

KORELACJA I GENEZA PIASKOWCÓW KARBOŃSKICH W ŚWIETLE STRATYGRAFII SEKWENCYJNEJ I ICH POTENCJAŁ WĘGLOWODOROWY W PÓŁNOCNO-ZACHODNIEJ I CENTRALNEJ CZĘŚCI BASENU LUBELSKIEGO

CORRELATION AND ORIGIN OF THE CARBONIFEROUS SANDSTONES IN THE LIGHT OF SEQUENCE STRATIGRAPHY AND THEIR HYDROCARBON POTENTIAL IN THE NW AND CENTRAL PARTS OF THE LUBLIN BASIN

Maria I. WAKSMUNDZKA¹

Abstrakt. Na podstawie badań sedymentologicznych utworów karbonu basenu lubelskiego scharakteryzowano środowiska depozycji piaskowców, mułowców, iłowców, skał węglanowych i węgla. Regionalna korelacja pozwoliła na wydzielenie 22 sekwencji depozycyjnych (trzeciego rzędu), ograniczonych niezgodnościami identyfikowalnymi jako powierzchnie erozyjne, stanowiące spągi koryt rzecznych lub wciętych dolin. W obrębie każdej sekwencji wyróżniono utwory ciągów systemowych niskiego stanu WPM (względny poziomu morza), transgresywnych oraz ciągów systemowych wysokiego stanu. Następnie przeprowadzono korelację wydzieleni stratygrafii sekwencji z chronostratygraficznym podziałem karbonu. Podnoszenie się WPM, stanowiącego bazę erozyjną rzek w czasie niskiego stanu, było podstawowym czynnikiem wpływającym na wykształcenie facjalne i miąższość potencjalnie złożowych piaskowców rzecznych. Utwory te najczęściej występują w systemach wciętych dolin. W obrębie sekwencji 2, 4–10, 16 spotykane są średnie i duże systemy prostych wciętych dolin, natomiast w sekwencjach 11–15 duże systemy złożone. W profilu sekwencji 17–22 piaskowce związane są ze środowiskiem nie wciętych systemów koryt rzecznych. Podnoszenie WPM w czasie późnego niskiego stanu, jego wahania w czasie transgresji i wysokiego stanu oraz wzmożona dostawa osadów lub jej brak były podstawowymi czynnikami mającymi wpływ na wykształcenie facjalne, miąższość i lateralne rozprzestrzenienie iłowców i mułowców równi aluwialnych, estuariowych, deltowych i płytkoszelfowych, które są dobrymi horyzontami uszczelniającymi. Piaskowce sekwencji 6, 9, 12, 16, wypełniające średnie lub duże wcięte doliny, oraz sekwencji 17, powstałe w systemach nie wciętych koryt rzecznych, są predysponowane do akumulacji węglowodorów. Wynika to z ich izolowanego usytuowania w obrębie stosunkowo bogatych w rozproszoną materię organiczną iłowców i mułowców, będących jednocześnie horyzontami uszczelniającymi. Porównanie schematu sekwencji z używanymi dotychczas do korelacji granicami jednostek litostratygraficznych karbonu basenu lubelskiego, jak również z kompleksami geofizycznymi podważa ich izochroniczną interpretację i zmniejsza przydatność korelacyjną.

Słowa kluczowe: analiza litofacjalna, stratygrafia sekwencji, węglowodory, basen lubelski, karbon.

Abstract. Sedimentological investigations of Carboniferous deposits from the Lublin Basin enabled characterisation of the depositional environment of sandstones, mudstones, claystones, carbonates and coals. A regional correlation allowed identification of 22 depositional sequences (third-order) are separated by unconformities, preserved as erosional bottoms of fluvial channels or incised valleys. Each sequences are represented by lowstand, transgressive and highstand systems tracts. Subsequently, a correlation of the sequence stratigraphy division with the Carboniferous chronostratigraphic scheme was carried out. The rise of relative sea level, being an erosional base to rivers during the low sea-level stand, was the fundamental factor affecting the facies development and thicknesses of the potentially productive fluvial sandstones. These deposits most frequently occur in incised valley systems. Medium and large sized systems of simple incised valleys are observed in the sequences 2, 4–10 and 16. Large compound systems are known from the sequences 11–15. The sandstones observed in the sequences 17–22 are associated with non-incised systems of river channels. The rise of relative sea level during the lowstand period, its fluctuations during the transgression and highstand periods, and an increased supply of sediments or its lack were the basic factors that influenced the facies development, thickness and lateral extent of alluvial plain, estuarine, deltaic and shallow shelf claystones and mudstones acting as

¹ Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; maria.waksmundzka@pgi.gov.pl

good sealing horizons. The sandstones of the sequences 6, 9, 12 and 16 (filling medium and large incised valleys) and the sequence 17 (developed in systems of non-incised river channels) are predisposed to be reservoir rocks for hydrocarbon accumulations. It is due to their position as isolated bodies within the sealing claystones and mudstones relatively rich in dispersed organic matter. A comparison of the sequence scheme both with the previously used boundaries of the Carboniferous lithostratigraphic units in the Lublin Basin and with geophysical complexes questions their isochroneity and reduces their usefulness for correlations.

Key words: lithofacial analysis, sequence stratigraphy, hydrocarbons, Lublin Basin, Carboniferous.

WSTĘP

Jednym z trudniejszych zadań, z którymi stykają się badacze utworów karbonu basenu lubelskiego, jest ich korelacja. Duża zmienność pionowa i oboczna, intensywna tektonika dysjunktywna oraz różny stopień redukcji profilu w wyniku epigenetycznej erozji sprawiają, że jest to zadanie trudne do zrealizowania przy zastosowaniu dotychczasowych metod litostratygraficznych czy geofizycznych. Znaczny udział utworów lądowych ogranicza użycie precyzyjnych narzędzi biostratygraficznych. Szczególnie trudna jest korelacja niemych paleontologicznie piaskowców, które jako potencjalne kolektory leżą w kręgu zainteresowania geologii naftowej. Metodologią od dawna stosowaną na świecie, powstałą na użytek poszukiwań węglowodorów m.in. w karbonie, jest stratygrafia sekwencyjna. W Polsce została ona zastosowana w utworach paleogenu i neogenu (Porębski, 1996, 1999),

dolnej jury (Pieńkowski, 1997, 2004), kambriu i neoproterozoiku (Paczeńska, 2001; Paczeńska, Poprawa, 2005) oraz karbonu (Waksmundzka, 2005a, 2006, 2007a, b). Koncepcja stratygrafii sekwencyjnej opiera się na identyfikacji w badanym profilu osadowym powierzchni powstających na skutek wahań względnego poziomu morza (WPM), posiadających wymiar izochroniczny. Niektóre z tych powierzchni, takie jak granice sekwencji depozycyjnych, związane są z erozją fluwialną. Metodologia ta wydaje się więc odpowiednia do zastosowania w profilu karbonu lubelskiego, który w dużym procencie składa się z piaskowców i innych utworów rzecznych przeławicających się z osadami morskimi i deltowymi, co wskazuje na związek rozwoju depozycji z wahaniami WPM (Skompski, 1996; Waksmundzka, 1998).

CEL I METODY BADAŃ

Przedstawione poniżej wyniki badań zostały opracowane przy zastosowaniu pełnej metodologii stratygrafii sekwencyjnej, poprzedzonej badaniami sedymentologicznymi, takimi jak: analiza litofacjalna rdzeni wiertniczych, cykliczności, korelacja litologiczno-facjalna oraz interpretacja profili geofizyki otworowej (Waksmundzka, 2005a, b, 2007c).

Głównym celem badań było:

- odtworzenie zmienności i ewolucji środowisk depozycji utworów karbonu lubelskiego,
- odtworzenie ich relacji obocznych, czyli interpretacja elementów architektury depozycyjnej,
- identyfikacja granic sekwencji depozycyjnych, powierzchni maksimum regresji, maksimum zalewu oraz 3 typów ciągów systemów depozycyjnych,

- skonstruowanie schematu wydzieleni stratygrafii sekwencyjnej,
- korelacja schematu sekwencji z podziałem chronostratygraficznym karbonu,
- odtworzenie genezy i lateralnego rozprzestrzenia elementów architektury depozycyjnej w ramach chronostratygraficznych,
- weryfikacja przydatności do korelacji potencjalnie złożowych piaskowców, dotychczas używanych jednostek litostratygraficznych i kompleksów geofizycznych.

ANALIZA LITOFACJALNA I STRATYGRAFIA SEKWENCJI

Do badań wykorzystano materiały wiertnicze, tj. rdzenie i profile geofizyki otworowej z 18 otworów zlokalizowanych w północno-zachodniej, centralnej i wschodniej części basenu lubelskiego. Otwory wiertnicze położone są na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego, za wyjątkiem otworu Krowie Bagno IG 1, który leży w rejonie jednostki wschod-

niej, w podłożu której występują utwory prekambriu i dolnego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego (Żelichowski, 1972) – figura 1. Głównym przedmiotem badań były iłowce, skały klastyczne, węgle, iłowce węgliste oraz wapień i margle.

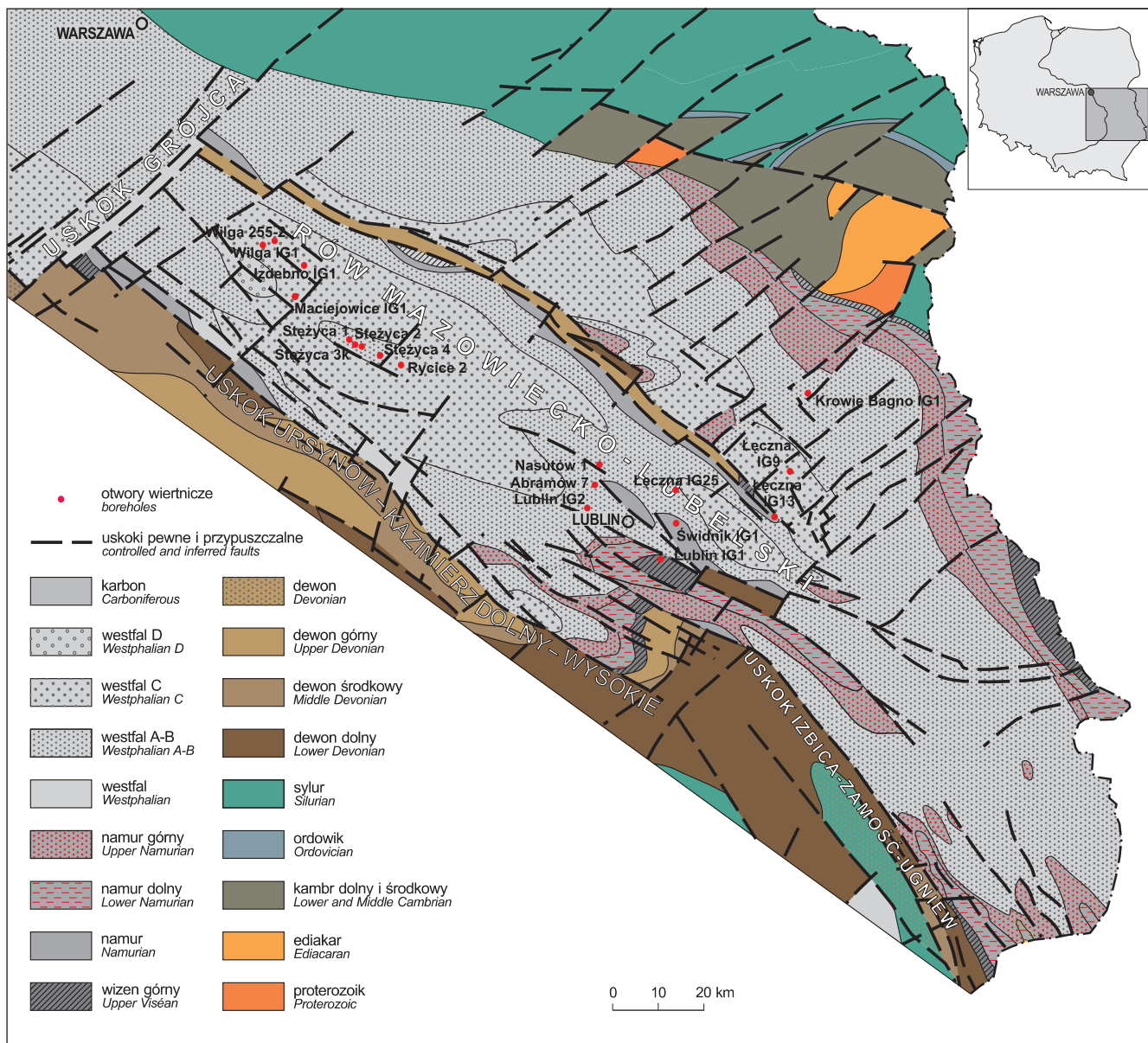


Fig. 1. Mapa lokalizacyjna – fragment mapy strukturalno-geologicznej bez utworów młodszych od karbonu basenu lubelskiego (wg Żelichowskiego, Porzyckiego, 1983, zmienione)

Location map – fragment of the structural-geological map without strata younger than Carboniferous of the Lublin Basin (after Żelichowski, Porzycki, 1983, modified)

Na podstawie analizy litofacjalnej (fig. 2) scharakteryzowano utwory powstałe w środowiskach: płytkiego szelfu, płytkowodnej delty morskiej o dominującym wpływie procesów rzecznych, z równią deltową typu D (model 8 wg klasyfikacji Postmy, 1990) – delty szelfu wewnętrznego (wg klasyfikacji Porębskiego i Steala, 2003), estuariowym, rzeczynym i fluwalnym prądów trakcyjnych. Wśród środowisk rzecznych wyróżniono, według klasyfikacji Mialla (1996): piaskodenne, dystalne rzeki roztokowe, rzeki meandrujące oraz piaskodenne systemy anastomozujące.

W obrębie utworów karbonu Lubelszczyzny wydzielono 22 sekwencje depozycyjne, definiowane za Michumem Jr.

(1977), jako ograniczone niezgodnościami powstałymi w czasie subaeralnej erozji, w okresach spadku i niskiego stanu WPM. W skład wyróżnionych sekwencji wchodzi 3 rodzaje ciągów systemów depozycyjnych: niskiego stanu (LST) WPM, transesywne (TST) oraz wysokiego stanu (HST) WPM (fig. 2).

W obrębie LST widoczna jest wertykalna zmiana utworów środowisk rzecznych wysokoenergetycznych w niskoenergetyczne. Występują one najczęściej w systemach wciętych dolin szelfowych, zdefiniowanych na podstawie Zaitlina i in. (1994), oraz nie wciętych systemach koryt rzecznych. W LST sekwencji 2, 4–10, 16 najczęściej spotykane są średnie i duże systemy prostych wciętych dolin. Przypusz-

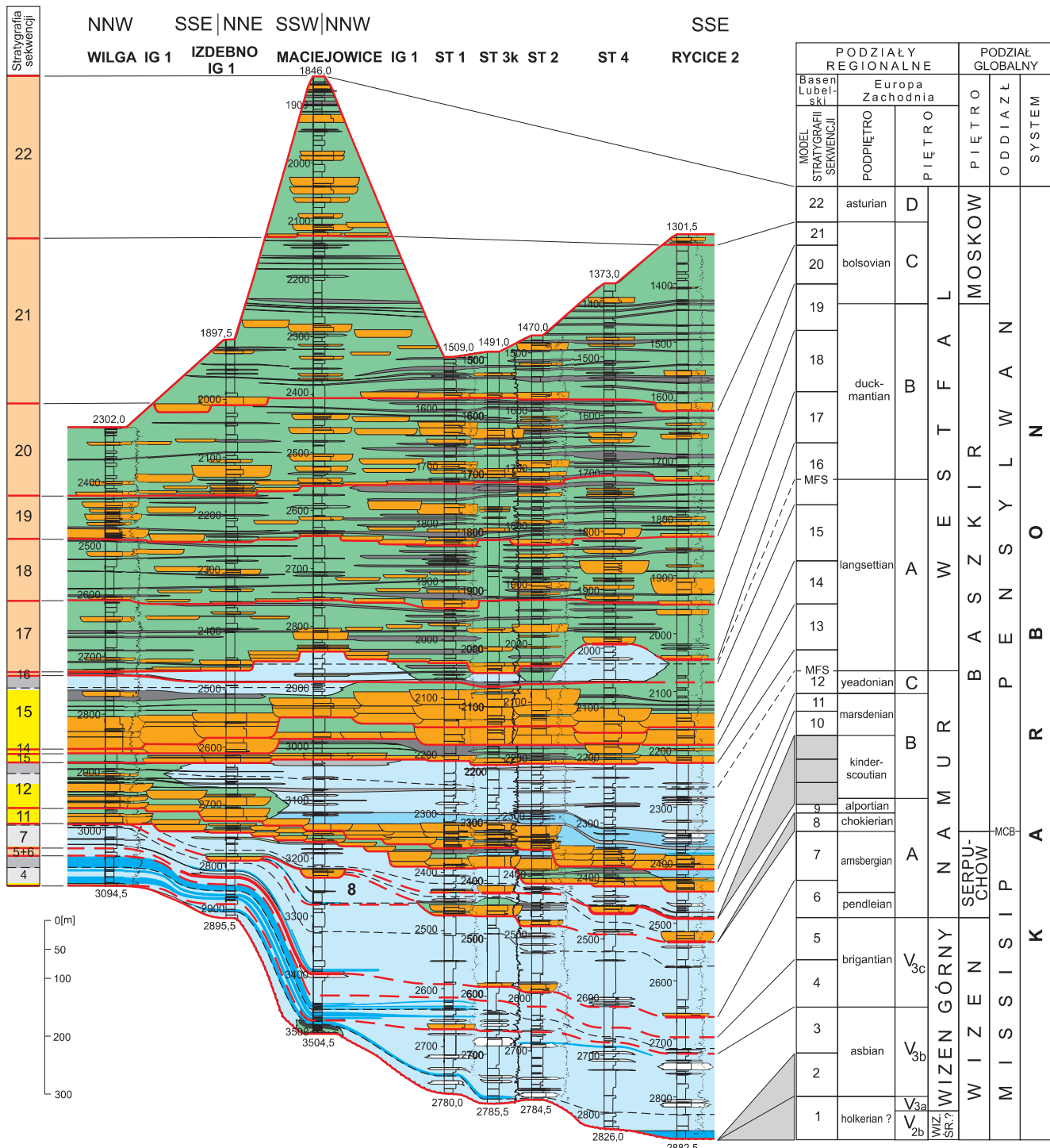


Fig. 2. Korelacja litofacjalna, stratygrafia sekwencji i chronostratygrafia utworów karbonu w północno-zachodniej części basenu lubelskiego

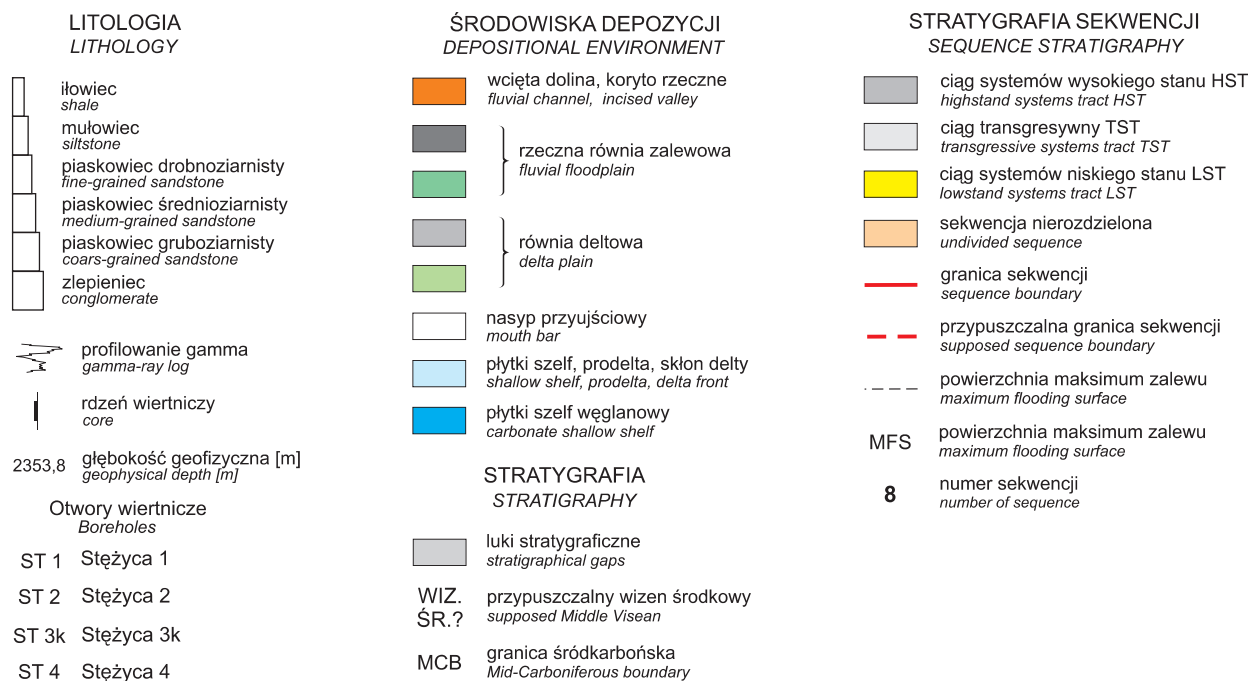
Lithofacial correlation, sequence stratigraphy and chronostratigraphy of the Carboniferous succession in the NW part of the Lublin Basin

czalne wcięcie tych dolin wynosiło ok. 20–40 m i o taką wartość mógł obniżyć się WPM. W obrębie LST sekwencji 11–15 występują duże systemy złożonych wciętych dolin. Przepuszczalne wcięcie tych dolin mogło osiągnąć ok. 40–70 m, co wskazuje, że o taką wartość obniżył się WPM. W profilu sekwencji 17–22 piaskowce związane są ze środo-

wiskiem nie wciętych systemów koryt rzecznych, natomiast iłowce, mułowce i węgiel powstawały na obszarach równi aluwialnych.

Podnoszenie się WPM, stanowiącego bazę erozyjną rzek w czasie niskiego stanu, było podstawowym czynnikiem wpływającym na wykształcenie facjalne, cykliczność i miąż-

Objaśnienia do figury 2
 Explanations to Fig. 2



szość aluwioów, w tym potencjalnie złożowych piaskowców, oraz wertykalną i lateralną metamorfozę typów rzek karbonu lubelskiego.

Utwory ilowcowo-mułowcowe, będące horyzontami uszczelniającymi i wchodzące w skład TST i HST, najczęściej powstawały w płytkoszelfowym, deltowym i estuariowym środowisku sedymentacji lub na równiach aluwialnych. Na rozprzestrzenienie tych utworów w karbonie Lubelszczyzny miało wpływ podnoszenie WPM w późnym niskim stanie, jego wahania w czasie transgresji i wysokiego stanu oraz zmniejszona dostawa osadów lub jej brak.

Skonstruowany schemat sekwencji dowiązано do krzywej transgresywno-regresywnej karbonu Europy Zachodniej,

jak również globalnego podziału chronostratygraficznego. Pozwoliło to na szczegółowy podział profilu lubelskiego z dokładnością do pięter globalnych oraz pięter i podpięter zachodnioeuropejskich (fig. 2). Umożliwiło również precyzyjne określenie pozycji stratygraficznej potencjalnie złożowych piaskowców i interwałów uszczelniających. Zastosowanie stratygrafii sekwencyjnej wpłynęło na zwiększenie precyzji korelacji i dokładności określania wieku niemych paleontologicznie litosomów piaszczystych.

ASPEKTY ZŁOŻOWE STRATYGRAFII SEKWENCYJNEJ

W obrębie utworów karbonu lubelskiego występują zarówno złoża (Helcel-Weil, Dziegielowski, 2003), jak i objawy węglowodorów, przeanalizowane dla badanych otworów wiertniczych na podstawie archiwalnych dokumentacji wynikowych.

W obrębie sekwencji 2–9 opisano objawy nasycenia ropą, czasami zgazowaną, lub solanką zgazowaną z ropą. W profilach sekwencji 6 (niższy pendleian) otworów Abramów 7 i Nasutów 1 w centrum basenu występują piaskowce w dużym stopniu nasycone ropą naftową, które powstały w korytach rzecznych w obrębie dużych, prostych wciętych

dolin. Z podobnymi genetycznie piaskowcami również w obrębie tej sekwencji związane są złoża ropy naftowej Świdnik oraz Stężycza (kompleks H), rozpoznane w profilu sekwencji 9 (niższy alportian) w płu.-zach. części Lubelszczyzny (fig. 2). Obecność tych złóż związana jest z izolowanym usytuowaniem wciętych dolin w obrębie stosunkowo bogatych w rozproszoną materię organiczną ilowców płytkoszelfowych i prodeltaowych, które są również dobrymi horyzontami uszczelniającymi. Wydaje się więc, że piaskowce wciętych dolin, należące do sekwencji 6 i 9, są predysponowane do akumulacji ropy.

W obrębie sekwencji 11 i 15 stwierdzono nasycenie solanką z gazem (profile Wilga IG 1, Izdebno IG 1) piaskowców powstałych w korytach rzecznych w obrębie systemu dużych, złożonych wciętych dolin. Podobna jest natura złoża ropy i gazu Stężycza (kompleks IA, IB) oraz najniższego horyzontu gazowego w złożu Wilga, które rozpoznano w sekwencji 12 (yeadonian). Wyższy horyzont gazowy w tym złożu występuje w obrębie średniej, prostej wciętej doliny w sekwencji 16 (najwyższy langsettian). Wszystkie interwały z ropą lub gazem zlokalizowane są w stropowych partiach litosomów piaskowcowych, powyżej których leżą horyzonty uszczelniające ilowców i mułowców, powstałych w estuariach lub na rzecznych równiach zalewowych, charakteryzujące się stosunkowo dużymi miąższościami.

W wyższej aluwialnej części profilu karbonu, w sekwencji 17 (niższy duckmantian), udokumentowano najwyższy horyzont gazowy złoża Wilga w obrębie piaskowców powstałych w nie wciętych systemach koryt rzecznych.

Utwory karbonu lubelskiego sekwencji 2–9 oraz 12, 16 i 17, zawierające zbiornikowe oraz potencjalnie zbiornikowe litosomy piaskowcowe wciętych dolin i koryt rzecznych, zdaniem autorki wymagają dalszych badań sedimentologicznych, stratygraficznych oraz sejsmicznych, które pozwolą na określenie ich lateralnego rozprzestrzenienia. Wniosek ten potwierdzają również wyniki badań porównawczych Da-

vies i in. (1999), które wskazują, że najbardziej sprzyjające warunki do powstania w karbonie utworów zbiornikowych panowały zarówno w Europie, jak i Ameryce Północnej w czasie wyższego kinderscoutianu, marsdenianu i yeodonianu. Złoża węglowodorów znane są tam ze zlepieńców bazalnych i piaskowców rzecznych wypełniających wcięte doliny, powyżej których leżą utwory estuariowe. Davies i in. (*op cit.*) stwierdzili, że największe litosomy zbiornikowe znane są z najwyższego namuru–najniższego westfalu A, których miąższość wynosi 25–35 m, a lateralne rozprzestrzenienie dochodzi do 70–90 km. Natomiast w wyższej części karbonu, począwszy od westfalu B, litosomy wciętych dolin są już małe.



Analogiczna sytuacja występuje w profilu karbonu lubelskiego, gdzie w obrębie sekwencji 12 (yeadonian – najwyższy namur) utwory wypełniające wcięta dolinę mają ok. 40 m miąższości, a w ich obrębie zlokalizowany jest kilkumetrowy interwał złożowy. Jeszcze większe miąższości piaskowców podobnej genezy występują w sekwencjach 14 i 15 (środkowa część langsettianu – westfal A), które tworzą najwyższe w profilu karbonu, najgrubsze na Lubelszczyźnie, ciała piaskowcowe o miąższości ok. 75–96 m. W wyższej części karbonu lubelskiego, począwszy od utworów westfalu B, występują już tylko niewielkie ciała piaskowcowe, powstałe w środowisku rzeczonym.

PORÓWNANIE SCHEMATU SEKWENCJI Z JEDNOSTKAMI LITOSTRATYGRAFICZNYMI I KOMPLEKSAMI GEOFIZYCZNYMI







Na schemat sekwencji i jego korelację z chronostratygraficznym podziałem karbonu naniesiono we wszystkich badanych otworach wiertniczych granice jednostek litostratygraficznych karbonu lubelskiego (fig. 3). Korelacja ta pozwoliła na analizę wieku granic tych jednostek, które uważane były dotąd za izochroniczne (Porzycki, Żelichowski, 1977 *vide* Porzycki, 1979), a w praktyce wykazują duży stopień diachronizmu, co obniża ich przydatność korelacyjną.

W dziewięciu badanych otworach wiertniczych zestawiono schemat sekwencji depozycyjnych karbonu lubelskiego oraz główne kompleksy geofizyczne, wydzielone przez Kaczyńskiego (1974, 1984) i stosowane w Polskim Górnictwie Naftowym i Gazownictwie S.A. jako horyzonty korelacyjne. Stwierdzono, że kompleksy mające ten sam symbol literowy występują zwykle w kilku sekwencjach (z wyjątkiem kompleksu C), a ich przedział czasowy zmienia się w zale-

Objaśnienia do figury 3 Explanations to Fig. 3

	utwory karbonu <i>Carboniferous deposits</i>
	luki stratygraficzne <i>stratigraphical gaps</i>
?	przypuszczalne występowanie sekwencji lub luk stratygraficznych <i>supposed occurrence of sequences or stratigraphical gaps</i>
–MFS–	powierzchnia maksimum transgresji <i>maximum flooding surface</i>
MCB	granica śródkarbońska <i>Mid-Carboniferous boundary</i>
WIZ. ŚR.?	przypuszczalny wizen środkowy <i>supposed Middle Visean</i>

Jednostki litostratygraficzne Lithostratigraphic units

	formacja Magnuszewska <i>Magnuszew formation</i>	
	formacja lubelska <i>Lublin formation</i>	
	ogniwo kumowskie <i>Kumów member</i>	} formacja Dębina <i>Dęblin formation</i>
	ogniwo bużańskie <i>Bug member</i>	
	formacja Terebina <i>Terebin formation</i>	
	formacja Huczwy <i>Huczwa formation</i>	

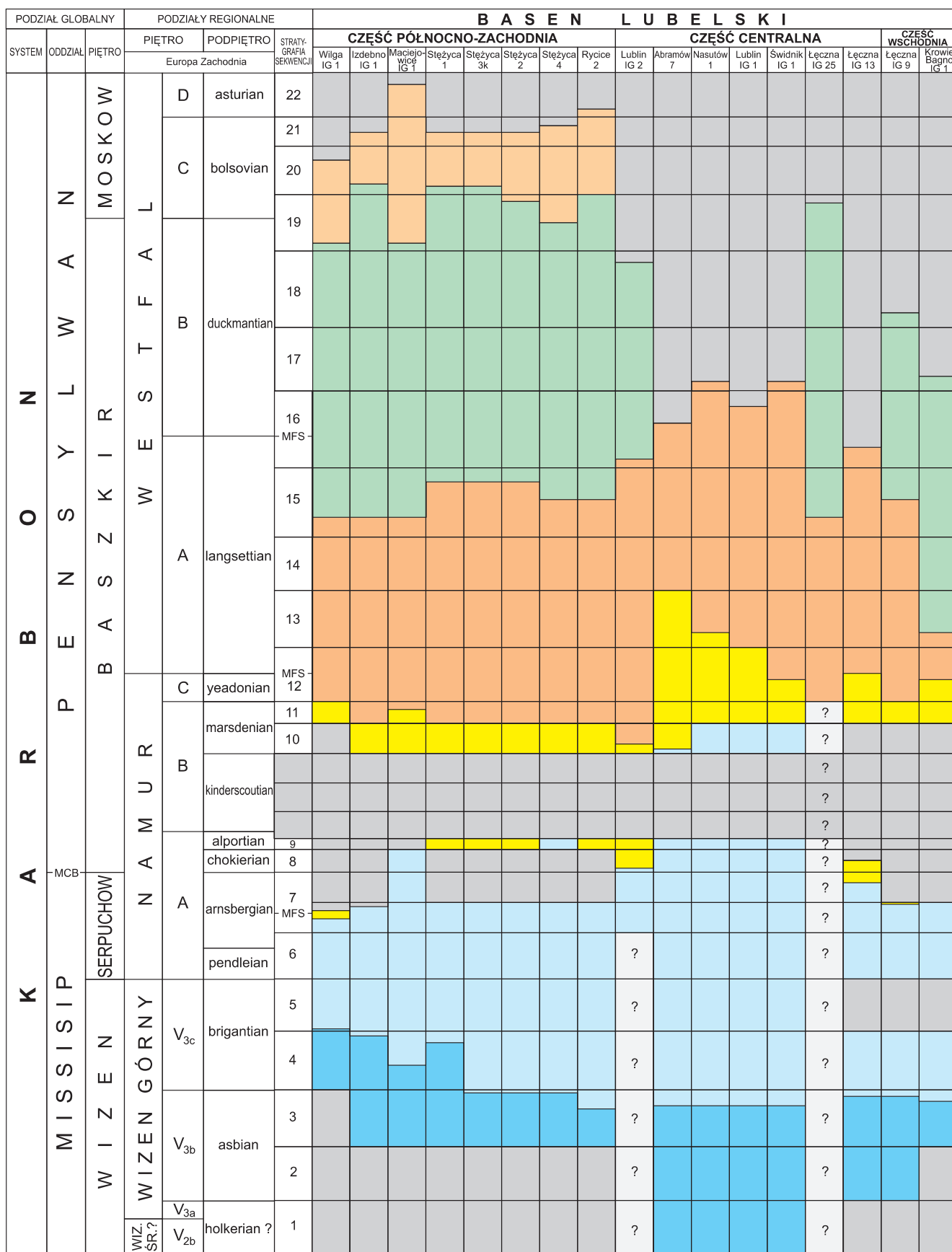


Fig. 3. Porównanie jednostek litostratygraficznych ze schematem stratygrafii sekwencji utworów karbonu basenu lubelskiego

A comparison of the lithostratigraphic units with the sequence stratigraphy scheme of the Carboniferous succession in the Lublin Basin

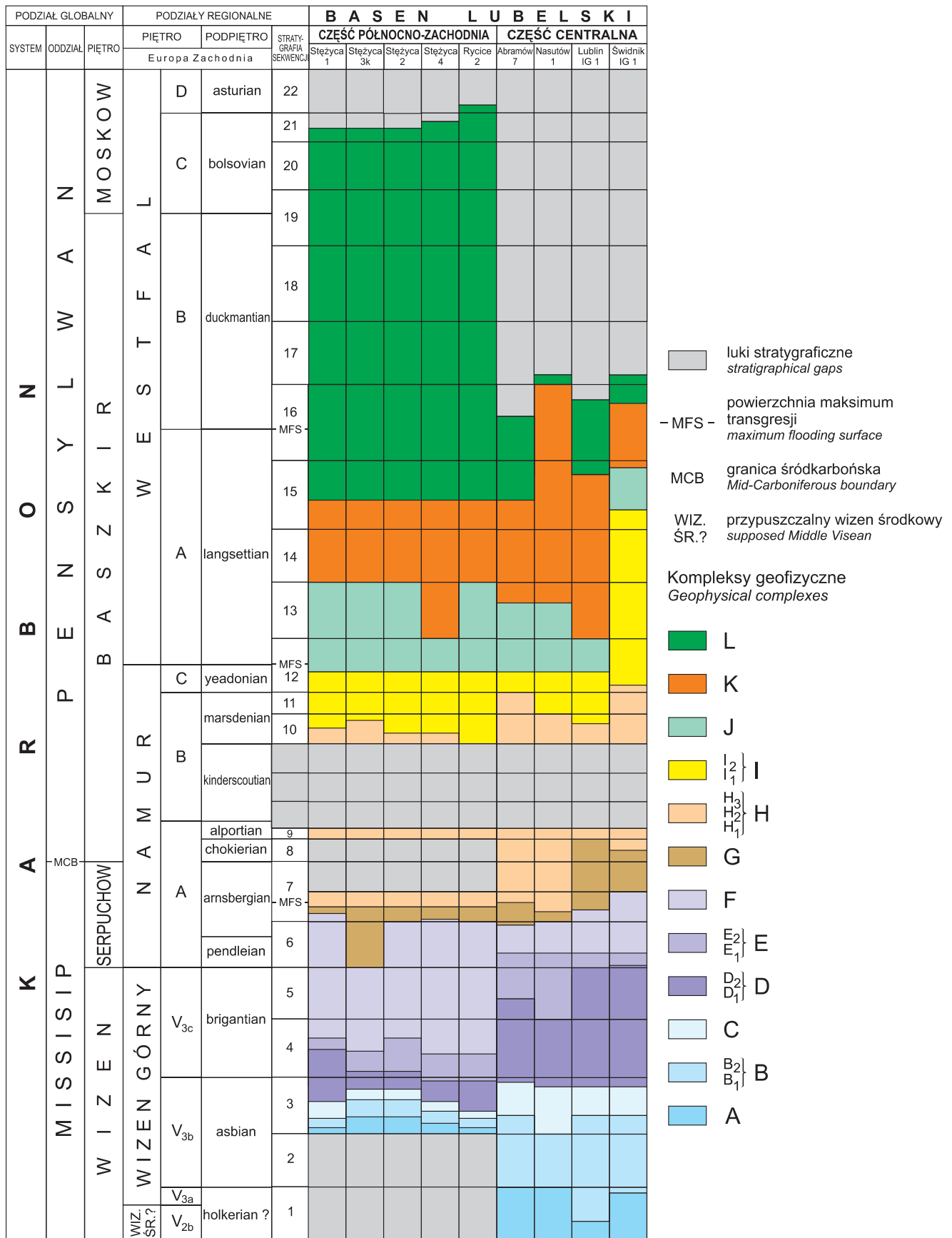


Fig. 4. Porównanie kompleksów geofizycznych ze schematem stratygrafii sekwencji utworów karbonu basenu lubelskiego

A comparison of the geophysical complexes with the sequence stratigraphy scheme of the Carboniferous succession of the Lublin Basin

żności od rejonu Lubelszczyzny (fig. 4). Sugeruje to, że również ich granice są diachroniczne, co negatywnie wpływa na wartość korelacyjną kompleksów.

PODSUMOWANIE

Na podstawie badań sedimentologicznych scharakteryzowano środowiska depozycji utworów karbonu z rejonu północno-zachodniej i centralnej części basenu lubelskiego. Wykonano regionalną korelację litologiczno-facjalną i na jej podstawie skonstruowano podział stratygrafii sekwencyjnej, który następnie dowiązano do globalnego i zachodnioeuropejskiego podziału karbonu. Stwierdzono, że podstawowymi czynnikami wpływającymi na wykształcenie facjalne, miąższość i lateralne rozprzestrzenienie piaskowców złożowych oraz iłowcowo-mułowcowych utwo-

rów uszczelniających były wahania WPM oraz wzmożona dostawa osadów lub jej brak. Piaskowce sekwencji 6, 9, 12, 16, wypełniające średnie lub duże wcięte doliny oraz sekwencji 17 powstałe w systemach nie wciętych koryt rzecznych, są predysponowane do akumulacji węglowodorów. Porównanie schematu sekwencji z używanymi dotychczas do korelacji granicami jednostek litostratygraficznych karbonu basenu lubelskiego, jak również kompleksów geofizycznych podważa ich izochroniczną interpretację i zmniejsza przydatność korelacyjną.

LITERATURA

- DAVIES S., HAMPSON G., FLINT S., ELLIOTT T., 1999 – Continental-scale sequence stratigraphy of the Namurian, Upper Carboniferous and its applications to reservoir prediction. *W: Petroleum geology of Northwest Europe* (red. A.J. Fleet, S.A.R. Boldy). Proceedings of the 5th Conference: 757–770.
- HELCEL-WEIL M., DZIĘGIEŁOWSKI J., 2003 – Basen lubelski – wyniki złożowe dotychczasowych prac i ich znaczenie dla dalszych poszukiwań. *Prz. Geol.*, **51**, 9: 764–770.
- KACZYŃSKI J., 1974 – Korelacja geologiczno-geofizyczna osadów karbonu i dewonu synklinorium lubelskiego. Arch. PGNiG S.A. Warszawa.
- KACZYŃSKI J., 1984 – Perspektywy ropogazoności Lubelszczyzny. *Prz. Geol.*, **32**, 6: 330–333.
- MIALL A.D., 1996 – The geology of fluvial deposits sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.
- MICHUM jr. R.M., 1977 – Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 1: Glossary of terms used in seismic stratigraphy. *W: Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration* (red. C.E. Payton). *Am. Ass. Petrol. Geol. Mem.*, **26**: 205–212.
- PACZEŚNA J., 2001 – Zastosowanie skamieniałości śladowych w analizie facjalnej i wysokorozdzielczej stratygrafii sekwencji – przykład z kambru polskiej części kratonu wschodnioeuropejskiego. *Prz. Geol.*, **49**, 12: 1137–1146.
- PACZEŚNA J., POPRAWA P., 2005 – Eustatic versus tectonic control on the development of Neoproterozoic and Cambrian stratigraphic sequences of the Lublin–Podlasie Basin (SWmargin of Baltica). *Geosc. J.*, **9**: 117–127.
- PIEŃKOWSKI G., 1997 – Sedimentologia i stratygrafia sekwencyjna na podstawie wybranych profilów. *W: Epikontynentalny perm i mezozoik w Polsce* (red. S. Marek, M. Pajchłowa). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **153**: 217–235.
- PIEŃKOWSKI G., 2004 – The epicontinental Lower Jurassic of Poland. *Pol. Geol. Inst. Spec. Pap.*, **12**.
- PORĘBSKI S.J., 1996 – Podstawy stratygrafii sekwencji w sukcesjach klastycznych. *Prz. Geol.*, **44**, 12: 995–1006.
- PORĘBSKI S.J., 1999 – Środowisko depozycyjne sukcesji nadevaporatowej (górnym baden) w rejonie Kraków–Brzesko (zapadlisko przedkarpackie). *W: Analiza basenu trzeciorzędowego Przedkarpacia* (red. T.M. Peryt). *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **168**: 97–118.
- PORĘBSKI S.J., STEEL R.J., 2003 – Shelf-margin deltas: their stratigraphic significance and relation to deepwater sands. *Earth Sc. Rev.*, **62**: 283–326.
- PORZYCKI J., 1979 – Litostratygrafia osadów karbonu Lubelskiego Zagłębia Węglowego. *W: Stratygrafia węglonośnej formacji karbońskiej w Polsce* (red. T. Migier): 19–27. Sosnowiec.
- POSTMA G., 1990 – An analysis of the variation in delta architecture. *Terra Nova*, **2**: 124–130.
- SKOMPSKI S., 1996 – Stratigraphic position and facies significance of the limestone bands in the subsurface Carboniferous succession of the Lublin Upland. *Acta Geol. Pol.*, **46**: 171–268.
- WAKSMUNDZKA M.I., 1998 – Architektura depozycyjna basenu karbońskiego Lubelszczyzny. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **165**: 89–100.
- WAKSMUNDZKA M.I., 2005a – Ewolucja facjalna i analiza sekwencji w paralicznych utworach karbonu z północno-zachodniej i centralnej Lubelszczyzny. CAG Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- WAKSMUNDZKA M.I., 2005b – Architektura depozycyjna. Karbon. *W: Budowa geologiczna i system naftowy rowu lubelskiego* (red. M. Narkiewicz). CAG Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- WAKSMUNDZKA M.I. 2006 – Podstawy wyróżnienia i rozwój facjalny sekwencji depozycyjnych w paralicznych utworach karbonu Lubelszczyzny. XXIX Sympozjum „Geologia formacji węglonośnych Polski”: 149–154. Kraków.
- WAKSMUNDZKA M.I., 2007a – Karbon. Wyniki badań litologicznych, sedimentologicznych i stratygraficznych. *W: Lublin IG 1* (red. M.I. Waksmundzka). *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, **119**: 114–119.
- WAKSMUNDZKA M.I., 2007b – Karbon. Litologia, stratygrafia i sedimentologia. *W: Busówno IG 1* (red. J. Pacześna). *Prof. Głęb. Otw. Wiert. Państw. Inst. Geol.*, **118**: 124–130.
- WAKSMUNDZKA M.I., 2007c – Wykształcenie facjalne, stratygrafia sekwencji oraz charakterystyka piaskowców zbiornikowych w utworach karbonu z rejonu Wilga–Żabieniec, płn.-zach. Lubelszczyzna (na obszarze bloków 235, 255, 256, 275, 276). Arch. FX Energy, Warszawa.

- ZAITLIN B.A., DALRYMPLE R. W., BOYD R., 1994 – The stratigraphic organization of incised-valley systems associated with relative sea-level change. *W: Incised valley systems: origin and sedimentary sequences* (red. R.W. Dalrymple, R. Boyd, B.A. Zaitlin). *Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ.*, **51**: 45–60.
- ŻELICHOWSKI A.M., 1972 – Rozwój budowy geologicznej obszaru między Górami Świętokrzyskimi i Bugiem. *Biul. Inst. Geol.*, **263**: 7–97.
- ŻELICHOWSKI A.M., PORZYCKI J., 1983 – Mapa strukturalno-geologiczna bez utworów młodszych od karbonu. *W: Atlas geologiczno-surowcowy obszaru lubelskiego* (red. A.M. Żelichowski, S. Kozłowski). Inst. Geol. Warszawa.