

Modelowanie procesów generacji węglowodorów w utworach cechsztyńskich basenu polskiego

Paweł Henryk Karnkowski*, **

Przy wykorzystaniu programu komputerowego PetroMod, wykonano wzdłuż kilkunastu profili geologicznych, przecinających basen polski modelowanie procesów generacji węglowodorów w utworach cechsztyńskich. Parametry kalibrujące (współczesny rozkład temperatur na określonych głębokościach oraz wyniki oznaczeń refleksyjności wityrytu w różnych formacjach geologicznych) umożliwiły skonstruowanie rozkładu wartości strumienia ciepłego w czasie od permu do dziś na obszarze basenu polskiego. Symulacje komputerowe z wykorzystaniem powyższego modelu rozkładu wartości strumienia ciepłego pozwoliły prześledzić kolejne fazy generacji węglowodorów w utworach cechsztyńskich w poszczególnych częściach basenu polskiego.

Słowa kluczowe: analiza basenów sedymentacyjnych, modelowanie komputerowe, strumień ciepły, generacja węglowodorów, basen polski, cechsztyń

Paweł Henryk Karnkowski — **Modelling of the hydrocarbon generation in the Zechstein deposits within the Polish Basin.** Prz. Geol., 48: 443–447.

Summary. PetroMod software enabled the computer modelling of hydrocarbon generation in the Zechstein deposits along several geological cross-sections in the Polish Basin. Calibrating parameters (a contemporary field of temperature pattern at the selected depth and vitrinite reflectance values for various geological formations) enabled to construct an image of heat flow distribution from the Permian to the Recent time in the studied area. Computer simulation applying such a heat flow model determined the individual phases of hydrocarbon generation in the Zechstein deposits of the Polish Basin.

Key words: basin analysis, computer modelling, heat flow, hydrocarbon generation, Polish Basin, Zechstein

Przystępując do modelowania procesów generowania węglowodorów w osadach cechsztyńskich w basenie polskim trzeba przede wszystkim przeanalizować całą ewolucję permsko-mezozoiczną-kenozoiczną basenu sedymentacyjnego. Analiza taka została wykonana przez autora na podstawie głównie opracowań Państwowego Instytutu Geologicznego i Biura Geologicznego GEONAF TA. Metodyka i obszerny spis prac publikowanych jest zamieszczony w pracy autora (Karnkowski, 1999).

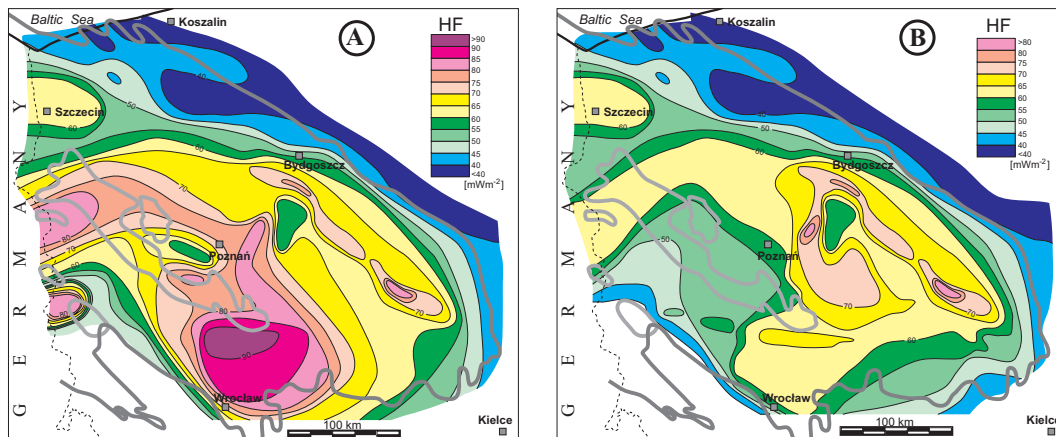
Szczególnym rodzajem analizy basenu jest jego historia termiczna, gdyż to ona w znaczącej części decyduje o warunkach generacji węglowodorów. Omawiając procesy generacyjne trzeba więc jej poświęcić szczególną uwagę. Przez historię termiczną basenu rozumie się zmienność rozkładu strumienia ciepłego w czasie i przestrzeni. Ciepło pochodzące z procesów zachodzących we wnętrzu Ziemi dociera do jego powierzchni i tutaj się rozprasza. Wyraża się to pospolicie znanym faktem, że temperatura wzrasta wraz z głębokością do wnętrza Ziemi. Współczesne pole temperaturowe nie jest jednak jednorodne. Czynnikiem zaburzającym liniowość wzrostu temperatury wraz z głębokością są m.in. niejednorodne właściwości termiczne skał (np. przewodność cieplna), zjawiska tektoniczne (uskoki, rozłamy), zróżnicowanie grubości skorupy kontynentalnej, czy wreszcie nieregularność lokalizacji regionalne ognisk termicznych (np. plamy ciepłe, ryfty). Wszystkie te zjawiska nie są też stałe w czasie i zmieniają się wraz z kolejnymi etapami ewolucji poszczególnych basenów sedymentacyjnych. Podstawowym parametrem w badaniach geotermicznych jest temperatura mierzona w otworach wiertniczych w warunkach ustalonej równowagi cieplnej. Na tej podstawie zestawia się mapy rozkładu temperatur dla poszczególnych powierzchni stratygraficznych

lub dla powierzchni poziomych na różnych głębokościach. Pierwszy rodzaj map odpowiada na pytanie o wartości temperatury dla interesującej nas powierzchni geologiczno-poszukiwawczej. Natomiast wynik przedstawiany dla powierzchni poziomych dobrze prezentuje zmienność rozkładu temperatury wraz z głębokością. Tak zestawione mapy były publikowane w Polsce (np. Plewa, 1994). Autor w swoich analizach posługiwał się danymi (kilkaset otworów z pomiarami temperaturowymi) zgromadzonymi przez polski przemysł naftowy oraz mapami rozkładu temperatur zestawionymi przez Jaworskiego (1986, 1987, 1988a, 1988b, 1991). Wymienione wyżej dane stanowiły dla autora podstawowe źródło informacji o rozkładzie pola temperaturowego w Polsce. Jak wynika z przeprowadzonej analizy na takich mapach, jak i mapach pokrewnych, temperatury rosną z północnego wschodu na południowy zachód, aby na terenie Wielkopolski osiągnąć swe maksimum i ponownie zacząć lekko opadać w kierunku Sudeków. Regionalny przebieg izoterm jest uwarunkowany złożonymi czynnikami, ale już teraz można wskazać na pewne prawidłowości. Na obszarze platformy wschodnio-europejskiej są niższe temperatury niż na platformie paleozoicznej. Maksymalne temperatury nie są związane z obszarem bruzdy śródpolskiej, która w permie i mezozoiku wykazywała największą subsydencję, a następnie w wyniku inwersji laramijskiej utworzyła antyklinorium śródpolskie. Obszar najwyższych obecnie stwierdzanych temperatur jest położony na południowy zachód od antyklinorium śródpolskiego i ogranicza się do terenu Wielkopolski. Na obszarze Pomorza Zachodniego występują relatywnie niższe temperatury niż na monoklinie przedsudeckiej. Trudno jest na podstawie map rozkładu temperatur wskazać jednoznacznie elementy geologiczne odpowiedzialne za kształtowanie się obecnego pola ciepłego.

Parametrem, który w sposób bardziej obiektywny opisuje układ geotermalny dostarczanego ciepła do powierzchni Ziemi jest wartość wyznaczonego powierzchniowego strumienia ciepłego. Parametr ten oblicza się na

*Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa

**PGNiG S.A. Oddział Biuro Geologiczne Geonaf ta, ul. Jagiellońska 76, 03-301 Warszawa



Ryc. 1. Rozmieszczenie uśrednionych wartości strumienia ciepłego na obszarze basenu polskiego: A — w czasie perm–jura, B — w czasie kreda–obecnie (w tle zaznaczono główne elementy paleotektoniczne polskiego basenu czerwonego spągowca)
Fig. 1. Map of average heat flow values in the area of Polish Basin: A — during Late Permian to Late Jurassic period; B — during Cretaceous to present time (main palaeotectonic elements of the Polish Rotliegend Basin are marked on the background)

podstawie badań nad zmianą wartości gradientu geotermicznego w otworach wiertniczych oraz dzięki wyznaczeniu w warunkach laboratoryjnych wartości ciepłej przewodności badanych skał. Widać stąd, że strumienia ciepłego nie można bezpośrednio zmierzyć w otworze wiertniczym, a tylko można go wyznaczyć dzięki precyzyjnym pomiarom temperatury po zakończeniu wiercenia (nieraz taki pomiar trwa kilka tygodni) oraz dzięki żmudnym i kosztownym pracom laboratoryjnym w celu określenia ciepłej przewodności skał dla poszczególnych formacji lub ogniw litostratygraficznych. Mając wykonane powyższe pomiary obliczenia nie stanowią już większego problemu. Na ile jest to jednak skomplikowana procedura

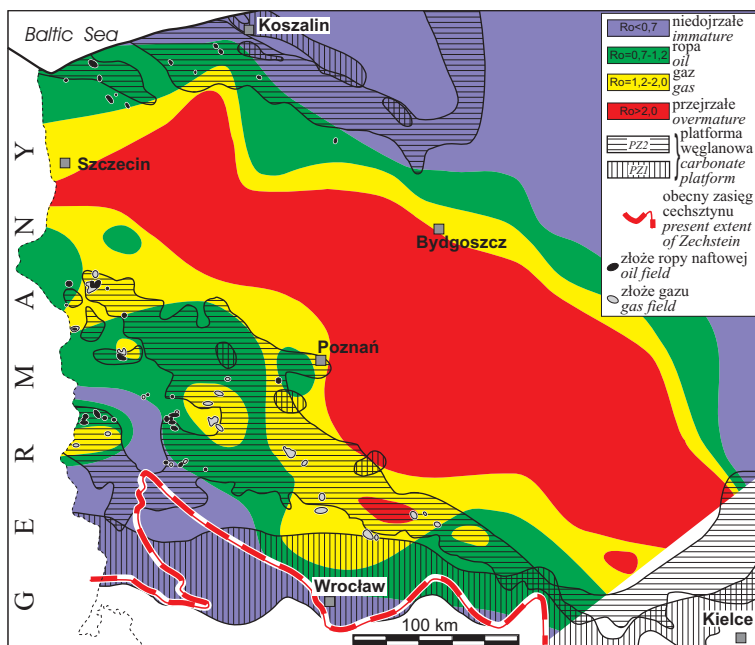
niech świadczy fakt, że dotychczas na obszarze całej Polski zrobiono to w ok. 90 otworach wiertniczych, a dla obszaru polskiego basenu permjskiego — w 27 otworach (Plewa, 1994). Na podstawie tych pomiarów zostały przedstawione mapy (Majorowicz, 1975, 1979, 1982, 1984; Plewa i in., 1992), które jednak na tyle różnią się między sobą, że trudno je uznać jako materiał dający się wykorzystać do analizy ewolucji basenu polskiego. Tak mała liczba wartościowych danych pomiarowych umożliwiających analizowanie powierzchniowego strumienia ciepłego w Polsce, skłoniła autorów raportu o podstawowych problemach głębokich badań geofizycznych i geologicznych obszaru Polski (Guterch i in., 1996) do stwierdzenia, że „*W Polsce nie ma obecnie ośrodka badawczego, który zajmowałby się polem cieplnym, dlatego stan tej dziedziny badań jest katastrofalny*”.

W tej sytuacji autor stanął przed trudnym zadaniem: odtworzyć historię termiczną basenu polskiego dysponując pomiarami temperatur w otworach wiertniczych oraz bardzo nielicznymi wynikami oznaczeń strumienia ciepłego na tym obszarze. Jedynym sposobem, aby móc zmierzyć się z tym tematem było modelowanie geologiczne dzięki wykorzystaniu programów komputerowych.

Programem użytym do modelowania był PetroMod (IES..., 1993), gdzie dwoma podstawowymi parametrami kalibrującymi jest rozkład temperatur wyznaczonych na podstawie pomiarów w otworach wiertniczych oraz refleksyjność wityrnytu (Ro) oznaczona w skałach osadowych basenu polskiego.

Ten ostatni parametr jest zestawiony na mapach w Biurze Geologicznym *Geonafsta* i prawie niepublikowany. Autor korzystał z danych przygotowanych w specjalnym niepublikowanym raporcie, gdzie są przedstawione wszystkie dotychczasowe oznaczenia refleksyjności wityrnytu dla stropu powierzchni przedpermjskiej, spągu cechsztyńskiego, dolomitu głównego, dolnej jury (lias), środkowej jury, (dogger) i górnej jury (malm).

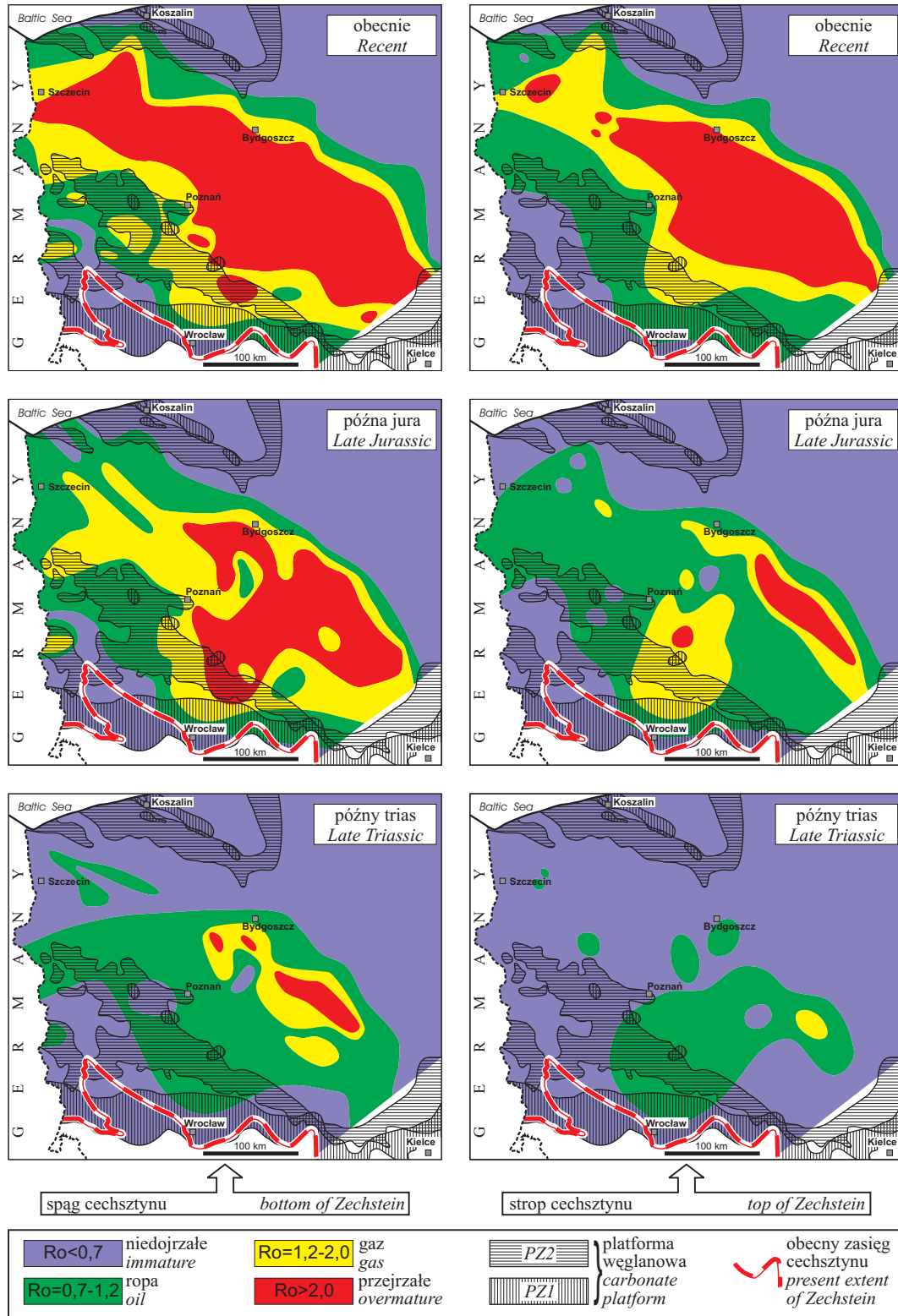
Jednym z parametrów wejściowych, który musi być obecny w zestawie danych podstawowych oraz który jest używany w czasie symula-



Ryc. 2. Mapa występowanie złóż węglowodorów w utworach dolomitu głównego (PZ2) na tle stref dojrzałości materii organicznej w przyspagowej części osadów cyklotemu werra. Zasięg platformy węglanowej PZ1 (wapień cechsztyński) i PZ2 (dolomit główny) wg Wagnera (1994)
Fig. 2. Map of oil and gas fields in the Main Dolomite (PZ2) on the background of the organic matter maturity within the lowermost part of the Werra cyclothem. Extents of the Zechstein carbonate platform PZ1 (Zechstein Limestone) and PZ2 (Main Dolomite) after Wagner (1994)

cji komputerowej, to wartość strumienia ciepłego. Jak już wspomniano wcześniej, ta wartość praktycznie jest nieznamna i była wielkością poszukiwaną. W tym celu w pierwszej symulacji dla każdego profilu używano domyślnej wartości strumienia ciepłego o wielkości 60 mWm^{-2} . W wyniku obliczeń komputerowych otrzymywano obraz rozkładu

temperatury wzdłuż profilu, który konfrontowano z danymi rzeczywistymi. Następnie, w zależności od różnicy pomiędzy realną wartością temperatury wzdłuż profilu, a wartościami uzyskanymi w trakcie symulacji, korygowano wartość zakładanego strumienia ciepłego. Korekta ta była proporcjonalna do wielkości odchyłki. Po wprowadzeniu



Ryc. 3. Rozkład stref generacji węglowodorów w przyspągowej i przystropowej części cechsztynu w basenie polskim w czasie późnego triasu, późnej jury i obecnie

Fig. 3. Pattern of hydrocarbon generation zones in the lowermost and uppermost part of the Zechstein succession within the Polish Basin during the Late Triassic, Late Jurassic and the present time

skorygowanych, nowych wartości strumienia ciepłego ponownie wykonywano symulację. Próby te powtarzano tak długo, aż uzyskano zgodność pomiędzy wartościami rozkładu temperatur obliczonymi i rzeczywistymi. W trakcie obliczeń komputerowych jednocześnie są dokonywane między innymi obliczenia przeobrażenia substancji organicznej w funkcji czasu i temperatury w przeliczeniu na współczynnik refleksyjności wityrynytu oraz przedstawione są na tej podstawie zakresy generacji węglowodorów. W celu kalibracji obliczonych wartości temperatury i strumienia ciepłego służy właśnie porównanie rzeczywistego i obliczonego w trakcie symulacji komputerowej współczynnika refleksyjności wityrynytu. Dopiero gdy parametry obliczone i rzeczywiste wykazywały wysoką zgodność uznawano, że przyjęte do obliczeń wartości strumienia ciepłego są wiarygodne. Do modelowania, jak wspomniano, na początku używano jednakowej wartości strumienia ciepłego. Nigdy jednak pierwszy wynik nie były zadawane. Od razu trzeba było wprowadzać korekty zakładanego strumienia ciepłego i wykonywać kolejne symulacje. To powodowało, że obraz przyjmowanych nowych wartości HF stawał się coraz bardziej złożony. Opracowywane przekroje były przetwarzane w zakresie czasu geologicznego od czerwonego spągowca do dziś. Pierwotnie, przyjmowano równomierną w czasie wartość strumienia ciepłego. Otrzymane przy takim założeniu wyniki zgadzały się z parametrami kalibrującymi m. in. na obszarze Pomorza Zachodniego. Jednak duża grupa wyników, otrzymana w wyniku powyżej opisanej procedury, nie pasowała do parametrów kalibrujących. Kiedy udawało się wygenerować zgodność w zakresie temperatur, to nie zgadzały się współczynniki refleksyjności wityrynytu R_0 i na odwrót. Jedyną prawidłowość jaką na tym etapie udało się stwierdzić to, że kiedy otrzymywano zgodność w zakresie temperatur to wartości R_0 dla otworów cechsztynu były za niskie. Z kolei poprawność w zakresie obliczonych i rzeczywistych wartości refleksyjności wityrynytu dawała wyraźnie zawyżone temperatury w rozkładzie pola ciepłego. Jedynym sposobem, aby rozwiązać ten problem było przyjęcie założenia, że na części badanego obszaru rozkład strumienia ciepłego był zmienny w czasie.

Grupa wyników, która wyraźnie nie dawała się porządkować stałemu w czasie rozkładowi strumienia ciepłego koncentrowała się w południowo-zachodniej części basenu polskiego, głównie na obszarze monokliny przedsudeckiej. Dla tego obszaru najistotniejszym wydarzeniem tektonicznym, które mogło spowodować istotne zmiany w wielkości dopływu ciepła do powierzchni ziemi, było znaczące wyniesienie i erozja miąższych kompleksów jurajskich i górnotriasowych we wczesnej kredzie. Uznano, że na części opracowywanego obszaru, na przełomie jury i kredy nastąpiła istotna zmiana w wartości strumienia ciepłego. Od tego momentu dla południowo-zachodniej części większości opracowywanych profili wprowadzono cezurę na granicy jury i kredy, która rozdzielała okresy o różnej historii termicznej. Przy takim założeniu nie było już trudno obliczyć rozkład wartości strumienia ciepłego w przedziale czasu od kredy do dziś, oraz wysymulować wyższe wartości tego strumienia w okresie czerwony spągowiec–późna jura. Dzięki podjętym wysiłkom w celu odtworzenia strumienia ciepłego na obszarze środkowej i zachodniej Polski, można skonstruować dwie mapy (ryc. 1). Obie przedstawiają uśredniony rozkład strumienia ciepłego w pewnym przedziale czasu. Pierwsza z nich

obejmuje czas od czerwonego spągowca do późnej jury, a druga — od kredy do dziś.

Znajomość rozkładu strumienia ciepłego w czasie pozwala już dużo łatwiej modelować stopień dojrzałości materii organicznej w skałach osadowych basenu polskiego. Podstawowe pytanie jakie obecnie się stawia przy rozpatrywaniu zagadnień poszukiwawczych to występowanie „okna ropnego” („oil window”), czyli strefy, w której mogły zachować się węglowodory płynne. Odpowiedź na to pytanie pozwala również określić strefy występowania różnych rodzajów gazu ziemnego lub strefy, w których generacja węglowodorów jeszcze się nie rozpoczęła. Otrzymane w trakcie symulacji komputerowej schematyczne obrazy stref generacji węglowodorów zostały przeniesione na przekroje geochemiczne, a z kolei dane z tych przekrojów posłużyły do konstruowania map dojrzałości materii organicznej na określonych powierzchniach strukturalnych. W przypadku basenu cechsztyńskiego najbardziej perspektywicznym poziomem poszukiwawczym są osady dolomitu głównego (PZ2) i właśnie dla tego horyzonty skonstruowano na podstawie symulacji komputerowych mapę dojrzałości materii organicznej. Na mapie tej przedstawiono też odkryte dotychczas złoża ropy naftowej i gazu ziemnego w węglanowych utworach dolomitu głównego (ryc. 2). W większości przypadków rodzaj mediów złożowych (ropa, gaz) pokrywa się z zakresami stref generacji węglowodorów, choć są pewne odstępstwa wynikające zapewne z wpływu lokalnych warunków paleotermicznych. Wykonanie powyższej mapy wraz z zaznaczeniem na niej zasięgu najkorzystniejszych facji dla skał macierzystych i zbiornikowych (platforma węglanowa) pozwala lepiej prognozować najbardziej perspektywiczne strefy do poszukiwań. Współwystępowanie korzystnych parametrów petrofizycznych i geochemicznych w obrębie utworów dolomitu głównego obniża współczynnik ryzyka poszukiwawczego.

Analizując mapę występowaniu złóż węglowodorów w utworach dolomitu głównego (ryc. 2) wyraźnie daje zauważyć się rejonizacja mediów złożowych. Na obszarze Pomorza Zachodniego nie ma ani jednego złoża gazowego. Z kolei na obszarze południowo-wschodniej części monokliny przedsudeckiej występują prawie wyłącznie złoża gazowe. Natomiast w południowo-zachodniej części monokliny przeważają złoża ropne, a sporadyczne złoża gazowe występują nieregularnie. W przeważającej mierze za taki stan rozprzestrzenienia rodzajów mediów złożowych ponosi historia termiczna basenu polskiego. Tak jak wcześniej wspomniano, w okresie perm-jura strumień ciepły na obszarze południowo-wschodniej Wielkopolski był relatywnie wysoki. W zachodniej Wielkopolsce, gdzie też wykryto anomalie paleogeotermiczne (Karnkowski, 1999) obszar tych zaburzeń jest mniejszy i zlokalizowany w dwóch głównych centrach (ryc. 1). Występowanie obszarów o wyraźnie podwyższonej wartości strumienia ciepłego ma swoje uwarunkowania geotektoniczne w rozwoju basenu polskiego (Karnkowski, 1999), ale dla prospekcji naftowej istotne jest przede wszystkim zrozumienie związków pomiędzy rodzajem mediów złożowych a historią geologiczną danego obszaru. Ma to nie tylko znaczenie praktyczno-ekonomiczne, ale pozwala lepiej wyjaśnić warunki ekspulsji i migracji węglowodorów, a nawet obecne uwarunkowania w zasilaniu złóż. Przykładem może być tutaj złożo Buk, które na mapie dojrzałości materii organicznej w utworach dolomitu głównego (ryc. 2) znalazło się na pograniczu „okna ropne-

go” i „okna gazowego”. Wieloletnia eksploatacja tego złoża dowiodła, że musi być ono intensywnie zasilane z najbliższego otoczenia poprzez system szczelin. Wysoka energia złożowa w rejonie Buki wynika zapewne z faktu, że z obszaru „okna gazowego”, gdzie panują wyższe ciśnienia, tłoczono są media złożowe w kierunku obszaru niższych ciśnień, w tym wypadku w kierunku pułapki złoża Buk. Podobne rozważania można spróbować przeprowadzić na przykładzie innych złóż, szczególnie tam, gdzie w złożu występuje faza gazowa i ropna. Znajomość potencjalnych współczesnych kierunków zasilania złoża może mieć istotne znaczenie na etapie eksploatacji.

Symulacje komputerowe w celu prześledzenia występowania najkorzystniejszych stref generacji węglowodorów mają również na celu prześledzenie ewolucji zasięgu tych stref w czasie geologicznym. Ma to podstawowe znaczenie w analizie warunków migracji w zależności od zmian układów strukturalnych w basenie sedymentacyjnym. Na ryc. 3 przedstawiono kilka obrazów zmian stref generacji węglowodorów w przyspągowej i przystropowej części cechsztynu w czasie późnego triasu, późnej jury i obecnie. Prezentacja ewolucji stref generacyjnych na podstawie map w spągu i stropie cechsztynu pokazuje dobrze dynamikę ewolucji tych stref nie tylko w funkcji czasu ale i głębokości. Analiza tych map umożliwi odpowiedź na pytanie kiedy i gdzie rozpoczęła się generacja ropy naftowej lub gazu ziemnego w utworach cechsztyńskich oraz gdzie potencjalnie są największe szanse na zachowanie węglowodorów płynnych.

Z końcem triasu znaczna część utworów dolomitu głównego w facji barierowej i lagunowej na obszarze południowej Wielkopolski weszła w fazę „okna ropnego”. W szczególności dotyczy to rejonu Rawicza i Leszna (ryc. 3). Nie jest wykluczone, gdyby przyjąć że wartości strumienia ciepłego były jeszcze wyższe niż te uśrednione do celów symulacji komputerowej, iż również w okolicach Gorzowa Wlkp. z końcem triasu rozpoczęła się faza generacji węglowodorów płynnych. Z bardzo dużym prawdopodobieństwem można założyć, że w jurze proces generacji węglowodorów w rejonie Gorzowa Wlkp. wszedł w fazę główną „okna ropnego” i właściwie się na tym zakończył. W czasie jury złoża ropne w południowo-wschodniej Wielkopolsce zostały poddane dalszemu krakingowi i już od tego czasu nie ma tam złóż ropnych. Zupełnie inna sytuacja była na Pomorzu Zachodnim. W odróżnieniu od dwóch poprzednio omówionych rejonów, gdzie główna faza „okna ropnego” przypada na przełom triasu i jury, w Polsce północno-zachodniej dopiero w późnej jurze rozpoczyna się proces generacji ropy naftowej w utworach dolomitu głównego. Jego główna faza przypada na kredę. W tym czasie na Pomorzu Zachodnim rozwijają się intensywnie synsedymencyjne strefy uskokowe o kierunku N-S. Wydaje się, że wpływ właśnie tych południowych stref tektonicznych ma istotny związek z możliwością migracji węglowodorów do pułapek w dolomicie głównym. Współwystępowanie głównego etapu generacji węglowodorów i rozwoju korzystnych stref uskokowych w czasie kredy na Pomorzu Zachodnim wymaga jednak dalszego zbadania.

Wnioski

1. Historia termiczna na obszarze basenu polskiego może być obecnie analizowana przy pomocy techniki komputerowej, która umożliwi śledzenie zmian strumienia ciepłego zarówno w czasie jak i przestrzeni.

2. Na obszarze Pomorza Zachodniego rozkład strumienia ciepłego w czasie od permu do dziś charakteryzował się relatywnie niskimi wartościami co spowodowało, że utwory cechsztyńskie weszły w fazę „okna ropnego” dopiero z końcem jury.

3. Na obszarze Wielkopolski wartości strumienia ciepłego w okresie od permu do jury były relatywnie wysokie, co sprawiło, że w późnej jurze większość utworów cechsztyńskich osiągnęła już parametry „okna ropnego”, a nawet „okna gazowego”.

4. Uzyskany w wyniku symulacji komputerowych obraz stref dojrzałości materii organicznej w utworach dolomitu głównego (PZ2) pokazuje, że strefa „okna ropnego” na Pomorzu Zachodnim ograniczona jest do stosunkowo wąskiego pasma o szerokości od 10 do 30 km i część platformy węglanowej znajduje się w obszarze, gdzie generacja ropy jeszcze się nie rozpoczęła.

5. Osady węglanowe cyklotemu werra w Wielkopolsce są na większości obszaru w zakresie „okna ropnego i gazowego”.

Literatura

- GUTERCH A., LEWANDOWSKI M., DADLEZ R., POKORSKI J., WYBRANIEC S., ŻYTKO K., GRAD M., KUTEK J., SZULCZEWSKI M. & ŻELA NIEWICZ A. 1996 — Podstawowe problemy głębokich badań geofizycznych i geologicznych obszaru Polski. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc., M-20, 294: 1–44.
- IES-PETROMOD 1993 — Podręcznik do programu PetroMod. Dział Worstation, Geonafta.
- JAWORSKI K. 1986 — Mapa temperatur i gradientów geotermicznych na głębokościach 1500 m, 2500 m, 3500 m dla obszaru Niżu Polskiego, 1 : 500 000. Arch. BG Geonafta, Warszawa.
- JAWORSKI K. 1987 — Mapa temperatur i gradientu geotermicznego w stropie osadów czerwonego spągowca, 1 : 500 000. Arch. BG Geonafta, Warszawa.
- JAWORSKI K. 1988a — Mapa temperatur i gradientów geotermicznych w stropie dolomitu głównego na Niżu Polskim, 1 : 500 000. Arch. BG Geonafta, Warszawa.
- JAWORSKI K. 1988b — Mapa temperatur i gradientów geotermicznych w stropie osadów malmu na Niżu Polskim, 1 : 500 000. Arch. BG Geonafta, Warszawa.
- JAWORSKI K. 1991 — Mapa temperatur i gradientów geotermicznych w spągu osadów karbonu, 1 : 500 000. Arch. BG Geonafta Warszawa.
- KARNKOWSKI P. H. 1999 — Origin and evolution of the Polish Rotliegend Basin. Pol. Geol. Inst. Spec. Pap., 3: 1–93.
- MAJOROWICZ J. 1975 — Heat Flow on the Polish Lowland Territory. Acta Geophys. Pol., 3: 259–275.
- MAJOROWICZ J. 1979 — Earth thermal field in relation to tectonic structure of the Polish Lowlands. Biul. Inst. Geol., 307: 5–60.
- MAJOROWICZ J. 1982 — Wieloznaczność tektonicznej interpretacji rozkładu pola termicznego na obszarach platformowych Polski. Prz. Geol., 30: 86–94.
- MAJOROWICZ J. 1984 — Problems of tectonic interpretation of geothermal field distribution in the platform areas of Poland. Publ. Inst. Geoph. Pol. Acad. Sc., A-13, 160: 149–166.
- PLEWA S. 1994 — Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski: 1–138. Wyd. CPPGSMiE, Kraków.
- PLEWA M., PLEWA S., POPRAWA D. & TOMAŚ A. 1992 — Poland. [In:] Geothermal Atlas of Europe. Gotha.
- WAGNER R. 1994 — Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego w Polsce. Pr. Państw. Inst. Geol., 146.