



Państwowy Instytut Geologiczny
Państwowy Instytut Badawczy

państwowa służba geologiczna
państwowa służba hydrogeologiczna



Załącznik 3a

Autoreferat

dr Maria I. Waksmundzka

Zakład Geologii Regionalnej

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

Warszawa, marzec 2021 r.

SPIS TREŚCI

1. Imię i nazwisko.....	5
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	5
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.....	5
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.).....	6
4.1. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy. Tytuł osiągnięcia naukowego.....	6
4.2. Publikacje wchodzących w skład osiągnięcia naukowego.....	6
4.3. Wprowadzenie.....	9
4.4. Metodyka badań.....	10
4.5. Wyniki badań sedimentologicznych i stratygrafii sekwencji.....	12
4.5.1. Litofacje, cykliczność i środowiska sedimentacji	12
4.5.1.1. Środowisko rzeczne.....	13
Przepływy obciążone osadem.....	13
Rzeki roztokowe.....	16
Wysokoenergetyczna – model N.....	16
Głęboka – model M.....	16
Płytko niskoenergetyczna – model O.....	17
Rzeki meandrujące.....	18
System rzek anastomozujących.....	20
4.5.1.2. Środowisko deltowe i płytkoszelkowe.....	21
4.5.2. Architektura depozycyjna, stratygrafia sekwencji i chronostratygrafia.....	25
4.5.2.1. Turniej-wizen.....	29
4.5.2.2. Namur A (serpuchow-najniższy baszkir).....	30
4.5.2.3. Namur BC (niższy baszkir).....	31
4.5.2.4. Westfal (wyższy baszkir-moskow).....	32
4.5.3. Paleogeografia.....	33

4.5.3.1. Turniej-wizen.....	33
4.5.3.2. Namur A (serpuchow-najniższy baszkir).....	34
4.5.3.3. Namur BC (niższy baszkir).....	34
4.5.3.4. Westfal (wyższy baszkir-moskow).....	35
4.6. Podsumowanie wyników badań.....	36
4.7. Cytowana literatura.....	38
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	40
5.1. Instytucje zagraniczne.....	40
5.2. Instytucje krajowe.....	42
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	43
6.1. Osiągnięcia dydaktyczne.....	43
6.2. Osiągnięcia organizacyjne.....	44
6.2.1. Kierowanie projektami.....	44
6.2.2. Funkcje pełnione w PIG-PIB.....	45
6.2.3. Udział w zespołach konkursowych.....	45
6.2.4. Udział w Radzie Naukowej PIG-PIB.....	45
6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę.....	46
7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.....	46
7.1. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	46
Przed uzyskaniem stopnia doktora.....	46
Po uzyskaniu stopnia doktora.....	48
7.1.1. Badania karbonu Polski południowo-zachodniej i potencjału złożowego kraju	49
7.1.2. Badania karbonu basenu lubelskiego.....	50
7.1.3. Seria wydawnicza <i>Profile Głębokich Otworów Wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego</i>	51
7.1.4. Wydawnictwa atlasowe.....	51
7.1.5. <i>Stratygraficzna tablica Polski</i>	52
7.1.6. Modele 3D.....	52

7.1.7. Centralna Baza Danych Geologicznych (CBDG).....	53
7.1.8. Opracowanie i zabezpieczenie stratotypowych odcinków rdzeni wiertniczych.....	53
7.1.9. Bezpieczne geologiczne składowanie CO ₂	53
7.1.10. Ocena zagrożeń dla środowiska.....	54
7.1.11. Projekty komercyjne.....	54
7.1.12. Obecnie realizowane projekty.....	54
7.1.13. Kursy i szkolenia.....	55
7.2. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego (łącznie z pozycjami ujętymi w pkt. 4).....	55

1. Imię i nazwisko

Maria I. Waksmundzka

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

Technik geologii, Technikum Geologiczne w Warszawie, 1988. Praca pt.: *Zadania nadzoru i dozoru geologicznego na otworach poszukiwawczych złóż kopalin (na podstawie złoża suwalskiego)*. Promotor dr hab. Ryszard Sałaciński

Magister geologii w zakresie geologii stratygraficzno-poszukiwawczej, dyplom z wyróżnieniem, Wydział Geologii Uniwersytet Warszawski (UW), 1993. Praca pt.: *Wykształcenie facjalne i sedimentacja utworów wizeniu i namuru południowej części Lubelskiego Zagłębia Węglowego*. Promotorzy prof. dr hab. Piotr Roniewicz, prof. dr hab. Stanisław Skompski, doc. dr hab. Antoni M. Żelichowski

Doktor nauk o Ziemi w zakresie geologii – sedimentologii (**Załącznik 1**), Państwowy Instytut Geologiczny (PIG-PIB) w Warszawie, 2006. Praca pt.: *Ewolucja facjalna i analiza sekwencji w paralicznych utworach karbonu z północno-zachodniej i centralnej Lubelszczyzny*. Promotor prof. dr hab. Stanisław Skompski

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

1991-1992 asystent stażysta, UW Instytut Geologii Podstawowej Zakład Geologii Dynamicznej

1993 technik, UW Instytut Geologii Podstawowej Zakład Geologii Dynamicznej

1993-1996 asystent, UW Instytut Geologii Podstawowej Zakład Geologii i Ekonomiki Złóż

1995-2003 specjalista, PIG-PIB, Zakład Geologii Regionalnej i Naftowej

2003-2006 starszy specjalista badawczo-techniczny, PIG-PIB, Zakład Geologii Regionalnej i Naftowej

od 2006 do dziś adiunkt, PIG-PIB Zakład Geologii Regionalnej (wcześniej Program Bezpieczeństwo Energetyczne; Zakład Kartografii Geologicznej Struktur Wgłębnych; Zakład Geologii Regionalnej, Surowcowej i Geofizyki; Zakład Geologii Regionalnej i Naftowej)

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85 z późn. zm.)

4.1. Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych, zgodnie z art. 219 ust. 1. pkt 2b Ustawy. Tytuł osiągnięcia naukowego:

**Rekonstrukcja architektury depozycyjnej i paleogeografii
utworów karbonu w basenie lubelskim**

4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego*

* Elektroniczne wersje publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego znajdują się w załączniku 5, natomiast oświadczenie współautora publikacji [A8] zamieściłam w załączniku 6.

[A1] **Waksmundzka M.I.** 2010. Mapa litofacjalno-paleomiąższościowa wizenu. Tablica 21. W: Modliński Z. (red) *Atlas paleogeologiczny podpermskiego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich 1:2 000 000*: 25-27. PIG-PIB Warszawa

Punktacja na rok wydania: 3 pkt.; Punktacja 2019: 20 pkt.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmuje wykonanie wszystkich badań, prac graficznych, jak również napisanie tekstu objaśniającego.

[A2] **Waksmundzka M.I.** 2010. Mapa litofacjalno-paleomiąższościowa namuru A (serpuchowu-najniższego baszkiro). Tablica 22. W: Modliński Z. (red) *Atlas paleogeologiczny podpermskiego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich 1:2 000 000*: 27-28. PIG-PIB Warszawa

Punktacja na rok wydania: 3 pkt.; Punktacja 2019: 20 pkt.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmuje wykonanie wszystkich badań, prac graficznych, jak również napisanie tekstu objaśniającego.

[A3] **Waksmundzka M.I.** 2010. Mapa litofacjalno-paleomiąższościowa namuru BC (niższego baszkiu). Tablica 23. W: Modliński Z. (red) *Atlas paleogeologiczny podpermskiego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich 1:2 000 000*: 28-30. PIG-PIB Warszawa

Punktacja na rok wydania: 3 pkt.; Punktacja 2019: 20 pkt.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmuje wykonanie wszystkich badań, prac graficznych, jak również napisanie tekstu objaśniającego.

[A4] **Waksmundzka M.I.** 2010. Mapa litofacjalno-paleomiąższościowa westfalu (wyższego baszkiu-moskowie). Tablica 24. W: Modliński Z. (red) *Atlas paleogeologiczny podpermskiego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich 1:2 000 000*: 30-31. PIG-PIB Warszawa

Punktacja na rok wydania: 3 pkt.; Punktacja 2019: 20 pkt.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmuje wykonanie wszystkich badań, prac graficznych, jak również napisanie tekstu objaśniającego.

[A5] **Waksmundzka M.I.** 2010. Mapa paleogeologiczna górnej strony przedkarbońskiej powierzchni niezgodności. Tablica 33. W: Modliński Z. (red.) *Atlas paleogeologiczny podpermskiego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich 1:2 000 000*: 37-38. PIG-PIB Warszawa

Punktacja na rok wydania: 3 pkt.; Punktacja 2019: 20 pkt.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmuje wykonanie wszystkich badań, prac graficznych, jak również napisanie tekstu objaśniającego.

[A6] **Waksmundzka M.I.** 2012. Braided-river and hyperconcentrated-flow deposits from the Carboniferous of the Lublin Basin (SE Poland) – a sedimentological study of core data. *Geologos* 18, 3: 135-161.

Lista B MNiSW; Punktacja na rok wydania: 9 pkt.; Punktacja 2019: 40 pkt.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmuje wykonanie wszystkich badań, przygotowanie manuskryptu w warstwie tekstowej i graficznej, odpowiedzi na recenzje i finalnej edycji manuskryptu.

[A7] **Waksmundzka M.I.** 2013. Carboniferous coarsening-upward and non-gradational cyclothems in the Lublin Basin (SE Poland): palaeoclimatic implications. W: Gąsiewicz A., Słowakiewicz M. (red.) *Palaeozoic Climate Cycles: Their Evolutionary and Sedimentological Impact. Geological Society, London, Special Publications*, 376: 141-175.

Indeksowane w Journal Citation Report

Punktacja na rok wydania: 5 pkt.; Punktacja 2019: 70 pkt.

Mój wkład w powstanie publikacji obejmuje wykonanie wszystkich badań, przygotowanie manuskryptu w warstwie tekstowej i graficznej, odpowiedzi na recenzje i finalnej edycji manuskryptu.

[A8] Kozłowska A., **Waksmundzka M.I.** 2020. Diagenesis, sequence stratigraphy and reservoir quality of the Carboniferous deposits of the southeastern Lublin Basin (SE Poland). *Geological Quarterly*, 64: 422–459.

Indeksowane w Journal Citation Report

Lista A MNiSW; Punktacja na rok wydania: 70 pkt.;

IF na rok wydania 1.167; 5-letni IF 1.188

Mój wkład w przygotowanie publikacji obejmował:

(1) opracowanie koncepcji i metodyki badań sedimentologicznych i stratygrafii sekwencji, jak również wykonanie tych badań (2) udział w opracowaniu kryteriów właściwości zbiornikowych zamieszczonych w tabeli 1, (3) wykonanie analizy wyników badań sedimentologicznych i stratygrafii sekwencji w kontekście właściwości zbiornikowych piaskowców, (4) przygotowanie tekstu manuskryptu obejmującego wyniki badań sedimentologicznych i stratygrafii sekwencji zilustrowane na figurach 2-12AB i zamieszczone w tabelach 2-5, (5) udział w dyskusji wyników w kontekście właściwości zbiornikowych piaskowców podsumowanych w tabeli 8, (6) udział w opracowaniu wniosków, (7) współtworzenie finalnej wersji manuskryptu artykułu.

4.3. Wprowadzenie

W skład osiągnięcia naukowego, będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego, wchodzi 8 powiązanych tematycznie publikacji. Sześć z nich to rozdziały w monografii (cztery w formie mapy) [A1]-[A5] i [A7], i kolejne dwa to artykuły naukowe z czasopism znajdujących się w wykazie MNiSW.

Badania, których wyniki prezentuję były przeprowadzone dwuetapowo. W pierwszej kolejności wykonałam analizę litofacjalną rdzeni wiertniczych, interpretację litologii i identyfikację granic sekwencji w profilach otworów, w ramach realizacji następujących projektów:

- [H5] *Budowa geologiczna i system naftowy rowu lubelskiego a perspektywy poszukiwawcze;*
- [P10] *Analiza litofacjalno-paleogeograficzna paleozoiku podpermskiego kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich;*
- [P16] *Wykształcenie facjalne, stratygrafia sekwencji i diagenetyzacja utworów karbonu z południowo-wschodniej Lubelszczyzny.*

W następnej kolejności przeprowadziłam szczegółowe badania sedymentologiczne i stratygraficzne, każdorazowo na potrzeby poszczególnych publikacji, których zakres znacznie wykraczał poza ramy w/w projektów. Zrealizowałam również nowe badania w wybranych interwałach z 3 ciągłych profili rdzeniowych otworów, pochodzących z rozprawy doktorskiej, a uzyskane wyniki w znacznym stopniu poszerzyły, uszczegółowiły i uaktualniły jej zakres.

Celem naukowym wykonanych badań była rekonstrukcja środowisk sedymentacji i architektury depozycyjnej utworów karbonu w basenie lubelskim, na podstawie szczegółowej analizy litofacjalnej oraz cykliczności, w ramach stratygrafii sekwencji odniesionej do chronostratygrafii. Badania wykonane w pełnordzeniowanych profilach otworów umożliwiły zrekonstruowanie paleośrodowisk oraz paleogeografii, zarówno w skali pojedynczych form depozycyjnych, jak również w skali regionalnej wykraczającej poza dzisiejsze granice basenu lubelskiego. Rekonstrukcje regionalne przedstawiłam na mapach litofacjalno-paleomiąższościowych i paleogeologicznych [A1]-[A5], które zostały opublikowane w *Atlasie paleogeologicznym podpermskiego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich 1:2 000 000* (Modliński 2010 red.), jak również na schematach korelacyjnych w publikacjach [A6]-[A8]. Przedstawiłam na nich rekonstrukcję

przykładowych środowisk i subśrodowisk sedimentacji, jak również ich zmienność w obrębie poszczególnych jednostek chronostratygraficznych karbonu.

4.4. Medotyka badań

Badania wykonałam na podstawie danych geologicznych i profilowań geofizyki otworowej pochodzących z 88 otworów wiertniczych zlokalizowanych na obszarze basenu lubelskiego. 14 spośród nich jest pełnordzeniowanych w całym badanym profilu karbonu lub w wybranych interwałach. Pozostałe profile otworów są rdzeniowane we fragmentach z uzyskiem rdzenia wynoszącym ok. 20-40%.

W badaniach sedimentologicznych zastosowałam analizę litofacjalną, analizując pojedyncze litofacje oraz ich zespoły. Zostały one opisane przy zastosowaniu kodu litofacjalnego wykreowanego przez Miall'a (1978), Rust'a (1978) i Zielińskiego (1995), do którego wprowadziłam uzupełnienia dostosowując go do specyfiki badanych utworów [A6]-[A8]. Do zakodowania litofacji użyłam symboli oznaczając dużymi literami cechy teksturalne, a małymi – cechy strukturalne [A6 – Tab. 1], np. Sp (S = *sandstone*; p = *planar cross-stratification*). Do zakodowania form dna, procesów i środowisk sedimentacji użyłam symboli z kodu genetycznego [A6 – Tab. 3], w postaci skrótu ich nazwy oznaczonego dużymi literami, np. FM (*foreset macroform*).

Następnym etapem analizy litofacjalnej było wydzielenie i zakodowanie zespołów litofacjalnych, wyznaczając litofacje dominujące miąższościowo – wskaźnikowe [A6 – Tab. 5, 6, 8]; [A8 – Tab. 4]. Było to niezbędne dla odtworzenia różnych typów środowisk rzecznych, poprzez porównanie z profilami modelowymi Miall'a (1996).

Jednym z elementów badań sedimentologicznych była analiza cyklotemów o ziarnie malejącym spotykanych w obrębie utworów fluwialnych. Zastosowałam tu wprowadzoną przeze mnie w publikacji [A6] klasyfikację tych cyklotemów na dwa główne typy wraz z podtypami. Wykonałam analizę statystyczną miąższości cyklotemów i ich członów dla różnych środowisk rzecznych wraz ze wskazaniem tych najbardziej predysponowanych do agradacji osadów piaszczystych, i tworzenia litosomów potencjalnie kolektorskich.

Do odtworzenia środowisk morskich i deltowych niezbędna była szczegółowa analiza cyklotemów o ziarnie rosnącym oraz niegradacyjnych [A7]-[A8], przy zastosowaniu klasyfikacji wprowadzonej przeze mnie w publikacji (Waksmundzka 2010 [K14]). Analiza dotyczyła następstwa litofacji oraz kompletności części ilasto-klastycznej, złożonej z genetycznie powiązanych kolejnych członów oznaczonych cyframi 1-3. Na tej podstawie

wydzieliłam główne typy cyklotemów. Obecność lub brak pozostałych członów, tj. węglanowego – 0 i fitogenicznego – 4, stanowił o wyróżnieniu podtypów w obrębie typów głównych.

Ze względu na znaczne głębokości pogrzebienia utworów karbonu, konieczne było uwzględnienie poprawki kompakcyjnej, w celu odtworzenia miąższości pierwotnych litofacji i ich zespołów. Miało to istotne znaczenie dla odtworzenia środowisk i subśrodowisk sedymentacji, szczególnie w przypadku analizy proporcji miąższościowych w cyklotemach o ziarnie malejącym, pomiędzy utworami korytowymi i tymi powstałymi na równi zalewowej. Poprawkę kompakcyjną obliczałam stosując metodykę Baldwin'a i Butler'a (1985), wyznaczając współczynniki redukcji miąższości dla różnych typów skał, których wartość wzrasta wraz z głębokością [A7]. Dla uszczegółowienia interpretacji środowisk rzecznych obliczyłam również, korzystając ze wzorów empirycznych autorów zacytowanych w publikacji [A6] wysokość form paleodna, tj. odsypów poprzecznych i megariplemarków, jak również głębokość paleokoryt rzecznych.

Dla wybranych cyklotemów o ziarnie rosnącym obliczyłam miąższości pierwotne, co pozwoliło na oszacowanie głębokości paleozbiornika morskiego oraz pojemności akomodacyjnej równi deltowej. Poza tym wykonałam analizę statystyczną w poszczególnych ciągach depozycyjnych, która umożliwiła wskazanie genetycznego związku między typami cyklotemów, a stanem względnego poziomu morza (WPM).

Rozwój facjalny utworów karbonu oraz ich architekturę depozycyjną scharakteryzowałam na podstawie korelacji litologiczno-facjalnej i stratygrafii sekwencji. Profile karbonu zestawiałam przyjmując jako izochroniczne, horyzonty faunistyczne, tj.: *Posidonia corrugata* I, *Posidonia corrugata* II i *Dunbarella papyracea* (Musiał, Tabor 1988) i odpowiadające im lokalne maksima krzywej promieniowania gamma (Waksmundzka 2010 [K14], [A7]).

W badanych profilach wydzieliłam sekwencje depozycyjne definiowane za Michum'em Jr. (1977), jak również ich podstawowe elementy – parasekwencje (Van Wagoner 1985), którym odpowiadają cyklotemy. W obrębie sekwencji wyznaczyłam powierzchnie, tj.: maksymalnej regresji – inicjalnej transgresji (T) oraz maksymalnego zalewu (MFS), które oddzielają trzy typy ciągów depozycyjnych. Są to ciągi niskiego stanu (LST), transgresywny (TST) oraz wysokiego stanu (HST) (Posamentier i in. 1988).

W badaniach zastosowałam model stratygrafii sekwencji dla basenu lubelskiego, obejmujący 22 sekwencje, dowiązany do globalnego i zachodnioeuropejskiego podziału karbonu (Waksmundzka 2008 [K11], 2010 [K14]). W związku z odkryciem na Lubelszczyźnie, wcześniej nie notowanych utworów turneju (Pańczyk, Nawrocki 2015),

zaistniała konieczność modyfikacji tego modelu. Zmiany dotyczyły najstarszych utworów karbonu, w obrębie których za odpowiadające turnejowi uznałam utwory sekwencji 1, które od wizenu oddziela luka stratygraficzna ([A8]; Waksmundzka i in. w druku [K25]).

Rekonstrukcje regionalne powstały w oparciu o mapy litofacjalno-paleomiąższościowe [A1]-[A4] i paleogeologiczną [A5]. Te pierwsze skonstruowałam na podstawie danych litologicznych, facjalnych i miąższościowych pochodzących z 88 profili otworów, które zostały opracowane metodą współczynnikową. Podstawą skonstruowania map litofacjalno-paleomiąższościowych jest trójkąt klasyfikacyjny, na narożach którego umieszczone są trzy główne grupy litofacji A, B, C, odpowiadające ich udziałowi procentowemu w profilu, jak również wartości współczynników $W1 = A/(B+C)$ i $W2 = B/C$. Metoda ta narzuca pewien stopień uśrednienia profilu litofacjalnego. Powoduje to, że litofacje o małym udziale miąższościowym, nie są bezpośrednio zobrazowane np. na mapach wizenu [A1] i namuru A (serpuchowu-najniższego baszki) [A2], na korzyść litofacji dominujących miąższościowo. Na obszarach basenu lubelskiego, gdzie profil karbonu jest erozyjnie zredukowany oraz poza jego współczesnym zasięgiem, zostały zrekonstruowane przypuszczalne środowiska sedymentacji.

Paleomiąższość utworów poszczególnych pięter karbonu przedstawiłam na mapach za pomocą izopachyt, powstałych na drodze interpolacji. Parametr ten odpowiada miąższości współczesnej (bez uwzględnienia dekompakcji, czego nie przewidywała konwencja przyjęta dla całego atlasu) jednostek charakteryzujących się profilem kompletnym, oraz miąższości zrekonstruowanej, na obszarach wtórnie pozbawionych osadów w wyniku erozji śródkarbońskiej i epigenetycznej. Na podstawie przebiegu i regionalnego usytuowania izopachyt o wartości zero odtworzyłam pierwotne zasięgi depozycji osadów poszczególnych pięter karbonu oraz przypuszczalnych paleogranic basenu lubelskiego.

4.5. Wyniki badań sedymentologicznych i stratygrafii sekwencji

4.5.1. Litofacje, cykliczność i środowiska sedymentacji

W profilu utworów karbonu basenu lubelskiego występują w zmiennych proporcjach, wzajemnie przeławicające się skały klastyczne, ilaste, węglanowe i fitogeniczne, a w najstarszej części spotykane są również wulkanity, piroklastyki i boksyty. W wyniku analizy litofacjalnej rdzeni wiertniczych, zidentyfikowałam szereg odmian litologicznych, tj.: wapienie, margle, iłowce, mułowce, mułowce piaszczyste, piaskowce, piaskowce zlepieńcowate, zlepieńce piaszczyste, zlepieńce, iłowcowe/mułowcowe/piaskowcowe gleby stigmariowe, iłowce węgliste i węgle, w obrębie których wydzieliłam, zakodowałam i

scharakteryzowałam litofacje powstałe w środowisku rzecznych [A6 – Tab. 4; A8 – Tab. 2] oraz w środowisku deltowym, płytkiego szelfu ilastego i węglanowego [A7 – Tab. 3; A8 – Tab. 3].

Specyfiką wykształcenia utworów karbonu lubelskiego jest cykliczność sedimentacji, a analiza cyklotemów była integralną częścią badań sedimentologicznych. W badanych profilach wyróżniłam 3 główne typy cyklotemów, tj. o ziarnie malejącym, o ziarnie rosnącym i niegradacyjne wraz z ich podtypami, przy zastosowaniu wprowadzonych przeze mnie klasyfikacji (Waksmundzka 2010 [K14]; [A8]).

4.5.1.1. Środowisko rzeczne

W wyniku analizy litofacjalnej wydzieliłam, zakodowałam i scharakteryzowałam 21-24 litofacji [A6 – Tab. 4; A8 – Tab. 2] oraz 23-45 zespołów litofacjalnych [A6 – Tab. 5, 6, 8; A8 – Tab. 4], które powstały w środowisku rzecznym, jak również w procesie przepływów obciążonych osadem, zachodzących w korytach rzecznych i wciętych dolinach. Poniżej przedstawiłam charakterystykę tych zespołów, w kolejności od najwyższej do najniższej energetycznych, oraz powstających w tym środowisku cyklotemów o ziarnie malejącym.

Przepływy obciążone osadem

W spągu zespołów litofacjalnych powstałych w procesie przepływów obciążonych osadem występuje powierzchnia erozyjna, a powyżej spotykane są wysokoenergetyczne piaskowce litofacji Ss zawierające różnego typu klasty, tj. iłowcowe, mułowcowe, konkrecji syderytowych oraz węgliste. Powyżej występują dominujące miąższościowo piaskowce masywne litofacji Sm, które osiągają od kilku do nawet 18 m miąższości współczesnej. Zespoły te są monolitofacjalne, ale sporadycznie pojawiają się też cienkie interwały niższej energetycznych litofacji Sx, St, Sl i Sh2. Najbardziej typowe przykłady zespołów powstałych w procesie przepływów obciążonych osadem, tj. np. Sm (Ss) lub Sm, jak również cyklotemów o ziarnie malejącym, zilustrowałam na **Figurze 1** na przykładzie profilu otworu Łączna IG 13 pochodzącego z publikacji [A6 – Fig. 7]. Inne przykłady pochodzą z profili otworów Łączna IG 9 [A6 – Fig. 6] oraz Tyszowce IG 1 [A8 – Fig. 6].

Dominacja litofacji piaskowców o strukturze masywnej Sm wskazuje na szybką depozycję w warunkach przepływów przeciążonych osadem, które rozwinęły się we wciętych dolinach (Martinsen 1994; Svendsen i in. 2003). Przepływy te charakteryzowały się dużą koncentracją osadów dochodzącą do 20-50% (wg Pierson'a i Costy 1987), co uniemożliwiało zachodzenie procesów rytmicznego transportu dennego (**Figura 2**).

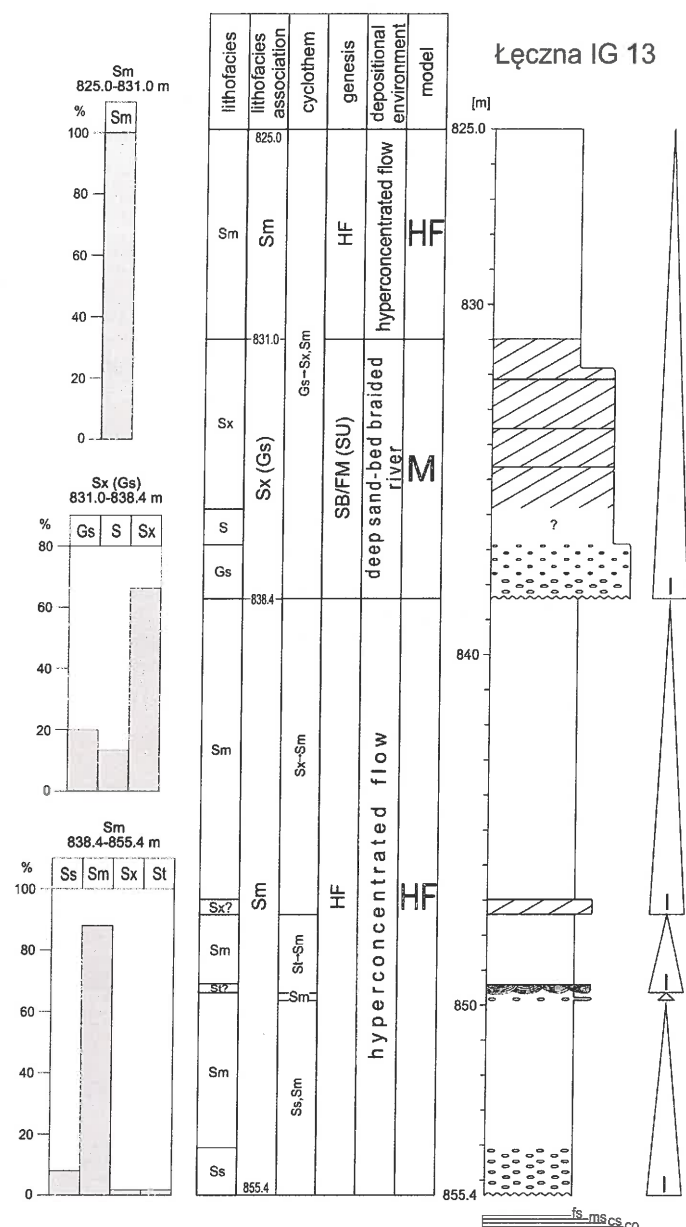


Figura 1. Zespoły litofacjalne i cyklotemy o ziarnie malejącym powstałe w procesie przepływów obciążonych osadem we wciętej dolinie (HF) oraz w środowisku głębokiej piaskodennej dystalnej rzeki roztokowej (model M wg Miall'a 1996).

W obrębie opisanych powyżej zespołów występuje malenie ziarna ku górze i przejście od piaskowców gruboziarnistych, przez średnio- do drobnoziarnistych. Czasami obserwuje się również przejście do mułowców. Najczęściej spotykane są cyklotemy o ziarnie malejącym typu I – gruboziarniste, kilkumetrowej miąższości o następstwie St→Sm lub Sx→Sm, w których litofacjom wysokoenergetycznym towarzyszą litofacie niżejenergetyczne. Występują również cyklotemy złożone z dwóch zespołów litofacjalnych – wysokoenergetycznego i niżejenergetycznego, które charakteryzują się ekstremalnie dużą miąższością dochodzącą do

28,5 m, o następstwie Ss, Sm→Sx, St, Sl, Sh i Gs→Sx, Sm. Wymienione cyklotemy zilustrowane są na **Figurze 1**, jak również w publikacji [A6 – Fig. 6, 7; Tab. 7].

Rzadsze są cyklotemy typu IIa osiągające miąższość do ok. 8 m, w których powyżej członu dolnego wysokoenergetycznego występuje człon górny – niskoenergetyczny, złożony z litofacji mułowców laminowanych poziomo litofacji Fh, opisany w profilu otworu Tyszowce IG 1 [A8 – Fig. 6; Tab. 5].

Powstawanie cyklotemów o ziarnie malejącym typu I oraz dolnych członów typu IIa, wchodzących w skład jednego zespołu litofacjalnego, należy wiązać ze spadkiem energii i nośności przepływu przeciążonego osadem, jak również jego koncentracji. Wynikiem tego może być pojawienie się oprócz litofacji masywnych, również litofacji typowych dla rytmicznego transportu dennego. Natomiast górne człony cyklotemów typu IIa powstawały w czasie depozycji z zawiesiny po zamarcu przepływu. Powstawanie ekstremalnie miększych cyklotemów złożonych z dwóch zespołów, wiąże się z przejściem procesu przepływu obciążonego osadem, po spadku jego energii i koncentracji, w rytmiczny transport denny w korycie roztokowym. Może być też związane z procesem odwrotnym, czyli zanikiem rytmicznego transportu dennego w korycie roztokowym, po wzroście energii przepływu i koncentracji osadów, i pojawieniu się przepływu przeciążonego osadem.

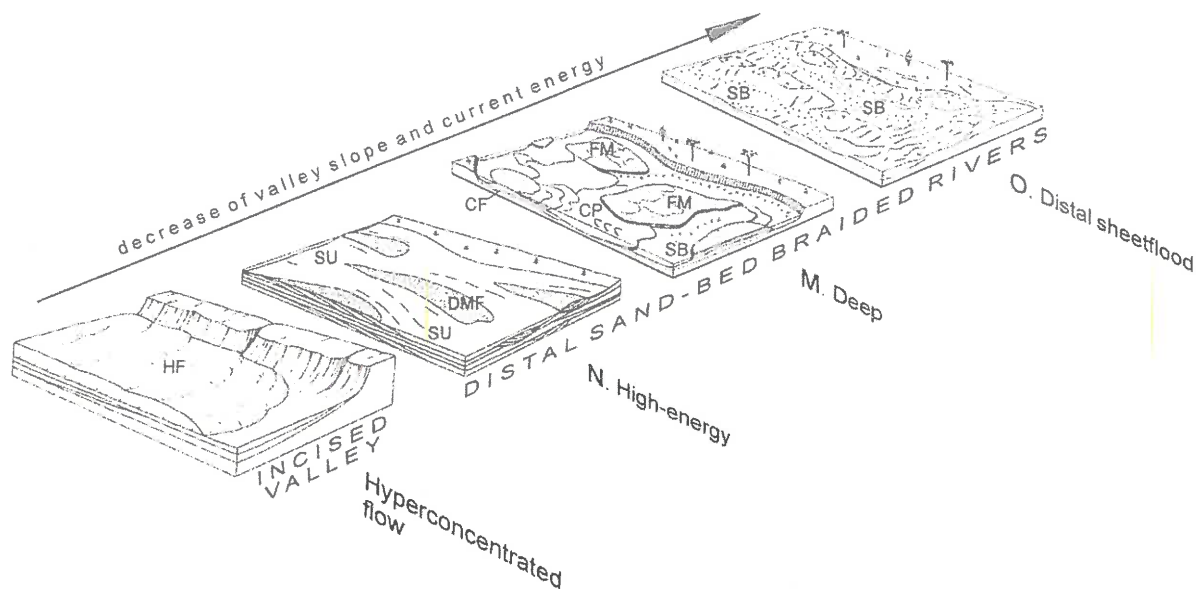


Figura 2. Rekonstrukcja środowiska sedymentacji przepływów obciążonych osadem we wciętych dolinach oraz 3 typów rzek roztokowych, jakie spotykane są w profilu utworów karbonu basenu lubelskiego.

Rzeki roztokowe

W badanych profilach otworów liczne są zespoły litofacjalne, w których dominują piaskowce powstałe w warunkach rytmicznego transportu dennego, a litofacje drobnoziarniste i fitogeniczne nie występują lub ich udział jest mały, i wynosi 7-37% (por. np. Blakey, Gubitosa 1984). W spągu większości zespołów występuje powierzchnia erozyjna, podkreślona różnego typu klastami. Cechy te wskazują na depozycję w środowisku **piaskodennych dystalnych rzek roztokowych**, wśród których wyróżniłam 3 typy przy zastosowaniu klasyfikacji rzek Miall'a (1996), tj.:

- **Wysokoenergetyczna – model N**

Do najbardziej typowych należą zespoły litofacjalne, w których dominują wysokoenergetyczne piaskowce warstwowane poziomo Sh/Sh2 powstałe w górnym ustroju prądu oraz warstwowane przekątnie małokątowo Sl, związane ze wzrostem energii i przejściem z ustroju dolnego do górnego. W mniejszej ilości mogą występować wysokoenergetyczne piaskowce masywne litofacji Sm i piaskowce rozmyte erozyjnych litofacji Ss, jak również litofacje powstałe w dolnym ustroju prądu, tj. piaskowce warstwowane przekątnie rynnowo St i w dużej skali Sx, oraz piaskowce laminowane riplemarkowo Sr.

Opisane powyżej litofacje wchodziły w skład zespołów, tj. Sh (Ss, Sx) oraz Sl (Sx, St) z profilu Łączna IG 9 [A6 – Fig. 6, 8; Tab. 5] oraz Sl (Sm, Sh2) z profilu Tyszowce IG 1 [A8 – Fig. 5], które powstały w wysokoenergetycznym korycie rzeki roztokowej, zbliżonym do **modelu N** Miall'a (1996), zilustrowanym na **Figurze 2**.

- **Głęboka – model M**

W badanych profilach dość licznie reprezentowane są zespoły, w których dominują piaskowce warstwowane przekątnie rynnowo litofacji St, przekątnie w dużej skali litofacji Sx lub przekątnie planarnie litofacji Sp. Są to litofacje, które powstały w dolnym ustroju prądu w obrębie megariplemarków lub odsypów poprzecznych. W mniejszej ilości towarzyszą im wysokoenergetyczne litofacje piaskowców masywnych Sm i warstwowanych poziomo Sh/Sh2, niskoenergetyczne piaskowce laminowane riplemarkowo Sr, litofacje drobnoziarniste Fh, Fm, Fn deponowane z zawiesiny lub przy zamierającym przepływie oraz węgle litofacji C, powstałe z uwęglania materii organicznej zgromadzonej w bagnach na równi przykorytowej.

Typowym zespołem jest ten o następstwie St (Sx, Sm) z profilu Łączna IG 13 [A6 – Fig. 9; Tab. 6], który powstał głównie w obrębie megariplemarków o wysokości 1,8-2,4 m, przy dużej głębokości koryta dochodzącej maksymalnie do 3,6-4,8 m. Inne zespoły zazwyczaj

powstawały w obrębie mniejszych megariplemarków, o wysokości od 0,25-0,34 m do 1,47 m i głębokości koryta od 0,5-0,68 m do 2,94 m.

W niektórych korytach o głębokości do 2,6 m powstawały odsypy poprzeczne, o wysokości od 0,95-1,17 m do 2,0-2,6 m, a zdeponowane w nich osady piaszczyste tworzą monolitofacjalne zespoły Sp?, zilustrowane na przykładzie profilu Łączna IG 25 [A6 – Fig. 10]. Opisane zespoły powstały w głębokim korycie rzeki roztokowej, zbliżonym do **modelu M** Miall'a (1996) zilustrowanym na **Figurze 2**.

- **Płytko niskoenergetyczna – model O**

Wśród wydzielonych zespołów część charakteryzuje się dużym udziałem miąższościowym niskoenergetycznych, skrajnie płytkowodnych piaskowców laminowanych riplemarkowo litofacji Sr oraz litofacji iłowcowo-mułowcowych FSw, Fn, Fh i Fm powstałych, przy zamierającym przepływie i/lub w czasie depozycji z zawiesiny. W niektórych zespołach spotykane są węgle litofacji C, powstałe w bagnach na równi przykorytowej po uwęgleniu zgromadzonej tam materii organicznej. Rzadko w zespołach pojawiają się piaskowce litofacji St i Sx świadczące o krótkich epizodach nieco wyższej energii przepływu.

Opisane powyżej litofacje wchodzi w skład zespołów, tj. np. Sr (Sx) z profilu Łączna IG 9 [A6 – Fig. 8; Tab. 5] czy też Sr (C, Sx) z profilu Łączna IG 13 [A6 – Fig. 9], które należą do najniższej energetycznych powstałych w środowisku płytkiej niskoenergetycznej rzeki roztokowej, zbliżonej do **modelu O** Miall'a (1996) zilustrowanym na **Figurze 2**.

W utworach powstałych w środowisku **piaskodennych dystalnych rzek roztokowych** wyróżniłam dwa główne typy cyklotemów o ziarnie malejącym, tj.: I – gruboziarniste oraz IIa i IIb – drobnoziarniste [A6 – Tab. 7].

Typ I charakteryzuje się obecnością jednego członu złożonego z utworów gruboziarnistych, tj. zlepieńce i/lub piaskowce i brakiem członu górnego – drobnoziarnistego. Jest często spotykany i może osiągać miąższość wynoszącą 11,7 m [A6 – Fig. 14]. Malenie ziarna ku górze związane jest z przejściem od zlepieńców lub gruboziarnistych piaskowców do piaskowców średnio- i drobnoziarnistych. Najczęściej występują wysokoenergetyczne litofacje piaskowców i piaskowców zlepieńcowych masywnych Sm, SGm, warstwowych poziomo Sh/Sh2, warstwowych przekątnie małokątowo Sl lub piaskowców warstwowych przekątnie planarnie Sp?, związanych z depozycją w dolnym ustroju prądu. W mniejszej ilości spotykane są niżejenergetyczne litofacje zlepieńców lub piaskowców warstwowych przekątnie rynnowo Gt, St, piaskowców warstwowych przekątnie w dużej skali Sx oraz niskoenergetycznych piaskowców laminowanych riplemarkowo Sr.

Przykładowe następstwa litofacjalne w obrębie cyklotemów typu I, tj. np. Gt→Sm,Sh,Sp?,St→Sr przedstawiłam w publikacji [A6 – Tab. 7] i zilustrowałam na przykładzie profilu otworu Łączna IG 25 [A6 – Fig. 10] oraz profilu Tyszowce IG 1 [A8 – Fig. 5]. Genezę powstawania cyklotemów o ziarnie malejącym typu I należy wiązać ze spadkiem energii i nośności przepływu w piaskodennych dystalnych korytach rzek roztokowych.

Najczęściej spotykane są cyklotemy o ziarnie malejącym typu IIa złożone z dwóch członów [A6 – Fig. 14]. Ich miąższość może dochodzić do 15,6 m. Malenie ziarna wiąże się z przejściem ku górze piaskowców gruboziarnistych, przez średnio- i drobnoziarniste do mułowców piaszczystych, mułowców i iłowców. W członach dolnych występują zarówno litofacje wysokoenergetyczne, tj.: Ss, Sh/Sh2, Sl, jak również niżejenergetyczne, tj. Sx, St, Sr. W członach górnych spotykana jest litofacja iłowców i mułowców masywnych Fm powstała z zawiesiny po zamarcu przepływu. W stropie niektórych cyklotemów pojawiają się iłowcowe/mułowcowe/piaskowcowe gleby stigmariowe litofacji R, powstałe w wyniku porośnięcia obszaru równi aluwialnej roślinnością i rozwojem procesów pedogenicznych.

Najrzadziej spotykane są cyklotemy o ziarnie malejącym typu IIb, w obrębie których dominują litofacje niskoenergetyczne oraz powstałe przy braku przepływu. W członie dolnym są to, powstałe przy skrajnie niskiej energii przepływu, piaskowce laminowane riplemarkowo litofacji Sr oraz w członie górnym, mułowce laminowane Fn i mułowce piaszczyste laminowane faliście FSw. Towarzyszą im iłowce i mułowce masywne oraz laminowane poziomo litofacji Fm i Fh, które powstały w czasie depozycji z zawiesiny po zamarcu przepływu. Miąższość cyklotemów IIb może dochodzić do 8,6 m, najczęściej jednak nie przekracza 3 m. Typowe następstwo litofacjalne, tj. Sr→FSw, Fn, Fh, Fm przedstawiłam na przykładzie profilu otworu Rycice 2 [A6 – Tab. 7], oraz Sr, Sm→Fn z profilu Łączna IG 25 [A6 – Fig. 10]. Przewaga litofacji skrajnie niskoenergetycznych oraz deponowanych z zawiesiny wskazuje, że powstawanie cyklotemów typu IIb zachodziło na obszarze równi pomiędzy głównymi korytami rzeki roztokowej, przy słabym, zamierającym przepływie, a następnie w czasie depozycji z zawiesiny w jeziorach.

Rzeki meandrujące

W badanych profilach otworów zidentyfikowałam zespoły litofacjalne, które charakteryzują się przewagą miąższościową wynoszącą 50-70% litofacji drobnoziarnistych i fitogenicznych nad piaskowcowymi. W spągu zespołów piaskowcowych występuje powierzchnia erozyjna, podkreślona różnego typu klastami. W zespołach tych duży udział

mają wysokoenergetyczne litofacje piaskowców masywnych Sm i warstwowanych poziomo Sh2 powstałych w górnym ustroju prądu, jak również warstwowanych przekątnie małąkątowo Sl, związanych z przejściem z ustroju dolnego do górnego. W mniejszej ilości spotykane są niskoenergetyczne litofacje piaskowców warstwowanych przekątnie rynnowo St i przekątnie planarnie Sp, związane z depozycją w obrębie megariplemarków i odsypów poprzecznych. Czasami występują też powstałe w skrajnie niskiej energii przepływu litofacje piaskowców laminowanych riplemarkowo Sr i laminowanych smużyście Sf. W obrębie tych zespołów zaobserwowałam malenie ziarna ku górze i przejście od piaskowców grubo- lub średnioziarnistych do drobnoziarnistych.

Cechy opisanych powyżej zespołów wskazują na sedimentację w środowisku koryt piaskodennych rzek meandrujących (por. Miall 1977; Bridge i Gordon 1985), które miały silnie agraujący charakter, na co wskazuje dominacja litofacji Sm, Sh2 i Sl. Typowy dla tego środowiska jest np. zespół Sm (Sl, Sr, St) z profilu otworu Tyszowce IG 1 [A8 – Tab. 4; Fig. 7], który w stropie przechodzi w zespół niskoenergetyczny, złożony z iłowców i mułowców masywnych litofacji Fm oraz gleb stigmariowych litofacji R. Zespół ten i jemu podobne są charakterystyczne dla subsródowniska równi zalewowej piaskodennej rzeki meandrującej. Powstały one podczas depozycji z zawiesiny w jeziorach, a następnie przy udziale procesów glebotwórczych po zarośnięciu obszaru równi przez roślinność.

W obrębie utworów powstałych w środowisku rzek meandrujących występują cyklotemy o ziarnie malejącym typu IIa dwuczłonowe, w których następuje przejście od litofacji piaskowcowych do drobnoziarnistych i fitogenicznych. Przykładem takiego cyklotemu jest ten o następstwie $Sm+Sp+Sl+Sf \rightarrow Sh1 \rightarrow Sr+St \rightarrow Fm \rightarrow R$ z profilu otworu Tyszowce IG 1 [A8 – Tab. 5], utworzony z dwóch opisanych powyżej zespołów. Miąższość cyklotemów wynosi ok. 4-10 m. Powstanie cyklotemów typu IIa należy wiązać z procesami autocyklicznymi, takimi jak zmniejszanie prędkości i nośności przepływu w obrębie odsypów meandrowych oraz ich lateralną migracją w korytach, oraz allocyklicznymi – zmniejszaniem energii przepływu i wypełnianiem koryt w wyniku podnoszenia się bazy erozyjnej – względnego poziomu morza.

Spotykane są również cyklotemy o ziarnie malejącym typu IIb, w których przeważają litofacje niskoenergetyczne. Przykładem takiego cyklotemu jest ten o następstwie $Sr+Sf+Sm+Sh1 \rightarrow Fm+Fh+FSw+Fn$ z profilu otworu Tyszowce IG 1 [A8 – Tab. 5]. Miąższość cyklotemów IIb zmienia się w granicach 0,3-10 m. W członie dolnym dominują niskoenergetyczne litofacje piaskowców laminowanych riplemarkowo Sr i laminowanych smużyście Sf, świadczące o zamierającym przepływie w obrębie stożków krewasowych na

obszarze równi zalewowej. W członie górnym spotykane są litofacje iłowców i mułowców masywnych Fm i laminowanych poziomo, powstałe w jeziorach na równi zalewowej, gdzie sedimentacja zachodziła głównie z zawiesiny, przy braku przepływu.

System rzek anastomozujących

Licznie reprezentowane są zespoły litofacjalne, w których dominują litofacje piaskowców laminowanych riplemarkowo Sr i laminowanych smużyście Sf, powstające w skrajnie niskiej energii przepływu, piaskowców warstwowych przekątnie rynnowo St oraz w dużej skali Sx, związane z dolnym ustrojem prądu i depozycją w obrębie megariplemarków i/lub odsypów poprzecznych. Typowym zespołem jest ten o następstwie St, Sx (Sr) z profilu otworu Tyszowce IG 1 [A8 – Tab. 4]. Częste są też zespoły, w których oprócz wymienionych powyżej występują także wysokoenergetyczne litofacje piaskowców warstwowych poziomo Sh2, masywnych Sm, rozmyć erozyjnych Ss, warstwowych przekątnie małokątowo Sl i niskoenergetycznych piaskowców laminowanych poziomo Sh1. Przykładowym zespołem jest ten o następstwie Sh1 (Sm, Sr) z profilu otworu Marynin 1 [A8 – Tab. 4].

Opisane zespoły powstały w zmiennej energii przepływu od wysokiej do niskiej oraz przy jego braku, w korytach rzecznych o silnie agradującym charakterze. Taki charakter mają koryta działające w systemie anastomozującym (por. Makaske 2001; Gradziński i in. 2003). Na ten charakter środowiska rzecznego wskazują też proporcje miąższościowe zespołów piaskowcowych i występujących powyżej nich zespołów niskoenergetycznych powstałych na obszarze równi zalewowej, które stanowią 74-97%. Bliżej koryt w obrębie stożków krewasowych powstawały litofacje piaskowców Sm i Sf. Natomiast na obszarze dystalnej równi w jeziorach deponowane były z zawiesiny iłowce i mułowce masywne Fm i laminowane poziomo Fh oraz litofacja gleb stigmariowych R związana z procesami pedogenicznymi i porośnięciem równi przez roślinność. Powstawały też węgle litofacji C, z uwęglenia materii organicznej zgromadzonej w bagnach. Przykładowym zespołem powstałym w subsródownisku równi zalewowej jest ten o następstwie Fm (R, C) z otworu Tyszowce IG 1 [A8 – Tab. 4].

W obrębie utworów systemu rzek anastomozujących występują cyklotemy o ziarnie malejącym typu IIa, składające się z członu dolnego piaskowcowego powstałego w korycie oraz górnego drobnoziarnistego, zdeponowanego na równi zalewowej. Przykładem takiego cyklotemu jest ten o następstwie Gs→Ss→Sm+Sr+Sl→Fh z profilu otworu Tyszowce IG 1 [A8 – Tab. 5; Fig. 5]. Powstawanie cyklotemów IIa wskazuje na procesy wypełniania i

zamierania koryt w wyniku awulsji i podnoszenia się WPM oraz depozycją na podtapianej równi zalewowej, na której rozwijały się bagna i była ona porastana przez roślinność.

Spotykane są też cyklotemy o ziarnie malejącym typu IIb, w których występują litofacje zdeponowane na obszarze równi zalewowej, tj. litofacje piaskowcowe Sm, Sf, Sd, Sh1 w obrębie stożków krewasowych, a litofacje mułowcowe Fn i FSw przy słabym, zamierającym przepływie na obszarze dystalnej równi. W jeziorach zachodziła depozycja z zawiesiny litofacji iłowcowo-mułowcowych Fm i Fh, natomiast na obszarach porośniętych roślinnością tworzyły się gleby stigmariowe litofacji R. Przykłady cyklotemów typu IIb, np. o następstwie $Sd+Sh1 \rightarrow Fh+FSw+Fd+Fm \rightarrow R$ zilustrowałam na przykładzie profilu otworu Tyszowce IG 1 [A8 – Fig. 5, 6; Tab. 5].

4.5.1.2. Środowisko deltowe i płytkoszelfowe

W wyniku analizy litofacjalnej wydzieliłam, zakodowałam i scharakteryzowałam 23-28 litofacji deltowych oraz płytkiego szelfu ilastego i węglanowego [A7 – Tab. 3; A8 – Tab. 3]. Przeanalizowałam również następstwo litofacjalne (człony) i stopień kompletności, powstających w tych środowiskach cyklotemów o ziarnie rosnącym i niegradacyjnych [A7 – Tab. 4, 5; Fig. 8-10; A8 – Fig. 8, 9]. Na tej podstawie wydzieliłam cyklotemy o ziarnie rosnącym typu Ic, Iic, Id, IId oraz cyklotemy niegradacyjne typu IIIc, IIId. Do cyklotemów kompletnych należą typy Ic i Id, niekompletne są typy Iic i IId oraz genetycznie z nimi powiązane cyklotemy niegradacyjne typu IIIc i IIId, w którym nie występuje cecha rośnięcia ziarna ku górze. Przykładowe cyklotemy typu Ic i Iic zilustrowałam na **Figurze 3** pochodzącej z publikacji [A7].

Cyklotemy typu Ic składają się od spągu ku stropowi, z wymienionych członów złożonych z następujących litofacji:

- człon 0: wapienie (L) i margle (M);
- człon 1: iłowce (Fm1, Fh1), mułowce (Fm3, Fh2);
- człon 2: mułowce (Fn, Fh2), mułowce piaszczyste (FSw, FSd);
- człon 3: drobnoziarniste piaskowce (Sh1, Sf, Sd);
- człon 4: gleby stigmariowe (R), węgle (C), iłowce (Fm2), mułowce (Fm4, Fm5).

Cechę rośnięcia ziarna ku górze obserwuje się w członach 1, 2 i 3, która manifestuje się jako przejście iłowców do mułowców/mułowców piaszczystych, a następnie do

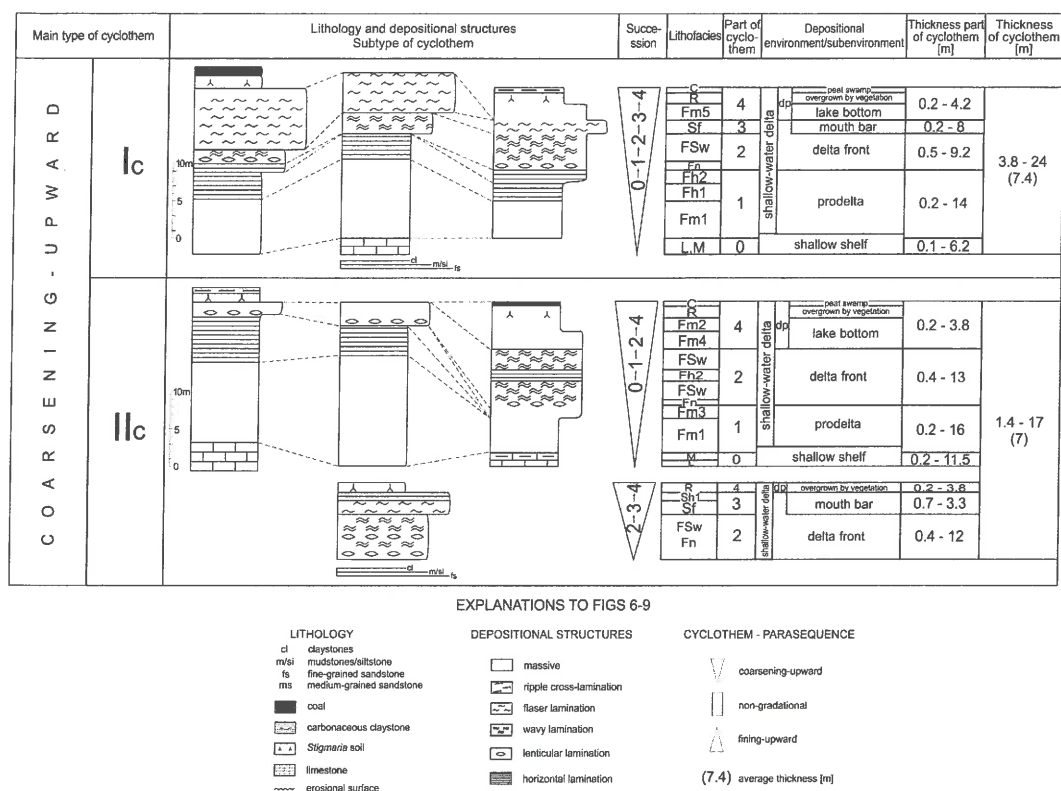


Figura 3. Przykłady cyklotemów o ziarnie rosnącym typu Ic i IIc wraz z charakterystycznymi litofacjami i ich następstwem (członami), miąższością oraz interpretacją środowiska sedimentacji.

drobnoziarnistych piaszczowców. Takie następstwo charakteryzuje pełny cyklotem typu Ic, natomiast w cyklotemie niepełnym typu IIc występuje brak jednego członu, a w cyklotemie niegradacyjnym typu IIIc – brak dwóch członów. W obrębie typu Ic i IIc w badanych profilach zaobserwowałam odpowiednio po 4 podtypy. Miąższość typu Ic może osiągać 34 m, natomiast typu IIc 47 m.

Cyklotemy typu Id [A7 – Fig. 10] składają się od spągu ku stropowi, z wymienionych członów złożonych z następujących litofacji:

- człon 1: iłowce (Fm2), mułowce (Fm4, Fm5);
- człon 2: mułowce (Fh2, Fn), mułowce piaszczyste (FSw);
- człon 3: drobnoziarniste piaszczowce (Sf);
- człon 4: gleby stigmarowe (R), węgle (C), iłowce (Fm2), mułowce (Fm4, Fm5).

Typowe następstwo w obrębie typu Id to: 1→2→3→4, a miąższość może osiągać 8 m.

Cyklotemy niekompletne typu IId [A7 – Fig. 10] charakteryzują się następstwem: 1→2→4 i 1→4, a miąższość może osiągać ok. 11 m.

Cyklotemy niegradacyjne typu IIIc [A7 – Fig. 9; A8 – Fig. 8] składają się z litofacji wchodzących w skład członów 0, 1 i 4, występujących w cyklotemach Ic i IIc. Wyróżniłam ich dwa podtypy o następstwie: 0→1→4 i 1→4. Ich miąższość może osiągać ok. 20 m.

W drugim typie cyklotemów niegradacyjnych IIId [A7 – Fig. 10; A8 – Fig. 9] występuje następstwo 1→4, a miąższość może osiągać ok. 9 m. Inwentarz litofacji jest analogiczny do litofacji tworzących analogiczne człony, w genetycznie powiązanych cyklotemach Id i IId.

Inwentarz litofacyjny oraz analiza cyklotemów o ziarnie rosnącym i niegradacyjnych pozwoliła na odtworzenie środowisk i subśrodowisk sedymentacji deltowej, jak również płytkiego szelfu ilastego i węglanowego (**Figura 3**). Kolejno następujące po sobie człony w pełnym cyklotemie typu Ic odpowiadają środowisku płytkiego szelfu oraz subśrodowiskom deltowym: prodelcie, skłonowi, nasypowi przyujściowemu i równi deltowej, które zrekonstruowałam na **Figurze 4**. Progradacja lobów deltowych, podczas której utwory poszczególnych subśrodowisk wkraczają na siebie i na osadach prodelty deponowane są coraz to grubsze frakcje układające się w cyklotem o ziarnie rosnącym ku górze, należy do zjawisk autocyklicznych (Elliot 1976).

W obrębie **członu 0** występują wapienie (L) i/lub margle (M), które powstawały na obszarze płytkiego szelfu węglanowego typu rampy, z trzema strefami różniącymi się energią falowania, której model wprowadził Flügel (2004). Obszar ten rozciągał się dalej w kierunku otwartego zbiornika morskiego, na przedpolu delty. Dla karbonu basenu lubelskiego środowisko to zostało szczegółowo scharakteryzowane w pracach Skompskiego (1988, 1995) i Waksmundzkiej (1998 [B1], 2010 [K14]) i [A7].

Występujące w obrębie **członu 1** iłowce (Fm1, Fh1) powstawały w co najmniej dwóch środowiskach. Te zawierające faunę goniatytową, i wykazujące bardzo wysoką promieniotwórczość, manifestującą się na krzywych profilowania gamma w postaci pików, uznałam za typowe dla obszaru płytkiego szelfu ilastego, położonego na przedpolu delty (por. Hampson i in. 1999). Litofacje te są najczęściej spotykane w obrębie horyzontów faunistycznych *Posidonia corrugata* I, *Posidonia corrugata* II and *Dunbarella papyracea*. Pozostałe iłowce (Fm1, Fh1) bez fauny goniatytowej i o niższej promieniotwórczości, należy wiązać z obszarem najbardziej dystalnej części delty – prodelką.

W kolejnym **członie 2** występują mułowce (Fn, Fh2) i mułowce piaszczyste (FSw, FSd), które powstawały w podwodnej, aktywnej strefie przyrastania lobów deltowych – na skłonie delty (por. Wright 1977). Deponowane są tam utwory heterolitowe składające się z osadów ilowych, mułowych i bardzo drobnoziarnistego piasku, często zawierające duże ilości detrytusu roślinnego (por. Hampson i in. 1999).

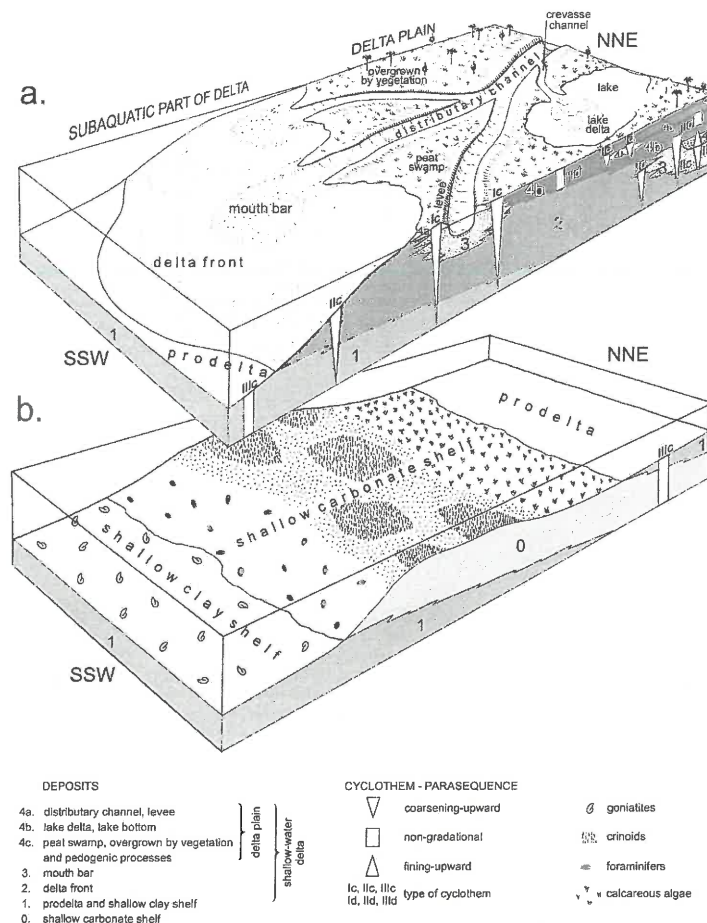


Figura 4. Rekonstrukcja środowisk i subs środowisk sedymentacji cyklotemów o ziarnie rosnącym i niegradacyjnych: **(a)** płytkowodnej delty morskiej; **(b)** płytkiego szelfu węglanowego typu rampy oraz szelfu ilastego.

W wyższym **członie 3** występują piaskowce drobnoziarniste (Sh1, Sf, Sd), które powstały najbliżej ujścia koryt rozprawiających delty – na obszarze nasypu przyujściowego (por. Einesele 1992). Delta przyrastała agradacyjno-progradacyjnie i osady jej aktywnej części – skłonu i nasypu przyujściowego wkraczały na osady prodeltowe i płytkoszelfowe. Zbiornik morski wypełniał się osadami, a górne części lobów ulegały emersji i stawały się napowietrzną częścią delty – równią deltową. Na jej obszarze sedymentacja zachodziła w obrębie bagien, gdzie powstały węgle i iłowce węgliste (C) oraz na obszarach porastanych przez roślinność, na których rozwinęły się gleby stigmariowe (R), wchodzące w skład

najwyższego **członu 4**. Z obszarem równi deltowej związane jest również powstawanie cyklotemów o ziarnie rosnącym typu Id i IId, jak również niegradacyjnych typu IIIId. Charakterystycznego następstwo litofacjalne wskazuje, że powstawały one w subśrodowisku delty jeziornej (**człony 1, 2, 3**), na dnie jeziora oraz po zarośnięciu jeziora przez roślinność przy współdziale procesów pedogenicznych (**członu 4**). Na obszarze równi deltowej zachodziła również depozycja w korytach rozpraszających, gdzie powstały piaskowce drobnoziarniste litofacji Sx, Sm, Sr.

Scharakteryzowane powyżej cechy cyklotemów o ziarnie rosnącym wskazują, że powstały one w obrębie płytkowodnej delty morskiej o dominującym wpływie procesów rzecznych, z równią deltową typu D (model systemu deltowego nr 8), według klasyfikacji Postmy (1995) (**Figura 4**). Przy zastosowaniu systemu klasyfikacji delt Porębskiego i Steel'a (2003), karbońskie delty basenu lubelskiego zaliczyłam do grupy delt szelfu wewnętrznego, w obrębie których następuje progradacyjny i aggradacyjny przyrost osadów, w czasie wysokiego stanu WPM (Waksmundzka 2010 [K14], [A7], [A8]).

4.5.2. Architektura depozycyjna, stratygrafia sekwencji i chronostratygrafia

Charakterystykę rozwoju facjalnego utworów karbonu w basenie lubelskim wykonałam na podstawie korelacji litofacjalnej i stratygrafii sekwencji. Umożliwiło to wydzielenie **środków sedymentacyjnych (wraz z tworzącymi je subśrodowiskami)**, czyli **rozległych stref rangi elementu architektury depozycyjnej** (Miall 1988) oraz prześledzenie ich zmienności i ewolucji w obrębie jednostek chronostratygraficznych.

Do głównych elementów architektury depozycyjnej należą, scharakteryzowane we wcześniejszych rozdziałach, i przykładowo zilustrowane na **Figurze 5** oraz w publikacjach [A6 – Fig. 2], [A7 – Fig. 4, 5] i [A8 – Fig. 10, 11], następujące środowiska i subśrodowiska sedymentacji:

- koryto rzeczne i wcięta dolina,
- rzeczna równia zalewowa z bagnami, jeziorami, porastana przez roślinność z zachodzącymi procesami pedogenicznymi, z wałami przykorytowymi i glifami krewasowymi,
- kanał rozpraszający delty,
- równia deltowa z bagnami, jeziorami, porastana przez roślinność z zachodzącymi procesami pedogenicznymi, z wałami przykorytowymi i glifami krewasowymi,
- nasyp przyujściowy,

- płytki szelf ilasty, prodelta i front delty płytkowodnej,
- płytki szelf węglanowy.

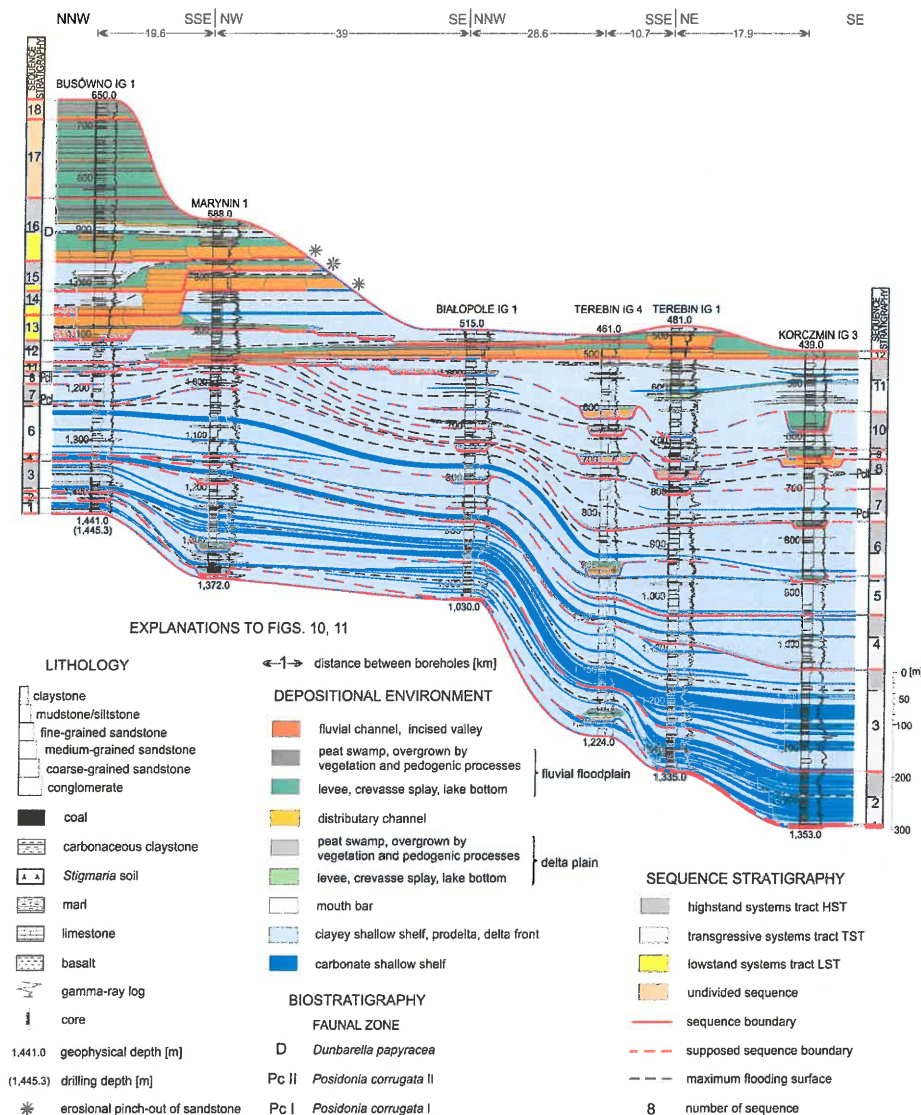


Figura 5. Korelacja litofacjalna i stratygrafia sekwencji utworów karbonu z południowo-wschodniej części basenu lubelskiego.

Wydzielone elementy architektury depozycyjnej zostały ujęte w ramy stratygraficzne przy zastosowaniu modelu stratygrafii sekwencji, który obejmuje sekwencje od 1 do 22 (Waksmundzka 2008 [K11], 2010 [K14]). Został on dowiązany do podziałów karbonu zachodnioeuropejskiego (Ramsbottom 1977, 1978) oraz globalnego (Davydov i in. 2012), co zilustrowałam na **Figurze 6** pochodzącej z publikacji [A7], którą zmodyfikowałam zgodnie z obecnym stanem wiedzy na temat stratygrafii karbonu w basenie lubelskim i obecności w jego profilu utworów turneju ([A8]; Waksmundzka i in. w druku [K25]).

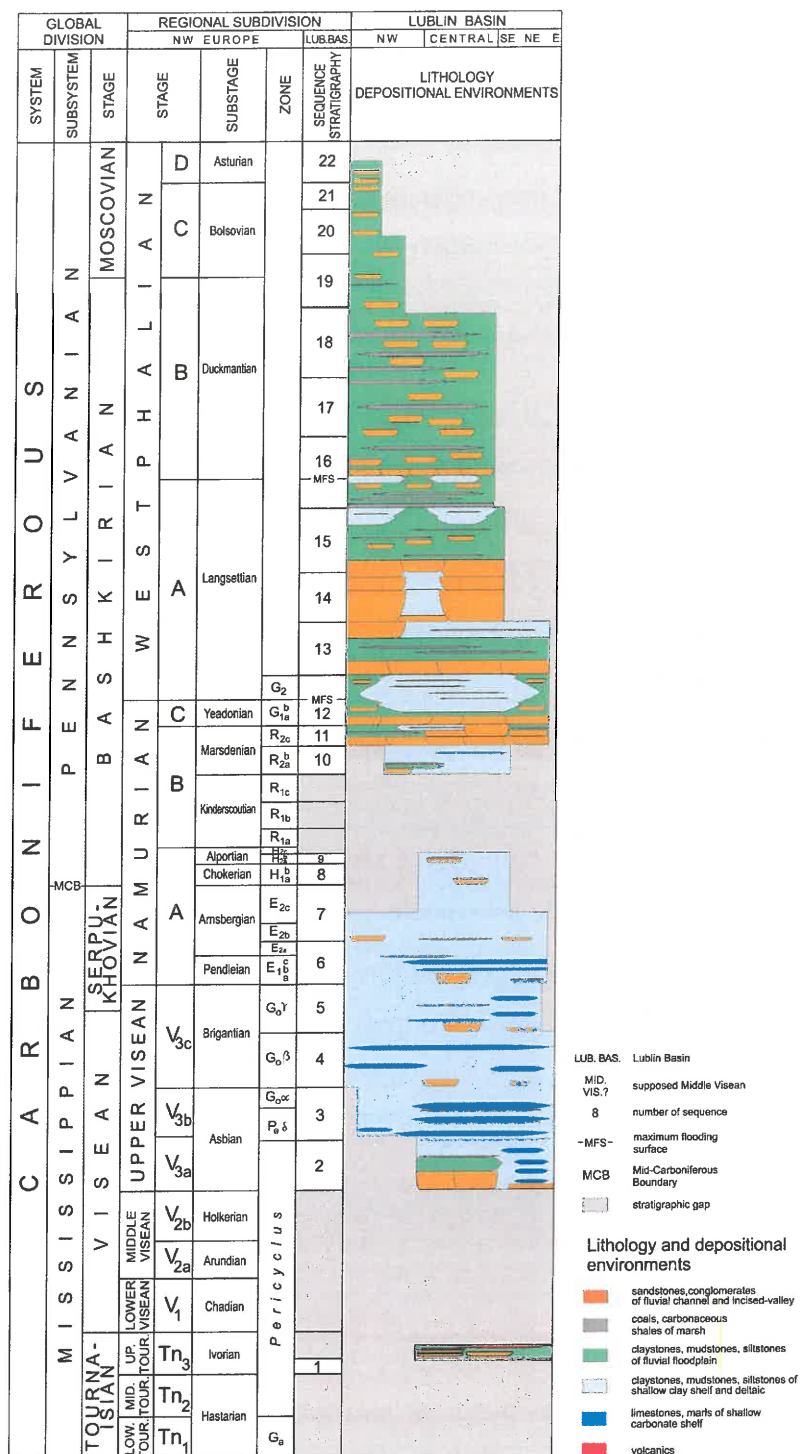


Figura 6. Stratygrafia sekwencji i chronostratygrafia utworów karbonu w basenie lubelskim (wg [A7] zmodyfikowane).

Opisany w poniższych rozdziałach profil litofacjalno-stratygraficzny karbonu basenu lubelskiego charakteryzuje się dużą zmiennością, związaną z cyklicznym pojawianiem się środowisk sedymentacyjnych, jak również modyfikującym wpływem wahań względnego poziomu morza oraz lokalnej tektoniki. Czynniki te w zróżnicowanym stopniu zapisały się na

obszarze basenu. Miały one decydujący wpływ na wykształcenie profilu, powstanie w jego obrębie luk stratygraficznych, jak również na erozyjną redukcję jego stropu.

W spągu utworów karbonu leży powierzchnia niezgodności, w którym występują skały dewonu, starszego paleozoiku oraz ediakaru. Spągowi karbonu odpowiada dolna granica sekwencji 1 będąca na wschodzie, południowym wschodzie i w centrum, spągiem turneju. Natomiast na północnym zachodzie odpowiada ona spągowi sekwencji 2-4, pokrywających się z dolną granicą wizenu.

Do najstarszych w basenie należą utwory wyższego turneju, odpowiadające sekwencji 1, które wraz z sekwencjami 2-3 nie występują na północnym zachodzie. Pomiędzy turniejem i wizenem występuje luka stratygraficzna, obejmująca niższy wizen (Waksmundzka i in. w druku [K25]). Na profil wizenu składają się sekwencje od 2 do dolnej części 5, w centralnej, południowo-zachodniej i południowo-wschodniej części basenu.

Namur A (serpuchow-najniższy baszkir) obejmuje wyższą część sekwencji 5 oraz sekwencje 6-9. Pomiędzy namurem A i namurem BC występuje luka stratygraficzna, związana z erozyjnym usunięciem górnej części sekwencji 7 oraz sekwencji 8-10. Największa rozpiętość tej luki występuje na północnym zachodzie oraz wschodzie basenu. Profil namuru BC (niższego baszkiru) obejmuje sekwencje 10 i/lub 11 oraz dolną część sekwencji 12. Jego najpełniejszy profil występuje w centralnej i południowo-wschodniej części basenu.

Najwyższa część profilu karbonu odpowiadająca westfalowi (wyższemu baszkirowi-moskowowi) obejmuje górną część sekwencji 12 oraz sekwencje 13-22. Najpełniejszy profil występuje na północnym zachodzie, natomiast im dalej ku wschodowi i południowemu wschodowi, tym jest on mocniej zredukowany, gdyż sięga po sekwencje 13-18.

Utwory stefanu (kazimu i gzelu) nie zostały stwierdzone w profilu karbonu w basenie lubelskim.

Pomimo dużej zmienności profilu litofacjalnego, wykonana analiza udziału mięszszościowego osadów głównych środowisk sedymentacji w obrębie interwałów stratygraficznych, pozwoliła na zidentyfikowanie dominującego reżimu depozycji i przedstawienie jego ewolucji w czasie. Wyniki te przedstawiłam w **Tabeli 1**, na mapach litofacjalno-paleomięszszościowych [A1]-[A4], jak również w publikacjach [A6 – Fig. 2], [A7 – Fig. 4, 5] i [A8 – Fig. 10, 11].

Chronostratygrafia	Stratygrafia sekwencji	Reżim depozycji	Udział miąższościowy osadów różnych środowisk/litologia[%]			
			Płytki szelf węglanowy/w	Delta płytkowodna, płytki szelf ilasty/i, m	Rzeczna równia zalewowa/i, m, g, c	Koryta rzeczne, wcięte doliny/p
Westfal (wyższy baszkir-moskow) [A4]	12 ² -22	Rzeczny	0	3-30	51-79	15-40
Namur BC (niższy baszkir) [A3]	10-12 ₁	Rzeczno-deltowy	1-2	1 do 85	1-69	7-81
Namur A (serpuchow-najniższy baszkir) [A2]	5 ² -9	Deltowy	0-8	66-100	1-9	1-20
Turnej*-wizen [A1]	1-5 ₁	Deltowo-morski	1-71	29-99	2-20	1-20

Tabela 1. Udział miąższościowy osadów głównych środowisk sedymentacyjnych w profilu karbonu basenu lubelskiego; * według Waksmundzkiej i in. w druku [K25]; ₁ – dolna część sekwencji; ² – górna część sekwencji; i – iłowce; m – mułowce; p – piaskowce+zlepieńce; g – gleby stigmariowe; c – węgle; w – wapienie+margle

4.5.2.1. Turnej-wizen

W profilu turneju-wizenu zdecydowanie dominują iłowce i mułowce ciągów transgresywnych (TST) i wysokiego stanu (HST), powstałe w środowisku **delt płytkowodnych i płytkiego szelfu ilastego**, których udział może osiągać 99% [A1]. Przeławicają się one z licznymi wapieniami powstałymi na obszarze **płytkiego szelfu węglanowego**, których najliczniejsze i najgrubsze ławice spotykane są w sekwencjach 2-4. Osady w/w środowisk najliczniej występują na północnym zachodzie basenu.

Osady TST i HST charakteryzują się obecnością licznych cyklotemów o ziarnie rosnącym typu IIc, choć w obrębie HST jest ich relatywnie mniej [A7 – 18b, 19b]. Dość częste są też cyklotemy niegradacyjne typu IIIc. Wysoka frekwencja tych typów cyklotemów wskazuje na zapełnianie basenu sedymentacyjnego, w wyniku licznych fluktuacji WPM, głównie przy agradacyjnym przyroście osadów płytkiego szelfu i podmorskiej części lobów deltowych. Najmniejszą frekwencję obserwuje się wśród cyklotemów typu Ic, których obecność wskazuje na niewielki udział progradacji w zapełnianiu przestrzeni akomodacyjnej basenu.

Utwory **koryt rzecznych i wciętych dolin**, tworzących ciągi niskiego stanu (LST) występują w najstarszej, turnejskiej części profilu oraz przy spągu wizenu. Są to piaskowce (wraz z rzadszymi zlepieńcami), których udział wynosi do 20%, spotykane w centrum, na południowym wschodzie i południowym zachodzie basenu. Tworzą one cienkie, odizolowane

litosomy o miąższości dochodzącej do kilkunastu metrów. Osadom korytowym towarzyszą iłowce, mułowce, gleby stigmariowe i węgle, powstałe na obszarze rzecznych równi zalewowych, również wchodzące w skład LST, których ilość może dochodzić do 20%.

Przykłady fluwialnych środowisk sedymentacji, jakie rozwinęły się na obszarze południowo-wschodniej części basenu lubelskiego opisałam w publikacji [A8 – Tab. 4]. W turneju były to rzeki roztokowe (sekwencja 1), natomiast w wizenie rzeki meandrujące (sekwencja 3) oraz najliczniej reprezentowane rzeki systemu anastomozującego (sekwencje 2-4).

Proporcje miąższościowe osadów różnych środowisk w obrębie profilu turneju-wizenu wskazują, że powstał on w deltowo-morskim reżimie depozycji.

4.5.2.2. Namur A (serpuchow-najniższy baszkir)

Osady namuru A (serpuchowu-najniższego baszkiru) powstały w podobnych środowiskach sedymentacji jakie istniały w turneju-wizenie, lecz ich proporcje były różne. Generalnie większym udziałem charakteryzują się iłowce i mułowce TST i HST, powstałe na obszarze **delt płytkowodnych i płytkiego szelfu ilastego**, który jest największy w całym profilu karbonu, i wynosi 66-100% [A2]. Licznie spotykane są cyklotemy typu IIc i IIIc, co wskazuje na głównie agradacyjny charakter zapełniania przestrzeni akomodacyjnej basenu przez osady płytkoszelfowe i podmorskiej części lobów deltowych [A7 – 18b, 19b]. Zasadnicza różnica związana jest z dużo mniejszym udziałem wapieni **płytkiego szelfu węglanowego** występujących jako pojedyncze, cienkie ławice w obrębie TST i HST. Ich ilość w centrum i na południowym wschodzie dochodzi do 8%, natomiast w rejonie północno-zachodnim ich brak.

Piaskowce rzeczne wypełniające wcięte doliny tworzące LST, mają zbliżony udział miąższościowy, jak w profilu turneju-wizenu. Spotykane są dość rzadko, w postaci odizolowanych litosomów o miąższości dochodzącej do ok. 20 m. Środowiska rzeczne rozwinęły się w namurze A (serpuchowie-najniższym baszkirze) w rejonie południowo-wschodnim, z którego pochodzą przykłady rzeki roztokowej przechodzącej w rzekę systemu anastomozującego (sekwencja 7), rzeki meandrującej (sekwencja 7) oraz przepływu przeciążonego osadem we wciętej dolinie (sekwencja 9) [A8 – Tab. 4; Fig. 7].

W profilu namuru A (serpuchowu-najniższego baszkiru) obserwuje się zdecydowaną przewagę osadów powstałych w deltowym reżimie depozycji.

4.5.2.3. Namur BC (niższy baszkir)

W porównaniu zarówno ze starszymi, jak i młodszyimi utworami karbonu, utwory namuru BC (niższego baszkiru) charakteryzują się dużym udziałem piaskowców powstałych w **korytach rzecznych i wciętych dolinach** oraz iłowców, mułowców, gleb stigmarowych i węgla zdeponowanych w różnych subsródowniskach równi zalewowych (**Figura 7**; [A3]), które tworzą LST. Litosomy piaskowcowe mają miąższość od kilkunastu do ok. 40 m, i o ile w namurze B są zwykle odizolowane, o tyle w namurze C charakteryzują się dużą rozciągłością lateralną. Przykłady środowisk fluwialnych, jakie istniały w namurze BC (niższym baszkirze) w południowo-wschodniej części basenu, tj. rzek roztokowych (sekwencja 10), meandrujących (sekwencja 12), anastomozujących (sekwencje 10-12), jak również przepływów obciążonych osadem we wciętych dolinach (sekwencja 11) przedstawiłam w publikacji [A8 – Tab. 4; Fig. 5, 6]. Natomiast przykłady z rejonu północno-zachodniego i centralnego różnych typów rzek roztokowych (sekwencje 11, 12), scharakteryzowałam w publikacji [A6 – Tab. 8; Fig. 8].

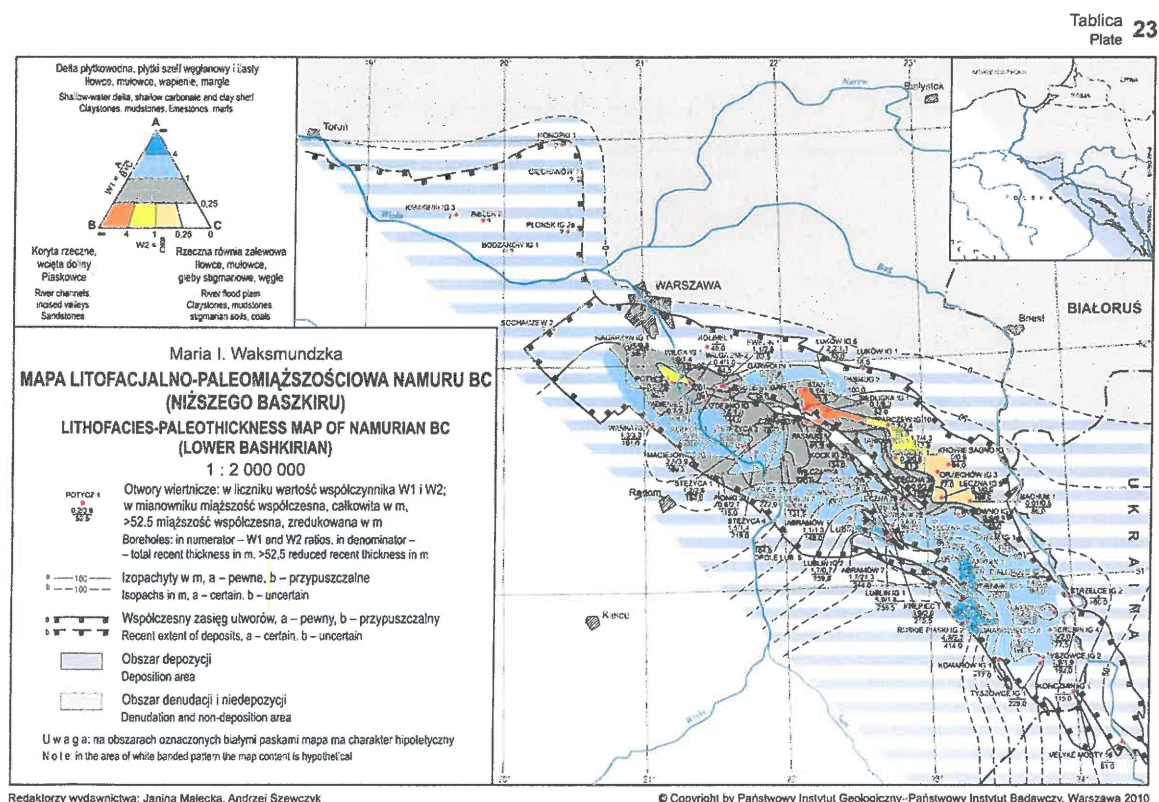


Figura 7. Rozprzestrzenienie środowisk sedimentacji na obszarze basenu lubelskiego w namurze BC (niższym baszkirze). [A3]

W profilu namuru BC (niższego baszkiru) oprócz osadów fluwialnych występują iłowce i mułowce **deltowe i płytkiego szelfu ilastego**, tworzące TST i HST, których udział rośnie ku

południowemu-zachodowi i południu do 85%. Jednakże udział ten jest generalnie mniejszy niż w starszej części profilu. Zdecydowanie najmniejsza jest frekwencja wapieni **plytkiego szelfu węglanowego**, które występują bardzo rzadko w postaci cienkich ławic. W obrębie utworów TST i HST dominują cyklotemy o ziarnie rosnącym typu IIc, wskazujące na głównie agradacyjny przyrost osadów płytkoszelfowych i podmorskiej części lobów deltowych. Duży udział zanotowała również wśród cyklotemów o ziarnie rosnącym typu IId i niegradacyjnych typu IIId, które powstały w obrębie jezior i bagien równi deltowej. Liczna frekwencja tych typów cyklotemów wskazuje na silną agradację osadów równi deltowej, która miała znaczący udział w zapełnianiu przestrzeni akomodacyjnej basenu [A7 – Fig. 19a].

Proporcje miąższościowe osadów różnych środowisk sedimentacyjnych wskazują, że utwory namuru BC (niższego baszkiru) powstały w rzeczno-deltowym reżimie sedimentacji.

4.5.2.4. Westfal (wyższy baszkir-moskow)

W profilu westfalu (wyższego baszkiru-moskoku) zdecydowanie dominują osady rzeczne. W obrębie sekwencji 13-15 są to głównie piaskowce **koryt rzecznych i wciętych dolin** w ilości do 40%, tworzące LST. W wyższych sekwencjach 16-22 przeważają iłowce, mułowce, gleby stigmariowe i węgle z udziałem do 79%, powstałe w obrębie różnych subśrodków **równi zalewowych**. W rejonie północno-zachodnim, centralnym i wschodnim we wczesnym westfalu (sekwencje 13-15) istniały różnego typu rzeki roztokowe, jak również zachodziły przepływy przeciążone osadem we wciętych dolinach [A6 – Tab. 8; Fig. 8, 11]. W profilach fluwalnych obserwuje się wyraźne przejście ku górze od środowisk wysokoenergetycznych, ku takim o niższej energii przepływu. Natomiast na południowym wschodzie zwykle były to rzeki anastomozujące, rzadziej meandrujące i roztokowe [A8 – Tab. 4].

W westfalu A, w wyniku agradacji osadów piaszczystych koryt roztokowych, w obrębie dużych wciętych dolinach, powstał najgrubszy w profilu karbonu litosom piaskowcowy, którego miąższość wynosi ok. 60-90 m w różnych rejonach basenu. Charakteryzuje się on również największą rozciągłością lateralną.

Natomiast w wyższej części westfalu litosomy piaskowcowe są liczne, ale zwykle odizolowane i o małej miąższości dochodzącej do kilkunastu metrów.

Relatywnie najmniejszy udział osiągają utwory deltowe i płytkiego szelfu ilastego, tworzące TST i HST, które spotykane są jeszcze w sekwencji 16. W ich obrębie zanotowała duży udział cyklotemów o ziarnie rosnącym typu Ic i IIc w rejonie centralnym, co wskazuje na

progradacyjno-agradacyjne wypełnianie przestrzeni akomodacyjnej basenu. Dalej ku wschodowi obserwuje się dominację cyklotemów typu IIc i niegradacyjnych typu IIIc, co należy wiązać z dużą agradacją osadów morskich i podmorskiej części lobów deltowych. Dużą składową w wypełnianiu basenu, była również agradacja w środowisku równi deltowej, gdzie powstawały w obrębie delt jeziornych, jezior i bagien liczne cyklotemy o ziarnie rosnącym typu IIId i niegradacyjne typu IIIId [A7 – Fig. 18a; 19a].

Profil westfalu (wyższego baszkiro-moskownu) na tle pozostałych utworów karbonu wyróżnia się zdecydowanie **rzecznym reżimem sedimentacji**.

4.5.3. Paleogeografia

4.5.3.1. Turnej-wizen

Sedymencja w basenie lubelskim była poprzedzona procesami erozji i niedepozycji związanymi ze znacznym obniżeniem WPM, jakie miało miejsce w późnym dewonie-wczesnym turneju. Na północnym zachodzie procesy te trwały aż do późnego wizenu, czego efektem jest brak osadów turneju. Na obszarze basenu zostało wyerodowanych co najmniej kilka wciętych dolin, których lokalizację wyznaczają na mapie [A1], wąskie i wydłużone pola litofacjalne o wartości współczynnika W1 wynoszącej 1-4. W wyniku podnoszenia się WPM doliny te wypełniły się osadami rzecznyymi, które utworzyły LST. W turneju, na południowym wschodzie, zachodziła akumulacja osadów w korytach rzek roztokowych, natomiast w wizenie rozwinęły się koryta i równie zalewowe rzek meandrujących i anastomozujących.

Dalsze podnoszenie się i wahania WPM w wizenie, spowodowały dominację facji węglanowych i ilastych płytkiego szelfu, jak również podmorskiej części lobów deltowych, głównie skłonu i prodelty. W czasie wysokiego stanu WPM sekwencji 3 zbiornik morski osiągnął głębokość ok. 80-85 m.

Paleomiąższość utworów turneju-wizenu wzrasta ku południowemu zachodowi i południowemu wschodowi [A1]. Występowanie tuż przy współczesnym południowym krańcu basenu, jak również poza jego granicą, wartości maksymalnych wynoszących powyżej 400 m wskazuje, że tutaj mogło znajdować się depocentrum. Paleozasięg depozycji osadów i obszar basenu sedimentacyjnego w wizenie odwzorowuje izopachyta zerowa, której przebieg wskazuje, że był on przypuszczalnie dużo szerszy na południowy-zachód i północny wschód, niż zasięg współczesny i obecne granice basenu lubelskiego. Basen sedimentacyjny sąsiadował od północy i północnego wschodu z rozległym obszarem lądowym, który podlegał denudacji i niedepozycji.

Szerszy zasięg wizenu został potwierdzony już w kilka lat po sformułowaniu tej hipotezy. Nastąpiło to w wyniku odwiercenia przez firmę Chevron Polska Energy Resources Sp. z o.o. otworu Kraśnik-1 (Hadro i in. 2014), zlokalizowanego ok. 20 km na południowy-zachód od strefy uskoku Ursynów-Kazimierz Dolny-Wysokie, będącej współczesną granicą basenu lubelskiego. W profilu tego otworu, odwierconego na obszarze podniesienia radomsko-kraśnickiego, stwierdzono na podstawie wyników badań palinologicznych obecność utworów wizenu o miąższości wynoszącej powyżej 450 m. Miąższość ta odpowiada wartościom zrekonstruowanym przeze mnie na mapie [A1] w rejonie lokalizacji tego otworu.

4.5.3.2. Namur A (serpuchow-najniższy baszkir)

W czasie namuru A (serpuchowu-najniższego baszkiru) rozszerzył się obszar sedymentacji facji podmorskiej części lobów deltowych, głównie skłonu i prodelty, jak również płytkiego szelfu ilastego, związanych z podnoszeniem się i wysokim stanem WPM [A2]. Stosunkowo rzadko i na krótko pojawiały się facje wapienne i margliste, płytkiego szelfu węglanowego. Zbiornik morski pogłębił się osiągając maksymalną głębokość wynoszącą ok. 100 m, w czasie transgresji sekwencji 7, natomiast w czasie kolejnych transgresji jego głębokość była już mniejsza i mogła dochodzić do ok. 50 m.

Obszary lądowe z dominującą sedymentacją w korytach rzecznych we wciętych dolinach, pojawiały się na północy, w centrum i południowym wschodzie, w czasie kolejnych niskich stanów WPM. We wczesnym namurze A (serpuchowie), najdalej na południu istniały rzeki roztokowe, meandrujące i anastomozujące. Nieco później, w najwyższym namurze A (najniższym baszkirze) pojawiały się również przepływy obciążone osadem we wciętych dolinach.

Paleomiąższości zwiększają się, podobnie jak w wizenie ku południowemu zachodowi, do wartości maksymalnych przekraczających 600 m w depocentrum, zlokalizowanym przy krańcu basenu. Przebieg izopachyty zerowej dalej na północ i wschód od paleozasięgu utworów wizenu i przekraczające zaleganie utworów namuru A (serpuchowu-najniższego baszkiru), wskazuje na poszerzenie ram basenu sedymentacyjnego oraz odsunięcie się denudowanego obszaru lądowego ku północy i północnemu wschodowi o kilkadziesiąt kilometrów [A5].

4.5.3.3. Namur BC (niższy baszkir)

Sedymentację osadów namuru BC (niższego baszkiru) poprzedziły procesy erozyjne, jakie miały miejsce na obszarze basenu lubelskiego, związane ze znacznym obniżeniem

WPM. Najsilniej erozja zapisała się na północnym zachodzie i północnym wschodzie, a nieco słabiej w centrum i na południowym wschodzie. To śródnamurskie obniżenie WPM, będące pochodną czynników eustatycznych, tektonicznych i akumulacyjnych, spowodowało znaczną przebudowę istniejących w turneju-wizenie i namurze A (serpuchowie) stref facjalnych.

Dominujące środowiska płytkoszelfowe i deltowe, w znacznym stopniu zostały zastąpione przez obszary lądowe z sedymentacją rzeczną [A3]. Obniżenie WPM doprowadziło do wyerodowania wciętych dolin, które na północnym zachodzie i wschodzie były wypełniane w czasie podnoszenia WPM osadami różnych typów rzek roztokowych. Natomiast na południowym wschodzie były to osady przepływów obciążonych osadem, rzek roztokowych, meandrujących i anastomozujących. Odtworzone przypuszczalne kierunki osi wciętych dolin z tego rejonu przebiegały z północnego wschodu ku południowemu zachodowi oraz poprzecznie do nich [A8 – Fig. 12A].

Dalej ku południowemu-zachodowi i południu istniał obszar, na którym przeważała depozycja na obszarze delt płytkowodnych i płytkiego szelfu ilastego, a facje węglanowe pojawiały się bardzo rzadko. Głębokość zbiornika morskiego była podobna jak we wczesnym namurze. Sedymentacja zachodziła zarówno w obrębie podwodnej części lobów deltowych, jak i na rozległych obszarach równi deltowej, w deltach jeziornych, jeziorach i bagnach. W wizenie i namurze A subśrodowiska równi deltowej pojawiały się rzadko, natomiast w namurze BC nastąpił ich bujny rozwój.

Paleomiąższości generalnie rosną ku południowemu-wschodowi oraz południowemu-zachodowi do wartości ok. 400 m, gdzie przypuszczalnie znajdowało się depocentrum. W stosunku do lokalizacji w wizenie i namurze A, przesunęło się ono o kilkadziesiąt kilometrów ku południowemu-wschodowi.

Przebieg izopachyty zerowej, wyznaczającej paleozasięg sedymentacji osadów namuru BC (niższego baszkirow) wskazuje, że obszar basenu sedymentacyjnego rozszerzył się o ponad 100 km ku północnemu zachodowi. Tym samym objął swoim zasięgiem obszar strefy mazowieckiej [A5], na którym wcześniej zachodziła denudacja i niedepozycja.

4.5.3.4. Westfal (wyższy baszkirow-moskowsky)

W westfalu A, na północnym zachodzie, wschodzie i w centrum basenu lubelskiego, dominowała sedymentacja w korytach różnych typów rzek roztokowych, jak również przepływów obciążonych osadem w obrębie dużych wciętych dolin [A4], w czasie niskiego stanu WPM oraz jego podnoszenia się. Na południowym wschodzie rozwinęły się w tym czasie głównie rzeki anastomozujące, jak również rzadziej spotykane meandrujące i

roztokowe. Przebieg oraz wzrost głębokości jednej z największych, zrekonstruowanych wciętych dolin, z północnego wschodu ku południowemu zachodowi, wyznacza jednocześnie kierunek paleotransportu materiału osadowego [A8 – Fig. 13].

Środowiska deltowe i płytkiego szelfu ilastego, związane z transgresjami i wysokim stanem WPM istniały jeszcze do końca westfalu A, głównie w centrum i wschodzie basenu, choć ich udział był mały. Głębokość zbiornika morskiego wynosiła ok. 50-70 m. Sedymencja miała miejsce w podwodnej części lobów deltowych – prodelcie, skłonie i nasypach przyujściowych, jak również na obszarze delt jeziornych, jezior i bagien równi deltowej.

W wyższym westfalu depozycja zachodziła już wyłącznie w środowisku lądowym – fluwialnym, głównie w pełni rozwiniętym subśrodowisku równi zalewowych z wałami brzegowymi, glifami krewasowymi, jeziorami, deltami jeziornymi i bagnami oraz w obrębie koryt rzecznych.

Zrekonstruowane najmniejsze paleomiąższości występują na północnym-zachodzie, północnym-wschodzie i wschodzie, na obszarze położonym poza dzisiejszym zasięgiem utworów westfalu (wyższego baszkiro-moskowskiego). Wzrost paleomiąższości następuje generalnie ku południowi i południowemu-zachodowi. Maksymalne wartości wynoszące powyżej 1300-1400 m występują w północno-zachodniej, wschodniej i południowo-wschodniej części basenu lubelskiego. O ile kierunek wzrostu paleomiąższości jest podobny dla całego karbonu, o tyle ukształtowanie się kilku lokalnych depocentrów, nie miało wcześniej miejsca. Jedynie depocentrum na południowym wschodzie usytuowało się w generalnie podobnej lokalizacji. Natomiast powstanie dwóch kolejnych depocentrów, wskazuje na nowe obszary z dużą pojemnością akomodacyjną, które rozwinęły się wraz z przebudową basenu paralicznego na lądowy.

Paleozasięg sedymencja utworów westfalu (wyższego baszkiro-moskowskiego) odpowiadający izopachycie zerowej, jest większy od zasięgu współczesnego oraz wskazuje na poszerzenie obszaru basenu sedymencyjnego o ok. 50 km ku północnemu wschodowi [A5], na którym wcześniej zachodziła denudacja i niedepozycja.

4.6. Podsumowanie wyników badań

Rekonstrukcję architektury depozycyjnej i paleogeografii utworów karbonu w basenie lubelskim wykonałam na podstawie analizy litofacjalnej, cykliczności i stratygrafii sekwencji. Scharakteryzowałam elementy architektury – środowiska sedymencja, tj.: płytkiego szelfu ilastego i węglanowego, deltowe, rzeczne oraz przepływów obciążonych osadem.

Profil litofacjalno-stratygraficzny karbonu charakteryzuje się dużą zmiennością, związaną z cyklicznym pojawianiem się środowisk sedymentacyjnych, jak również modyfikującym wpływem wahań WPM oraz lokalnej tektoniki. Czynniki te miały decydujący wpływ zarówno na wypełnianie przestrzeni akomodacyjnej basenu, jak i sród- i postkarbońską erozję. W obrębie LST występują osady rzek roztokowych, meandrujących i systemów anastomozujących, które działały we wciętych dolinach, gdzie zachodziły również przepływy obciążone osadem. TST i HST charakteryzują się dominacją osadów deltowych oraz płytkiego szelfu ilastego i węglanowego.

Proporcje miąższościowe osadów różnych środowisk w obrębie profilu turneju-wizenu wskazują, że powstał on w deltowo-morskim reżimie depozycji, natomiast w namurze A (serpuchowie-najniższym baszkirze) dominował reżim deltowy. Zbiornik morski osiągnął maksymalną głębokość wynoszącą ok. 100 m w czasie transgresji sekwencji 7. Na przełomie namuru A i BC nastąpiła znaczna przebudowa stref facjalnych. W namurze BC (niższym baszkirze) środowiska płytkoszelfowe i deltowe, w znacznym stopniu zostały zastąpione przez obszary lądowe z sedymentacją rzeczną. Zbiornik morski istniał jeszcze do końca westfalu A, natomiast w wyższym westfalu depozycja zachodziła już wyłącznie w środowisku lądowym – fluwialnym.

Analiza paleomiąższości wskazuje, że począwszy od turneju-wizenu do namuru BC (niższego baszkiru) przy południowym krańcu basenu lubelskiego ukształtowało się depocentrum, które stopniowo migrowało ku południowemu wschodowi. Natomiast w westfalu (wyższym baszkirze-moskowie) wraz z przebudową basenu paralicznego na lądowy, powstały dwa nowe depocentra na północnych zachodzie i wschodzie.

Obszar lubelskiego basenu sedymentacyjnego w karbonie był przypuszczalnie dużo szerszy od współczesnych granic, jak i zasięgów utworów poszczególnych pięter. Kolejne młodsze paleozasięgi usytuowane są przekraczając na starszych, co wskazuje na poszerzenie ram basenu sedymentacyjnego oraz odsunięcie denudowanego obszaru lądowego ku północy i północnemu wschodowi. Depozycję w basenie lubelskim przerwała inwersja tektoniczna, która doprowadziła do powstania jego współczesnych granic, jak również do erozyjnej redukcji stropu utworów karbonu.

4.7. Cytowana literatura

- Baldwin, B. and Butler, C.O. 1985. Compaction Curves. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 69 (4), 622–626.
- Blakey, R.C., Gubitosa, R., 1984. Controls of sandstone body geometry and architecture in the Chinle Formation (Upper Triassic), Colorado Plateau. *Sedimentary Geology*, 38: 51–86.
- Davydov, V.I., Korn, D., Schmitz, M.D., 2012. The Carboniferous Period. W: The Geologic Time Scale (red. F.M. Gradstein, J.G. Ogg, M.D. Schmitz and G.M. Ogg). Elsevier, Amsterdam: 603–651.
- Einsele, G. 1992. Sediment of Marine Delta Complexes, Depositional Rhythms and Cyclic Sequences. W: Einsele, G. (red.), *Sedimentary Basins. Evolution, Facies and Sediment*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 147–160; 271–310.
- Elliott, T. 1976. Upper Carboniferous sedimentary cycles produced by river-dominated, elongate deltas. *Journal of the Geological Society of London*, 132, 199–208.
- Flügel, E. 2004. Depositional Models. Facies Zones and Standard Microfacies. W: Flügel, E. (red.), *Microfacies of Carbonate Rocks Analysis, Interpretation and Application*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 657–723.
- Gradziński, R., Baryła, J., Doktor, M., Gmur, D., Gradziński, M., Kędzior, A., Paszkowski, M., Soja, R., Zieliński, T., Żurek, S., 2003. Vegetation-controlled modern anastomosing system of the upper Narew River (NW Poland) and its sediments. *Sedimentary Geology*, 157: 253–276.
- Hadro, J., Guty, Ł., Pachciarek, T., Puka, K., Spińczuk, A., Wójcik, I. 2014. Dokumentacja prac geologicznych niekończących się udokumentowaniem złoża kopaliny prowadzonych przez Chevron Polska Energy Resources Sp. z o.o. w ramach koncesji nr 77/2009/p na obszarze „Kraśnik”. Niepublikowane NAG PIB-PIB Warszawa.
- Hampson, G., Stollhofen, H. and Flint, S. 1999. A sequence stratigraphic model for the Lower Coal Measures (Upper Carboniferous) of the Ruhr district, north-west Germany. *Sedimentology*, 46 (6), 1199–1231.
- Makaske, B., 2001. Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products. *Earth-Science Reviews*, 53: 149–196.
- Martinsen, O.J. 1994. Evolution of an incised-valley fill, the Pine Ridge Sandstone of Southeastern Wyoming, U. S. A.: systematic sedimentary response to relative sea-level change, W: Dalrymple, R.W., Boyd, R. and Zaitlin, B.A. (red.), *Incised-valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 51, 109–128.
- Miall, A.D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. W: Miall, A.D. (red.), *Fluvial sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir*, 5, 597–604.
- Miall, A.D., 1988. Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: anatomy of the Kayenta Formation (Lower Jurassic), southwest Colorado. *Sedimentary Geology*, 55: 233–262.
- Miall, A.D. 1996. The Geology of Fluvial Deposits Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology, Springer, 26–30; 40–41.
- Michum, Jr R.M. 1977. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 11: Glossary of Terms used in Seismic Stratigraphy: Section 2. Application of Seismic Reflection Configuration to Stratigraphic

- Interpretation. W: Payton, E. (red.) *Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 26, 205–212.
- Musiał, Ł. and Tabor, M. 1988. Macrofaunal stratigraphy of Carboniferous. W: Dembowski, Z. and Porzycki, J. (red.), *Carboniferous of the Lublin Coal Basin. Prace Instytutu Geologicznego*, 122, 88–122; 232–233.
- Pańczyk, M. and Nawrocki, J. 2015. Tournaisian $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age from alkaline basalts from the Lublin Basin (SE Poland). *Geological Quarterly*, 59 (3), 473–478.
- Pierson, T.C., Costa, J.E., 1987. A rheologic classification of subaerial sediment – water flows. *GSA Reviews in Engineering Geology*, 7: 1–12.
- Posamentier, H.W., Jervey, M.T. and Vail, P.R. 1988. Eustatic controls on clastic deposition. I – conceptual framework. W: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.S.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. and Van Wagoner, J.C. (red.), *Sea-Level Changes: An Integrated Approach. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 42, 110–124.
- Postma, G., 1995. Causes of architectural variation in deltas. *Geology of deltas*. Brookfield: A.A. Balkema, Rotterdam: 3–16.
- Porębski, S.J. and Steel R.J. 2003. Shelf-margin deltas: their stratigraphic significance and relation to deepwater sands. *Earth-Science Reviews*, 62, 283–326.
- Ramsbottom, W.H.C., 1977. Major cycles of transgression and regression (mesothems) in the Namurian. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 41: 261–291.
- Ramsbottom, W.H.C., 1978. Namurian mesothems in South Wales and northern France. *Journal of the Geological Society*, 135: 307–312.
- Rust, B.R. 1978. A classification of alluvial channel systems. W: Miall, A.D. (red.), *Fluvial Sedimentology. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir*, 5, 187–198.
- Skompski S., 1988. Limestone microfacies and facies position of Upper Viséan sediments in north-eastern part of the Lublin Coal Basin. *Przegląd Geologiczny*, 36 (1), 25–30.
- Skompski, S., 1995. Succession of limestone microfacies as a key to the origin of the Yoredale-type cyclicity (Viséan/Namurian, Lublin Basin, Poland). XIII International Congress Carboniferous-Permian, Kraków, Abstracts, 133.
- Svendsen, J., Stollhofen, H., Krapf, C.B.E., Stanistreet, I.G. 2003. Mass and hyperconcentrated flow deposits record dune damming and catastrophic breakthrough of ephemeral rivers, Skeleton Coast Erg, Namibia. *Sedimentary Geology*, 160 (1–3), 7–31.
- VanWagoner, J.C. 1985. Reservoir facies distribution as controlled by sea-level change. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Mid-Year Meeting Abstracts, Golden, Colorado, August 11–14*, 91–92. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa.
- [B1] Waksmundzka, M.I. 1998. Depositional architecture of the Carboniferous Lublin Basin. *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*, W: Narkiewicz, M. (red.), *Sedimentary basin analysis of the Polish Lowlands*, 165, 89–100.
- [K11] Waksmundzka, M.I. 2008. Korelacja i geneza piaskowców karbońskich w świetle stratygrafii sekwencyjnej i ich potencjał węglowodorowy w północno-zachodniej i centralnej części basenu lubelskiego. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 429, 215–224.

- [K14] Waksmundzka, M.I. 2010. Sequence stratigraphy of Carboniferous paralic deposits in the Lublin Basin (SE Poland). *Acta Geologica Polonica*, 60 (4), 557–597.
- [K25] Waksmundzka, M.I., Kozłowska, A., Pańczyk M. w druku. A putative Tournaisian and Visean volcanic-sedimentary succession in the Lublin Basin, SE Poland: depositional processes, petrological characteristics and sequence stratigraphy. *Acta Geologica Polonica*. 10.24425/agp.2020.134559
- Wright, L.D. 1977. Sediment transport and deposition at river mouths: a synthesis. *Geological Society of America Bulletin*, 88 (6), 857–868.
- Zieliński, T. 1995. Kod litofacyjny i litogenetyczny – konstrukcja i zastosowanie. W: Mycielska-Dowgiałło, E. and Rutkowski, J. (red.) *Badania osadów czwartorzędowych, Wybrane metody i interpretacja wyników*, 220–235. Uniwersytet Warszawski, Warszawa

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej

5.1. Instytucje zagraniczne

Pierwszą okazją do prowadzenia badań w instytucji zagranicznej był wyjazd w 1994 r. do **Eberhard Karls Universität Tübingen, w Tübingen (Niemcy)**, gdzie wykonałam badania petrograficzne rozproszonej materii organicznej wraz z pomiarami refleksyjności witrynu, na próbkach z rdzeni wiertniczych utworów karbonu z basenu lubelskiego. Prace laboratoryjne oraz pracę na mikroskopie prowadziłam w **Laboratorium Petrologii Materii Organicznej** kierowanym przez **dr Bertranda Ligouis**. Na jego zaproszenie wzięłam też udział w terenowych badaniach sedymentologicznych w karbońskich basenach węglowych Montceau i Decazeville, jak również w permskim basenie Autun we Francji, w ramach kursu dla studentów geologii tego uniwersytetu (**Załącznik 7**). Wyjazd ten był okazją do porównania polskich i francuskich profili utworów węglonośnych, zapoznania się z granicą karbonu i permu w basenie Autun oraz wymiany doświadczeń.

W czasie następnego wyjazdu w 1995 r. do **University of Sheffield Department of Earth Sciences, w Sheffield (Wielka Brytania)** w ramach TEMPUS (**Załącznik 8**; [G1]), wykonałam kolejne badania petrograficzne rozproszonej materii organicznej próbek utworów karbonu z basenu lubelskiego, jak również pomiary refleksyjności witrynu, w laboratorium kierowanym przez **prof. Davida A. Spears'a**. Pobyt w **Department of Earth Sciences** był także okazją do wymiany doświadczeń z jego pracownikami, wśród których większość specjalizowała się w badaniach węglonośnych utworów karbonu w Wielkiej Brytanii.

W latach 2005-2009 byłem członkiem ponad 120-osobowego zespołu, który brał udział w realizacji projektu badawczego, pt.: *Petroleum Geological Atlas of Southern Permian Basin Area* [P9]. Projekt był koordynowany przez **Geological Survey of the Netherlands TNO** (menadżer projektu **dr Hans Doornenbal**) i realizowany w międzynarodowym zespole przez europejskie służby geologiczne, tj. belgijska GSB, brytyjska BGS, duńska i grenlandzka GEUS, niemiecka BGR, polska PIG-PIB (wszystkie są instytucjami naukowymi), jak również przez uniwersytety i firmy z branży poszukiwawczej węglowodorów. Prace projektowe z zakresu sedimentologii, stratygrafii i geologii złóż węgla i węglowodorów utworów karbonu basenów europejskich, były prowadzone w ramach spotkań projektowych w siedzibach służb geologicznych **TNO w Hoofddorp (2006 r. Holandia)**, **BGR w Hanowerze (2006 r. Niemcy)** oraz **BGS w Edynburgu (2007 r. Wielka Brytania)**. W czasie tych spotkań miała miejsce intensywna współpraca oraz wymiana doświadczeń z członkami 11-osobowego zespołu badawczego realizującego projekt w zakresie karbonu, a w szczególności z jego koordynatorem **dr Henkiem Kombrinkiem z Geological Survey of the Netherlands**. Efektem realizacji projektu jest współautorstwo artykułu Kombrink i in. (2008) [K12], jak również współautorstwo *Chapter 6 Carboniferous* [J2] oraz *Chapter 15 Reserves and production history* [J3] w *Petroleum Geological Atlas of Southern Permian Basin Area* (2010) (Załącznik 9).

Wymiana doświadczeń naukowych z **prof. Stanislavem Opluštilem z Faculty of Science Charles University in Prague (Czechy)** rozpoczęła się w 2004 r. podczas organizowanej przez niego 10th Coal Geology Conference, na której wygłosiłem referat [E1] i zaprezentowałem poster we współautorstwie [E2]. Na konferencji tej rozpoczęłem również wymianę doświadczeń z **dr hab. Arturem Kędziolem z Instytutu Nauk Geologicznych PAN**. Kontynuacją nawiązanej współpracy było zaproszenie do realizacji w latach 2006-2009 programu badawczego *International Geological Correlation Programme # 469: Late Westphalian terrestrial biotas and paleoenvironments of the Variscan foreland and adjacent intramontane basins* [O1] koordynowanego przez **prof. Christophera J. Cleal'a z Department of Biodiversity & Systematic Biology National Museum Wales (Wielka Brytania)**, jak również **prof. Stanislava Opluštila i dr hab. Artura Kędziora**. Byłem członkiem 25-osobowego międzynarodowego zespołu, który realizował ten program. Prace projektowe z zakresu sedimentologii, stratygrafii i petrografii węgla utworów karbonu basenów europejskich, były przeprowadzone w ramach spotkania projektowego w siedzibie **Instytutu Nauk Geologicznych PAN w Krakowie w 2006 r.** zorganizowanego w formule konferencji międzynarodowej [Ł1], na której wygłosiłem referat we współautorstwie.

Efektom realizacji programu jest współautorstwo artykułu naukowego Cleal i in. (2009) (**Zał. 10; [K13]**).

5.2. Instytucje krajowe

Uniwersytet Warszawski

Podczas mojej pracy w latach 1993-1996 na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego w Zakładzie Geologii Dynamicznej, a następnie Zakładzie Geologii i Ekonomiki Złóż prowadziłam badania sedymentologiczne, stratygraficzne i petrograficzne materii organicznej węglonośnych utworów karbonu w basenie lubelskim na podstawie danych geologicznych i geofizycznych z otworów wiertniczych. Badania prowadziłam w ramach GRANTU finansowanego przez KBN, pt.: *Diogeneza materii organicznej z utworów namuru Lubelskiego Zagłębia Węglowego przy zastosowaniu metod: sedymentologicznych, organogeochemicznych i petrologii węgla. Część I – sedymentologiczna* [F1], którego byłam kierownikiem i głównym wykonawcą. Część wyników badań zrealizowanych w ramach tego GRANTU zamieściłam w publikacji [B1].

Petrobaltic

W latach 1996-1997 byłam współwykonawcą projektu zleconego do PIG-PIB i finansowanego przez **Petrobaltic**, pt.: *Ocena perspektyw poszukiwawczych złóż ropy i gazu ziemnego w basenach sedymentacyjnych młodszego paleozoiku na obszarze zachodniej części polskiego sektora Bałtyku – bloki H, K, L – Etap I, II, III* [R1]. W ramach realizacji projektu, prowadziłam w 1996 r. w siedzibie Petrobaltic w Gdańsku, badania sedymentologiczne i stratygraficzne na profilach rdzeniowych utworów karbonu z otworów pozyskanych z obszaru polskiego sektora Bałtyku. Wykonałam również opróbowanie do badań palinologicznych.

Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo S.A.

Pierwsze badania sedymentologiczno-stratygraficzne, jakie przeprowadziłam na materiałach wiertniczych będących własnością Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A., miały miejsce w siedzibie Oddziału w Wołominie w 1995 r. w ramach realizacji GRANTU finansowanego przez KBN [F1].

Następnie w 1997 r. również w Oddziale w Wołominie wykonałam analizę litofacjalną i stratygraficzną rdzeni wiertniczych z utworów karbonu w złożu węglowodorów Stężycza i okolicy Rycic w basenie lubelskim, jak również opróbowanie do badań palinologicznych i biostratygraficznych konodontów. Badania prowadziłam w ramach projektów [R2]-[R3],

zleconych i finansowanych przez Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo, których byłam kierownikiem i głównym wykonawcą. W czasie realizacji tych projektów współpracowałam z Dyrektorem Oddziału w Wołominie dr Janem Kaczyńskim, jak również pracownikami tego Oddziału. Wyniki realizacji obu projektów przedstawiłam na 3 konferencjach krajowych [D1], [D2], [L3], jak również w publikacjach [J2], [K11], [K12] i [K14].

Kolejne badania materiałów wiertniczych, będących własnością Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A., przeprowadziłam w 2007 r. w siedzibie Oddziału w Pile, w ramach realizacji projektu naukowego, pt.: *Petrologia, sedimentologia i nowa litostratygrafia utworów czerwonego spągowca dolnego z wybranych profili platformy waryscyjskiej* [P6] finansowanego przez MNiSW, którego byłam współwykonawcą. W ramach projektu wykonałam badania litofacjalne rdzeni wiertniczych z utworów karbonu, występujących w podłożu permu w profilach otworów z rejonu Polski południowo-zachodniej.

Badania sedimentologiczno-stratygraficzne wraz z opróbowaniem do badań palinologicznych i petrograficznych prowadziłam w latach 2018 i 2019, na karbońskich profilach rdzeniowych z otworów będących własnością Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazownictwa S.A., w Centralnym Magazynie Rdzeni PGNiG „Chmielnik” w Chmielniku. Badania były realizowane w ramach projektu badawczego, którego byłam kierownikiem i współrealizatorem, pt.: *Geneza wulkanitów i skał towarzyszących karbonu basenu lubelskiego w kontekście perspektyw boksytowych i węglowodorowych*, finansowanego przez MNiSW.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

Zajęcia dydaktyczne prowadziłam w latach 1991-1996, podczas mojego zatrudnienia na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego w Zakładzie Geologii Dynamicznej, a następnie Zakładzie Geologii i Ekonomiki Złóż. Były to ćwiczenia stacjonarne z przedmiotów, tj. geologia dynamiczna, geologia złożowa, wiertnictwo oraz kursy terenowe w Górach Świętokrzyskich i regionie krakowskim z tych przedmiotów, jak również z górnictwa.

Po zmianie zatrudnienia na Państwowy Instytut Geologiczny z dydaktyką miałam do czynienia okazjonalnie. W 2000 r. byłam współorganizatorką i współprowadzącą kurs dla pracowników firmy PGNiG w Krakowie, nt. *Identyfikacji i prognozowania środowisk sedimentacyjnych i litologii osadów na podstawie danych sejsmicznych i otworowych* na zaproszenie tej firmy. Uczestniczyłam również w procesie dydaktyki na Wydziale Geologii

UW we współpracy z prof. dr hab. Stanisławem Skompskim. Kolejno w latach 2005, 2006, 2009, 2011 poprowadziłam na jego zaproszenie 4 wykłady dotyczące stratygrafii sekwencji utworów karbonu basenu lubelskiego w ramach przedmiotu *Metodologia Stratygrafii*. Byłam też współpromotorem pracy magisterskiej pt.: *Stratygrafia sekwencji i sedymentacja utworów karbonu rejonu Niedrzwicy (płd.-zach. Lubelszczyzna)* sfinalizowanej w 2010 r.

Pełniąc w latach 2012-2016 funkcję kierownika Programu Bezpieczeństwo Energetyczne w PIG-PIB byłam opiekunem merytorycznym dwóch stażystów z Akademii Górniczo-Hutniczej oraz wdrażałam do pracy 4 nowych pracowników, co związane było ze wsparciem merytorycznym i weryfikacją ich działań w realizowanych projektach.

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

6.2.1. Kierowanie projektami

W czasie mojej pracy zawodowej kierowałam 19 projektami. Zakres moich działań obejmował opracowanie zakresu planowanych prac w postaci wniosku lub oferty wraz z harmonogramem rzeczowo-finansowym (9 we współautorstwie), a następnie koordynowanie wykonywania badań oraz innych prac merytorycznych, technicznych, terenowych, redakcyjnych, sprawozdawczych, zawierania umów o dzieło i kooperacyjnych, rozliczeń finansowych z NFOŚiGW oraz sporządzania raportów końcowych. Zespoły wykonawców w projektach naukowo-badawczych oraz komercyjnych liczyły od 2 do ok. 10 osób, natomiast w wykonywanych w ramach PSG od kilkunastu do ok. 60 osób. Projekty były realizowane przez pracowników z PIG-PIB, przy współpracy ze specjalistami i ekspertami z innych jednostek naukowych, tj. Uniwersytet Warszawski, Uniwersytet Jagielloński, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Akademia Górniczo Hutnicza, Instytut Nafty i Gazu.

Pierwszym projektem jakim kierowałam podczas mojej pracy na Wydziale Geologii UW był GRANT [F1] finansowany KBN i zrealizowany w 1995 r. Następnie jako pracownik PIG-PIB, kolejno w latach 1998-2004, 2008-2010, 2015-2017 oraz 2017-2020, kierowałam 4 projektami naukowo-badawczymi [H2], [H4], [P27], [P37] finansowanymi przez MNiSW.

Ponad to, w latach 2006-2019, kierowałam 5 kolejnymi projektami [P2], [P3], [P11], [P20], [P31] realizowanymi w ramach zadań Państwowej Służby Geologicznej (PSG), dotyczącymi opracowania i wydrukowania 42 zeszytów w serii wydawniczej *Profile Głębokich Otworów Wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*. Wydawane zeszyty z serii zostały dostosowane do współczesnych standardów wydawniczych, poprzez wprowadzenie nowej szaty graficznej, dobrej jakości druku i papieru, elementów

przetłumaczonych na język angielski, jak również rozszerzenie spektrum prezentowanych wyników badań.

W ramach zadań PSG w latach 2008-2016 kierowałam 3 kolejnymi projektami, dotyczącymi potencjału metanonośności pokładów węgla w rejonie Dolnośląskiego Zagłębia Węglowego [P7], wspierania działań Ministra Środowiska [P25], jak również zadań państwa wykonywanych przez PSG dla potrzeb opracowania oceny perspektywiczności geologicznej zasobów złóż węglowodorów oraz przygotowania materiałów przetargowych dla organu koncesyjnego [P26].

W latach 1997-2013 kierowałam 5 projektami komercyjnymi, zleconymi przez firmy PGNiG [R2]-[R3], FX Energy [S2], Gora Energy [S4], jak również Urząd Gminy w Ustce [T1].

6.2.2. Funkcje pełnione w PIG-PIB

W czasie mojej pracy zawodowej w PIG-PIB pełniłam w latach 2006-2016 funkcje kierownicze różnego szczebla, tj.:

- **2006-2011 kierownik pracowni** Geologii Regionalnej oraz Geologii Podstawowej Struktur Wgłębnych
- **2007-2008 z-ca kierownika** Zakładu Geologii Regionalnej, Surowcowej i Geofizyki
- **2008-2011 z-ca kierownika** Zakładu Kartografii Geologicznej Struktur Wgłębnych
- **2011-2012 z-ca kierownika** Programu Bezpieczeństwo Energetyczne;
- **2012-2016 kierownik** Programu Bezpieczeństwo Energetyczne.

Do największych wyzwań organizacyjnych w moim życiu zawodowym zaliczam kierowanie w latach 2012-2016 Programem Bezpieczeństwo Energetyczne. Za najważniejsze osiągnięcie z czasu kierowania tą jednostką uważam wprowadzenie i zrealizowanie około 25 nowych zadań PSG, w ramach kolejnych planów na lata 2013, 2014 i 2015, dotyczących bezpieczeństwa energetycznego Polski, z których kilka jest kontynuowanych do dziś jako stałe zadania PSG.

6.2.3. Udział w zespołach konkursowych

W latach **2013-2015** jako kierownik Programu Bezpieczeństwo Energetyczne oraz **sekretarz 6 Komisji Konkursowych** przeprowadziłam postępowania konkursowe na stanowiska naukowe, jak również nienaukowe w PIG-PIB.

6.2.4. Udział w Radzie Naukowej PIG-PIB

W latach 2015-2017 byłam członkiem z wyboru Rady Naukowej PIG-PIB oraz wiceprzewodniczącą Komisji Organizacyjno-Ekonomicznej w tej Radzie. Do głównych zadań

komisji należało opiniowanie kandydatów na funkcje kierownicze, w tym zastępców dyrektora, jak również planów i sprawozdań finansowych PIG-PIB. Komisja zaopiniowała ponad 30 osób na podstawie oceny przedstawionego planu działań kandydatów, ich kwalifikacji, osiągnięć zarządczych oraz przebiegu rozmowy kwalifikacyjnej.

6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę

Jako absolwentka Technikum Geologicznego w Warszawie utrzymuję kontakt z gronem pedagogicznym i uczniami tej szkoły, poprzez uczestniczenie w obchodach Święta Górnika i Geologa oraz Konkursach Wiedzy Geologicznej dla uczniów szkół średnich. Wspieram proces kształcenia w tej szkole oraz kilku innych w Polsce kształcących techników geologii, którym przekazałam osobiście oraz za pomocą rozdzielnika różne pomoce dydaktyczne oraz wydawnictwa książkowe o tematyce geologicznej.

Ufundowałam też w 2017 r. dwie nagrody dla finalistów XVIII edycji ogólnopolskiego i XI polsko-litewskiego *Konkursu Geologiczno-Środowiskowego Nasza Ziemia – środowisko przyrodnicze wczoraj, dziś i jutro. Geologiczne barwy Ziemi* zorganizowanego przez Muzeum Geologiczne PIG-PIB dla uczniów szkół podstawowych.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej

7.1. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA

Moim pierwszym samodzielnie zrealizowanym w 1995 r. projektem był GRANT finansowany przez KBN [F1]. Na podstawie analizy litofacjalnej, mikrofacjalnej i cykliczności profili rdzeniowych z 5 otworów, zinterpretowałam środowiska sedimentacji utworów karbonu w centralnej części basenu lubelskiego oraz wykonałam ich korelację litologiczno-stratygraficzną. Wykonałam również ocenę macierzystości tych utworów na podstawie archiwalnych wyników analiz pirolitycznych Rock-Eval.

Główne wyniki w/w projektu wraz z wynikami pracy magisterskiej opublikowałam jako rozdział w monografii [B1], po raz pierwszy charakteryzując systemy depozycyjne, cykle transgresywno-regresywne utworów karbonu basenu lubelskiego w odniesieniu, zarówno do jednostek lito-, jak i chronostratygraficznych.

Po zmianie pracy na PIG-PIB, w latach 1996-1997 byłam współwykonawcą projektu komercyjnego zrealizowanego na zlecenie firmy Petrobaltic [R1] (kierownik doc. dr hab. A.M. Żelichowski). W jego ramach wykonałam autorską analizę litofacjalną i interpretację środowisk depozycji utworów górnego karbonu w 4 profilach otworów, która była częścią składową oceny perspektyw poszukiwawczych złóż ropy i gazu na obszarze zachodniej części polskiego sektora Bałtyku.

W latach 1997-1998 zrealizowałam jako kierownik i główny wykonawca dwa projekty komercyjne zlecone przez firmę PGNiG [R2]-[R3], w których po raz pierwszy wykonałam analizę litofacjalną i interpretację środowisk depozycji, jak również korelację utworów karbonu w złożu węglowodorów Stężycy i okolicy Rycic w basenie lubelskim, na podstawie 4 profili otworów. W 1998 r. byłam współwykonawcą projektu komercyjnego zleconego również przez firmę PGNiG [R4] (kierownik dr hab. P. Krzywiec), w którym wykonałam autorską analizę sedymentologiczno-stratygraficzną karbońskich złożowych horyzontów korelacyjnych K, I, H, która była częścią składową analizy profili sejsmicznych w rejonie Stężycy i Rycic. Opracowane w ramach w/w projektów profile litofacjalne stały się podstawą dla późniejszych badań oraz publikacji, które ukazały się już po uzyskaniu stopnia doktora, tj. [J2], [J3], [K11], [K12], [K14]. Były też podstawą dwóch wystąpień na konferencjach krajowych [D1]-[D2].

W latach 1998-2000 byłam współwykonawcą projektu naukowo-badawczego [H1] (kierownik dr hab. J. Grabowski), w ramach którego wytypowałam reprezentatywne litofacje z profilu karbonu basenu lubelskiego, które zostały następnie zbadane przez współwykonawców projektu za pomocą metod paleomagnetycznych, w celu stwierdzenia ich przydatności do orientacji rdzeni wiertniczych. Wynikiem tej współpracy jest współautorstwo artykułu (Grabowski i in. 2002) [C1].

Pierwszym dużym, interdyscyplinarnym projektem, którym kierowałam i współrealizowałam w latach 1998-2000 był projekt naukowo-badawczy [H2]. W jego ramach wykonałam autorską analizę litofacjalną, interpretację środowisk sedymtacji i korelację utworów karbonu w 7 profilach otworów, które zostały następnie zintegrowane z wynikami badań petrograficznych, petrofizycznych i geochemicznych, które współrealizowała i koordynowała dr A. Kozłowska. Główne wyniki badań zostały zaprezentowane na 10th Coal Geology Conference (2004 Praga Czechy) [E1]-[E2], i w publikacjach, które ukazały się już po uzyskaniu stopnia doktora [K11], [K14].

W latach 2002-2004 zrealizowałam jako główny wykonawca i kierownik projekt naukowo-badawczy pt.: *Ewolucja facjalna i analiza sekwencji w paralicznych utworach*

karbonu z płn. – zach. i centralnej Lubelszczyzny [H4], w ramach którego wykonałam autorskie badania sedimentologiczne i stratygrafię sekwencji, na podstawie 17 profili otworów. Po raz pierwszy została odtworzona ewolucja facjalna środowisk sedimentacji w ramach schematu stratygrafii sekwencji (obejmującego sekwencje 1-16). Wynikiem projektu było sfinalizowanie rozprawy doktorskiej o tym samym tytule i uzyskanie stopnia doktora nauk o Ziemi w zakresie geologii – sedimentologii. Główne wyniki znajdujące się w rozprawie doktorskiej opublikowałam w dwóch kolejnych artykułach, tj.: [K11] i [K14].

Równolegle z przygotowywaniem rozprawy doktorskiej w latach 2003-2005 byłam współwykonawcą dużego, interdyscyplinarnego projektu naukowo-badawczego (kierownik prof. dr hab. M. Narkiewicz) [H5], w ramach którego po raz pierwszy wykonałam autorską analizę litofacjalną, interpretację systemów depozycyjnych, korelację, stratygrafię sekwencji i wydzielenie kompleksów stratygraficzno-złożowych dla 27 (w tym 10 nowych w stosunku do zakresu doktoratu) profili karbonu z otworów zlokalizowanych wzdłuż 4 regionalnych przekrojów korelacyjnych, jak również analizę danych archiwalnych i karotażowych dla ok. 50 innych profili otworów spoza linii korelacyjnych. Wykonane badania nadały ramy facjalne i stratygraficzne dla pozostałych badań petrograficznych, tektonicznych, sejsmicznych, petrofizycznych, hydrodynamicznych i modeli 1D wykonanych przez współwykonawców projektu. W czasie realizacji tego projektu z powodzeniem przetestowałam, na kolejnych ok. 40 profilach otworów, opracowany w ramach rozprawy doktorskiej model stratygrafii sekwencji, jak również rozbudowałam go o podział wyższej, limnicznej części profilu karbonu, o kolejne 6 sekwencji o numerach 17-22. Umożliwiło mi to sfalsyfikowanie, opracowanego w rozprawie doktorskiej modelu stratygrafii sekwencji, na podstawie badań ponad 3-krotnie większej liczby profili otworów, w stosunku do liczby, na podstawie której został stworzony.

Efektom realizacji powyżej opisanego projektu [H5], było współautorstwo artykułu (Narkiewicz i in. 2007 [K2]), współautorstwo referatu na konferencji międzynarodowej (Krzywiec, Waksmundzka 2010 [M1]), jak również autorstwo artykułu [K11], które ukazały się już po uzyskaniu stopnia doktora.

PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA

Po uzyskaniu stopnia doktora moja działalność obejmowała, poza tematyką opisaną w osiągnięciu naukowym, poniżej scharakteryzowane obszary.

7.1.1. Badania karbonu Polski południowo-zachodniej i potencjału złożowego kraju

W latach 2006-2008 współrealizowałam temat, którego głównym obiektem badań były utwory czerwonego spągowca z wybranych profili Polski południowo-zachodniej (kierownik prof. dr hab. A. Maliszewska) [P6]. W ramach tematu wykonałam autorskie badania litofacjalne utworów karbonu występujących w podłożu permu wraz z charakterystyką środowisk sedimentacji, na podstawie danych w 5 profilu otworów.

W latach 2009-2011 byłam współwykonawcą projektu zrealizowanego na zlecenie AGH (kierownik prof. dr hab. T. Peryt) [P15], którego głównym celem była ocena stopnia rozpoznania polskich basenów naftowych wraz ze wskazaniem kierunków w jakim powinny zmierzać dalsze prace badawcze i rozpoznawcze, którą wykonałam dla utworów karbonu basenu lubelskiego po przeanalizowaniu 68 projektów archiwalnych oraz wydawnictw atlasowych.

W latach 2013-2015 byłam współwykonawcą pierwszego projektu PSG [P21] i jego kontynuacji w latach 2017-2019 [P30], których celem było rozpoznanie stref perspektywicznych dla występowania złóż węglowodorów niekonwencjonalnych w Polsce (kierownik dr hab. T. Podhalańska), m. in. w obrębie utworów karbonu z podłoża Polski południowo-zachodniej. We współautorstwie z dr. A. Becker opracowałam 10 profili litofacjalno-stratygraficznych otworów, wraz z wytypowaniem i charakterystyką potencjalnie złożowych kompleksów litologicznych, tj.: piaskowcowych, łupkowych i hybrydowych, które były podstawą dla dalszych analiz petrograficznych, petrofizycznych, geofizycznych, dojrzałości materii organicznej i modeli generowania ekspulsji węglowodorów, wykonanych przez współwykonawców projektów. Najważniejsze wyniki projektu [P21] zostały opublikowane w dwóch artykułach, których jestem współautorką (Podhalańska i in. 2016 [K23]; Podhalańska i in. 2016 [K24]), jak również zaprezentowane w postaci posteru na konferencji międzynarodowej (Podhalańska i in. 2017 [M2]).

W latach 2013-2015 i 2017-2020 brałam udział w 2 projektach PSG pt.: *Szacowanie zasobów złóż węglowodorów – zadanie ciągłe PSG* (kierownik dr A. Wójcicki) [P24], [P34], w ramach których we współautorstwie z dr A. Becker opracowałam założenia, jak również niezbędne dane litofacjalno-stratygraficzne i regionalne do oszacowania perspektywiczności utworów karbonu w podłożu Polski południowo-zachodniej. Wyniki te wraz z pozostałymi dotyczącymi innych systemów, były podstawą oszacowania przez dr A. Wójcickiego zasobów złóż typu *tigh gas* i znalazły się w raporcie PSG, pt.: *Prognostyczne zasoby gazu ziemnego w wybranych zwięzłych skałach zbiornikowych Polski* (Wójcicki i in. 2014

<https://www.pgi.gov.pl/docman-tree-all/prasa/2995-raport-prognostyczne-zasoby-gazu-ziemnego-w-wybranych-zwiezlych-skalach-zbiornikowych-polski/file.html>).

Byłam również współwykonawcą, w latach 2015-2018, pierwszego projektu PSG, którego głównym celem była analiza danych geologicznych i geofizycznych przed przyjęciem do Narodowego Archiwum Geologicznego (NAG) z obszarów objętych koncesjami na poszukiwanie i rozpoznawanie lub wydobywanie złóż węglowodorów (kierownik dr M. Jasionowski) [P26]. W latach 2015-2017 r. byłam również współwykonawcą pierwszego projektu PSG, którego celem była integracja danych geologiczno-złożowych dotyczących systemów węglowodorowych Polski (kierownik dr A. Becker) [P29]. W ramach projektu opracowałam profile litofacjalno-stratygraficzne dla 39 otworów z rejonu Pomorza Zachodniego, wraz z wydzieleniem horyzontów potencjalnie kolektorskich i uszczelniających. Wyniki te nadały ramy dla analiz wykonanych przez pozostałych współwykonawców, wynikiem których było sporządzenie szeregu map strukturalnych, miąższości i litofacji, hydrogeologicznych, rozkładu porowatości i przepuszczalności oraz perspektywiczności węglowodorowej.

W 2020 r. wzięłam udział jako współwykonawca projektu PSG, obejmującego rewaluację stanu rozpoznania geologicznego kraju pod kątem poszukiwań i wydobywania węglowodorów i rud metali (kierownik dr A. Feldman-Olszewska) [P33]. Wykonałam w nim opracowanie charakterystyki budowy geologicznej i profili utworów karbonu w basenie lubelskim, strefie mazowieckiej oraz basenie pomorskim, jak również perspektywiczności występowania węglowodorów, wraz ze wskazaniem dalszych kierunków badań w postaci propozycji nowego projektu PSG.

7.1.2. Badania karbonu basenu lubelskiego

W latach 2015-2017 byłam współwykonawcą oraz kierownikiem projektu naukowo-badawczego [P27], w ramach którego wykonałam autorską analizę litofacjalną i stratygrafię sekwencji najstarszych utworów karbonu w basenie lubelskim należących do tzw. Ogniwa Kłodnicy, na podstawie profili 11 otworów. Pozostałe badania petrograficzne wykonały w projekcie dr A. Kozłowska i dr M. Pańczyk. Najważniejsze z uzyskanych wyników dotyczące wydzielenia w profilu utworów turneju i jego charakterystyki zostały opublikowane w artykule (Waksmundzka i in. w druku 10.24425/agp.2020.134559 [K25]).

Badania turneju w basenie lubelskim kontynuowałam wraz ze współpracownikami w latach 2017-2020, w następnym projekcie naukowo-badawczym [P37], na większej liczbie profili otworów, i przy zastosowaniu szerszego spektrum metod badawczych, które objęły

oprócz wcześniej stosowanych, również badania cyrkonów detrytycznych SHRIMP, palinologiczne oraz biostratygraficzne.

7.1.3. Seria wydawnicza *Profile Głębokich Otworów Wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*

W latach 2006-2019 byłam współwykonawcą oraz kierownikiem 5 kolejnych projektów realizowanych w ramach zadań PSG [P2], [P3], [P11], [P20], [P31], w których opracowałam pod względem litologiczno-stratygraficznym oraz sedimentologicznym 10 profili utworów karbonu z basenu lubelskiego, strefy mazowieckiej i podłoża wału środkowopolskiego. Wynikiem tych projektów jest autorstwo lub współautorstwo 11 rozdziałów w monografii* [J1], [J7]-[J10], [J18]-[J20], jak również 16 artykułów* [K1], [K3]-[K5], [K7]-[K10], [K15]-[K22] w serii wydawniczej *Profile Głębokich Otworów Wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego* (<https://www.pgi.gov.pl/oferta-inst/wydawnictwa/serie-wydawnicze/profile-otworow-pig.html>). Byłam również redaktorem naukowym 2 zeszytów zawierających opracowanie profili otworów Lublin IG 1 [K6] i Komarów IG 1 [H1], jak również współredaktorem zeszytu z profilem otworu Wilga IG 1 [H2].

*Seria ta ze względu na niecykliczne ukazywanie się, w latach 2008, 2014, 2018, 2019 klasyfikowana była jako monografia, a w 2007, 2011, 2012 jako czasopismo.

7.1.4. Wydawnictwa atlasowe

Petroleum Geological Atlas of Southern Permian Basin Area 2010 (J.C. Doornenbal, A.G. Stevenson red.)

W latach 2005-2009 byłam współwykonawcą 2 projektów naukowo-badawczych [P4], [P5] (kierownik prof. dr hab. T. Peryt) realizowanych w PIG-PIB, jak również projektu międzynarodowego [P9] (menadżer projektu dr H. Doornenbal TNO), scharakteryzowanego w rozdziale 5. W ramach tych projektów został opracowany i wydrukowany *Petroleum Geological Atlas of Southern Permian Basin Area*, w którym jestem współautorką 2 rozdziałów [J2] [J3], jak również publikacji [K12].

Atlas paleogeologiczny podpermskiego paleozoiku kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich 1:2 000 000 2010 (Z. Modliński red.)

W latach 2008-2010 byłam współwykonawcą projektu naukowo-badawczego (kierownik dr hab. Z. Modliński) [P10], którego celem było opracowanie map litofacjalno-paleomiąższościowych i paleogeologicznych dla systemów podpermskiego paleozoiku na obszarze kratonu wschodnioeuropejskiego w Polsce i na obszarach sąsiednich, i wydanie ich

w formie atlasu. W ramach projektu opracowałam 9 autorskich map litofacjalno-paleomiąższościowych i paleogeologicznych wraz z tekstem objaśniającym, z których 5 [A1]-[A5] wchodzi w skład osiągnięcia naukowego, i zostało scharakteryzowanych w rozdziale 4.

Na mapach nie wchodzących w skład osiągnięcia naukowego zilustrowałam paleogeografię basenu lubelskiego po namurze A (serpuchowie-najniższym baszkirze) [J4] i paleozasięgi osadów powstałych w namurze BC (niższym baszkirze) i westfalu (wyższym baszkirze-moskowie) [J5]. Trzecią *Mapę paleogeologiczną dolnej strony przedpermomezozoicznej powierzchni niezgodności* [J6] opracowałam na podstawie kompilacji 4 map geologicznych Polski autorów zacytowanych w Atlasie, która jest zaktualizowaną współczesną mapą geologiczną odkrytą bez utworów permomezozoiku północno-wschodniej Polski, z wprowadzonymi formalnymi jednostkami chronostratygraficznymi karbonu.

Atlas geologiczny Polski 2017 Geological Atlas of Poland 2020 (J. Nawrocki, A. Becker red.)

W latach 2013-2015 współrealizowałam projekt naukowo-badawczy, którego celem było opracowanie i wydanie pierwszego *Atlasu geologicznego Polski* (kierownik prof. dr hab. J. Nawrocki) [P23]. W jego ramach opracowałam we współautorstwie mapę geologiczną odkrytą pod permomezozoikiem [J11A], miąższości karbonu [J12A], lokalizacji głębokich otworów wiertniczych [J13A], jak również tabele stratygraficzne [J14A]-[J15A]. W 2020 r. została wydana angielska wersja atlasu, pt. *Geological Atlas of Poland*. Jestem w nim współautorem w/w map i tabel [J11B]-[J15B].

7.1.5. *Stratygraficzna tablica Polski*

W latach 2004-2006 byłam współwykonawcą projektu PSG pt.: *Stratygraficzna tablica Polski* (kierownik prof. dr hab. R. Wagner) [P1], którego celem było opracowanie do druku zaktualizowanej, polskiej wersji tabeli stratygraficznej. W jego ramach opracowałam profil stratygraficzny i środowiska sedimentacji karbonu basenu lubelskiego. Tablica stratygraficzna ukazała się drukiem w 2008 r.*

*Pozycji tej nie wykazałam w wykazie osiągnięć, ze względu na zbyt małą od wymaganej, powierzchnię figury mojego autorstwa, aby mogła być zakwalifikowana jako rozdział w monografii.

7.1.6. *Modele 3D*

W latach 2013-2015 i 2018-2020 byłam współwykonawcą dwóch projektów PSG, których celem było opracowanie 3D cyfrowych modeli geologicznych. W pierwszym projekcie (kierownik inż. J. Chełmiński) [P22] opracowałam założenia do modelu, jak również profile

litofacjalno-stratygraficzne 85 otworów wiertniczych, które były podstawą opracowania pierwszego modelu 3D utworów karbonu basenu lubelskiego przez współrealizatora projektu dr Z. Małolepszego.

W drugim projekcie opracowałam założenia do modelu utworów karbonu w rejonie bloku Gorzowa (północno-zachodnia Polska) (kierownik dr E. Szynkaruk) [P32], oraz zinterpretowałam profile litologiczne dla 37 profili otworów w programie Petrel, na podstawie których został opracowany przez współrealizatora projektu dr Z. Małolepszego model 3D.

7.1.7. Centralna Baza Danych Geologicznych (CBDG)

W latach 2006-2010 brałam udział w realizacji 2 kolejnych projektów PSG mających na celu weryfikację i uzupełnianie danych podsystemu OTWORY w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (CBDG) (kierownicy prof. dr hab. R. Wagner, dr M. Słowakiewicz) [P8], [P14], które są dostępne on-line na stronie internetowej PIG-PIB. W czasie realizacji tych projektów wprowadziłam autorski podział karbonu na jednostki formalne dla ok. 100 profili otworów z basenu lubelskiego i strefy mazowieckiej.

W kolejnym projekcie PSG w latach 2009-2012 brałam udział w uzupełnianiu CBDG (kierownik mgr E. Machalska) [P18], wykonując charakterystykę ok. 45 jednostek chronostratygraficznych i ok. 70 litostratygraficznych karbonu górnego. Kontynuacja tych działań nastąpiła w 2020 r. w ramach kolejnego zadania PSG (kierownik mgr. M. Sołowczuk) [P36], w ramach którego wykonałam aktualizację i charakterystykę wybranych formalnych jednostek chronostratygraficznych karbonu w aplikacji *Słowniki stratygraficzne CBDG*.

7.1.8. Opracowanie i zabezpieczenie stratotypowych odcinków rdzeni wiertniczych

W latach 2008-2010 i 2015-2017 brałam udział w realizacji dwóch kolejnych projektów PSG (kierownik dr K. Leszczyński) [P12], [P28], których celem było opracowanie i zabezpieczenie wybranych stratotypowych odcinków rdzeni wiertniczych zgromadzonym w NAG. We współpracy z dr A. Kozłowską wytypowałam dwa unikatowe, pełnordzeniowe profile utworów karbonu z obszaru basenu lubelskiego, z których pierwszy już został opracowany i zabezpieczony, a drugi będzie opracowany w kontynuacji tego zadania w latach 2021-2023 [P40].

7.1.9. Bezpieczne geologiczne składowanie CO₂

W latach 2008-2010 i 2010-2012 współrealizowałam pierwsze projekty PSG dotyczące rozpoznania formacji i struktur do bezpiecznego geologicznego składowania CO₂ wraz z ich programem monitorowania (kierownik dr inż. A. Wójcicki) [P13], [P17]. Mój współudział w projektach obejmował analizę danych litofacjalno-stratygraficznych utworów karbonu w

rejonie basenu lubelskiego, strefy mazowieckiej i Pomorza Zachodniego na podstawie ok. 130 otworów, w których wydzieliłam poziomy piaskowcowe spełniające kryteria skał zbiornikowych wraz z poziomami uszczelniającymi.

7.1.10. Ocena zagrożeń dla środowiska

W latach 2011-2013 współuczestniczyłam w projekcie PSG (kierownik dr M. Konieczńska) [P19], którego celem było wydanie oceny zagrożeń dla środowiska naturalnego związanych z wykonywaniem otworów rozpoznawczych i eksploatacyjnych dla węglowodorów niekonwencjonalnych. W ramach projektu wykonałam charakterystykę kompleksów karbońskiego i dewońskiego jako potencjalnie uszczelniających dla poziomów gazonośnych ordowiku i syluru, na obszarze poligonu Wierzbica w basenie lubelskim.

7.1.11. Projekty komercyjne

W 2006 r. współrealizowałam i koordynowałam opracowanie danych geologicznych i geofizycznych, w ramach projektu zleconego przez firmę EOG Resources (kierownik dr hab. P. Krzywiec) [S1] dla ok. 40 profili otworów z basenu lubelskiego, jak również ich korelacji wzdłuż 7 regionalnych przekrojów.

W 2007 r. wykonałam projekt na zlecenie firmy FX Energy Poland [S2], w którym opracowałam wykształcenie facjalne, stratygrafię sekwencji oraz charakterystykę piaskowców zbiornikowych w utworach karbonu z rejonu Wilgi-Żabieńca, w basenie lubelskim, na podstawie profili 13 otworów i ich korelacji, jak również opracowanych map miąższości.

Kolejny projekt wykonany w 2007 r. na zlecenie firmy Orlen Upstream (kierownik dr hab. P. Krzywiec) [S3] dotyczył współwykonania opracowania zawierającego m. in. wyniki badań sedimentologiczno-stratygraficznych w karbonie basenu lubelskiego.

W 2013 r. byłam współrealizatorem wraz z dr A. Becker projektu zleconego przez firmę Gora Energy [S4], w ramach którego opracowałam profil litologiczno-facjalny i stratygraficzny utworów karbonu z otworu Marcinki IG 1 na podstawie profilowania rdzeni wiertniczych wraz z wydzieleniem kompleksów litologiczno-facjalnych.

7.1.12. Obecnie realizowane projekty

Obecnie jestem współrealizatorem w zakresie utworów karbonu 2 projektów PSG, które są kontynuacją wcześniejszej współpracy z zespołem tworzącym modele 3D. Pierwszy projekt obejmuje obszar niecki szczecińskiej (kierownik mgr Ł. Nowacki) [P38], a drugi dotyczy obszaru całej Polski (kierownik dr E. Szynkaruk) [P39].

W latach 2022-2023 będą współwykonawcą projektu PSG (kierownik mgr J. Iwańczuk) [P41], w zakresie opracowania utworów karbonu, jak również współredakcji naukowej wraz z

dr A. Becker profilu otworu Maciejowice IG 1 i wydania go drukiem w serii wydawniczej *Profile Głębokich Otworów Wiertniczych Państwowego Instytutu Geologicznego*.

7.1.13. Kursy i szkolenia

W latach 2000-2016 uczestniczyłam w 12 kursach i szkoleniach, które rozszerzyły moją wiedzę geologiczną dotyczącą metod stratygrafii sekwencji [H1'], węglowodorów niekonwencjonalnych [P11'] i atomistyki jądrowej [P3'], jak również metod zarządzania projektami [P1']-[P2'], zespołami ludzkimi [P7'], [P9'], [P10'], finansami publicznymi [P4'], ochronie informacji niejawnych [P5']-[P6'] i negocjacji [P8'].

7.2. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego (łącznie z pozycjami ujętymi w pkt. 4)

DOROBEK NAUKOWO-BADAWCZY	Przed doktoratem	Po doktoracie	RAZEM
Sumaryczna liczba punktów MNiSW: Przed rokiem 2019: na rok wydania/na rok 2019 Lata 2019-2021	b.d./60 -	340/1140 240	340/1200 240
Sumaryczny IF	-	3,398	3,398
Sumaryczny 5-letni IF	-	3,116	3,116
Indeks Hirscha wg bazy WoS*	-	3	3
Indeks Hirscha wg bazy Scopus*	2	8	8
Sumaryczna liczba cytowań wg WoS*/ w tym bez autocytowań	0	93/90	93/90
Sumaryczna liczba cytowań wg Scopus*/ w tym bez autocytowań	16/16	179/156	195/172
Sumaryczna liczba publikacji z rozdziałami w monografiach	2	58	60
Publikacje w czasopismach z listy JCR	0	5	5
Publikacje w czasopismach z bazy WoS/Scopus	0/2	4/9	4/11
Materiały konferencyjne zamieszczone w bazie Scopus	0	3	3
Publikacje z listy A MNiSW	0	4	4
Publikacje z listy B MNiSW	0	22	22
Publikacje z lat 2019-2021 z wykazu MNiSW	0	2	2
Opublikowane monografie naukowe	0	0	0
Redakcja/współredakcja monografii i czasopism	0	3	3

Opublikowane rozdziały w monografiach	1	31	32
Członkostwo w radach redakcyjnych monografii	0	1	1
Opublikowane artykuły w czasopismach naukowych	1	27	28
Programy międzynarodowe	-	1	1
Wystąpienia i współautorstwo (referat/poster) na konferencjach krajowych	2	3	5
Wystąpienia i współautorstwo (referat/poster) na konferencjach międzynarodowych	2	4	6
Recenzje artykułów	0	4	4
Współpromotorstwo pracy magisterskiej	0	1	1
Staże w zagranicznych instytucjach naukowych	1	0	1
Kierowanie projektami	2	17	19
Realizacja/współrealizacja projektów naukowo-badawczych i PSG	6	37	43
Projekty komercyjne na zlecenie firm naftowych	5	4	9
Obecnie realizowane projekty	-	3	3
Kursy i szkolenia	1	11	12
Nagrody za pracę naukową i odznaczenia	-	5	5

Tabela 2. Wykaz dorobku naukowo-badawczego przed i po uzyskaniu stopnia doktora;

WoS – Web of Science; JCR – Journal Citation Report; * stan na 08.03.2021 r.

.....*Maria Waksmundka*.....

(podpis wnioskodawcy)