

WYNIKI BADAŃ TEKTONICZNYCH, HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

Ireneusz DYRKA

ANALIZA TEMPA DEPOZYCJI ORAZ MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ I WARUNKÓW POGRZEBANIA

METODY BADAŃ

Dla profilu otworu wiertniczego Komarów IG 1 przeprowadzono analizę tempa depozycji osadów oraz modelowania historii termicznej i warunków pogrzebania. Modelowania w wariantcie jednowymiarowym (1D) wykonano za pomocą programu PetroMod 1-D firmy Schlumberger. Modelowania wykonano na podstawie takich danych wyjściowych jak: stratygrafia, litologia, miąższość jednostek wydzielonych w profilu oraz parametry petrofizyczne skał. Każdej jednostce stratygraficznej przypisano wiek liczbowy na podstawie danych w opracowaniu Gradsteina i in. (2012). Modelowania przeprowadzono metodą wprost (ang. *forward modelling*) tj. zakładano stan wyjściowy systemu oraz określony proces, a następnie wyliczano jego skutek dla współczesnego rozkładu stopnia dojrzałości termicznej materii organicznej w profilu otworu. W przypadku niezgodności między dojrzałością obliczoną a pomierzoną w profilu otworu procedura była powtarzana aż do optymalnej kalibracji modelu. Dojrzałość termiczną materii organicznej obliczono za pomocą algorytmu opracowanego przez Sweeney'a i Burnhama (1990). W rekonstrukcji historii pograżania zastosowano poprawkę na dekompleksję. W procedurze dekompleksji uwzględniono takie parametry petrofizyczne skał jak: współczynniki kompaktacji i porowa-

tości pierwotne utworów. Parametry te były przyjmowane dla poszczególnych typów litologicznych z biblioteki programu. W procedurze odtwarzania historii termicznej i warunków pogrzebania rekonstruowano miąższości zerodowanych osadów. Dotyczyło to zwłaszcza erozji utworów górnego dewonu oraz karbonu (pensylwanu). Miąższości zerodowanych utworów były określone na podstawie ekstrapolacji miąższości z obszarów o pełniej zachowanych profilach oraz przez kalibrację profili dojrzałości termicznej pomierzonej i obliczonej. Kalibrację modeli historii termicznej przeprowadzono przede wszystkim na podstawie średniej wartości refleksyjności wityryny i macerałów wityrynopodobnych określonych w próbkach z utworów od dewonu do karbonu na podstawie wyników badań Grotek (2014, ten tom). W modelowaniach uwzględniono dane charakteryzujące współczesny reżim cieplny (Plewa, 1994; Karwasiecka, Bruszezewska, 1997; Szewczyk, Gientka, 2009) tj. pomiary temperatury w otworach i przewodności cieplne szkieletu ziarnowego. Ponadto, w modelowaniach uwzględniono zmiany średniej temperatury powierzchniowej w historii geologicznej basenu (Wygrala, 1989), której wartości znajdowały się w bibliotece programu.

ANALIZA TEMPA DEPOZYCJI

Otwór Komarów IG 1 jest zlokalizowany w południowo-wschodniej części basenu lubelskiego, w obrębie kratonu wschodnioeuropejskiego. Na tym obszarze wyniki badań analizy tempa depozycji materiału osadowego oraz modelowania historii termicznej i warunków pogrzebania znajdują się w pracach m.in.: Maćkowskiego (1997), Burzewskiego i in. (1998), Narkiewicza i in. (1998), Poprawy i Paczeńskiej (2002), Batora i in. (2002), Karnkowskiego (2003), Poprawy i Żywieckiego (2005), Poprawy (2008a, b).

Najstarszymi utworami w profilu otworu Komarów IG 1 są piaskowce i mułowce dolnego dewonu (ems). Tempo depozycji tych utworów oraz utworów klastyczno-węglanowych dewonu środkowego wynosiło około 20–25 m/mln lat (fig. 32). Dewon późny charakteryzował się raptownym przyspieszeniem tempa subsydencji we franie, a tempo depozycji wynosiło około 50–60 m/mln lat i było związane z transtensyjną aktywnością tektoniczną (Narkiewicz i in., 1998). Po gwałtownym przyspieszeniu, tempo depo-

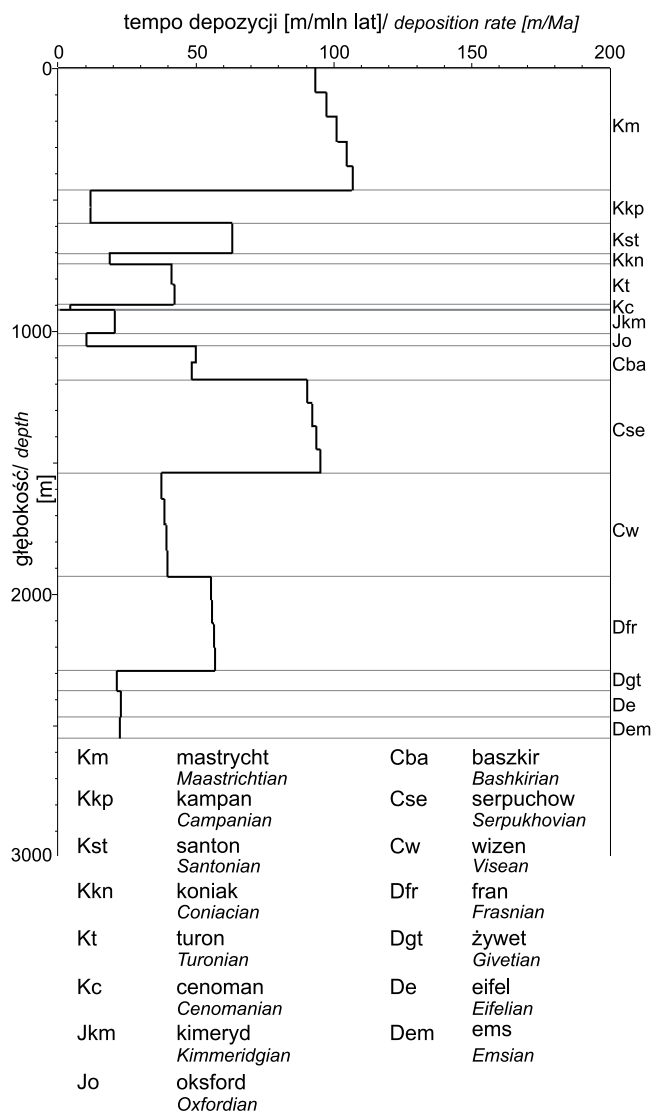


Fig. 32. Tempo depozycji osadów dla profilu otworu Komarów IG 1

Sediment deposition rate in the Komarów IG 1 borehole

zycji uległo zmniejszeniu w famenie. Z początkiem karbonu nastąpiło zatrzymanie sedymentacji osadów, które, związane z górotwórczą fazą bretońską, doprowadziło do wypiętrzenia, a następnie erozji utworów famenu.

Kolejny etap sedymentacji utworów klastyczno-węglanowych rozpoczął się w późnym wizenie z tempem depozycji około 40 m/mln lat. Wraz z początkiem serpuchowu sedymentacja osadów wzrosła gwałtownie i wynosiła około 90–100 m/mln lat. Szybkie tempo depozycji materiału również wiązano z transtensyjną aktywnością tektoniczną (Narkiewicz i in., 1998). W baszkirze tempo depozycji spadło prawie o połowę i wynosiło około 50 m/mln lat. Z końcem pensylwanu rozpoczął się okres wypiętrzenia, erozji, a następnie przerwy w sedymentacji, która według Poprawy (2012) była związana z deformacjami kompresyjnymi i zakończyła się w późnej jurze.

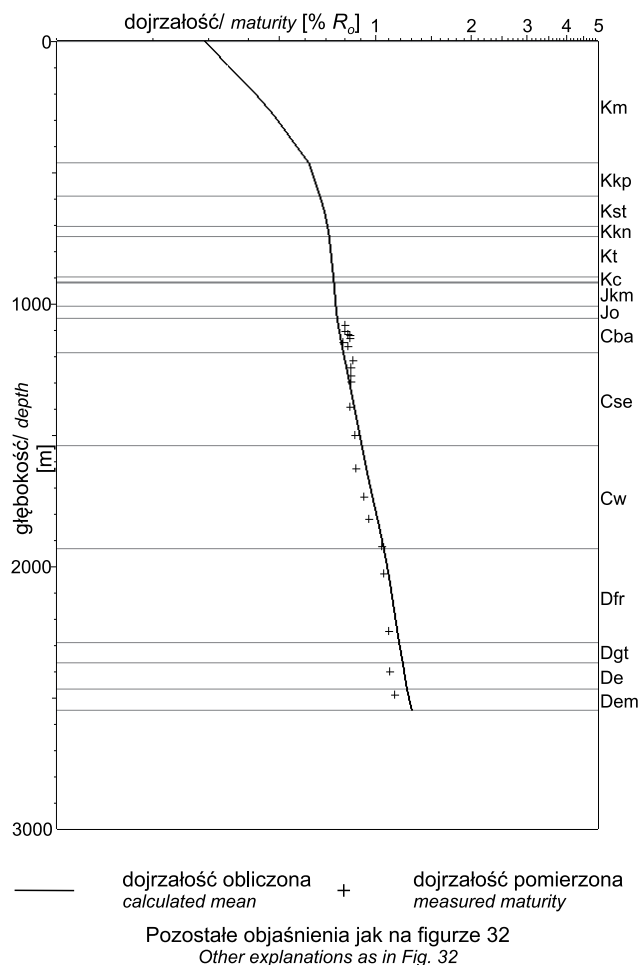


Fig. 33. Kalibracja modelu historii termicznej pomiarami dojrzałości termicznej dla profilu otworu Komarów IG 1

Calibration of the thermal history model with thermal maturity measurements for the Komarów IG 1 borehole

W profilu otworu Komarów IG 1, na częściowo zerodowanych utworach późnego pensylwanu, zalegają w przewadze klastyczne utwory jury górnej (oksfordu i kimerydu). Średnie tempo depozycji tych osadów było niewielkie i wynosiło 10–20 m/mln lat. Tempo sedymentacji zależało od fazy ekstensyjnej, która miała miejsce w basenie polskim (Dadlez i in., 1995), obejmującym od oksfordu również rejon otworu Komarów IG 1. W profilu występuje hiatus obejmujący tyton–alb dolny.

Z początkiem późnego albu rozpoczęła się kolejna faza aktywności tektonicznej, która trwała aż do wczesnego paleogenu. W albie i cenomanie tempo depozycji utworów węglanowych było niewielkie i wynosiło zaledwie 2–5 m/mln lat. Od turonu do mastrychtu tempo depozycji sukcesywnie wzrastało. W turonie i santonie wynosiło ono około 10–60 m/mln lat, a w mastrychcie już około 90–110 m/mln lat.

MODELOWANIE HISTORII TERMICZNEJ
I WARUNKÓW POGRZEBANIA

Dla profilu utworów z otworu Komarów IG 1 wykonano jednowymiarowe modelowania i rekonstrukcję historii termicznej oraz warunków pogrzebania. Podstawowym celem analizy było odtworzenie warunków paleotermicznych oraz stopnia pogrzebania skał w basenie. Do kalibracji modelu wykorzystano wyniki 21 pomiarów dojrzałości termicznej (fig. 33) wykonanych na próbkach skał pochodzących z profilu otworu wg Grotek (2014, ten tom). Pomiaru obejmują interwał od dolnego dewonu po pensylwan i są dość równomiernie rozmieszczone w tej części profilu otworu. Niestety pewnym ograniczeniem wiarygodności modelowań dojrzałości termicznej (fig. 34) jest brak pomiarów dla utworów mezozoicznych leżących powyżej powierzchni erozyjnej występującej w stropie karbonu. Zróżnicowana jakość kalibracji powoduje, że model historii termicznej nie jest jednoznaczny i są możliwe alternatywne rekonstrukcje.

Gęstość współczesnego strumienia ciepłego dla otworu Komarów IG 1 obliczono na podstawie wartości tempe-

ratur odczytanych z map współczesnych temperatur na powierzchniach ściąg poziomych (Karwasiecka, Bruszevska, 1997; Szweczyk, Gientka, 2009). Jako że nie dysponowano pomiarami laboratoryjnymi przewodnictwa ciepłego skał z profilu analizowanego otworu, to wartości dla wydzielonych typów litologicznych przyjęto z biblioteki programu. Obliczony współczesny strumień ciepły wynosi 38 mW/m².

Mięszkości erozyjnie usuniętych utworów górnego dewonu (famenu) oszacowano na 150 m, a utworów pensylwanu na 600 m, na podstawie ekstrapolacji z obszarów o pełniej zachowanych profilach oraz poprzez kalibrację profili dojrzałości termicznej pomierzonej i obliczonej. Do odtworzenia paleomięszkości wykorzystano prace Marka i Pajchlowej (1997), Narkiewicza i in. (1998) i Waksmundzkiej (2010c). Wielkość erozji innych utworów była nieznaczną i nie miała wpływu na jakość modelu.

Profil otworu Komarów IG 1 charakteryzuje obecność kilku faz zwiększonego pogrzebania związanego z szybkim tempem depozycji osadów. Po okresach szybkiego

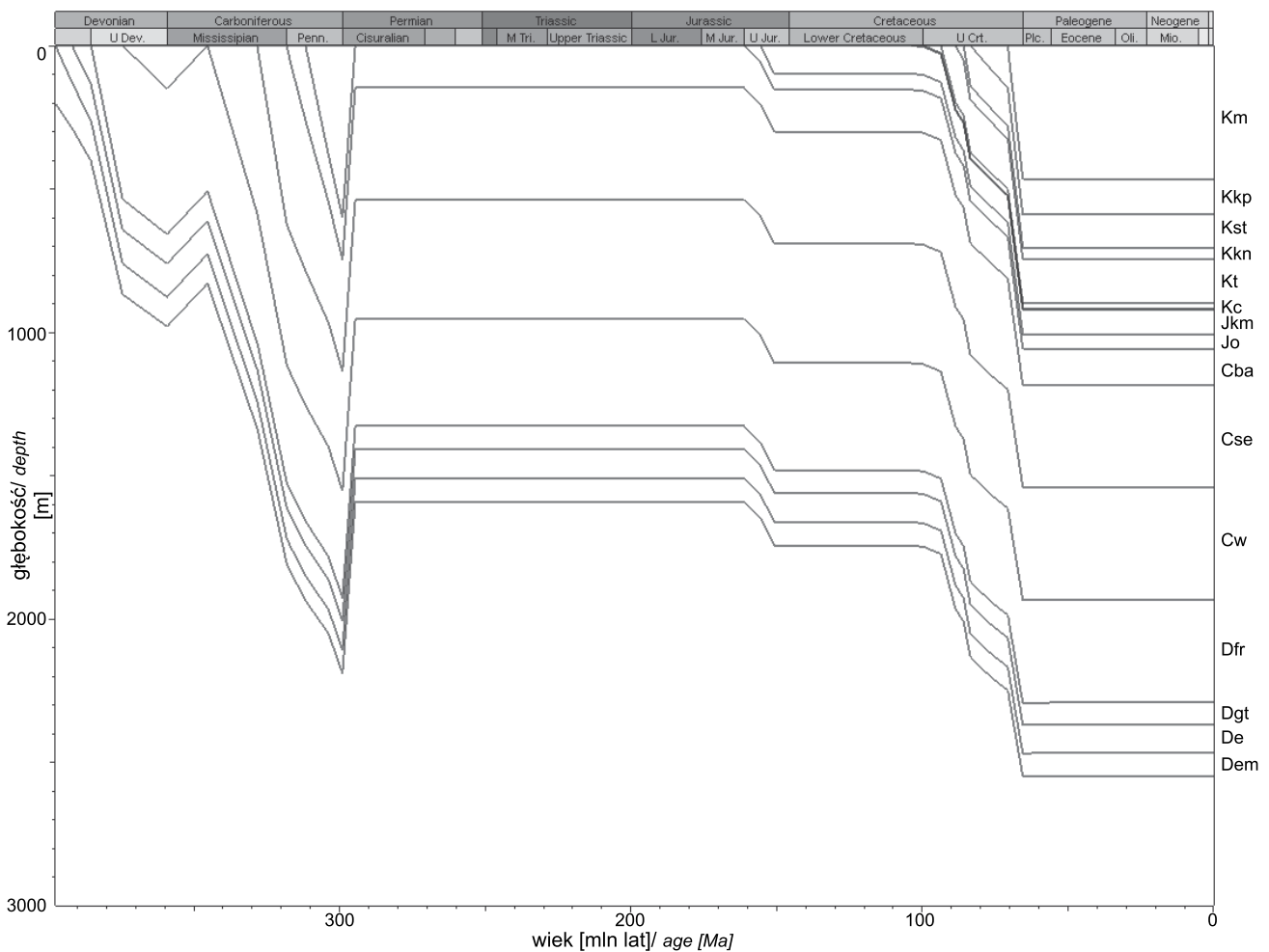


Fig. 34. Historia pogrzebania utworów w profilu otworu Komarów IG 1

Burial history for the Komarów IG 1 borehole

wzrostu pogrzebania bezpośrednio miały miejsce okresy erozji lub braku sedymentacji osadów. Pierwszym okresem wzmózonej depozycji był dewon, którego osady osiągnęły miąższość około 800 m. Z końcem dewonu nastąpił okres wypiętrzania i erozji związany z fazą bretońską, który doprowadził do usunięcia około 150 m utworów famenu. Następnie w późnym wizenie nastąpiła kolejna faza szybkiego pogrzebania, która trwała niemalże do końca karbonu. Pokrywa osadowa w tym czasie osiągnęła miąższość 2100 m. Z końcem karbonu i początkiem permu nastąpiła faza wypiętrzania i erozji o znaczących rozmiarach. Zerodowanych zostało około 600 m utworów baszkiru i moskoku. Od wczesnego permu do późnej jury brak było sedymentacji osadów. W mezozoiku stwierdzono dwie fazy wzmózonego pogrzebania obejmujące późną jurę, po której we wczesnej kredzie nastąpił okres stagnacji oraz późną kredę, kiedy to została osiągnięta maksymalna głębokość pogrzebania wynosząca około 2500 m i utrzymująca się do dziś. W kenozoiku występuje okres braku sedymentacji osadów.

Wykonane różne warianty modelowań historii termicznej potwierdziły założenia Poprawy (2008b), że aby uży-

ską odpowiednią najbardziej prawdopodobną kalibrację modelu, należy założyć stały w czasie strumień ciepły oraz dodatkową dostawę energii cieplnej do kompleksu utworów górnokredowych w okresie ich depozycji i/lub paleocenie. Dodatkowa energia cieplna w tym wypadku powinna wynosić $450 \mu\text{W}/\text{m}^3$. Jako potencjalny mechanizm dostarczania energii cieplnej do kompleksu utworów górnokredowych można wskazać migrację w obrębie tych utworów gorących roztworów (Poprawa, Żywiecki, 2005; Poprawa, 2008b). Takie założenia pozwalają na przyjęcie erozji utworów westfalu o miąższości około 600 m, co jest wartością zbliżoną do zachowanych miąższości utworów tego wieku w innych profilach w basenie lubelskim. Założona erozja utworów dewonu górnego rzędu 150 m nie miała znaczącego wpływu na kalibrację modelu.

Należy podkreślić, że opisany powyżej model nie jest jednoznaczny, a kalibracji modelu możemy dokonać w różnych innych wariantach przedstawionych m.in. w pracy Poprawy (2008b) lub Kosakowskiego i in. (2005). Pozostałe warianty są jednak mniej prawdopodobne.

Sylwia KIJEWSKA, Katarzyna SOBIEN

INTERPRETACJA TEKTONICZNA PROFILU SEJSMICZNEGO 10-5-90K W REJONIE OTWORU WIERTNICZEGO KOMARÓW IG 1

W pobliżu otworu Komarów IG 1 odwiercono w latach 60. i 70. XX w. kilkanaście otworów poszukiwawczych sięgających do utworów dewonu. W promieniu około 10 km pomierzono kilkanaście linii sejsmicznych 2D, a w 1999 roku zrealizowano zdjęcie sejsmiczne 3D Komarów–Zubowice. W najbliższym sąsiedztwie otworu Komarów IG 1 wytypowano i poddano interpretacji profil sejsmiczny 10-5-90K (fig. 1, 35) wykonany przez Geofizykę Kraków w 1990

roku. W celu dowiązania granic sejsmicznych do profilu otworu wykorzystano prędkości średnie. Nieprzewierconą część profilu Komarów IG 1 dowiązano do kompletnego profilu stratygraficznego otworu Terebin IG 5, który osiągnął utwory ediakaru.

Analizowana linia sejsmiczna jest dobrej jakości. Osłabienie sygnału wystąpiło przede wszystkim w skrajnych odcinkach profilu, spowodowane przez warunki brzegowe,

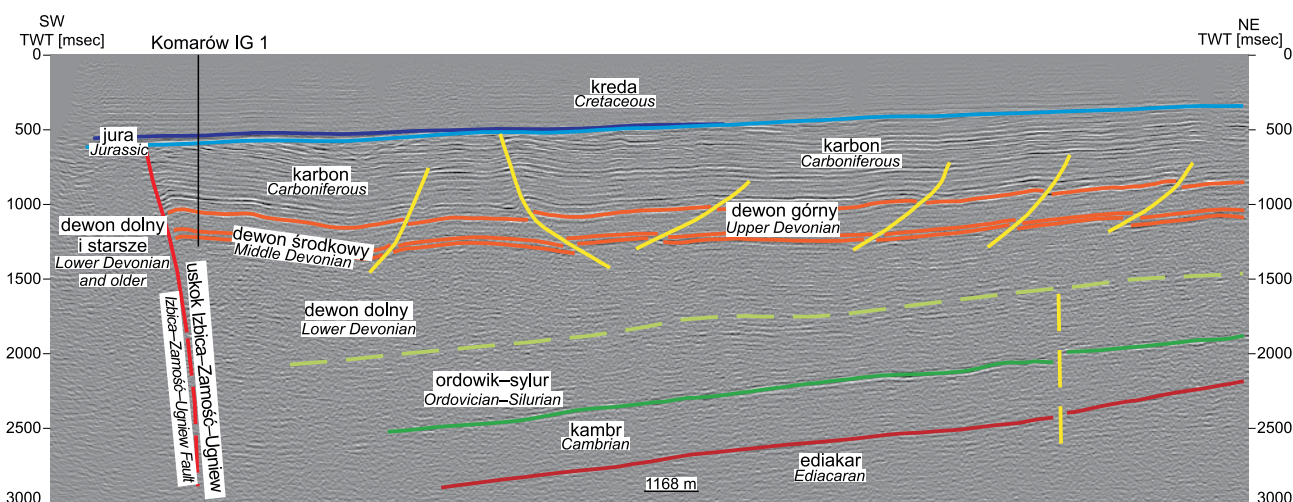


Fig. 35. Zinterpretowany fragment profilu sejsmicznego 10-5-90K

Part of interpreted seismic profile 10-5-90K

a częściowo przez obecność strefy uskokowej Izbica–Zamość. Skorelowano główne granice stratygraficzne oznaczające strop: ediakaru, kambru, syluru wraz z ordowikiem, dewonu dolnego, środkowego i górnego, karbonu (powierzchnia niezgodności) oraz jury.

Wstępna ocena danych sejsmicznych ukazuje znaczną komplikację strukturalną obszaru. Brak w okolicy otworów nawiercających dolny paleozoik, nie pozwala na pewną interpretację struktur poddewońskich, dlatego głębsze horyzonty wyznaczono w dowiązaniu do profilu otworu Terebin IG 5. Stosunkowo dobrze zaznaczają się granice związane ze stropem kambru i ediakaru. Wyznaczenie stropu syluru jest natomiast hipotetyczne z powodu braku wyraźnej różnicy impedancji akustycznej między nim a dewonem. Widoczne jest natomiast wyraźne zapadanie w kierunku południowo-zachodnim warstw syluru i starszych przy jednoczesnym wzroście miąższości utworów dolnego dewonu. Jakość danych nie pozwala jednak na jednoznaczne stwierdzenie występowania nieciągłości tektonicznych w obrębie dolnego paleozoiku i ediakaru, dlatego też na analizowanym profilu zaznaczono tylko hipotetyczną obecność i przebieg uskoku (linia żółta przerywana) (fig. 35).

Otwór wiertniczy Komarów IG 1 jest zlokalizowany w południowo-wschodniej części rowu lubelskiego (Żelichowski, 1972; Narkiewicz, Dadlez, 2008), interpretowanej jako półrow tektoniczny, wobec braku kontynuacji północno-wschodniej granicy uskokowej (struktury Kocka) w tej części Lubelszczyzny (Narkiewicz i in., 2007). W 1967 roku otwór Komarów IG 1 nawiercił w utworach dewonu środkowego złożę gazu ziemnego w obrębie pułapki o charakterze antykliny rozciągającej się zgodnie z przebiegiem uskoku Izbica–Zamość–Ugniew (Helcel-Weil, Dziegielowski, 2003; Helcel-Weil i in., 2007).

Pod koniec westfalu (według podziału globalnego w górnym moskowie) basen lubelski uległ inwersji tektonicznej wraz z całym przedpołem waryscyjskim (Narkiewicz i in., 2007), czemu towarzyszyło powstanie szeregu uskoku odwróconych (Krzywiec, 2007) zapadających na

południowy zachód, z których większość jest zakorzeniona w utworach dolnego dewonu. Na profilu sejsmicznym, w jego skrajnej południowo-zachodniej części (linia czerwona), dobrze jest widoczny uskok normalny Izbica–Zamość–Ugniew zapadający na północny wschód, stanowiący granicę rowu lubelskiego (Żelichowski, 1972; Narkiewicz, 2003). Dochodzi on do powierzchni niezgodności, która jest skutkiem okresu niedepozycji i erozji pokarbońskiej. Głębokie zakorzenienie tego uskoku rozpoznano głębokimi badaniami sejsmicznymi (Malinowski i in., 2013). Ze względu na słabą jakość obrazu nie można wykluczyć, że uskok ten wchodzi w skład szerszej strefy dyslokacyjnej. Na południowy zachód od opisywanego uskoku, bezpośrednio pod jurą, występują skały dolnodewońskie nawiercone m.in. w otworze Ruszów IG 1 (Niemczycka, red., 1980) i przypuszczalnie starsze skały leżące na obszarze elewacji radomsko-kraśnickiej (Żelichowski, 1972; Narkiewicz i Dadlez, 2008). Charakteryzują się one nieregularnym zapisem sejsmicznym związanym ze znacznym stopniem deformacji uskokowych i spękaniami tektonicznymi.

Na widoczne w pobliżu otworu Komarów IG 1 zaburzenia w układzie warstw w przystropowej części karbonu miała wpływ prawdopodobnie kompresja waryscyjska, której wpływ systematycznie wygasa w kierunku północno-wschodnim. Bezpośrednio na utworach karbonu zalega kompleks jurajsko-kredowy, który zapada monoklinalnie w kierunku południowo-zachodnim. Na analizowanym profilu sejsmicznym nie obserwuje się obecności nieciągłości tektonicznych w utworach mezozoiku, nie zaznacza się również reaktywacja wcześniej powstałych struktur, jednak tego typu struktury obserwowano w tej części Lubelszczyzny (Krzywiec, 2007, patrz: fig. 7).

Zdeponowany bezpośrednio na karbonie kompleks osadów jurajskich wyklinowuje się w kierunku północno-wschodnim, ale można go obserwować jeszcze w profilu otworu Terebin IG 5. Ze względu na brak większej liczby otworów oraz ograniczenia w rozdzielczości metody sejsmicznej, nie można wykluczyć, że między tymi otworami pokrywa utworów jurajskich nie jest ciągła.