

Wpływ synsedymencyjnych nasunięć i fałdowań na wyniki dwuwymiarowych modeli generowania węglowodorów w obszarze wschodniej części Karpat polskich

Jan Kuśmierk*, Tomasz Maćkowski*, Artur P. Łapinkiewicz*

Zrekonstruowane modele formowania się systemu naftowego są oparte na zintegrowanych zbiorach danych powierzchniowych i wgłębnych, wynikach badań strukturalnych i analitycznych oraz interpretacji geofizycznych profilowań odwiertów. Modelowania procesów generowania węglowodorów wykonano na scyfrowanych przekrojach paleogeologicznych odwzorowujących ewolucję strukturalną fliszowych formacji ropogazonośnych wschodniej części Karpat polskich w młodszym trzeciorzędzie. Analiza porównawcza dwuwymiarowych modeli paleostrukturalnych — zrekonstruowanych metodą bilansowania przekrojów — wykazała, że fałdy i nasunięcia zaczęły się formować już w starszym oligocenie, wyodrębniając lokalne strefy o narastającym gradiencie subsydencji tektonicznej. Zastosowanie pakietów oprogramowania StrataModel umożliwiło jednocześnie przestrzenno-czasową interpolację parametrów geochemicznych, petrofizycznych i geotermicznych niezbędnych w celu zrekonstruowania dynamiki procesów generowania węglowodorów. Współczynniki termicznej transformacji materii organicznej w fazę węglowodorową wyliczono jako funkcję czasu, paleotemperatur i zmiennych parametrów kinetycznych kerogenu. Wyniki modelowań dokumentują wpływ synsedymencyjnych deformacji tektonicznych na wyodrębnienie integralnych podsystemów naftowych, zasilających węglowodorami przyległe kulminacje strukturalne.

Słowa kluczowe: Karpaty fliszowe, generowanie węglowodorów, rekonstrukcje paleostrukturalne, modelowania numeryczne

Jan Kuśmierk, Tomasz Maćkowski & Artur P. Łapinkiewicz — **Effects of synsedimentary thrusts and folds on the results of two-dimensional hydrocarbon generation modeling in the eastern Polish Carpathians.** *Prz. Geol.*, 49: 412–417.

Summary. Reconstructed models of petroleum system formation are based on integrated surface and subsurface data sets, results of structural and analytical determinations, and interpretation of wireline well logs. Hydrocarbon generation modeling was carried out on digitized paleogeological cross-sections reflecting the structural evolution of oil- and gas-bearing flysch formations in the eastern part of the Polish Carpathians during the Late Tertiary. A comparative analysis of two-dimensional paleostruktural models, reconstructed with a balanced cross-section method, demonstrated that folds and thrusts started to form in the Early Oligocene separating local zones with an increasing gradient of tectonic subsidence. At the same time, an application of the StrataModel software packages enabled spatial and temporal interpolation of geochemical, petrophysical and geothermal parameters, which are necessary for reconstruction of hydrocarbon generation dynamics. Coefficients for thermal transformation of organic matter into the hydrocarbon phase were computed as functions of time, paleotemperatures, and variable kerogen kinetic parameters. The results of modeling documented an influence of synsedimentary tectonic deformations on separation of integral petroleum subsystems supplying adjacent structural culminations with hydrocarbons.

Key words: Flysch Carpathians, hydrocarbon generation, paleostruktural reconstructions, numerical modeling

Modelowanie procesów generowania węglowodorów, pomimo wielu zagadnień wymagających dalszych uściśleń, traktowane jest obecnie jako podstawowa metoda prognostyczna, wspomagająca podejmowanie optymalnych decyzji poszukiwawczych. Podejście takie znajduje uzasadnienie szczególnie w odniesieniu do mobilnych basenów geosynklinalnych, w których formowanie się systemu naftowego jest zwykle synchroniczne z fazami kompresji i erozji kompleksów ropogazonośnych (ryc. 1A). W basenach tego typu geometria kuchni generowania i dróg migracji węglowodorów jest na tyle złożona, że stosowanie prostych interpolacji, przyporządkowanych współczesnej budowie geologicznej, nie pozwala osiągnąć wiarygodnych wyników.

Celem niniejszej publikacji jest wykazanie wpływu synsedymencyjnych deformacji tektonicznych na wyniki dwuwymiarowych modeli generowania procesów generowania węglowodorów. Zagadnienie to starano się przedstawić zarówno w kontekście specyficznych cech budowy geologicznej analizowanego obszaru (ryc. 1B), jak i zastosowanych innowacji metodycznych; a w szczególności metod rekonstrukcji prekompresyjnej geometrii struktur i numerycznego konturowania kuchni generowania węglowodorów. Opisane poniżej procedury modelowania ulepszone

były w trakcie realizacji tematów badawczych (Kuśmierk i in., 1991–1994; Kuśmierk i in., 1994–1996), m.in. w zakresie skalowania parametrów wymiarujących potencjał naftowy.

Prezentowane modele opierają się na wyselekcjonowanym zbiorze dostępnych danych powierzchniowych i wgłębnych, odwzorowujących budowę i ewolucję karpacczych jednostek ropogazonośnych oraz ich system naftowy. Dane te zestawiono wykorzystując wyniki: interpretacji profili wierceń (Borys i in., 1991; Baczyński i in., 1992; Ciechanowska i in., 1993, 1995) i wieloletnich prac badawczych; finansowanych przez PGNiG S.A., PAN i KBN (Kuśmierk, i in., 1986–1990, 1991, 1991–1994, 1994–1996).

Argumenty uzasadniające zakres i lokalizację badań

Dotychczasowe rezultaty jednowymiarowych modeli systemu naftowego wschodniej części Karpat polskich wykazały, że znacząca intensyfikacja procesów generowania węglowodorów nastąpiła w synorogenicznym stadium rozwoju geosynkliny fliszowej, tj. w młodszym oligocenie–starszym miocenie (Kuśmierk, 1990; Kuśmierk i in., 1991–1994; Kuśmierk, 1994–1996). W pierwszym przybliżeniu, kontury kuchni generowania węglowodorów — interpolowane dla profili typowych osadów macierzystych, reprezentowanych przez litofację łupków menilitowych

*Zakład Surowców Energetycznych, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

(starszy oligocen) — nakładają się na późnogeosynkinalne depocentra sedymentacyjne, rozszerzając się znacznie w najbardziej pogażonych kompleksach macierzystych kredy starszej (Kuśmierek, 1990). Obraz ten, zrekonstruowany metodą SIT (Lopatin, 1983) i oparty na teoretycznym modelu niestacjonarnej składowej strumienia ciepłego (Kutas & Gordenko, 1972), był następnie uściślany poprzez kalibrację gradientów paleotermicznych i rekonstrukcję pierwotnego składu kerogenów (Kuśmierek & Maćkowski, 1995; Halat, 1995), jak i zastosowanie nowszych algorytmów w celu obliczenia tempa generowania węglowodorów (Maćkowski & Kuśmierek, 1995).

Obiektem dwuwymiarowych modelowań procesów generowania węglowodorów były dwa regionalne przekroje poprzeczne (ryc. 1B), przecinające obszary o wysokim poten-

cjale naftowym, wyznaczonym na podstawie interpretacji modeli jednowymiarowych (Kuśmierek i in., 1994–1996). Ślady przekrojów przeprowadzono w ten sposób, aby tektonika, miąższość, litologia i cechy petrofizyczne kompleksów ropogazonośnych były najlepiej udokumentowane zbiorami danych z wierceń, odsłoneń powierzchniowych i interpretacji badań geofizycznych. Program modelowań koncentrował się na następujących zagadnieniach:

- rekonstrukcji modeli paleostrukтурalnych w stadium formowania się systemu naftowego;
- interpolacji parametrów skalujących termiczną transformację kerogenu;
- dwuwymiarowym modelowaniu dynamiki procesów generowania.

Rekonstrukcja modeli paleostrukтурalnych

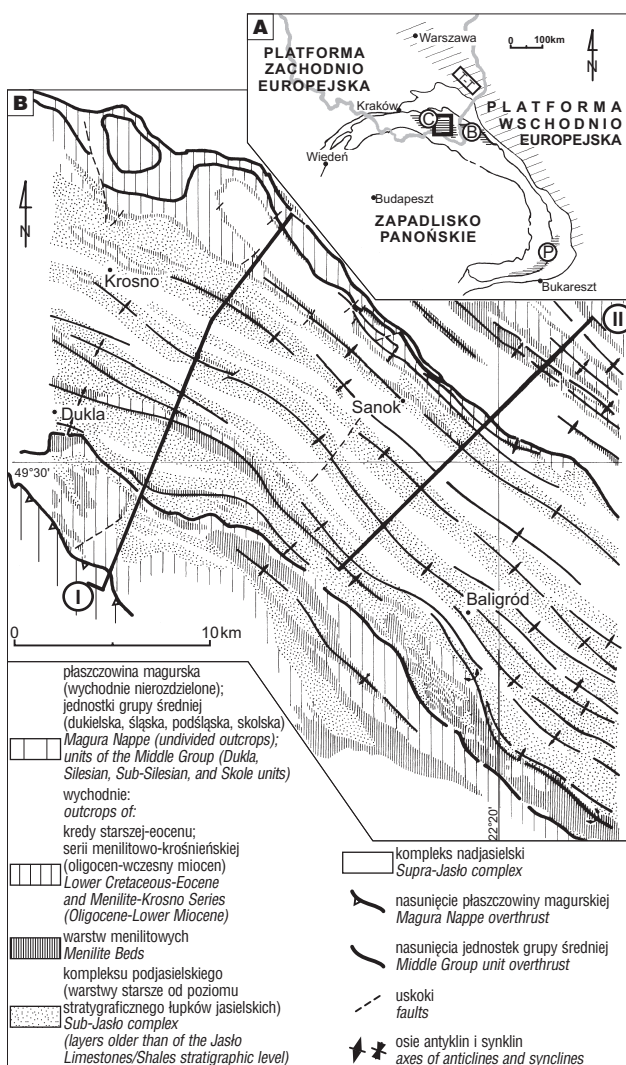
Rekonstrukcja ewolucji strukturalnej miała na celu odwzorowanie geometrii fałdów i dyslokacji tektonicznych w synorogenicznym stadium rozwoju subbasenów fliszowych. Cechą charakteryzującą to stadium była sedymentacja grubej serii osadów oligocenu–wczesnego miocenu, wydzielanych jako warstwy krośnieńskie. Synorogeniczny charakter litofacji krośnieńskiej podkreślają: duże gradacje zmian miąższości, migracja depocentrow sedymentacyjnych w stosunku do izochronicznego poziomu łupków (wapieni) jasielskich, powszechna obecność redeponowanej mikrofauny i ładowej materii organicznej (Kuśmierek, 1995; Kuśmierek & Maćkowski, 1995). Warstwy krośnieńskie zalegają w ciągłości sedymentacyjnej na starszych ogniwach paleogenu i kredy, reprezentowanych przez różnorodne asocjacje osadów ilasto-piaszczystych o zmiennej miąższości i litologii. Miąższość, jak i zasięg poszczególnych litofacji wykazuje największą zmienność w kierunkach prostopadłych do konfiguracji basenów sedymentacyjnych. Najbardziej anizopachytowy rozkład miąższości charakteryzuje litofację piaszczowców krośnieńskich dolnych. Wypełnia ona wewnętrzne synklinorium płaszczowiny skolskiej i centralne synklinorium płaszczowiny śląskiej; wykazujące cechy odziedziczonych depresji strukturalnych.

Przed przystąpieniem do konstruowania modeli strukturalnych zebrano dostępne materiały publikowane i archiwalne: dokumentacje wynikowe wierceń, powierzchniowe mapy geologiczne, wyniki sondowań magnetotellurycznych, przekroje sejsmiczne oraz mapy zrekonstruowanych miąższości stratygraficznych i rozmiaru erozji; wyodrębniając dane faktograficzne z kontekstu interpretacyjnego.

Modele strukturalne współczesnej budowy geologicznej konstruowano w taki sposób, aby uzyskać najlepszą zgodność geometrii struktur z trendami zmian miąższości kompleksów fliszowych i morfologią prealpejskiego podłoża tektogenu; w pełnym zakresie głębokościowym, niezbędnym dla odwzorowania kompletnej geometrii systemu naftowego analizowanych jednostek tektono-stratygraficznych.

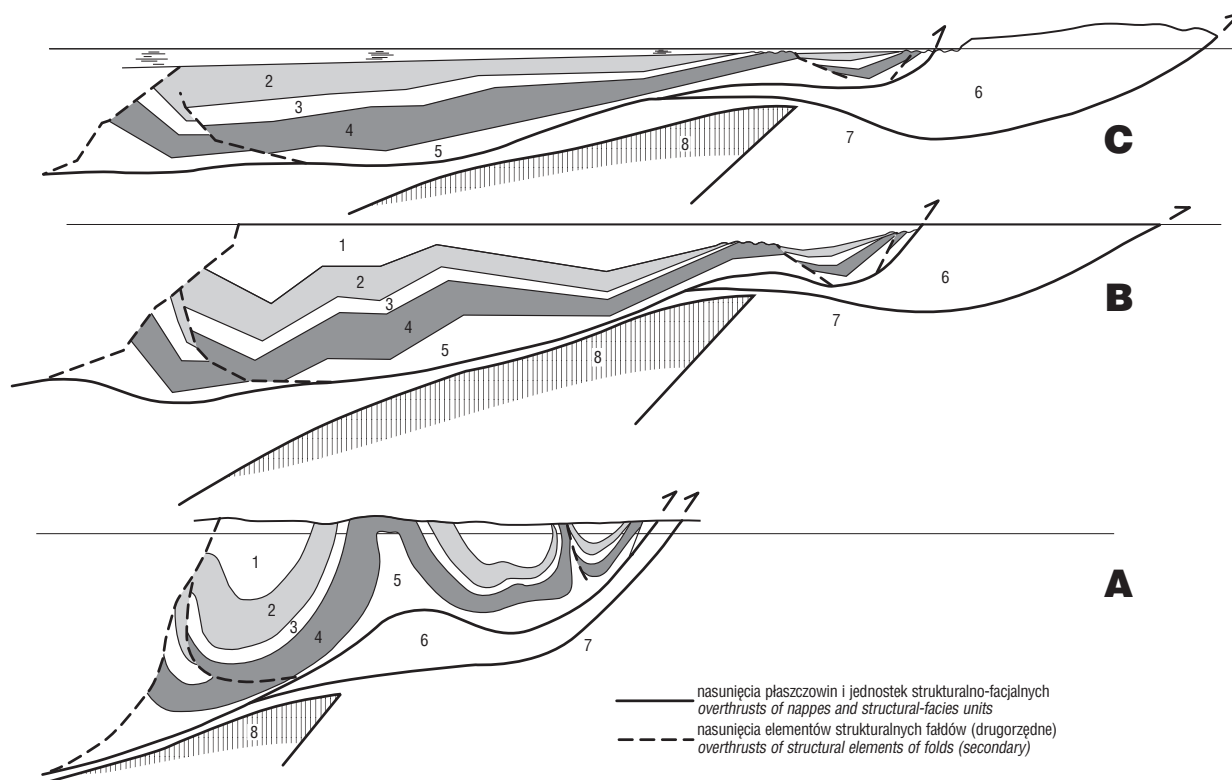
Utrzymanie powyższego założenia wymagało zgeneralizowania interpretacji lokalnych komplikacji tektonicznych, rozpoznanych szczegółowo w profilach wierceń, przede wszystkim tych, które miały charakter śródwartstwowych deformacji plastycznych.

Dwuwymiarowe modele paleostrukтурalne zrekonstruowano metodą bilansowania przekrojów zakładającą, że: miąższość kompleksów i długość powierzchni strukturalnych (granic geologicznych) nie ulega zmianie w trakcie deformacji tektonicznych, tj. zachowana zostaje również



Ryc. 1A. Położenie obszaru badań; lokalizacja karpaccich basenów naftowych (wg Kuśmierek i in., 1995): C — centralnokarpaccy, B — borysławsko-pokucki, P — Ploiești-Focșani; T-T — strefa Teisseyre'a-Torquista; B — lokalizacja przekrojów perspekcyjnych I i II na tle szkicu strukturalnego wschodniej części Karpat polskich (fragment, wg Kuśmiera i in., 1994–1996)

Fig. 1A. Location of study area; position of the Carpathian petroleum basins (after Kuśmierek et al., 1995): C — Central Carpathian Basin, B — Boryslaw-Pokucie Basin, P — Ploiești-Focșani Basin; T-T — Teisseyre-Torquist zone; B — location of cross-sections I and II versus structural sketch-map of the eastern part of the Polish Carpathians (a fragment after Kuśmierek et al., 1994–1996)



Ryc. 2. Przykład rekonstrukcji modeli paleostrukuralnych metodą bilansowania przekrojów (północny fragment przekroju I — ryc. 1B); A — przekrój współczesny, B — model paleostrukuralny w końcowym stadium sedymentacji osadów fliszowych (~23 mln lat wstecz), C — model paleostrukuralny w czasie sedymentacji poziomego stratygraficznego łupków jasielskich (~28 mln lat wstecz); płaszczowina śląska: 1 — kompleks nadjasielski, 2 — kompleks podjasielski, 3 — osady eocenu, 4 — osady paleocenu–kredy młodszej, 5 — osady kredy starszej, 6 — jednostka podśląska, 7 — płaszczowina skolska, 8 — podłoże tektogenu (prekambr)

Fig. 2. An example of reconstruction of paleostructural models with application of balanced cross-section method (northern part of the cross section I — Fig. 1B); A — present-day cross-section, B — paleostructural model in final stage of flysch deposition (~23 Ma), C — paleostructural model during deposition of the Jasło Limestones/Shales stratigraphic level (~28 Ma); Silesian Nappe: 1 — Supra-Jasło complex, 2 — Sub-Jasło complex, 3 — Eocene sediments, 4 — Paleocene–Upper Cretaceous sediments, 5 — Lower Cretaceous sediments, 6 — Sub-Silesian Unit, 7 — Skole Nappe, 8 — tectogene basement (Precambrian)

powierzchnia przekrojów w poszczególnych stadiach ewolucji, pomijając wpływ innych procesów, przede wszystkim kompaktacji i erozji (Hossack, 1979). W metodzie tej, przekształcanie elementów przekroju (tzw. modułów strukturalnych) przeprowadza się w płaszczyznach równoległych do przemieszczeń tektonicznych; pomijając możliwość odkształcania mas wzdłuż rozciągłości struktur (ryc. 2).

Pierwotną geometrię struktur — w trzech stadiach ich ewolucji — zrekonstruowano w następujący sposób:

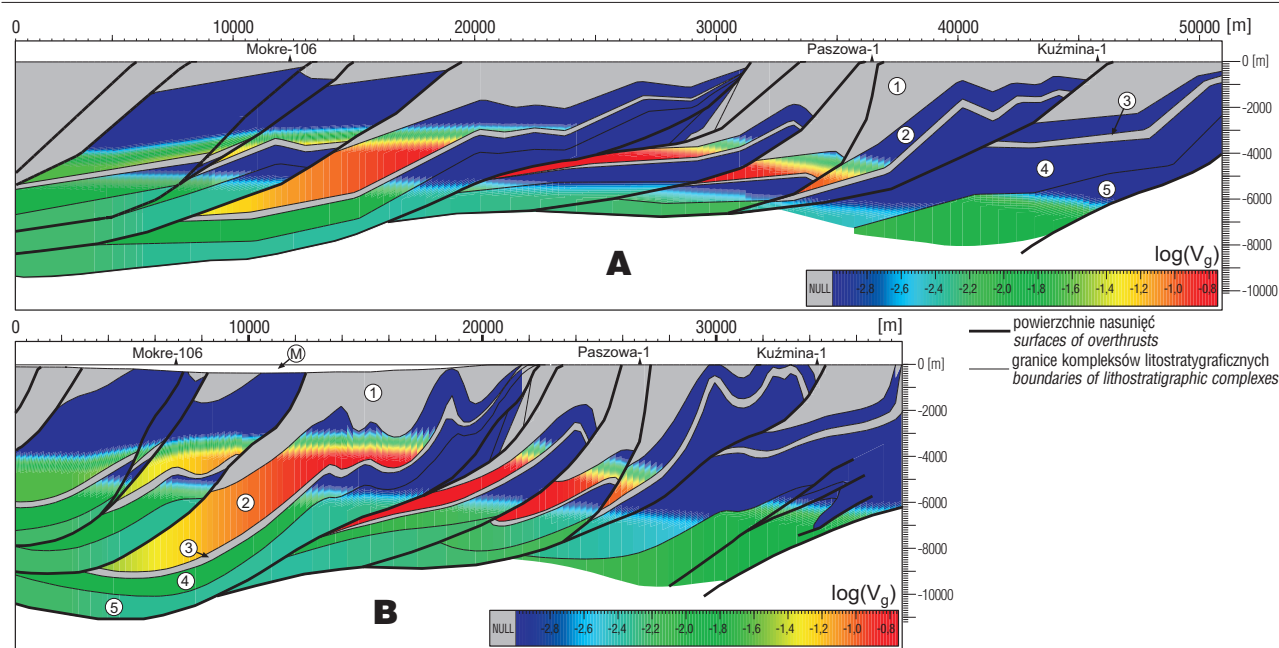
□ stadium przedinwersyjne — przekształcając przekrój współczesny poprzez przemieszczenie granic geologicznych w taki sposób, aby pole odwzorowujące rozmiar erozji postinwersyjnej (lądowej) znalazło się ponad hipotetyczną linią poziomu morza; rozmiar erozji postinwersyjnej i synorogenicznej zrekonstruowano według założeń opisanych w publikacji Kuśmierk i in. (1995);

□ stadium zakończenia sedymentacji osadów fliszowych — rozformowując elementarne moduły strukturalne w ten sposób, aby zinterpretowaną geometrię stropu najmłodszych osadów wyrównać do linii poziomu morza; tj. założono, że potencjalna przestrzeń sedymentacyjna została skompensowana przez sedymentację; wyliczony wymiar erozji korygowano z oznaczeniami wskaźnika R_0 (Kuśmierk i in., 1995), poprzez wprowadzenie poprawek rzędu: $0 \div +300$ m dla przegubów synklinalnych i $0 \div -500$ m dla przegubów antyklinalnych;

□ stadium sedymentacji łupków jasielskich — rozformowując moduły strukturalne w takim stopniu, aby poziom stratygraficzny łupków jasielskich odwzorowywał głębokość basenu w trakcie ich depozycji (ok. 28 mln lat wstecz).

Pojęcie „stadium ewolucji” użyto w sensie podkreślenia diachronizmu dwóch pierwszych stadiów, tj.: fazy inwersji strukturalnej i „likwidacji” przestrzeni sedymentacyjnej — migrujących ukośnie (z SW ku NE) względem śladów rekonstruowanych modeli. Interwał czasowy tej migracji oszacowano, dla skrajnych punktów badanego obszaru, jako nie większy od 5 mln lat.

Analiza porównawcza modeli paleostrukuralnych dokumentuje rozległy horyzont czasowy procesów deformacji. Obecność rozwiniętych nasunięć i fałdów synsedymentacyjnych — w subbasenie dukielskim i południowej części subbasenu śląskiego — obserwuje się już w czasie sedymentacji łupków jasielskich. Stopień deformacji powierzchni strukturalnych narastał sukcesywnie w młodszym oligocenie i wczesnym miocenie, aż do czasu transgresji miocenijskiej, poprzedzającej stadium inwersji (ryc. 3B, 4). Stąd też, na tle regionalnych trendów subsydencji wyodrębniły się stopniowo lokalne strefy pogażeń o dużej gradacji. Na przykład, zrekonstruowana głębokość zalegania powierzchni strukturalnych, względem hipotetycznego poziomu morza, była w stadium przedinwersyjnym o 500–1200 m większa od głębokości współczesnej.



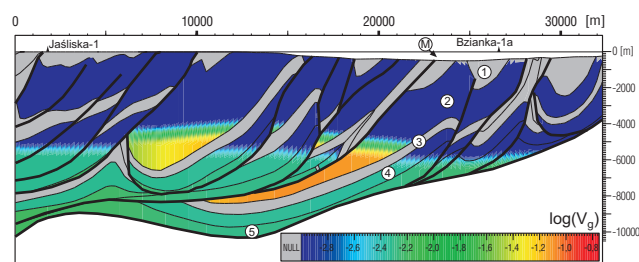
Ryc. 3. Dwuwymiarowy model kuchni generowania węglowodorów w przekroju II (ryc. 1B); **A** — końcowe stadium sedimentacji osadów fliszowych; **B** — stadium przedinwersyjne; V_g — jednostkowe objętości wygenerowanych węglowodorów w $\log \text{cm}^3$ z cm^3 skały macierzystej, M — miocen transgresywny; pozostałe objaśnienia jak do ryc. 2

Fig. 3. Two-dimensional model of hydrocarbon generation kitchen along cross-section II (Fig. 1B); **A** — final stage of flysch deposition; **B** — pre-inversional stage; V_g — unit volumes of generated hydrocarbons (in $\log \text{cm}^3$ from 1cm^3 of source rock), M — transgressive Miocene; for explanations see Fig 2

Interpolacja parametrów skalujących termiczną transformację kerogenu

Od czasu udowodnienia dominującego wpływu energii cieplnej na przeobrażenie rozproszonej materii organicznej w płynną i gazową fazę węglowodorów (m.in. Lopatin, 1971; Dow, 1977), są proponowane coraz bardziej precyzyjne modele opisujące dynamikę tego procesu (Wood, 1988). Łączą one przeobrażenie zlitfikowanej materii organicznej (kerogenu) z ilością ciepła pochłoniętego przez skały macierzyste i parametrami kinetycznymi kerogenu.

Generowanie ciekłych i gazowych węglowodorów opisać można jako trójstopniowy proces przemian fazowych: kerogen \rightarrow ropa, kerogen \rightarrow gaz i ropa \rightarrow gaz. Pierwsza i trzecia z wyżej wymienionych jest typowa dla kerogenu typu I i II. Natomiast dla kerogenu typu III bardzo istotne znaczenie ma przemiana: kerogen \rightarrow gaz, która dostarcza znaczącej ilości węglowodorów lekkich.



Ryc. 4. Dwuwymiarowy model kuchni generowania węglowodorów w przekroju I (ryc. 1B) w stadium przedinwersyjnym; objaśnienia jak do ryc. 2 i 3

Fig. 4. Two-dimensional model of hydrocarbon generation kitchen along the cross-section I (Fig. 1B) in the pre-inversional stage; for explanations see Figs 2 and 3

Interpolacje rozkładu parametrów skalujących dynamikę generowania węglowodorów przeprowadzono przy użyciu oprogramowania StrataModel*.

Wstępny etap obejmował przekształcanie skonstruowanych przekrojów strukturalnych i paleostrukturnalnych w postać cyfrową. Następnie, w każdym kompleksie stratygraficznym wyodrębniono pakiety warstw, które podzielono na elementarne bloki, uzyskując w ten sposób siatkę elementów skończonych (Maćkowski i in., 1997). Przy założeniu ograniczającym całkowitą ilość elementarnych bloków, w dyskretyzowanym przekroju do 100 tys., grubość pojedynczych bloków różnicowała się w zakresie 15–75 m, adekwatnie do zmian miąższości poszczególnych kompleksów stratygraficznych.

Kolejnym krokiem było przypisanie wartości parametrów (najczęściej ich średniej ważonej) do elementarnego bloku określonego lokalizacją danych, a następnie ich interpolacja zgodnie z geometrią granic stratygraficznych.

Stopień zaawansowania termicznej transformacji materii organicznej w związki węglowodorowe obliczano na podstawie dwuwymiarowych rozkładów paleotemperatur i parametrów kinetycznych kerogenów, specyficznych dla wyodrębnionych kompleksów macierzystych. Rozkłady paleotemperatur zrekonstruowano wykorzystując mapy maksymalnych wartości gradientów paleotermicznych w trakcie formowania się systemu naftowego i współczesnych gradientów termicznych, oraz trendów zmian paleogradientów w czasie geologicznym. Są one bardzo zróżnicowane: od paleogradientów zbliżonych do współczesnych w obszarze wewnętrznego synklinorium płaszczowiny skolskiej do dwu-

*Do modelowań wykorzystano oprogramowanie firmy Landmark Graphics Corporation, udostępnione w ramach programu wspierania badań naukowych uniwersytetów (umowa nr LG137V166/1419)

krotnie wyższych w południowo-wschodniej części płaszczowiny śląskiej (Kuśmierk & Maćkowski, 1995). Rozkłady paleogradientów wyznaczone dla każdego stadium ewolucji strukturalnej posłużyły do obliczania paleotemperatur w elementarnych blokach modeli geometrycznych, jako funkcja ich pograżenia.

Jak zaznaczono powyżej, stopień transformacji termicznej kerogenu wyliczano przypisując, poszczególnym jego typom I, II, III, zróżnicowane parametry kinetyczne. Typy kerogenów identyfikowano na podstawie zrekonstruowanych ich składów pierwotnych (Halat, 1995). W pakietach ilastych, przeławicających typowe sekwencje turbidytowe, charakterystyczne dla młodszej kredy-paleocenu i młodszego oligocenu, zdecydowanie przeważa III typ kerogenu. Kerogeny o wyższym potencjale genetycznym, reprezentowane przez typy: II/III, II i II/I, występują w profilu litofacji łupków menilitowych (wczesny oligocen) i pakietach ilastych kredy starszej (Halat, 1995; Bessereau i in., 1996).

W konsekwencji, rozkłady kinetycznych parametrów kerogenu, dla skał macierzystych o mieszanym charakterze materii organicznej, są wynikiem liniowej interpolacji wartości przypisanych poszczególnym typom kerogenu.

Modelowanie dynamiki generowania węglowodorów

Generowanie węglowodorów, podobnie jak większość procesów chemicznych, jest funkcją czasu i temperatury. Ekspotencjalną zależność tempa generowania, z i-tego składnika kerogenu od temperatury opisuje równanie Arrheniusa:

$$k_i = A_i \exp(-E_i/RT)$$

gdzie:

- k_i — tempo przemiany dla i-tego składnika [1/mln lat]
- A — przedwykładniczy współczynnik Arrheniusa dla i-tego składnika [1/mln lat]
- E_i — energia aktywacji dla i-tego składnika [kJ/mol]
- R — stała gazowa [kJ/mol/°K]
- T — temperatura [°K]

W celu obliczenia współczynnika transformacji termicznej kerogenu (TR) dla reakcji pierwotnego krakingu tj. przemiany kerogenu w ropę, rozwiązano powyższe równanie algorytmem zaproponowanym przez Wooda (1988). Opiera się on na obliczaniu indeksu TTI_{ARR} i wyraża się dla wyspecyfikowanych parametrów kinetycznych (E , A)_(i=1) wzorem:

$$TTI_{ARR} = \frac{A(t_{n+1} - t_n)}{T_{n+1} - T_n} \left[\frac{RT_{n+1}^2}{E + 2RT_{n+1}} \exp\left(\frac{-E}{RT_{n+1}}\right) - \frac{RT_n^2}{E + 2RT_n} \exp\left(\frac{-E}{RT_n}\right) \right]$$

gdzie:

- $t_{n+1} - t_n$ — n-ty przedział czasu geologicznego
- T_n , T_{n+1} — paleotemperature w czasie t_n , t_{n+1}

W przypadku, gdy paleotemperature nie zmienia się w przedziale czasu od t_n do t_{n+1} , czyli $T_{n+1} - T_n = 0$, TTI_{ARR} przyjmuje postać:

$$TTI_{ARR} = (t_{n+1} - t_n) \cdot e^{-E/RT_0}$$

Wzdłuż krzywej pograżenia, zdyskretyzowanej w N interwałach czasowych obliczana jest suma wartości TTI_{ARR} ($\sum_1^N TTI_{ARR}$), którą bezpośrednio można przekształcić w współczynnik transformacji kerogenu TR:

$$TR = 1 - \exp\left(-\sum_1^N TTI_{ARR}\right)$$

W oparciu o powyższy współczynnik obliczono jednostkową objętość wygenerowanych węglowodorów dla każdego interwału czasowego, według zależności:

$$V_g = C_o \cdot HI_o \cdot TR \cdot \frac{\rho_R}{\rho_{HC}} \text{ [cm}^3 \text{ węglowodorów/cm}^3 \text{ skały]}$$

gdzie:

- C_o — pierwotna zawartość węgla organicznego
- HI_o — pierwotny potencjał genetyczny
- ρ_R — gęstość skały macierzystej
- ρ_{HC} — gęstość płynu naftowego w warunkach wgłębnych.

Opisany algorytm jednowymiarowy zastosowano do prognozowania wielkości V_g w elementarnych blokach modeli paleostrukturalnych. W ten sposób otrzymano dwuwymiarowy rozkład tego parametru charakteryzujący proces generowania dla omawianych przekrojów (ryc. 3A, B, 4).

Dyskusja i podsumowanie wyników

Prezentowane modele generowania (ryc. 3A, B, 4) wnoszą — zdaniem autorów — nowe, interesujące rozwiązania zarówno w zakresie zastosowanych metod badawczych i sposobów ich integracji, jak i interpretacji procesów formowania się karpacciego systemu naftowego. Nie mniej ich wiarygodność jest obciążona deficytem danych wejściowych wymiarujących poszczególne parametry wobec ich dużej zmienności i stopnia skomplikowania tektoniki formacji fliszowych. Powyższe cechy obiektu badań utrudniały proces dwuwymiarowej interpolacji wartości parametrów, aczkolwiek zastosowanie nowoczesnych programów numerycznych wykazało możliwość uzyskania obrazów o wysokiej rozdzielczości. Należy również zwrócić uwagę, że ze względu na skalę rycin zamieszczonych w niniejszej publikacji, kuchnie generowania konturowane są wyłącznie granicami tektono-stratygraficznymi, tj. bez wyodrębnienia — zazwyczaj bardzo cienkich — pakietów skał macierzystych w profilach poszczególnych kompleksów stratygraficznych.

Pomimo zmniejszającej się ilości informacji wraz z głębokością zalegania kompleksów, opierano się wyłącznie na danych oryginalnych, mając świadomość, że dopływ nowego materiału faktograficznego umożliwi uściślenie prezentowanych modeli. Można przewidywać, że najbardziej niedoszacowana jest wielkość potencjału macierzystości osadów kredy starszej ze względu na nierozpoznany ich pełny profil.

W zakresie rozwiązań metodycznych należy pozytywnie ocenić wyniki uzyskane metodą bilansowania przekrojów, również w aspekcie strukturalnej kontroli interpretacji przekrojów współczesnych, które „nie poddają się” procedurze bilansowania gdy nie są poprawnie skonstruowane.

Interpretacja geologiczna wyników ilościowych symulacji generowania węglowodorów prowadzi do kilku istotnych wniosków:

- formowanie się systemu naftowego fliszowych jednostek strukturalno-facjalnych zdominowane zostało przez geometrię nasunięć i fałdów synsedymencyjnych;
- interwał czasowy ich propagacji (młodszy oligocen-wczesny miocen) był synchroniczny z procesami przeobrażania materii organicznej w węglowodory i powodował wyodrębnienie lokalnych kuchni generowania, umiejscow-

wionych w głęboko pograżonych przegubach synklin ściana-nych powierzchni nasunięć;

□ ich zasięg rozszerzał się adekwatnie do narastającego pograżenia litofacji macierzystych i był ponadto kontrolowany zarówno zmiennymi wartościami gradientów paleo-termicznych, jak i parametrami kinetycznymi kerogenów;

□ najbardziej wydajne strefy generowania węglowodorów zlokalizowane są w profilach litofacji łupków menilitowych, która cechuje się największą zawartością kerogenu i najlepszym jego typem, co znajduje potwierdzenie w stratygraficznym rozmieszczeniu najbardziej zasobnych ropośnych serii produkcyjnych fliszu karpackiego (Karnkowski, 1993).

Literatura

- BESSEREAU G., ROURE F., KONTARBA A., KUŚMIEREK J. & STRZETELSKI W. 1996 — Structure and hydrocarbon habitat of the Polish Carpathian. [In:] Ziegler P.A., Horvath F., Peri-Tethys Memoir 2: Structure and Prospects of Alpine Basins and Forelands. Mem. Mus. Natn. Hist. Nat., 170: 343–373.
- BACZYŃSKI A. (ed.) 1992 — Zestawienie parametrów charakteryzujących cechy zbiornikowe, miąższość i litologię oraz nasycenie płynami kompleksów stratygraficznych fliszu karpackiego w wybranych profilach wierceń. Arch. ISE AGH.
- BORYS Z. (ed.) 1991 — Analiza miąższości i fizyko-chemicznych własności potencjalnych kompleksów skał macierzystych karpackiej formacji fliszowej w profilach głębokich wierceń. Arch. ISE AGH.
- CIECHANOWSKA M. (ed.) 1993 — Interpretacja profilowań geofizyki wiertniczej w zakresie wyznaczania uśrednionych parametrów petrofizycznych i potencjałów macierzystości karpackiej formacji ropogazonośnej. Arch. ISE AGH.
- CIECHANOWSKA M. (ed.) 1995 — Kompleksowa interpretacja profilowań geofizyki wiertniczej. [In:] Zastosowanie zintegrowanych modeli geodynamicznych i petrofizycznych dla prognozowania potencjału naftowego. Proj. Cel. Nr 99319 93C/1599, KBN, PGNiG, Warszawa.
- DOW W.G. 1977 — Kerogen studies and geological interpretations: Jour. Geoch. Explor., 7: 79–99.
- HALAT Z. 1995 — Rekonstrukcja pierwotnego potencjału macierzystości. [In:] Ewolucja a ropogazoność Karpat polskich. Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN, 138.
- HOSSACK J.R. 1979 — The use of balanced cross-sections in the calculation of orogenic contraction. J. Geol. Soc., 136: 705–711.
- KARNKOWSKI P. 1993 — Złoża gazu ziemnego i ropy naftowej w Polsce. t.2, Karpaty i zapadlisko przedkarpackie. Tow. Geosyn. GEOS, Kraków.
- KUŚMIEREK J. 1990 — Zarys geodynamiki centralnokarpackiego basenu naftowego. Pr. Geol. PAN, 135:1–85.
- KUŚMIEREK J. 1995 — Geodynamiczny scenariusz formowania się systemu naftowego. [In:] Ewolucja a ropogazoność Karpat polskich. Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN, 138: 47–53.
- KUŚMIEREK J.(ed.) 1986–1990 — Badanie ewolucji orogenu karpackiego na tle dynamiki płyt litosfery w powiązaniu z procesami formowania się złóż ropy naftowej i gazu ziemnego. CPBP 03.02, temat I.4. Arch. Inst. Geof. PAN, Warszawa.
- KUŚMIEREK J. & URBANIAK J. (eds.) 1986 — Rekonstrukcja rozwoju basenów sedimentacyjnych w strefach kolizji płyt litosfery CPBP 03.02, temat I.4. Arch. Inst. Geof. PAN, Warszawa.
- KUŚMIEREK J. & KOTARBA M. (eds.) 1987 — Analiza litogenezy i ocena potencjału naftowego formacji fliszowej. CPBP 03.02, temat I.4. Arch. Inst. Geof. PAN, Warszawa.
- KUŚMIEREK J., HACZEWSKI G., MAGIERA J. & WIŚNIEWSKI Z. (eds.) 1988 — Studium neopalpejskich deformacji tektonicznych. CPBP 03.02, temat I.4. Arch. Inst. Geof. PAN, Warszawa.
- KUŚMIEREK J. (ed.) 1989 — Tektogeneza struktur pokrywy osadowej. CPBP 03.02, temat I.4. Arch. Inst. Geof. PAN, Warszawa.
- KUŚMIEREK J. (ed.) 1990 — Geodynamiczne kryteria formowania się złóż ropogazonośnych. CPBP 03.02, temat I.4. Arch. Inst. Geof. PAN, Warszawa.
- KUŚMIEREK J. (ed.) 1991 — Geodynamiczna charakterystyka karpackiej formacji ropogazonośnej. Arch. ISE AGH, Kraków.
- KUŚMIEREK J., HALAT Z., MAĆKOWSKI T. & PAPIERNIK B. (eds.) 1991–1994 — Bilans zasobów węglowodorów basenu centralnokarpackiego. Projekt badawczy nr 9 0427 91 09, finansowany przez KBN.
- KUŚMIEREK J., BACHLEDA-CURUŚ T., BACZYŃSKI A., CIECHANOWSKA M., HALAT Z., SEMYRKA G. & SEMYRKA R. (eds.) 1994–1996 — Zastosowanie zintegrowanych modeli geodynamicznych i petrofizycznych dla prognozowania potencjału naftowego. Proj. Cel. Nr 99319 93 C/1599, KBN-PGNiG, Warszawa.
- KUŚMIEREK J. (ed.) 1995 — Ewolucja a ropogazoność Karpat polskich. Pr. Geol. PAN, 138: 1–92.
- KUŚMIEREK J. & MAĆKOWSKI T. 1995 — Kalibracja reżimu paleotermicznego. [In:] Ewolucja a ropogazoność Karpat polskich. Pr. Geol. PAN, 138: 55–63.
- KUŚMIEREK J. & MAĆKOWSKI T. (eds.) 1996 — Dwuwymiarowe modelowanie procesów migracji węglowodorów: testowanie dynamiki napelniania pułapek złożowych z zastosowaniem stacji interpretacyjnej Landmark. Blok V, etap III w temacie pn. Ocena zasobów prognostycznych polskich Karpat fliszowych na tle budowy geologicznej i potencjału węglowodorowego karpackich jednostek. Arch. BG Geonafta PGNiG, Warszawa.
- KUTAS R.I. & GORDENKO V.V. 1972 — Teplovoje pole Karpat i nekotorye voprosy geotermii. Tr. Mosk. Ob. Isp. Pri., 46: 70–77.
- LOPATIN N.V. 1971 — Temperatura i geologičeskoe vremja kak faktory uglefikacii. Izd. AN SSSR, Ser. Geoch., 3: 95–106.
- LOPATIN N.V. 1983 — Obrazovane gorjuich iskopaemych. Izd. Nauka, Moskva
- MAĆKOWSKI T. & KUŚMIEREK J. 1995 — Modelowanie dynamiki generowania węglowodorów. [In:] Ewolucja a ropogazoność Karpat polskich. Pr. Geol. PAN, 138: 75–78.
- MAĆKOWSKI T., KUŚMIEREK J., HALAT Z. & ŁAPINKIEWICZ A.P. 1997 — Dwuwymiarowe modele rozkładu parametrów systemu naftowego wschodniej części Karpat polskich. Mat. Konfer. ZSE pt. Rozwój polskiej myśli w poszukiwaniach naftowych. 25–26.09, AGH, Kraków; 246–249.
- WOOD D.A. 1988 — Relationships between thermal maturity indices calculated using Arrhenius equation and Lopatin method: implications for petroleum exploration. AAPG Bull., 72: 115–134.