



Rozwój sedymentacji utworów ewaporatowych cechsztynu na obszarze rowu mazursko-lubelskiego (SE Polska)

Development of Zechstein evaporites deposition in the area of Mazovia-Lublin Graben (SE Poland)

Grzegorz CZAPOWSKI¹, Jacek CHEŁMIŃSKI, Zbigniew MAŁOLEPSZY, Łukasz NOWACKI

Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4,
00-975 Warszawa; ¹e-mail: grzegorz.czapowski@pgi.gov.pl

STRESZCZENIE

Utwory ewaporatowe (siarczany i sole kamienne) cyklotemów PZ1, PZ2 i PZ3 cechsztynu występują w NW części rowu mazursko-lubelskiego (SE Polska), dla którego skonstruowano w latach 2012-2016. model 3D budowy geologicznej. Dostępne dane z otworów wiertniczych (karotaże, opisy rdzeni wiertniczych i prób okruszonych) pozwoliły ustalić warunki (głębokość, miąższość) i przypuszczalny zasięg występowania tych utworów oraz wyróżnić 8 typów facjalnych, reprezentujących różne środowiska depozycji. Opracowane mapy rozmieszczenia poszczególnych typów facji dla każdego z ewaporatowych wydzieleni litostratygraficznych oraz 3D wizualizacje rozmieszczenia głównych komponentów litologiczno-facjalnych wymienionych cyklotemów umożliwiły przedstawienie zmian środowisk depozycji w kolejnych cyklach cechsztynu w tej części rowu mazowiecko-lubelskiego.

Słowa kluczowe: ewaporaty, cechsztyln, model 3D, rów mazursko-lubelski, SE Polska

ABSTRACT

Evaporites (sulphates and halites) of Zechstein PZ1, PZ2 and PZ3 cyclothemes occur in the NW part of Mazovia-Lublin Graben (SE Poland), for which the 3D model of geological structure was created in 2012-2016. Available geological data from boreholes (well logs and descriptions of cores and crushed rock samples) enabled to precise the occurrence parameters (depth and thickness) and the supposed extent of studied evaporites as well as to define 8 facies types, represented various depositional settings. Several maps, illustrat-

ing facies distribution of each evaporitic lithostratigraphic unit, supported with 3D images of main lithological-facies components of mentioned cyclothemes allowed to comment the environmental changes in the Mazovia-Lublin Graben area during evaporitic periods of studied cyclotheme successions.

Key words: evaporites, Zechstein, 3D model, Mazovia-Lublin Graben, SE Poland

WSTĘP

Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy (PIG-PIB) od wielu lat realizuje zaawansowane projekty badawcze, których celem jest wizualizacja przestrzenna złożonych struktur geologicznych w oparciu o komputerowe modele 3D. Do jednego z najambitniejszych należał projekt budowy modelu 3D obszaru basenu lubelskiego/rowu mazowiecko-lubelskiego (RM-L), regionalnej jednostki strukturalnej, zawierającej w swoim profilu geologicznym cenne kopaliny energetyczne np. węgiel kamienny czy przypuszczalne niekonwencjonalne wystąpienia węglowodorów. Projekt ten, realizowany w latach 2012-2016 przez zespół pracowników merytorycznych i informatyków PIG-PIB, zaowocował zbudowaniem modelu przestrzennego tego basenu, ukazującego przestrzenne relacje w obrębie basenu od stropu jego podłoża (prekambr) do powierzchni teren (neogen), uwzględniające różne ich cechy np. wiek, litologię, fację, sekwencje depozycyjne itp. oraz najważniejsze struktury tektoniczne.

Badany obszar zlokalizowany jest na SE skraju wielkiego cechsztyńskiego basenu sedymentacyjnego w Europie (Ryc. 1A). Jego podłożem są utwory dewonu i karbonu uformo-

wane w basenie lubelskim, który po ruchach waryscyjskich został przebudowany w rów mazowiecko-lubelski (Żelichowski, Kozłowski, 1983). Granicami geologicznymi rowu są (Ryc. 1B): uskok Kocka od NE, uskoki Kazimierz–Ursynów i Izbica–Zamość od SW, uskok Grójca od NW, zaś jego granicę wschodnią wyznacza granica państwa (Żeleźniewicz i in., 2011). Obszar projektu wykreowania modelu 3D dla struktury tektonicznej, ewoluującej w młodszym paleozoiku od basenu lubelskiego do rowu mazowiecko-lubelskiego, wpisany jest w czworobok z wierzchołkami o następujących współrzędnych geograficznych: 21,482 E – 52,250 N; 24,239 E – 50,988 N; 24,031 E – 50,063 N; 20,749 E – 51,757 N.

Model 3D basenu lubelskiego/rowu mazowiecko-lubelskiego skonstruowano na podstawie wszystkich (dobrej jakości) danych sejsmicznych i otworowych, przy wykorzystaniu wyników interpretacji map i modeli grawimetrycznych oraz magnetycznych. W modelu zastosowano podział stratygraficzny z dokładnością do granic między oddziałami a dodatkowo w obrębie jury, kredy, karbonu oraz dewonu wydzielone zostały piętra (Chełmiński i in., 2014). W częściach modelu, gdzie zasób danych był niewystarczający lub informacje były niewiarygodne bądź niskiej jakości, granice wydzielono w oparciu o regionalne trendy geologiczne. Model strukturalny uwzględnia główne strefy uskokowe, umożliwiając tym samym korelacje przestrzennie pomiędzy profilami sejsmicznymi (Krzywiec, 2007; Narkiewicz i in., 2007) Na podstawie modelu strukturalnego utworzone zostały modele litologiczne zaś dla wybranych wydziałów – litofacjalne. Modele litofacjalne opracowano dla obszarów o dostatecznej ilości i jakości danych. Pozioma rozdzielczość modelu była uwarunkowana zagęszczeniem danych sejsmicznych, co miało bezpośrednie przełożenie na stopień dokładności rozpoznania budowy geologicznej.

Utworzony w ramach realizacji projektu model numeryczny basenu może stanowić podstawę dla planowania i zarządzania różnymi formami działalności gospodarczej w przestrzeni podziemnej oraz przewidywania skutków tej działalności dla środowiska. Model lub jego fragmenty udostępnione dla podmiotów administracji lokalnej oraz wojewódzkiej mogą również posłużyć do optymalizacji procesu podejmowania decyzji np. analiz efektywności różnych form gospodarowania lub szacowania skutków działalności gospodarczej na środowisko naturalne. Dodatkowo model w podziale na bloki koncesyjne może być wykorzystywany przez koncesjonobiorców w dziedzinach: surowców energetycznych, podziemnych zbiorników i składowisk w strukturach geologicznych. Uzyskane wyniki, obrazujące wglębną budowę obszaru basenu lubelskiego/rowu mazowiecko-lubelskiego są bardzo obiecujące, a w wielu elementach bardziej wiarygodne niż wcześniej stosowane techniki ilościowego kartowania wglębnego.

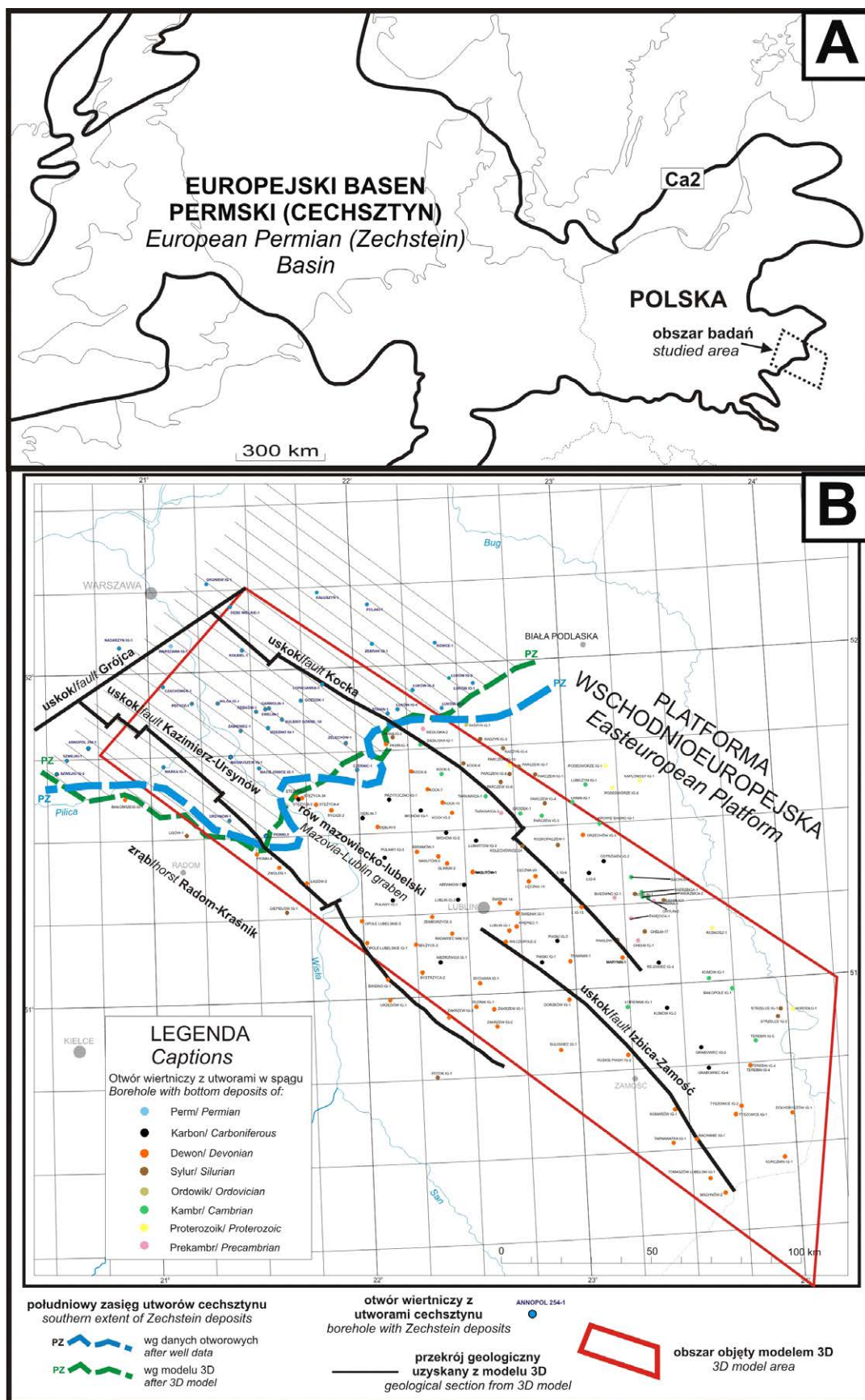
Jednym z elementów składowych budowy tego modelu są utwory późnego permu (cechsztynu), występujące w NW części rowu mazowiecko-lubelskiego (np. Depowski, 1978; Żelichowski, Kozłowski, 1983) i reprezentujące różnicowaną sukcesję tego piętra, odbiegającą od profilu znanego z centrum Niżu Polskiego (Wagner, 1994). W niniejszej pracy skupiono się na charakterystyce wykształcenia i ewolucji środowisk depozycji utworów ewaporatowych (soli kamiennej i siarczanów) cechsztynu, stanowiących istotny miąższościowo komponent całej sukcesji cechszyńskiej, której bardziej Pełna analiza utworów cechszyńskich, uwzględniająca osady węglanowe i klastyczne, zostanie przedstawiona w innej publikacji.

DANE GEOLOGICZNE WYKORZYSTANE W BUDOWIE MODELU 3D

Podstawowymi informacjami niezbędnymi do skonstruowania modelu 3D basenu lubelskiego/rowu mazowiecko-lubelskiego były dane uzyskane z profili wykonanych w jego obrębie i najbliższym otoczeniu otworów wiertniczych. Utwory cechsztynu zostały stwierdzone 37 otworach, skupionych w NW części basenu i wyznaczają one prawdopodobny obecny SE zasięg tego piętra na obszarze Polski (Ryc. 1). Na obszarze objętym modelem zlokalizowane są 23 otwory, zaś w jego najbliższym otoczeniu – kolejne 14 otworów wiertniczych. Otwory te wytypowano w oparciu o profile stratygraficzne, umieszczone w Centralnej Bazie Danych Geologicznych (CBDG) Narodowego Archiwum Geologicznego (NAG) PIG-PIB. Otwory zlokalizowane poza obszarem objętym modelem 3D to: Szwejki-1, Szwejki IG-3, Annapol 254-1, Nadarzyn IG-1, Warszawa IG-1, Okuniew IG-1, Kałuszyn-1, Polanki-1, Żebrak IG-1, Rówce-1, Łuków IG-1, Łuków IG-2, Łuków IG-3 i Łuków IG-5.

Do bazy danych konstruowanego modelu 3D wprowadzono uzyskane z dokumentacji wyników wytypowanych otworów wiertniczych informacje o stratygrafii i wykształceniu przewierconych utworów cechsztynu. Przy wprowadzaniu tych danych zweryfikowano (definicja wydzielenia, głębokość występowania) umieszczone w bazie CBDG wydzielenia litostratygraficzne cechsztynu w poszczególnych profilach otworów, konfrontując je z opisami, zawartymi w dokumentacjach wyników otworów oraz w materiałach opublikowanych (Areń, 1975; Dembowska, Marek, 1988; Krassowska, 1973; Lendzion, 1975).

Poza wybranymi 5 otworami (Żebrak IG-1, Szwejki IG-3, częściowo: Okuniew IG-1, Nadarzyn IG-1, Magnuszew IG-1), które posiadają pełną lub częściową interpretację warunków powstania utworów cechsztynu (w dokumentacji wynikowej otworu lub odpowiednim tomie z serii *Profile głębokich otworów wiertniczych PIG – op. cit.*), w pozostałych profilach 32 otworów przeprowadzono interpretację środowisk depozycji poszczególnych wydzieleni litostratygraficznych cechsztynu



Ryc. 1. Obszar badań na tle Permskiego (cechsztyn) Basenu Europejskiego (A; zasięg utworów dolomitu głównego [Ca2] wg Słowakiewicz, Mikołajewski, 2011) oraz zasięg wstąpiń badanych utworów cechsztynu na objętym modelem 3D obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego (B; tektonika podłoża podpermskiego wg Żelaźniewicz i in., 2011).

Fig. 1. Studied area location within the Permian (Zechstein) European Basin (A; extent of Main Dolomite[Ca2] after Słowakiewicz, Mikołajewski, 2011) and the extent of studied Zechstein deposits in the 3D model area of the Mazovia-Lublin Graben (B; tectonics of subPermian basement after Żelaźniewicz et al., 2011).

w oparciu o zdefiniowane litofacje i mapy paleofacjalne (np. Dadlez i in., 1998; Wagner, 2012). Mapy te ustalają obszary występowania różnych paleośrodowisk (facji) w określonych etapach rozwoju basenu cechsztyńskiego w Polsce.

Utwory ewaporatowe cyklotemów PZ1, PZ2 i PZ3 cechsztynu stwierdzono w 28 otworach wiertniczych, których listę, głębokość występowania i miąższość poszczególnych ewaporatowych wydzieleni litostratygraficznych oraz typ facjalny przedstawia tabela 1. Na ewaporaty cyklotemu PZ1 składają się wydzielenia siarczanowe anhidrytu dolnego (A1d) i górnego (A1g) oraz chlorkowe wydzielenie najstarszej soli kamiennej (Na1). Przy braku w danym rejonie tej ostatniej siarczany tego cyklotemu określano jako wydzielenie anhidrytu werry (A1). Podobną sukcesję reprezentują ewaporaty cyklotemu PZ2: 2 wydzielenia siarczanowe: anhidryt podstawowy (A2) i anhidryt kryjący (A2r) przedziela pokład starszej soli kamiennej (Na2). W przypadku cyklotemu PZ3 ewaporaty reprezentują jedynie siarczany wydzielenia anhidrytu głównego (A3).

Fragmentaryczne i stosunkowo rzadkie rdzeniowanie utworów cechsztynu na analizowanym obszarze modelu rowu mazowiecko-lubelskiego skutkuje skąpą informacją zarówno o wykształceniu tych utworów jak i o ich zaangażowaniu tektonicznym.

Podstawą interpretacji środowiska depozycji badanych utworów jest pozyskany materiał rdzeniowy. Jest on wyjątkowo nieliczny w przypadku osadów ewaporatowych, najczęściej nie one były głównym przedmiotem rozpoznania wiertniczego – zwykle pełniejsze rdzeniowanie wykonywano w przypadku utworów węglanowych jako potencjalnego źródła węglowodorów. Sole i siarczany były rdzeniowane stosunkowo rzadko i zwykle wycinkowo, większość informacji o ich występowaniu pochodzi z karotażu otworowego i pobieranych prób okruchowych z płuczki wiertniczej. W przypadku profili 6 otworów (Żabieniec-1, Stanin-1, Kulbiny Górne-1K, Kałuszyn-2, Ewelina-1, Annopol-254-1) dysponowano jedynie opisem próbek okruchowych, w pozostałych otworach dostępny był przemiennie opis próbek okruchowych i wycinkowo – rdzenia.

Opisy materiału rdzeniowego posłużyły wyróżnieniu 8 facji, określających cechy utworów powstałych w różnych środowiskach depozycji ewaporatów, od lądowo-morskiego (środowisko sebkhy) do typowo morskich hypersalinarnych zbioników ewaporatowych o typu siarczanowego i chlorkowego. Morskie osady zbiornika zdominowanego przez akumulację siarczanów reprezentują 4 podstawowe typy facji: platformy siarczanowej (z podfacjami trzonu i szczytu oraz skłonu platformy), laguny siarczanowej, basenu siarczanowego i siarczanowo-ilastego oraz izolowanej pływicznej siarczanowej. Z kolei wśród soli wydzielono 2 typy facjalne: laguny i basenu chlorkowego. Listę cech tych facji, wydzieleni lito-

stratygraficznych i otworów wiertniczych w których je wyróżniono przedstawia tabela 2.

W przypadku braku rdzenia dla danego wydzielenia litostratygraficznego lub wycinkowym jego rdzeniowaniu interpretacji litofacji (a praktycznie – środowiska depozycji) dokonano w oparciu o informacje o regionalnym obrazie rozmieszczenia paleofacji. Trudności nastręczała ocena tektonicznego zaangażowania utworów cechsztynu na badanym obszarze, Bardzo rzadkie opisy spękania rdzenia rejestrują tylko możliwe zaangażowanie utworów w ew. strefie przyuskokowej, jej samej nie definiując w profilu otworu. W większości otworów wiertniczych występuje następstwo normalne wydzieleni litostratygraficznych cechsztynu, jedynie w otworze Szwejkki IG-3 odnotowano na gł. 4041,0 m szczelinę zinterpretowaną jako uskok i wiążące się z nią (wg interpretacji T. M. Peryta – Żelichowski, 1990) w interwale głębokości 4166,2-4020,7 m powtórzenia tektoniczne następujących wydzieleni: anhidrytu górnego (A1g), dolomitu głównego (Ca2), anhidrytu podstawowego (A2) i prawdopodobnego dolomitu płytowego (Ca3). Z kolei E. Czajor w tejże dokumentacji interpretuje tektoniczne powtórzenia wydzielenia dolomitu głównego (Ca2) w interwałach głębokości: 4136,0-4166,2 m, 4025,5-4099,0 m i 3994,0-4021,0 m. Strefę uskokową wyinterpretowano (R. Wagnera w: Bednarek i in., 1989) też na gł. 2651,0 m w otworze Czachówek-1, pomiędzy utworami wydzieleni: anhidrytu górnego (A1g) w spągu a młodszą solą kamienną (Na2) w stropie. Uzasadnia ona brak w profilu tego otworu starszych wydzieleni litostratygraficznych cyklotemu PZ2 (T2, Ca2 i A2).

Należy podkreślić możliwość występowania granic erozyjnych pomiędzy niektórymi zarejestrowanymi na badanym obszarze wydzieleniami litostratygraficznymi cechsztynu, szczególnie tymi, które rozdzielają poszczególne sukcesje cyklotemowe np. granicę cyklotemów PZ2 i PZ3 wyznacza strop wydzielenia anhidrytu kryjącego (A2r) i spąg wydzielenia szarego iltu solnego (T3). Rzadko pozyskiwany materiał rdzeniowy i zwykle skąpy jego opis nie pozwala takich granic w profilu otworu wiertniczego precyzyjnie określić, można jedynie wnioskować o ich obecności w przypadku braku danego wydzielenia w normalnej sukcesji osadów w profilu lub braku całego cyklotemu. Może to być wynikiem postdepozycyjnego usunięcia złożonych osadów, brakiem ich depozycji na konkretnym obszarze bądź wpływem postdepozycyjnej tektoniki w basenie lubelskim.

W nazewnictwie i symbolice jednostek litostratygraficznych cechsztynu zastosowano odpowiednie oznaczenia i terminy, przyjęte w schemacie litostratygraficznym tego piętra dla obszaru Polski przez R. Wagnera (1994). Użyto jednak konsekwentnie pojęcia „wydzielenie” w sytuacji nieustalenia dotychczas formalnej rangi np. formacja, ogniwo czy warstwa tych jednostek.

Tabela 2. Cechy facji utworów ewaporatowych cechsztynu z obszaru rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia. Objasnienia: Wydzielenia litostratigraficzne cechsztynu jak w tab. 1, – dane środowisko zostało wskazane dla omawianego wydzielenia litostratigraficznego w wyniku interpretacji regionalnej (brak materiału rdzeniowego).

Table 2. Features of Zechstein evaporitic facies from the Mazovia-Lublin Graben area and its surroundings. Captions: Lithostratigraphic units as in tab. 1; (?) – depositional environment defined after regional trends (lack of core).

	ŚRODOWISKO DEPOZYCJI	DEPOSITIONAL ENVIRONMENT	LITOLOGIA i STRUKTURY LITHOLOGY & STRUCTURES	WYDZIELENIE LITOSTRATYGRAFICZNE LITHOSTRATIGRAPHIC UNIT	OTWÓR WIERTNICZY Z RDZENIEM BOREHOLE WITH CORE	
lądowo-morskie transitional = terrestrial to marine	brzegowe coastal	sebha	czteronawne i zielonkawe iltowce i mulowce, soczewy/właski wapienia i dolomitu, anhydryty drobnokrystaliczne, białe, szare, niebieskawe, różowe i zielonkawe, z wkładkami dolomitu, bezteksturalne i gruzłowe, w stropie czasem o charakterze zlepieńca	A1g, A2r	Annopol 254-1, Czachówek-1, Goździk-1, Kolbiel-1, Szweyki IG-3, Wilga IG-1	
	basen hypersalinarny siarczanowy sulphate evaporitic basin	paltforma siarczanowa sulphate platform	trzon i szczyt base & top	anhydryty droбно- i średniokrystaliczne, lokalnie grubokrystaliczne i "rozetkowe" (gwiżdżiste skupienia pseudomorfoz kryształów anhydrytu po gipsie), białe i szare, bezteksturalne i lokalnie smugowane iltem, ślady H ₂ S	A1d, A1g, A2, A2r, A3	Annopol 254-1, Czachówek-1, Ewelin-1, Garwolin-1, Katuszyn-1, Kolbiel-1, Maciejowice IG-1, Magnuszew IG-1, Nadarzyn IG-1, Okuniew IG-1, Polaki-1, Szweyki-1, Szweyki IG-3, Warka IG-1, Warszawa IG-1, Wilga IG-1, Żelechów-1
morskie marine	basen siarczanowy i siarczanowo-łlasty sulphate & sulphate-clay basin	laguna siarczanowa sulphate lagoon	skłon slope	anhydryty białe i szare, drobnokrystaliczne, miejscami grubokrystaliczne, bezteksturalne oraz laminowane i smugowane iltem i dolomitem, skupienia kryształów halitu i czasem pseudomorfozy po kryształach gipsu	A1d, A1g, A2r, A3	Amopol 254-1, Izdebnog IG-1, Łopacianka-1, Magnuszew IG-1, Nadarzyn IG-1, Okuniew IG-1, Warszawa IG-1
		basen siarczanowy i siarczanowo-łlasty sulphate & sulphate-clay basin		dolomity i wapienie białe i beżowe zse skupieniami anhydrytu i iltowca, w przypadku osadów basenu siarczanowo-łlastego większy jest udział wkładek łlastych	A2, A3 (?)	Kolbiel-1
		plyczna siarczanowa/ shoal		anhydryty drobnokrystaliczne, szare i niebieskawe, bezteksturalne oraz smugowane i laminowane iltem i węglanami (dolomitu), z wkładkami wapienia, dolomitu i iltu, lokalnie o charakterze zlepieńca	A1d	Izdebnog-1
	basen hypersalinarny chlorkowy chloride evaporitic basin	laguna chlorkowa chloride lagoon		sól kamienna szarozielona i różowawa, z anhydrytem i iltem	Na1, Na2	Potycz-1
		basen chlorkowy chloride basin		sól kamienna szara i biała, równo- i różnokryształiczna do różnokryształicznej, ze skupieniami anhydrytu, przeroczysta, miejscami dość rytmiczna laminacja równoległa laminami anhydrytu	Na1, Na2, Na3	Annopol 254-1, Kolbiel-1, Okuniew IG-1, Szweyki-1, Warszawa IG-1

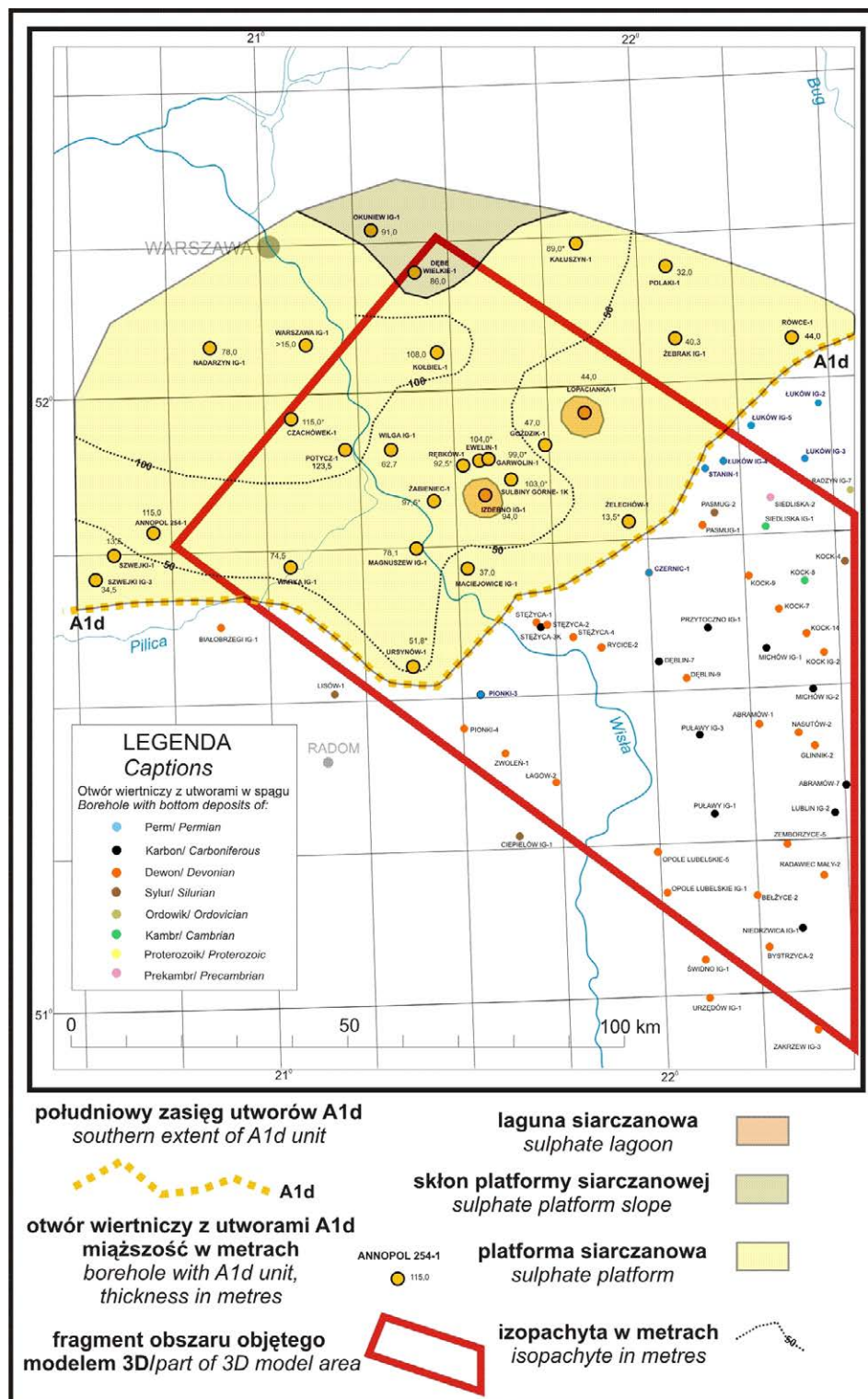
ROZWÓJ SEDYMENTACJI EWAPORATÓW CECHSZTYNU

Rozwój sedymentacji utworów ewaporatowych cechsztynu na obszarze objętym modelem omówiono w ujęciu litostratigraficznym, komentując rozprzestrzenienie i warunki depozycji kolejnych wydziałów litostratigraficznych, od najstarszych do najmłodszych. Należy tu podkreślić, że interpretowany zasięg występowania tych wydziałów nie ma cha-

rakteru pierwotnego i jest efektem oddziaływania procesów erozji oraz ew. lokalnych redukcji tektonicznych.

Utwory cyklotemu PZ1

Utwory tego cyklu mają największy spośród wszystkich cykli cechsztynu zasięg na obszarze objętym modelem, zajmując blisko 35% jego powierzchni (część północno-wschodnia). W ramach tego cyklotemu stwierdzono występowanie 6



Ryc. 2. Rozmieszczenie facji utworów wydziału anhydrytu dolnego (A1d) cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia.

Fig. 2. Facies distribution of Zechstein Lower Anhydrite (A1d) deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding.

wydziałen litostratygraficznych, w tym 3 wydziałen odnoszących się do ewaporatów: anhydryt dolny (A1d), najstarsza sól kamienna (Na1) i anhydryt górny (A1g).

Anhydryt dolny (A1d)

Utwory wydzielenia anhydrytu dolnego osiąają na terenie rowu mazursko-lubelskiego miąższość od 13,5 m do 115,0 m (Tab. 1, Ryc. 2).

Dalsze obniżanie poziomu morza po osadzeniu utworów wydzielenia wapienia cechsztyńskiego (Ca1) doprowadziło do stopniowego wzrostu stężenia pierwotnie normalnych wód morskich w płytkich partiach przybrzeżnych zbiornika cyklu PZ1 do stadium solanek siarczanowych i rozpoczęcia osadzania siarczanów (gipsu) początkowo na terenie wcześniejszej rampy węglanowej. Osady wydzielenia anhydrytu dolnego mają obecnie mniejszy zasięg od strony SE w stosunku do podścielających utworów wapienia cechsztyńskiego. Budują one rozległą platformę siarczanową, z facjami skłonu i szczytu oraz lokalnymi lagunami siarczanowymi na jej terenie (np. rejon otworów Rębków-1 i Izdebn IG-1 oraz Łopacianka-1), zajmującą niemal cały omawiany obszar modelu i jego bliskie otoczenie (Ryc. 2). Szybki przyrost osadów siarczanowych – dzięki aktywnej subsydencji podłoża basenu – następował zarówno w pionie jak poziomie, powodując ich stopniową progresję na dawne przedpole rampy węglanowej i obszar szelfu.

W szeregu profili otworów wiertniczych (Czachówek-1, Ewelin-1, Garwolin-1, Kałuszyn-1, Łopacianka-1, Rębków-1, Ursynów-1, Żabieniec-1 i Żelechów-1) nie było (brak lub fragmentaryczne rdzeniowanie) możliwości wyróżnienia 2 klasycznych wydzielen siarczanowych cyklotemu PZ1: anhydrytu dolnego i anhydrytu górnego i stwierdzone w nich osady siarczanowe tego cyklu określano jako anhydryt werry (A1). W przeprowadzonej analizie zdecydowano w takiej sytuacji zinterpretowane środowisko ich depozycji odnieść do obu wymienionych wydzielen.

Najstarsza sól kamienna (Na1)

Kolejny etap koncentracji wód morskich w zbiorniku cyklu PZ1 doprowadził do powstania solanek chlorkowych i zastąpienia osadzania siarczanów depozycją soli kamiennej na skrajnej, odmorskiej części platformy siarczanowej. Powstały wówczas chlorki wydzielenia najstarszej soli kamiennej, których występowanie jest zwężone do NW i N części omawianego obszaru (Ryc. 3). Ich miąższość zmienia się od 1,0 m do 218,0 m (Tab. 1). Subsydencja dna basenu sprzyjała akumulacji chlorków w obrębie basenu solnego, zróżnicowanego na strefy płytsze i głębsze. W odlądowych, najpłytszych partiach basenu (zapewne na terenie elewacji wcześniejszej platformy siarczanowej) utworzyły się osady lagun solnych (rejon otworów Szwejki IG-3, Potycz-1 i Polaki-1). Fluktuacje zasolenia w basenie chlorkowym skutkowały lokalnie (np. otwór Annapol 254-1) osadzeniem cienkich przewarstwień siarczanów

(tzw. anhydryt śródsolny; A1s) wśród soli kamiennej. Brak omawianego wydzielenia chlorkowego w profilu otworu Czachówek-1 jest zapewne spowodowany dyslokacją tektoniczną (luka tektoniczna). Niewykluczone, że rozwój głębszej facji basenowej w NE i NW części omawianego obszaru (Ryc. 3) był skutkiem obniżenia dna zbiornika wzdłuż obramowujących strukturę RM-L uskoków Kocka i Kazimierza-Ursynowa oraz poprzecznego uskoku Grójca (Ryc. 1B).

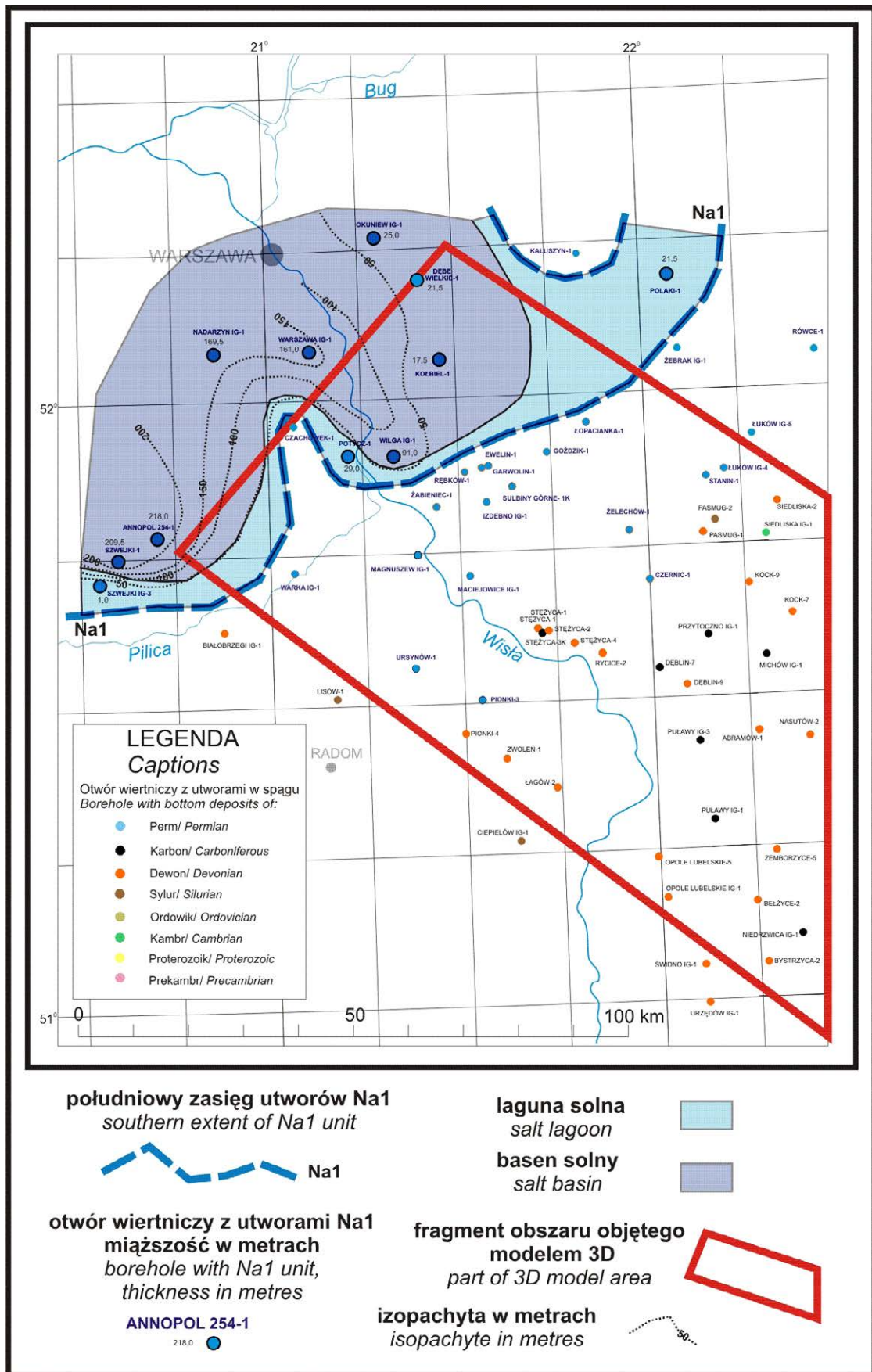
Anhydryt górny (A1g)

Osady siarczanowe tego wydzielenia, o miąższości od 2,0 m do 30,5 m (Tab. 1), rejestrują kolejną fluktuację zasięgu morza cyklu PZ1, związaną z waniem się świeżych wód morskich z Oceanu Pangei do epikontynentalnego basenu permskiego (Peryt, Wagner, 1998; Peryt i in., 1996; Wagner, Peryt, 1998). Efektem tego zalewu było rozcieńczenie solanek chlorkowych, dominujących wcześniej w zbiorniku, zapewne częściowe rozpuszczenie zakumulowanych osadów solnych (szczególnie na brzegach basenu) i wytrącenie z szybko nasycających się roztworów pierwszego minerału ewaporatowego – gipsu. Na blisko połowie (SW część) omawianego obszaru modelu rozwinęły się osady platformy siarczanowej, na której lokalnie (rejon otworów Magnuszew IG-1 i Okuniew IG-1) powstały niewielkie laguny siarczanowe (Ryc. 4). Północną część dawnej platformy siarczanowej wydzielenia anhydrytu dolnego zajęły mieszane, silikoklastyczno-węglanowo-ewaporatowe osady sebhyy. Podobne osady stwierdzono w SW otoczeniu obszaru (otwór Szwejki IG-3). Obecny zasięg utworów omawianego wydzielenia jest mniejszy w części NEE obszaru niż osadów wcześniejszych – ich brak w rejonie otworów Łopacianka-1, Stanin-1, Łuków IG-1 do IG-5 jest zapewne spowodowany nie ich erozją ale brakiem depozycji.

Przestrzenne rozmieszczenie głównych typów litologiczno-facialnych utworów cyklotemu PZ1 na omawianym obszarze RM-L, z wyróżnieniem osadów ewaporatowych, ukazuje zestawienie szeregu przekrojów geologicznych, wygenerowanych z opracowanego modelu 3D (Ryc. 5). Ukazany tu zasięg niektórych utworów może się nieco różnić od przedstawionego na wcześniejszych rycinach, gdyż jest produktem opracowanego algorytmu a nie koncepcji autorskiej.

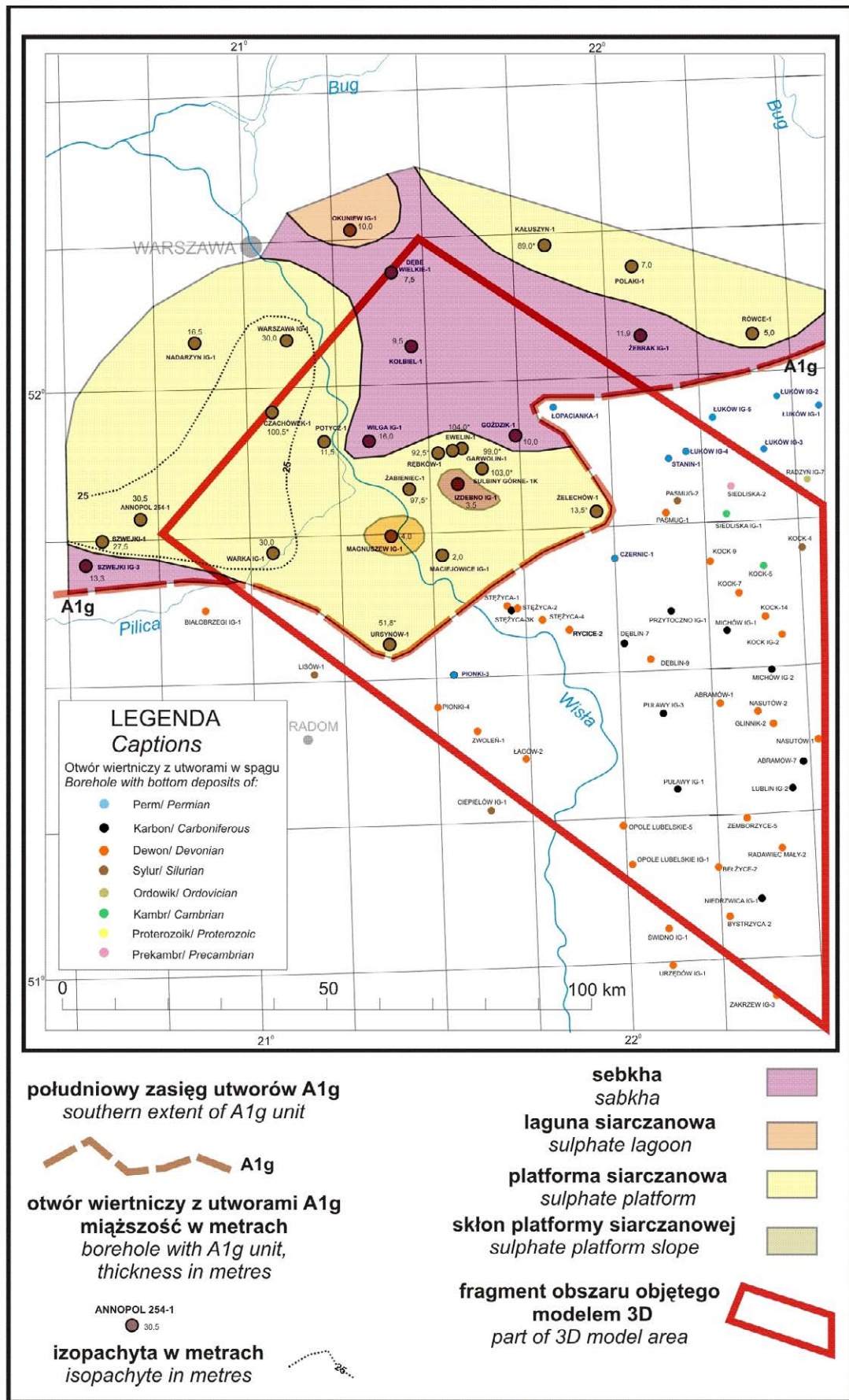
Utwory cyklotemu PZ2

Utwory tego cyklotemu mają zbliżony do wcześniejszego zasięg jedynie w przypadku osadów węglanowych, zasięg pozostałych wydzielen litostratygraficznych jest znacząco mniejszy. W obrębie cyklotemu wyróżniono 5 wydzielen litostratygraficznych, z których 3 reprezentują utwory ewaporatowe: 2 wydzielenia siarczanowe to anhydryt podstawowy (A2) i anhydryt kryjący (A2r), przedzielone chlorkowym wydzieleniem starszej soli kamiennej (Na2).



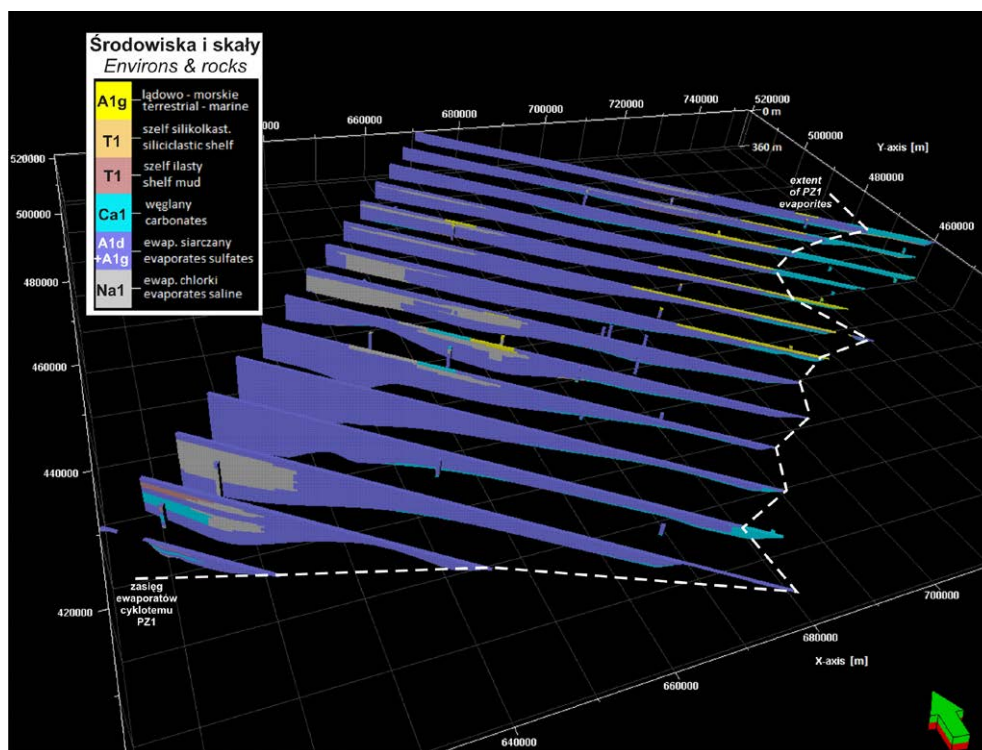
Ryc. 3. Rozmieszczenie facji utworów wydzielenia najstarszej soli kamiennej (Na1) cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia.

Fig. 3. Facies distribution of Zechstein Oldest Halite (Na1) deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding.



Ryc. 4. Rozmieszczenie facji utworów wydzielania anhydrytu górnego (A1g) cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia.

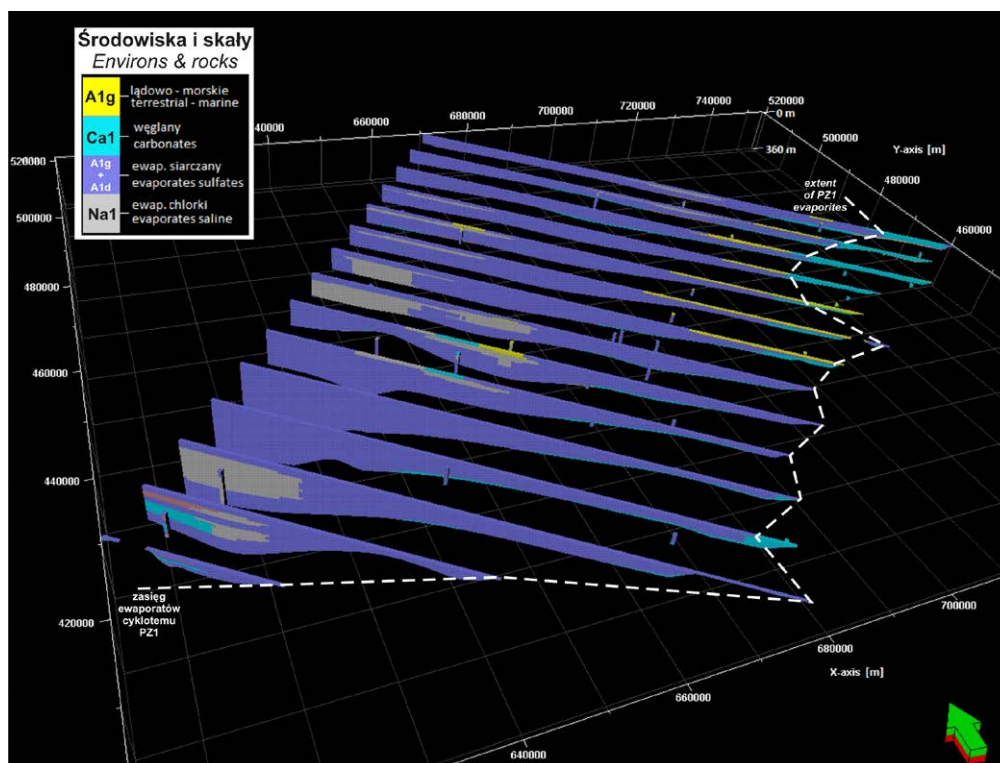
Fig. 4. Facies distribution of Zechstein Upper Anhydrite (A1g) deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding.



Ryc. 5. Rozmieszczenie utworów cyklotemu PZ1 cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia w zestawie przekrojów geologicznych uzyskanych z modelu 3D (lokalizacja linii przekrojów na ryc. 1).

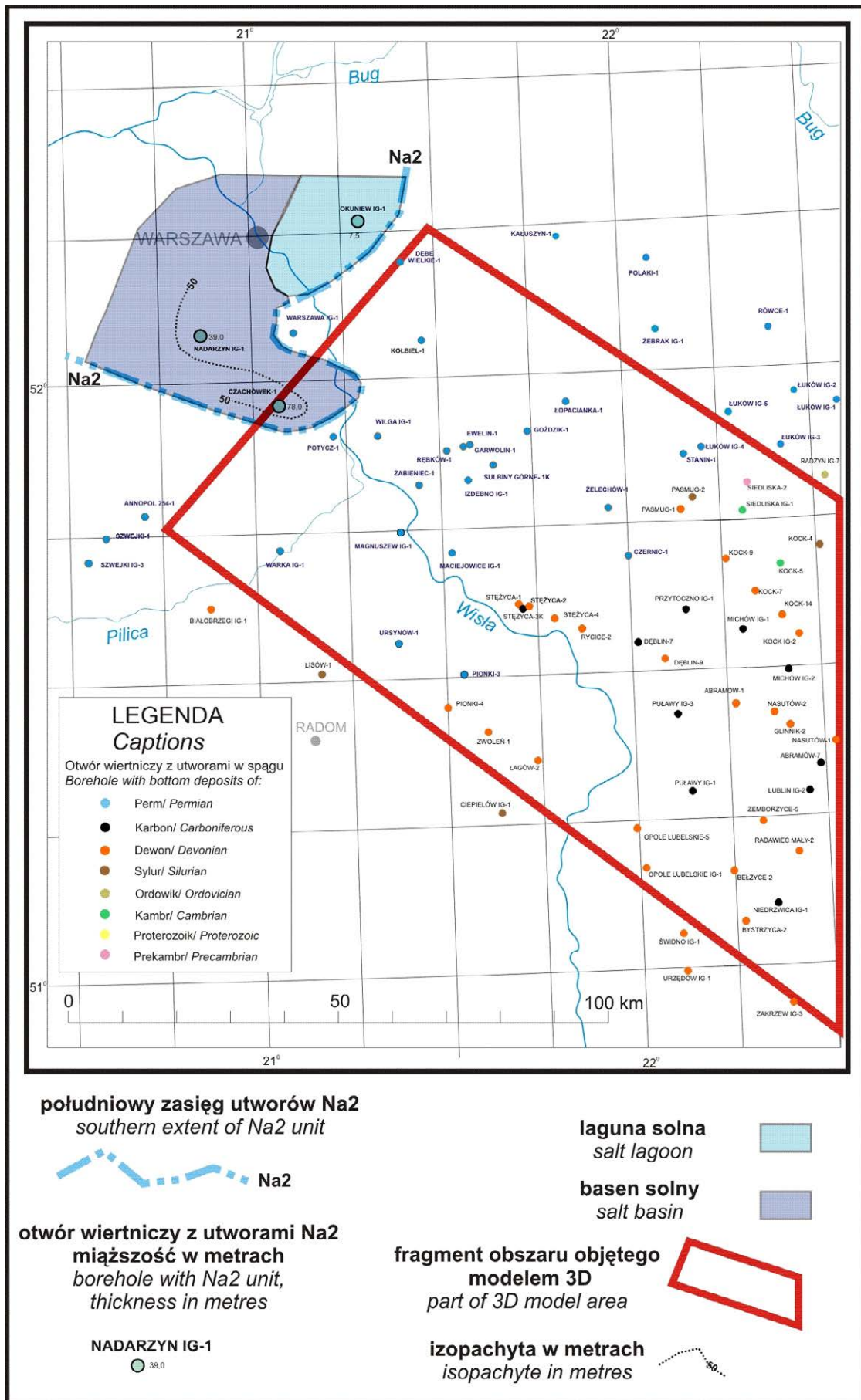
Objaśnienia: Wydzielenia litostratigraficzne jak w tab. 1; Ca1 – wapień cechsztynski, miedzionośny; zielona strzałka – kierunek północy.

Fig. 5. Distribution of Zechstein PZ1 cyclothem deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding imaged by a set of geological sections generated from 3D model (sections location on Fig. 1). Captions: Lithostratigraphic units as in tab. 1; Ca1 – Zechstein Limestone, green arrow – the North direction.



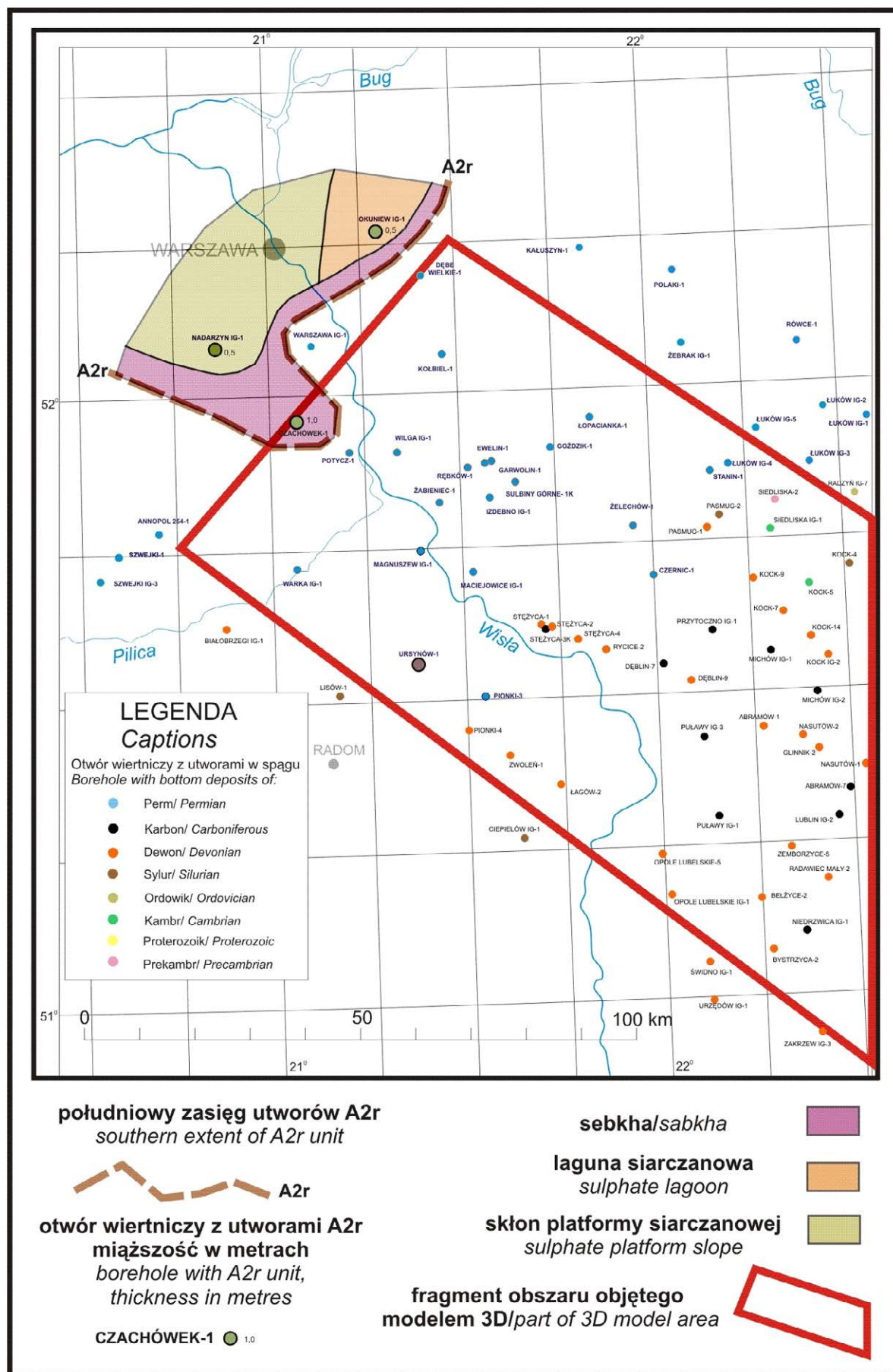
Ryc. 6. Rozmieszczenie facji utworów wydzielenia anhydrytu podstawowego (A2) cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia.

Fig. 6. Facies distribution of Zechstein Basal Anhydrite (A2) deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding.



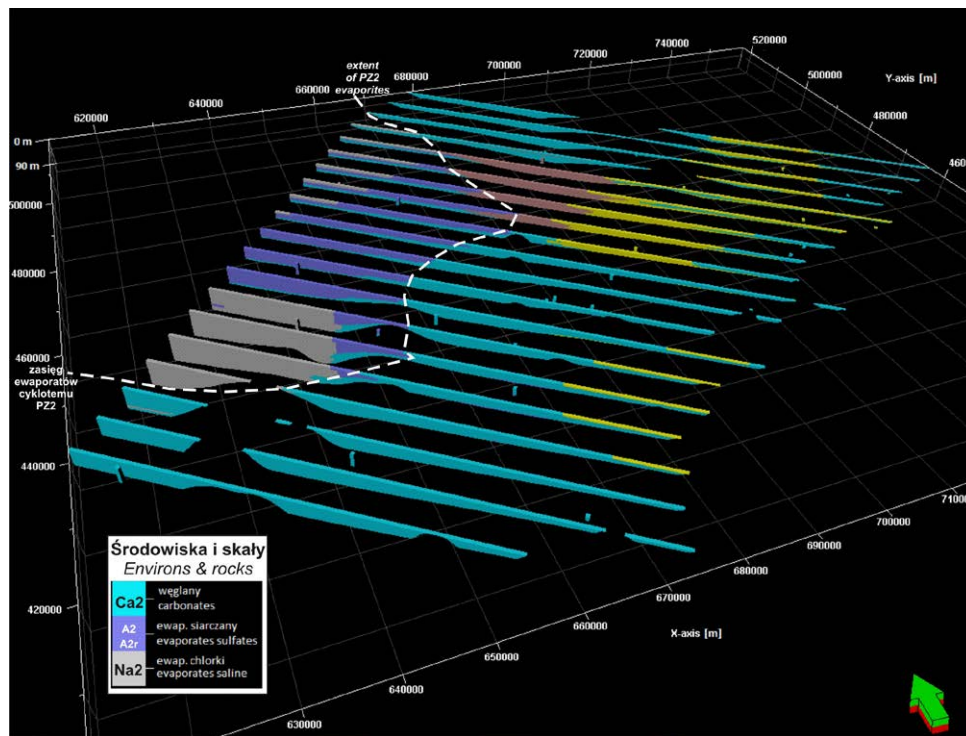
Ryc. 7. Rozmieszczenie facji utworów wydzielania starszej soli kamiennej (Na2) cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia.

Fig. 7. Facies distribution of Zechstein Older Halite (Na2) deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding.



Ryc. 8. Rozmieszczenie facji utworów wydzielania anhydrytu kryjącego (A2r) cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia.

Fig. 8. Facies distribution of Zechstein Screening Anhydrite (A2r) deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding.



Ryc. 9. Rozmieszczenie utworów cyklotemu PZ2 cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia w zestawie przekrojów geologicznych uzyskanych z modelu 3D (lokalizacja linii przekrojów na ryc. 1).

Objaśnienia: Wydzielenia litostratigraficzne jak w tab. 1; Ca2 – dolomit główny, zielona strzałka – kierunek północy.

Fig. 9. Distribution of Zechstein PZ2 cyclothem deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding imaged by a set of geological sections generated from 3D model (sections location on Fig. 1)

Captions: Lithostratigraphic units as in tab. 1; Ca2 – Main Dolomite, green arrow – the North direction.

Anhydryt podstawowy (A2)

Utwory tego wydzielenia, odpowiadające pierwszej fazie rozwoju zbiornika ewaporatowego cyklu PZ2, mają obecnie bardzo niewielki zasięg, ograniczony do NW części omawianego obszaru i jego otoczenia (Ryc. 6), zaś ich miąższość zmienia się od 1,5 m do 35,7 m (Tab. 1). Powstały one w obrębie platformy siarczanowej, z facjami skłonu i trzonu oraz lokalnie formującymi się osadami laguny siarczanowej (otwór Warszawa IG-1) i płycizny siarczanowej (otwór Anopol 254-1). Rozwój głębszych facji siarczanowych na NW od struktury RM-L jest zapewne związany z obniżeniem dna zbiornika wzdłuż uskoku Grójca (Ryc. 1B), zaś obniżenie wzdłuż uskoku Kocka umożliwiło lokalnie akumulację osadów basenowych na NW skraju rowu mazursko-lubelskiego (otwór Kołbiel-1). Z kolei lokalny brak osadów anhydrytu podstawowego (otwór Czachówek-1) jest spowodowany późniejszą tektoniką (luka tektoniczna).

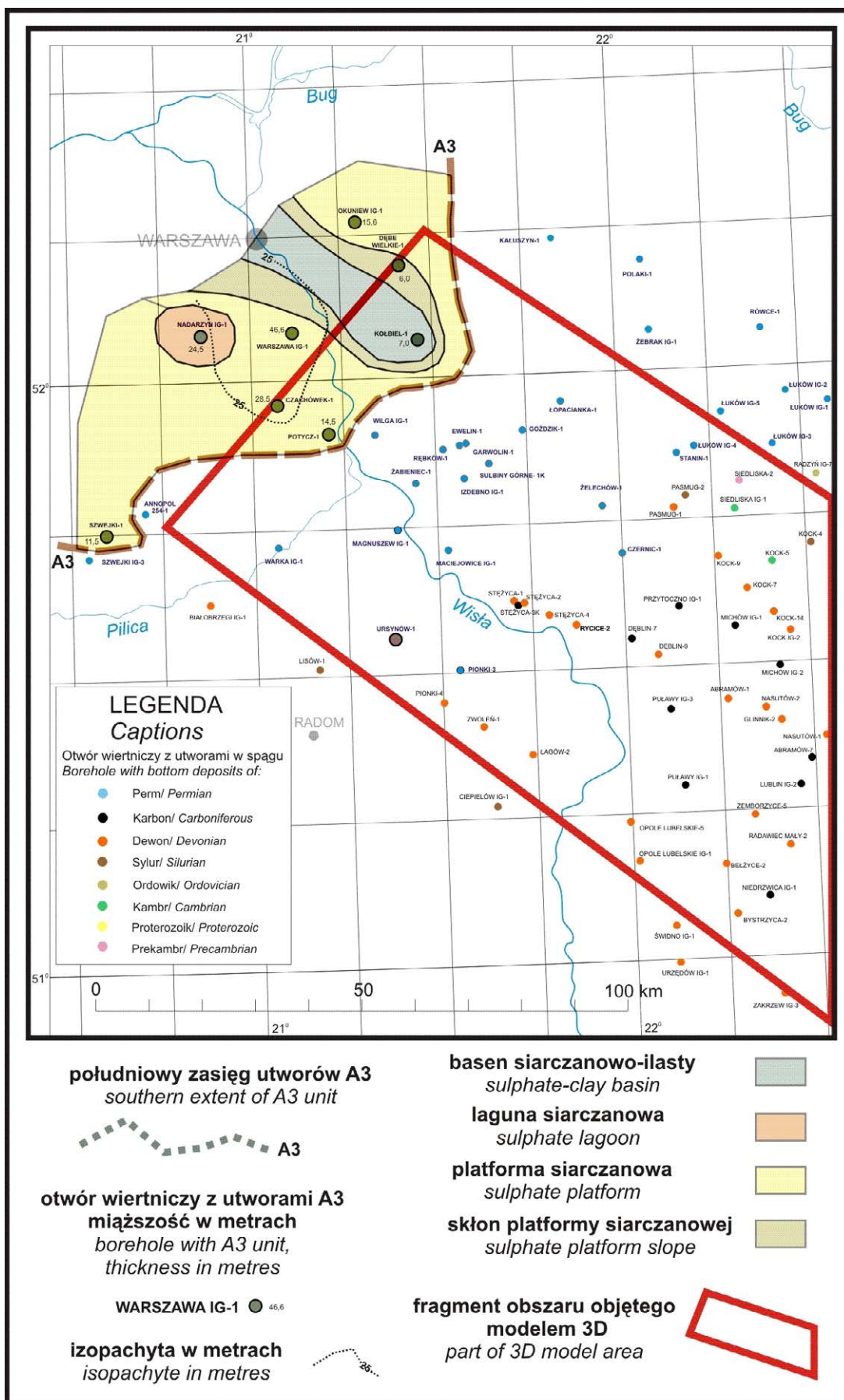
Starsza sól kamienna (Na2)

Faza chlorkowa zbiornika ewaporatowego cyklu PZ2 pozostawiła utwory solne na jeszcze mniejszym obszarze rowu mazursko-lubelskiego w porównaniu z etapem siarczanowym. Odnotowano je jedynie w 3 otworach: w 1 otworze na obszarze modelowym (Czachówek-1) oraz 2 otworach w jego NE otoczeniu (Nadarzyn IG-1 i Okuniew IG-1), zaś ich miąż-

szość waha się od 7,5 m do 78,0 m (Tab. 1). Osady te powstały w obrębie lagun solnych w części odlądowej hypersalinarnego zbiornika chlorkowego (otwór Okuniew-1), zaś dalej ku zachodowi – w otwartym basenie chlorkowym (Ryc. 7). Wkroczenie na teren NW części rowu facji basenowej można wiązać z jej obniżeniem wzdłuż uskoku Kazimierz-Ursynów (Ryc. 1B).

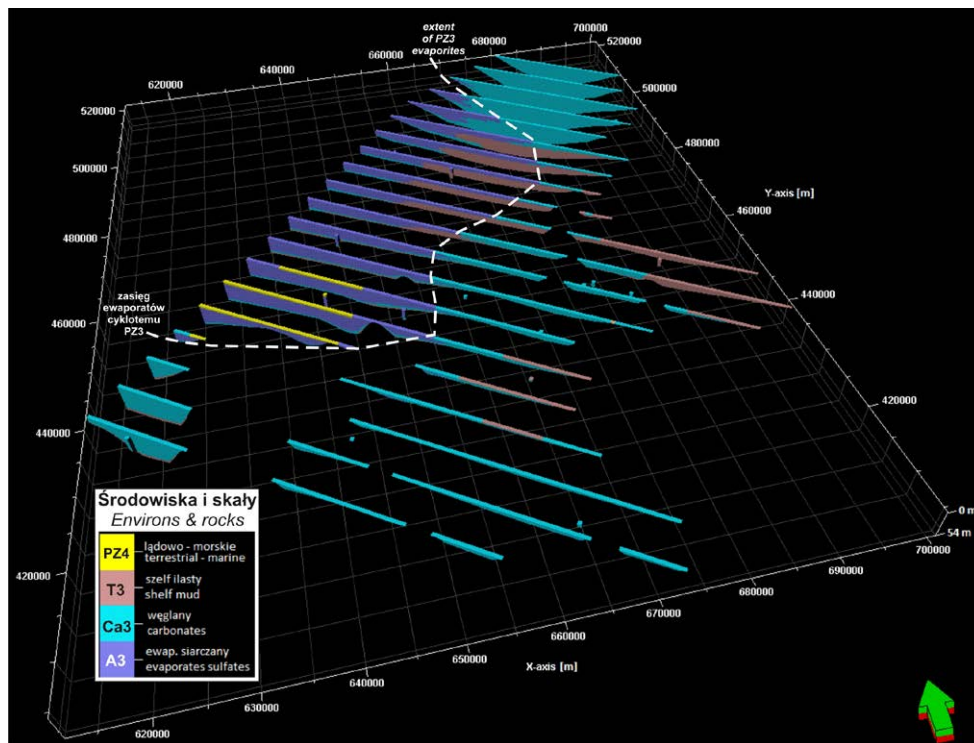
Anhydryt kryjący (A2r)

Osady siarczanowe tego wydzielenia, podobnie jak w przypadku cyklotemu PZ1, rejestrują fluktuację zasięgu morza cyklu PZ2. Efektem rozcieńczenia solanek chlorkowych, dominujących wcześniej w zbiorniku, przez morskie wody nowego zalewu było zapewne częściowe rozpuszczenie zakumulowanych osadów solnych (szczególnie na brzegach basenu) i wytrącenie gipsu z szybko nasycających się roztworów. Zasięg powstałych osadów siarczanowych jest bardzo niewielki (Ryc. 8), ogranicza się do NW skraju omawianego obszaru modelu (otwór Czachówek-1) i jego otoczenia (otwory Nadarzyn IG-1 i Okuniew IG-1), zaś ich miąższość to 0,5-1,0 m (Tab. 1). Od strony lądu osady te powstały w środowisku sebhya (otwór Czachówek-1) i laguny siarczanowej (otwór Okuniew IG-1), zaś ku zachodowi przechodzą w osady skłonu platformy siarczanowej (otwór Nadarzyn IG-1).



Ryc. 10. Rozmieszczenie facji utworów wydzielania anhydrytu głównego (A3) cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia.

Fig. 10. Facies distribution of Zechstein Main Anhydrite (A3) deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding.



Ryc. 11. Rozmieszczenie utworów cyklotemu PZ3 cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego i jego otoczenia w zestawie przekrojów geologicznych uzyskanych z modelu 3D (lokalizacja linii przekrojów na ryc. 1).

Objaśnienia: Wydzielenia litostratigraficzne jak w tab. 1; Ca3 – dolomit płytowy, T3 – szary il solny, PZ4 – osady cyklotemu PZ4; zielona strzałka – kierunek północy.

Fig. 11. Distribution of Zechstein PZ3 cyclothem deposits in the area of Mazovia-Lublin Graben and its surrounding imaged by a set of geological sections generated from 3D model (sections location on Fig. 1).

Captions: Lithostratigraphic units as in tab. 1; Ca3 – Platy Dolomite, T3 – Grey Pelite, PZ4 – deposits of PZ4 cyclothem, green arrow – the North direction.

Podobnie jak dla cyklotemu PZ1 zestawienie szeregu przekrojów geologicznych, wygenerowanych z opracowanego modelu 3D basenu lubelskiego ukazuje przestrzenne rozmieszczenie głównych typów litologicznych utworów cyklotemu PZ2, z zaakcentowaniem istotnego udziału osadów ewaporatowych (Ryc. 9).

Utwory cyklotemu PZ3

Utwory tego cyklotemu mają nieco zbliżony do cyklotemu PZ2 zasięgi stwierdzonych tu 3 wydzieleni litostratigraficznych, z których tylko jedno – anhydryt główny (A3) – reprezentuje ewaporaty typu siarczanowego. Nie stwierdzono tu występowania osadów chlorkowych jak również młodszych ewaporatów kolejnego cyklotemu, znanych z obszaru Niżu Polskiego (por. Wagner, 1994).

Anhydryt główny (A3)

Utwory tego wydzielenia, odpowiadające fazie siarczanowej rozwoju zbiornika ewaporatowego cyklu PZ3, mają obecnie bardzo niewielki zasięg, ograniczony do NW części omawianego obszaru i jego otoczenia (Ryc. 10). Ich miąższość waha się od 6,0 m do 46,6 m (Tab. 1). Powstały one w obrębie platformy siarczanowej, z facjami skłonu i trzonu

oraz lokalnie formującymi się osadami laguny siarczanowej (otwór Nadarzyn IG-1). Śladem wcześniejszego otwartego basenu siarczanowego (z niewielką dostawą materiału ilastego), szybko zajętego przez narastające osady platformy jest profil otworu Kołbiel-1. Rozkład facji tego wydzielenia jest podobny jak w przypadku osadów anhydrytu podstawowego wcześniejszego cyklotemu PZ2. Omawiane utwory siarczanowe są zarazem ostatnim dotychczas stwierdzonym osadem morskim cechsztynu w basenie lubelskim.

Podobnie jak dla wcześniejszych cyklotemów zestawienie szeregu przekrojów geologicznych, wygenerowanych z opracowanego modelu 3D, ukazuje przestrzenne rozmieszczenie głównych typów litologiczno-facjalnych utworów cyklotemu PZ3, z zaakcentowaniem istotnego udziału osadów siarczanowych (Ryc. 11).

PODSUMOWANIE

Przedstawiona analiza dostępnych materiałów dokumentacyjnych otworów wiertniczych, rejestrujących występowanie utworów ewaporatowych cechsztynu na obszarze rowu mazowiecko-lubelskiego, ukazuje trendy ewolucji środowisk depozycji tych osadów w kolejnych cyklach sedymentacyjnych tego piętra. Ta część basenu cechsztyńskiego w Polsce

tworzy tzw. zatokę podlaską, wciśniętą pomiędzy lądem mazurskim na północy i lądem radomsko-lubelskim na południu i przechodzącą ku zachodowi w otwarty zbiornik morski (Wagner, 1994). Obszar, dla którego opracowano model 3D budowy geologicznej, obejmuje centrum i SE skraj zatoki (tzw. taras podlaski – *op. cit.*) oraz przyległą NW część lądu radomsko-lubelskiego. Na tym zróżnicowanym morfologicznie obszarze osadziły się w cyklach PZ1 i PZ2 cechsztynu siarczany i chlorki, natomiast w cyklu PZ3 jedynie siarczany. Osady te powstały w różnych środowiskach: od basenowego po platformowe skraju basenu i brzegowe (sebkha).

Podczas osadzania ewaporatów cyklu PZ1 cechsztynu siarczany inicjujące depozycję ewaporatów (anhydryt dolny) uformowały na analizowanym obszarze rozległą platformę z izolowanymi lagunami siarczanowymi na jej szczycie i skłonem nachylonym ku północy. Wzrost subsydencji dna spowodował następnie rozwój na terenie platformy osadów basenu chlorkowego (najstarsza sól kamienna), od strony lądowej obramowanych pasem lagun solnych. Ponowny zalew morski u schyłku cyklu PZ1 przyniósł częściowe zniszczenie zakumulowanych ewaporatów, szybkie nasycenie świeżych wód powstałymi ługami i zainicjował nowy cykl ewaporacyjny, skutkujący osadzeniem siarczanów wydzielenia anhydrytu górnego. Osady te powstały w dużym stopniu w częściowo subaeralnym środowisku sebkhy, rozwiniętej w najpłytszych partiach platformy siarczanowej.

W cyklu PZ2 cechsztynu ten schemat rozmieszczenia środowisk depozycji siarczanów i chlorków się powtarza, zmniejsza się głównie zasięg tych utworów, związany z generalną tendencją stopniowego wycofywania się kolejnych zalewów morza cechsztyńskiego z obszaru zatoki podlaskiej (por. Wagner, 1994) oraz zmienia się konfiguracja wspomnianych wcześniej środowisk depozycji. Szczególnie podczas osadzania przykrywających chlorki siarczanów (anhydryt kryjący) szerokim pasem rozwinęły się od strony lądu na osady sebkhy i lokalnie laguny siarczanowej, zaś platforma siarczanowa reprezentowana jest przez facje jej skłonu.

Obraz środowisk depozycji ewaporatów cyklu PZ3 (anhydryt główny) jest bardzo zbliżony do ich rozmieszczenia podczas akumulacji pierwszych siarczanów cyklu PZ2 (anhydryt podstawowy), co może sugerować istnienie wówczas na linii Warszawa – otwór Kołbiel-1 jakiegoś systemu przegłębień, związanych z mobilnością dna basenu i skutkujących rozwojem bardziej głębokowodnych osadów.

Aktywność tektoniczna uskoków obramowujących rów mazowiecko-lubelski: Grójca, Kocka i Kazimierza-Ursynowa zapewne wpływała na zróżnicowanie facjalne niektórych wydzieleni ewaporatowych cechsztynu. Obniżone NW skrzydło uskoku Grójca, który w cechsztynie wyznacza umowną SE granicę wspomnianej zatoki podlaskiej, sprzyjało generalnie rozwojowi na NW od tej dyslokacji bardziej głębokowodnych facji (np. utwory wydzieleni Na1, A2, Na2 czy A2r).

Z kolei mobilność uskoków Kocka i Kazimierza-Ursynowa, obniżająca dno zbiorników ewaporacyjnych, umożliwiła w przypadku utworów wydzieleni Na1, A2, Na2 i A3 wniknięcie podobnych facji od NW w obręb rowu mazowiecko-lubelskiego.

Wyjątkowy skąpy materiał rdzeniowy z utworów ewaporatowych cechsztynu w rowie mazowiecko-lubelskim utrudnia bardziej precyzyjne ich zróżnicowanie facjalne i określenie zasięgu poszczególnych środowisk depozycji. Dlatego przedstawiony obraz ich ewolucji, będący autorską interpretacją, jest przybliżony i jego celem jest jedynie ukazanie ogólnych tendencji rozwoju sedimentacji tych utworów. Nowe dane wiertnicze, a szczególnie pozyskany rdzeń, mogą ten obraz uściślić bądź diametralnie zmienić.

Podziękowanie: Autorzy dziękują Recenzentom: prof. dr hab. Ryszardowi Wagnerowi i dr hab. Pawłowi Henrykowi Karnkowskiemu, prof. nadzw. UW za cenne uwagi i sugestie, pomocne w podniesieniu wartości merytorycznej pracy.

SUMMARY

The Upper Permian (Zechstein) deposits were registered in 37 wells, located in the NW part of Mazovia-Lublin Graben area (Fig. 1) for which the 3D model of geological structure was created in 2012-2016. Evaporites (sulphates and halites) of PZ1, PZ2 and PZ3 cyclothemes became the most thick component of whole Zechstein succession. Available geological data from these boreholes (well logs and descriptions of cores and crushed rock samples) enabled to precise the occurrence parameters (depth and thickness – Tab. 1) and the supposed extent of studied evaporites (Figs 2-11) as well as to define 8 facies types (Tab. 2), represented various evaporitic depositional settings; from marine (sulphate platform, shoal, lagoon and basin, chloride lagoon and basin) to coastal continental-marine (sabkha) ones. Several maps, illustrating facies distribution of each evaporitic lithostratigraphic unit (Figs 2-4, 6-8 and 10), supported with 3D images of main lithological-facies components of mentioned cyclothemes (Figs 5, 9 and 11) allowed to comment the environmental changes in the Mazovia-Lublin Graben area during evaporitic periods of studied cyclotheme successions. The tectonic control of basement faults, framed the graben structure, on evaporitic facies distribution within was accentuated.

LITERATURA / REFERENCES

- AREŃ B. (red.), 1975. OKUNIEW IG 1. *Profile głębokich otworów wiertniczych*, 29:1-35. Wyd. Geol., Warszawa.
- BEDNAREK D., NOCOŃ W., HELCEL-WEIL M., 1989. Dokumentacja wynikowa otworu poszukiwawczego Czachówek-1. NAG PIG-PIB [132392], Warszawa.
- CHEŁMIŃSKI J., CZURYŁOWICZ K., NOWACKI Ł., TOMASZCZYK M., 2014. Model geologiczny jako kompleksowe opracowanie kartograficzne na przykładzie cyfrowego modelu

- geologicznego pokrywy osadowej Basenu Lubelskiego. XIX Międzynarodowe Sympozjum Solne QUO VADIS SAL nt. Współczesne Problemy Górnictwa Solnego, Wągrowiec, 6-11 października 2014: 95-96.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J. (red.), 1998. Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce, skala 1:2 500 000. Warszawa.
- DEMBOWSKA J., MAREK S. (red), 1988. MSZCZONÓW IG 1, MSZCZONÓW IG 2, NADARZYN IG 1. *Profile głębokich otworów wiertniczych*, 65:1-412. Wyd. Geol., Warszawa.
- DEPOWSKI S. (red.). 1978. Atlas litofacjalno-paleogeograficzny permu obszarów platformowych Polski. Inst. Geol., Warszawa.
- KRASSOWSKA A., (red.), 1973. MAGNUSZEW IG 1. *Profile głębokich otworów wiertniczych*, 4:1-350. Wyd. Geol., Warszawa.
- KRZYWIEC P., 2007. Nowe spojrzenie na tektonikę regionu lubelskiego (SE Polska) oparte na wynikach interpretacji danych sejsmicznych. *Biuletyn PIG*, 422: 1-18.
- LENDZION K. (red.), 1975. ŻEBRAK IG 1. *Profile głębokich otworów wiertniczych*, 28:1-269. Wyd. Geol., Warszawa.
- NARKIEWICZ M., JAROSIŃSKI M., KRZYWIC P., WAKSMUNDZKA M., 2007. Regionalne uwarunkowania rozwoju i inwersji basenu lubelskiego w dewonie i karbonie. *Biuletyn PIG*, 422: 19-34.
- PERYT T. M., KASPRZYK A., ANTONOWICZ L., 1996. Upper Werra Anhydrite (Zechstein, Upper Permian) in Poland. *Bull of Pol. Academy of Sciences, Earth Sciences*, 44 (3): 121-129.
- PERYT T. M., WAGNER R., 1998. Zechstein evaporite deposition in the Central European Basin: cycles and stratigraphic sequences. *Journal of Seismic Exploration*, 7: 201-218.
- SŁOWAKIEWICZ M., MIKOŁAJEWSKI Z., 2011. Upper Permian Main Dolomite microbial carbonates as potential source rocks for hydrocarbons (W Poland). *Marine and Petroleum Geology*, 28, 1572-1591.
- WAGNER R., 1994. Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Prace PIG*, 146, 1-71. Warszawa.
- WAGNER R., 2012. Mapa paleogeograficzna dolomitu głównego (Ca2) w Polsce. PIG-PIB.
- WAGNER R., PERYT T. M., 1998. O możliwościach podziału cechsztynu w sekwencje stratygraficzne w basenie polskim. *Prace PIG*, CLXV: 129-146.
- ŻELAŻNIEWICZ A., ALEKSANDROWSKI P., BUŁA Zb., KARNKOWSKI P. H., KONON A., OSZCZYPKO N., ŚLĄCZKA A., ŻABA J., ŻYTKO K., 2011. Regionalizacja tektoniczna Polski. 1-60. Komitet Nauk Geologicznych PAN, Wrocław.
- ŻELICHOWSKI A., 1990. Dokumentacja wynikowa otworu badawczego Szwejki IG-3. NAG PIG-PIB [132550], Warszawa.
- ŻELICHOWSKI A., KOZŁOWSKI S. (red), 1983. Atlas geologiczno-surowcowy obszaru lubelskiego. International Geological Correlation Programme. Instytut Geologiczny, Wyd. Geologiczne, Warszawa.