszą wody o wysokiej mineralizacji oraz lokalnie obniżonej prędkości przepływu wód wglębnych.

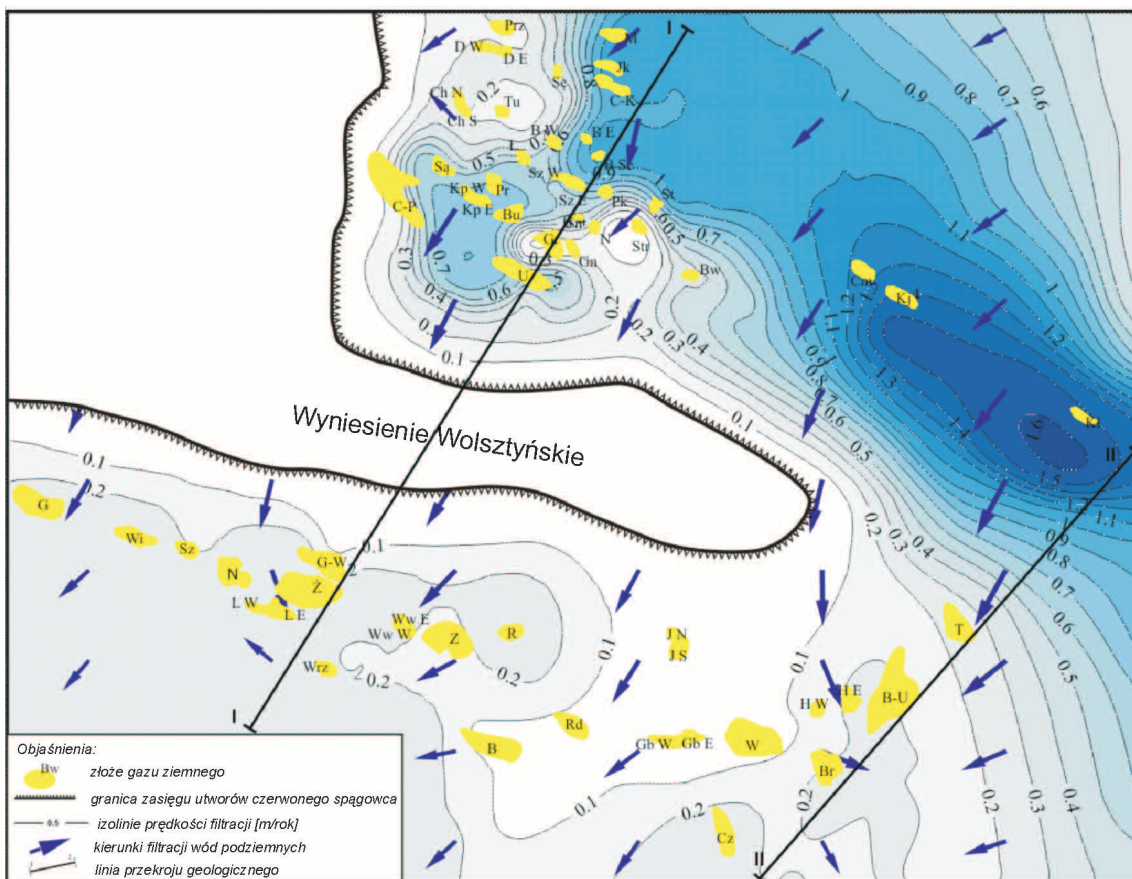
Na tle przedstawionej klasyfikacji hydrodynamicznej basenów naftowych można stwierdzić, że permski basen monokliny przedsudeckiej jest basenem odśrodkowym i należy do basenów o wysokiej perspektywiczności występowania węglowodorów. Potencjalne pułapki złożowe w utworach czerwonego spągowca powinny być związane ze strefami o obniżonej prędkości filtracji wód wglębnych. Prawidłowości te potwierdzają dotychczas odkryte akumulacje złożowe.

## Literatura

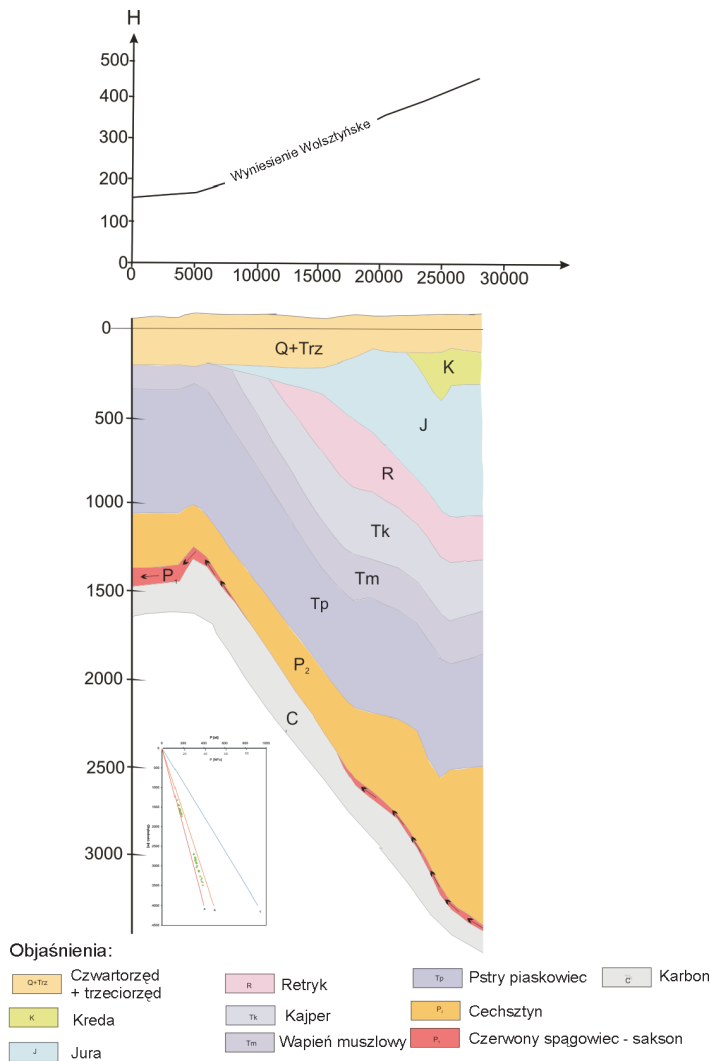
- [1] Bojarski L.: *Charakterystyka chemizmu wód podziemnych jako pośredni wskaźnik prognoz ropo-gazonośności*. „Przegląd Geologiczny” 1976, nr 3.
- [2] Bojarski L.: *Zastosowanie klasyfikacji hydrodynamicznej przy poszukiwaniach naftowych*. „Przegląd Geologiczny” 1969, nr 3.
- [3] Coustau H. i in.: *Classification hydrodynamique des bassins sedimentaires utilisations combinee avec d'autres methodes pour rationaliser l'exploration dans des bassins non-productifs*. IX World Petroleum Congress, Tokio 1975.
- [4] Dadlez R., Marek S., Pokorski J.: *Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce 1:2 500 000*. Warszawa, Wydawnictwa PIG, 1998.



Rys. 6. Mapa potencjometryczna wód wglebnych w utworach czerwonego spągowca



Rys. 7. Mapa wartości bezwzględnych równych prędkości filtracji w utworach czerwonego spągowca



Rys. 8. Przekrój hydrodynamiczny (I-I') przez utwory monokliny przedsudeckiej

- [5] Hubbert M. K.: *Application of hydrodynamics to oil exploration*. Paper RPCR-4, 7<sup>th</sup> World Petrol. Congr., Mexico City 1967, s. 59–75.
- [6] Hubbert M. K.: *Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions*. Am. Assoc. Pet. Geol. Bull. 1953, vol. 37, no. 8, s. 1954–2026.
- [7] Jucha S., Kulczyk T., Zawisza L., Żołnierczuk T.: *Ocena hydrodynamiczna złóż gazu ziemnego Lipowiec, Żuchłów, Góra-Wroniniec*. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 1992, t. 8, z. 3, 4.
- [8] Peryt T., Piątkowski T., Pokorski J., Wagner R.: *Atlas litofajalno-paleogeograficzny permu obszarów platformowych Polski*. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, 1978.
- [9] Peryt T., Piątkowski T., Wagner R.: *Litologia i paleografia cechsztyńskich poziomów węglanowych*. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne, 1978.
- [10] Pomorski J.: *The Rotliegendes of the Polish Lowlands*. „Przegląd Geologiczny” 1976, nr 6.
- [11] Pożarski W.: *Budowa geologiczna warwyscydów w Polsce*. „Biuletyn Instytutu Geologicznego” 1970, nr 252.
- [12] Słupczyński K.: *Warunki występowania gazu ziemnego w utworach dolnego permu monokliny przedsudeckiej*. „Prace Geologiczne” PAN 1979, nr 118.
- [13] Sokołowski J.: *Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przedsudeckiego*. „Geologia Sudetica” 1967, vol. 3.
- [14] Sokołowski J.: *Zarys budowy geologicznej oraz problemy genezy i migracji węglowodorów obszaru przedsudeckiego*. „Nafta” 1976, nr 6.
- [15] Zawisza L., Piesik W., Zamojcin J.: *Hydrodynamiczne modelowanie basenów naftowych na przykładzie basenu permiego monokliny przedsudeckiej*. Geopetrol 2004.
- [16] Zawisza L., Piesik-Buś W., Maruta M.: *Rola wyniesienia wolsztyńskiego w rozmieszczeniu złóż węglowodorów w utworach czerwonego spągowca monokliny przedsudeckiej*. „Wiertnictwo, Nafta, Gaz” 2010, t. 27/1–2.
- [17] Zawisza L., Piesik-Buś W.: *Hydrodynamiczne modelowanie basenów osadowych na przykładzie basenu permiego monokliny przedsudeckiej*. „Wiertnictwo, Nafta, Gaz” 2005, t. 22/1.
- [18] Zawisza L., Wojna-Dyłał E., Smulski R.: *Hydrodynamic Conditions of Hydrocarbon Migration and Accumulation Exemplified by the Pomorsko, Czerwiensk and Żarnowiec oil field, Poland*. Paper IPTC 10925 [w:] International Petroleum Technology Conference: Doha, Qatar, 21–23 November 2005.
- [19] Zawisza L., Wojna-Dyłał E.: *Hydrodynamiczne modelowanie basenów osadowych na przykładzie basenów naftowych Polski*. VII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna nt. *Nowe metody i technologie w geologii naftowej, wiertnictwie, eksploatacji otworowej i gazownictwie*. Kraków, 20–21.06.1996.
- [20] Zawisza L.: *Hydrodynamic condition of hydrocarbon accumulation exemplified by the Carboniferous formation in the Lublin Synclinorium, Poland*. „SPE Formation Evaluation” 1986, vol. 1, no. 3, s. 286–294.
- [21] Zawisza L.: *Hydrodynamic condition of hydrocarbon accumulation exemplified by the Pomorsko and Czerwiensk oil fields in the Polish Lowland*. SPE Paper 90586. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, USA, 26–29 September 2004.
- [22] Zawisza L.: *Methodics of mapping hydrodynamic petroleum traps in sedimentary basins with groundwater of variable density*. „Archiwum Górnictwa” 1986, t. 31, z. 1, Kraków.
- [23] Zawisza L.: *Perspektywiczność paleozoiku synklinorium lubelskiego na tle analizy hydrodynamicznej basenów osadowych*. Sprawozdanie z posiedzenia Komisji Nauk Geologicznych PAN 1983, t. XXVII/1 (I–IV).
- [24] Zawisza L.: *Warunki hydrodynamiczne dla akumulacji węglowodorów w karbonie i dewonie synklinorium lubelskiego*. „Prace Geologiczne” Komisji Nauk Geologicznych PAN 1988, nr 134. Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, Łódź, Wydawnictwo Polskiej Akademii Nauk.



Mgr inż. Wacława PIESIK-BUŚ – absolwentka Wydziału Geologii Poszukiwawczej AGH w Krakowie. Specjalizuje się w zagadnieniach geologii naftowej (praca magisterska na temat genezy anomalnych ciśnień złożowych i porowych w wytypowanych strefach Karpat fliszowych). Od 1987 r. pracownik Zakładu Podziemnego Magazynowania Gazu w INiG. Autorka wielu publikacji.