



Baseny ewaporatowe cykli PZ1, PZ2 i PZ3 cechsztynu (górnym perm) w Polsce – studium miąższościowe

Evaporate basins of Z1 to Z3 cycles of Polish Zechstein (Upper Permian) – A thickness study

Grzegorz CZAPOWSKI¹, Maciej TOMASZCZYK²

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

² Polskie Górnictwo Naftowe i Gazownictwo SA, Centrala Spółki, ul. M. Kasprzaka 25, 01-224 Warszawa; maciej.tomaszczyk@pgnig.pl

STRESZCZENIE

Ewaporaty (utwory chlorkowe i siarczanowe) cyklotemów PZ1, PZ2 i PZ3 cechsztynu budują blisko 72% całej sukcesji późnego permu na terenie Polski. W każdym cyklotemie sole kamienne, potasowe i lokalnie zubry są podścielone i przykryte ogniwami siarczanowymi (Tab. 1). W oparciu o dane z ponad 800 otworów wiertniczych, rozmieszczonych w 6 obszarach na obrzeżu późnopermskiego basenu w Polsce (Ryc. 1) przebadano relacje aktualnych miąższości utworów chlorkowych do podścielających i przykrywających je serii siarczanowych (Tab. 2). Relacje te zinterpretowano w kontekście warunków depozycji ewaporatów, przedstawiono 3 typy ewaporatowego basenu depozycyjnego: typ „wypełnieniowy”, typ „subszydujący” i typ „niestabilny” (Ryc. 2-4), w których rozwoju kluczową rolę odgrywają trzy czynniki: pierwotna batymetria, tempo subsydencji oraz możliwy wpływ tektoniki syn- i post-sedymentacyjnej. W cyklu PZ1 (Ryc. 6) w północnej Polsce akumulacja chlorków (Na) i podścielających siarczanów (Ad) nastąpiła w stosunkowo głębokich zbiornikach o braku lub słabej subsydencji (typ „wypełnieniowy”), podobny typ depozycji przeważał na położonych ku wschodowi brzegach zbiornika cyklu PZ3 (Ryc. 9). Z kolei we wschodniej części zbiornika cyklu PZ2 taka sukcesja powstała w basenie typu „subszydującego” (Ryc. 7). Na pozostałych obszarach obrzeża zbiornika cechsztyńskiego sukcesja Ad+Na uformowała się w basenach o zmiennym tempie subsydencji (typ „niestabilny”; Ryc. 5, 7, 9), w podobnych warunkach nastąpiło osadzenie siarczanów przykrywających chlorki (Ag) w obu cyklach PZ1 i PZ2 (ryc.

6 i 8). W tym typie basenu na stosunki miąższościowe siarczanów i chlorków istotny wpływ miała zmienna subsydencja dna zbiornika, erozja osadów oraz tektonika.

Ustalenie powyższych relacji, mimo ograniczeń wynikających z różnej ilości informacji, może być przydatne np. przy prognozowaniu przypuszczalnej miąższości poszczególnych wydzieleni ewaporatowych w wybranym rejonie dla przyszłego zagospodarowania (np. kawerny magazynowe czy składowiskowe). Optymalnymi dla tych celów są pokładowe sukcesje ewaporatów, powstałe w basenach typu „wypełnieniowego” i „subszydującego”.

Słowa kluczowe: cechsztyń (późny perm), Polska, ewaporatowe baseny depozycyjne, relacje miąższości, interpretacja.

ABSTRACT

Evaporites (chlorides and sulphates) of three cycles (PZ1, PZ2 & PZ3) constituted up to 72% of whole the Late Permian (Zechstein) succession in Poland (Czapowski, 2007). In each cyclothem the rock, potash and locally clayey salts are underlain and overlain by sulphates (tab. 1). Relations (tab. 2) of actual thickness of mentioned evaporite units (data from over 800 wells, localized in 6 areas) were analyzed on the margin of Zechstein basin (to minimize halotectonic overprint – Fig. 1) to define a role of sedimentary conditions (3 the evaporite basin types, controlled by primary bathymetry and subsidence rate, were defined: infill, subsiding and fluctuating types – Figs 2-4) and tectonics.

Accumulation chlorides (Na) and subsalt sulphates (Ad) in the relatively of deep but tectonically stable (lack or weak subsidence) basins („infill” basin type) took place during PZ1 cycle in northern Poland (Fig. 6) as well as on the more eastern basin margins of Z3 cycle (fig. 9). Such succession developed in the “subsiding” basin type, located on the eastern margin of Z2 cycle basin (Fig. 7). In other areas of the basin margins of Z1 to Z3 cycles the mentioned above Ad+Na evaporite complex as well as all occurrences of suprasalt sulphates (Ag; Z1 and Z2 cycles) have formed in the basins of “fluctuating” type (Figs 5-9), with variable bathymetry and subsidence rate (tectonic activity) and possible thickness modifications by erosion and later tectonics.

Nevertheless the of different data quality (various number of wells) such calculations could help in management projects of Zechstein salts (for storage or disposal caverns construction) e.g. in prediction of evaporite units thickness in a selected area (the optimum stratiform evaporite successions have developed in the basins of “infill” and “subsiding” type).

Key words: Zechstein (Late Permian), Poland, evaporite depositional basins, thickness relation, interpretation.

WSTĘP

Najbardziej miąższym elementem sukcesji cyklotemowych późnego permu (cechsztynu) w osiowej części Europejskiego Basenu Permskiego (EPB) są osady ewaporatowe

(Wagner, 1994), obejmujące utwory chlorkowe i siarczanowe. Na terenie Polski ewaporaty trzech pierwszych cykli depozycyjnych (PZ1, PZ2 i PZ3) budują blisko 72% całej sukcesji cechsztyńskiej (Czapowski, 2007) i składają się na nie litologiczne wydzielenia chlorkowe (sole kamienne i potasowe – Czapowski, 1994, 1995a, b, 1998; Czapowski i in., 1991, 1994), podścielone i przykryte wydzieleniami siarczanowymi (Tab. 1). Jedynie w przypadku cyklu PZ3 utwory chlorkowe tego cyklotemu w osi basenu przykrywają osady wydzielenia ogniwa zubru brunatnego (ogniwo Tuczna, formacja Gwdy [Na3t] – Wagner, 1994), zaś lokalnie na terenie perykliny Żar (Polska SW) - seria siarczanowa (A3r).

Obserwowane obecnie wzajemne stosunki grubości elementów chlorkowych i siarczanowych w poszczególnych cyklotemach odzwierciedlają w pewnym stopniu relacje ich pierwotnych miąższości, zmodyfikowanych przez późniejszą erozję i tektonikę. Pierwotna grubość osadów ewaporatowych była przede wszystkim zależna od warunków depozycji, określonych przez typ basenu depozycyjnego, skalę jego subsydencji i erozji synsedymenacyjnej. Celem pracy była wstępna ocena wpływu wymienionych czynników na ukształtowanie się obecnie rejestrowanych relacji miąższości ogniwa ewaporatowych poszczególnych cyklotemów w różnych regionach Polski. Posłużono się trzema modelami ewaporatowych basenów depozycyjnych, które uwzględniają głównie rolę czynników synsedymenacyjnych (akumulacja, subsydencja) w ukształtowaniu obecnego obrazu miąższościowego

Tabela 1. Szacowana grubość wydzieleni ewaporatowych w cyklotemach PZ1-PZ3 cechsztynu w centralnej części basenu cechsztyńskiego w Polsce (wg Czapowski, 2007; Wagner, 1994). Objasnienia: wydzielenia litostratygraficzne: A1d – anhydryt dolny, Na1 – najstarsza sól kamienna, K1 – najstarsza sól potasowa, A1g – anhydryt górny, A2 – anhydryt podstawowy, Na2 – starsza sól kamienna, K2 – starsza sól potasowa, A2r – anhydryt kryjący, A3 – anhydryt główny, Na3 – młodsza sól kamienna, K3 – młodsza sól potasowa, Na3t – zuber brunatny, A3r – anhydryt „kryjący” cyklu PZ3 (lokalnie).

Table 1. Estimated thickness of evaporate units of PZ1-PZ3 cycles in the central part of Zechstein basin in Poland (after Czapowski, 2007; Wagner, 1994) Explanations: lithostratigraphic units: A1d – Lower Anhydrite, Na1 – Oldest Halite, K1 – Oldest Potash, A1g – Upper Anhydrite, A2 – Basal Anhydrite, Na2 – Older Halite, K2 – Older Potash, A2r – Screening Anhydrite, A3 – Main Anhydrite, Na3 – Younger Halite, K3 – Younger Potash, Na3t – Brown Zuber, A3r – “screening” anhydrite of PZ3 cycle (locally).

CYKLOTEM CYCLOTHEM	WYDZIELENIE LITOSTRATYGRAFICZNE LITHOSTRATIGRAPHIC UNIT	MIĄŻSZOŚĆ THICKNESS (m)	ILOŚĆ ANALIZOWANYCH OTWORÓW WIERTNICZYCH NUMBER OF STUDIED WELLS
PZ3	A3r lokalnie na brzegu/local on margin	0,5-11,0	435
	Na3+K3+Na3t lokalnie/local	370,0	
	A3	40	
	łącna grubość/total thickness (m)	410	
PZ2	A2r	1	505
	Na2+K2+Na2r	300	
	A2	4	
	łącna grubość/total thickness (m)	845	
PZ1	A1g	7	639
	Na1 + K1 lokalnie na brzegu/local on margin	300	
	A1d	30	
	łącna grubość/total thickness (m)	337	

analizowanych wydzielen. Z powodu braku wystarczającego materiału rdzeniowego, pozwalającego na ocenę skali takich procesów jak erozja i tektonika, jedynie bardzo ogólnie opisano możliwą istotną rolę czynników postsedymentacyjnych.

Rozważaniami objęto sukcesje ewaporatowe cyklotemów PZ1, PZ2 i PZ3 natomiast celowo nie analizowano danych miąższościowych odnoszących się do utworów cyklu PZ4. Utwory tego cyklotemu pominięto z uwagi na: stosunkowo niewielki udział siarczanów, nie zawsze jednoznaczne zdefiniowanie wydzielen litostratigraficznych (szczególnie rozróżnienie soli kamiennych i zubrów – Czapowski i in., 2007; Wagner, 1994; Wagner, Peryt, 1997) i ograniczenie w miarę pełnej sukcesji tego cyklotemu do osiowej części zbiornika cechsztyńskiego, gdzie dostępne profile wykazują silną przebudowę tektoniczną.

MATERIAŁ BADAWCZY

Głównymi składnikami miąższościowymi ewaporatowych partii cykli PZ1-PZ3 polskiego cechsztynu są utwory chlorkowe: sole kamienne (Na) z podrzędnym udziałem soli potasowo-magnezowych (K-Mg) oraz utwory siarczanowe, podścielające (Ad) i przykrywające (Ag) kompleksy solne. Analizę wzajemnych stosunków obecnych miąższości tych typów osadów przeprowadzono w oparciu o dane z ponad 800 otworów wiertniczych, przechowywane w bazie danych Narodowego Archiwum Geologicznego Państwowego Instytutu Geologicznego-Państwowego Instytutu Badawczego. Stosunkowo rzadkie rdzeniowanie utworów ewaporatowych cechsztynu – z wyłączeniem obszarów udokumentowanych złóż solnych – powoduje, że niemożliwe jest ustalenie czy zarejestrowana miąższość tych wydzielen, określona zwykle w oparciu o dane karotażowe, jest miąższością rzeczywistą czy pozorną. Celowo zatem jako przedmiot analizy wybrano otwory wiertnicze, rozmieszczone na obrzeżu basenu permńskiego w Polsce, poza strefą występowania wysadów solnych w osiowej części basenu (Ryc. 1), zakładając, że przy znacznie mniejszym udziale tektoniki solnej na obrzeżu basenu stwierdzone miąższości odpowiadają z grubsza wartościom pierwotnym. Wkładki siarczanowe i soli potasowo-magnezowych (K) oraz sole zailone typu zubrów (Nat) rozpatrywano łącznie z warstwami soli kamiennej, traktując je jako jeden kompleks solny (Na), powstały we wspólnym, ewoluującym ewaporacyjnym zbiorniku chlorkowym.

Analizowane obrzeże basenu permńskiego podzielono na 6 obszarów, reprezentujących jednostki geograficzne, strukturalne i obszary przemysłowe: Pomorze Zachodnie, wyniesienie Łeby, synekliza perybałtycka, Podlasie wraz z regionem radomskim, obszar Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedzowego (LGOM) i peryklina Żar (Ryc. 1).

MODELE BASENÓW EWAPORATOWYCH

Zapis cyklotemowy utworów ewaporatowych cechsztynu w Polsce, podobnie jak w całym basenie europejskim (por.

Wagner, 1994, z literaturą), obejmuje zwykle siarczany podścielające (Ad), osady chlorkowe (Na) oraz siarczany przykrywające (Ag). O ile następstwo osadów (Ad i Na) wynika z naturalnej koncentracji solanki w basenie ewaporatowym, o tyle pojawienie się w stropie cyklotemu siarczanów (Ag) można tłumaczyć dwojako:

a) osadzeniem w ekstremalnie płytkowodnych (środowisko sebhya) warunkach, w lokalnie funkcjonujących zbiornikach z solanką rozcieńczaną wodami meteorycznymi (np. Czapowski, 1987, 1998). Siarczany te stanowią wówczas finalny element pojedynczego cyklu ewaporacyjnego;

b) osadzeniem z solanek siarczanowych, powstałych z odświeżenia (rozcieńczenia) wcześniejszych solanek chlorkowych w wyniku wiania się do chlorkowego basenu ewaporacyjnego świeżych wód morskich (regionalny zalew). W tym przypadku oznacza to całkowitą zmianę reżimu geochemicznego w danym basenie ewaporacyjnym i rozpoczęcie nowego cyklu akumulacji osadów chemicznych. Cykl ten w miarę rozwoju zalewu (postępu transgresji) nie musi skutkować zwiększeniem koncentracji solanki, ale przeciwnie - jej rozcieńczeniem i przemianą basenu ewaporatowego w zbiornik morski o normalnym zasoleniu, z depozycją osadów klastyczno-węglanowych (zazwyczaj uznawanych za początek kolejnego cyklu sedymentacyjnego). W takiej sytuacji siarczany (Ag) mogą wykazywać cechy facjalne zarówno płytko- jak i bardziej głębokowodne oraz stanowią nie ostatni element cyklu ewaporacyjnego, ale pierwszy składnik kolejnego cyklotemu (np. Czapowski, 1993; Podemski 1968).

Zachowanie się w stanie kopalnym siarczanów przykrywających (Ag) jest możliwe w sytuacji gdy:

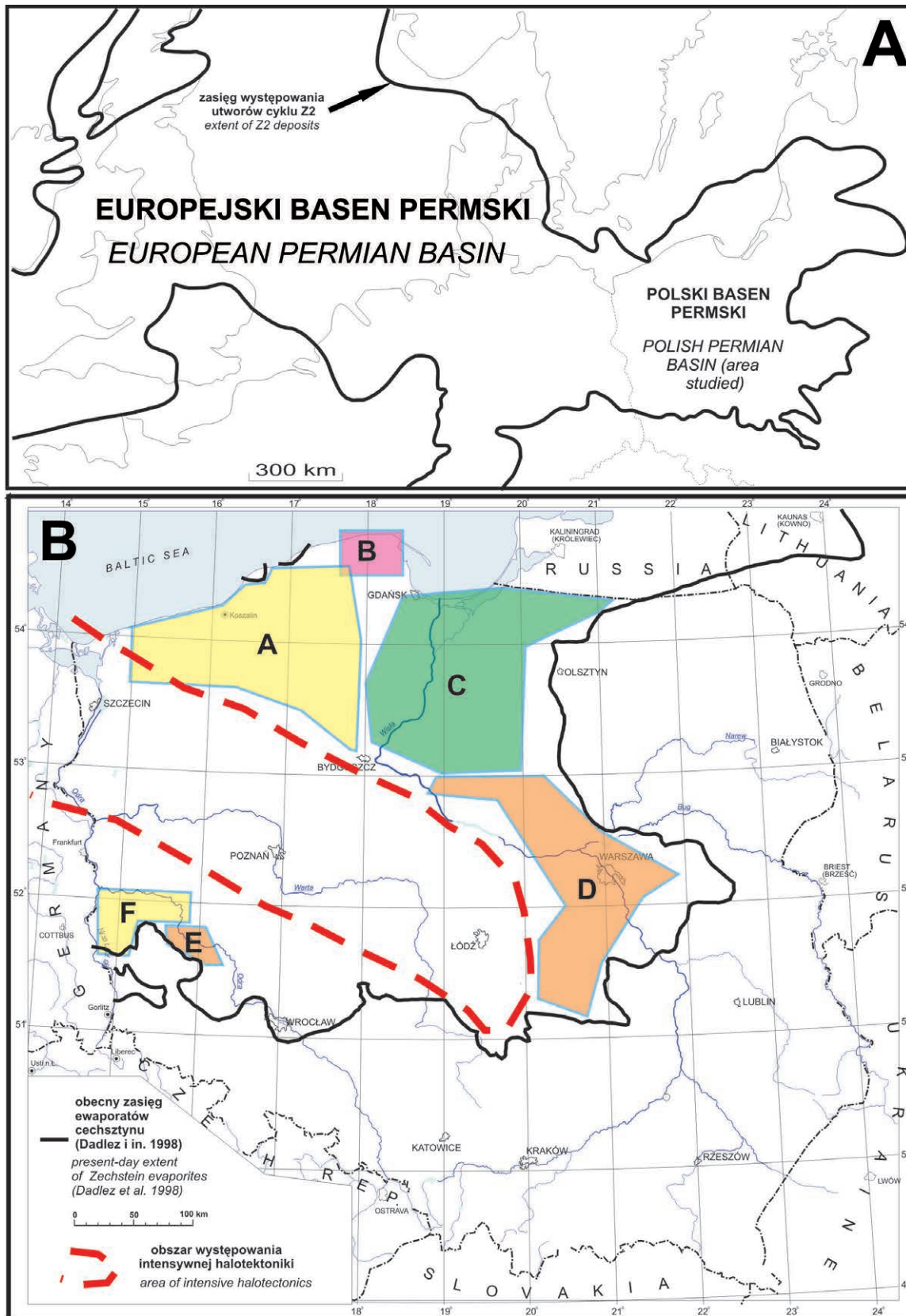
- (a) w zbiorniku postchlorkowym pozostała na tyle znacząca przestrzeń akumulacyjna (w sensie obecności zbiornika o pewnej głębokości i utrzymania subakwalnych warunków depozycji) tak aby siarczany mogły się osadzić, a kolejny zalew morski lub erozja ich nie zniszczyły;
- (b) wspomniana przestrzeń została stworzona przez wzrost subsydencji basenu w etapie postchlorkowym.

Wymienione czynniki decydują też o pierwotnej miąższości tych osadów.

Dla interpretacji stosunków miąższości utworów solnych i siarczanowych z sukcesji cechsztynu w Polsce opracowano trzy modele rozwoju basenu ewaporatowego (ryciny 2-4). Modele te odnoszą się do **basenu depozycyjnego**, nie uwzględniają postdepozycyjnych zmian miąższości poszczególnych typów ewaporatów, zarówno w wyniku kompaktacji jak i późniejszej ich erozji i/lub przebudowy tektonicznej.

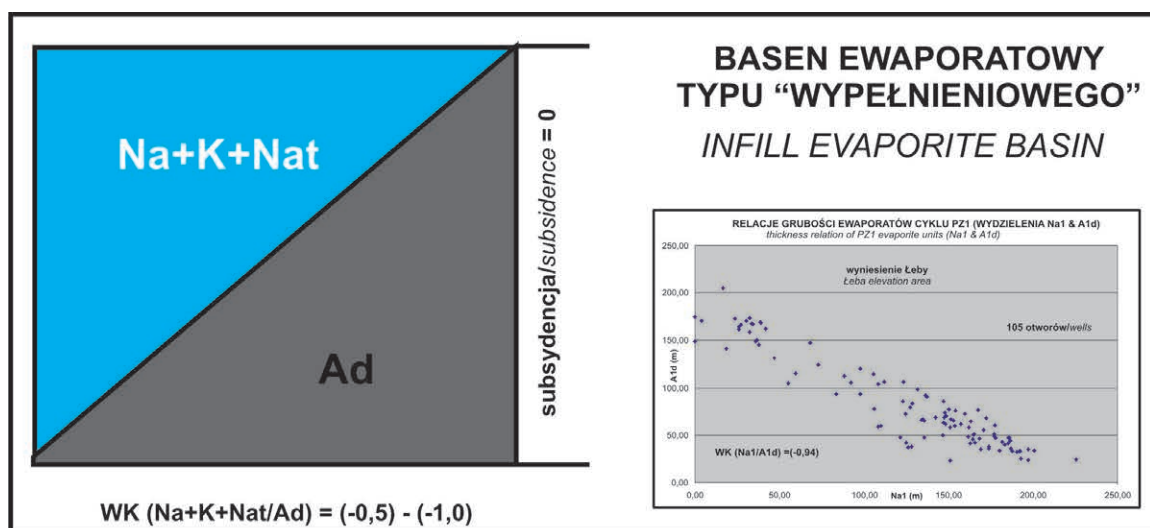
Przy konstruowaniu modeli basenu ewaporatowego przyjęto dwa podstawowe czynniki, które determinują pierwotną miąższość akumulowanych osadów:

- a) zróżnicowanie morfologii dna basenu rzutujące na jego głębokość,



Ryc. 1. Obszar badań na tle zasięgu zbiornika cyklu Z2 cechsztynu w Europejskim Basenie Permskim (A; wg Słowakiewicz, Mikołajewski, 2011) oraz rejony poddane analizie stosunków miąższości ewaporatów cechsztynu w Polsce (B). Oznaczenia obszarów: A – Pomorze Zachodnie, B – wyniesienie Łęby, C – synekliza perybaltycka, D – Podlasie i region radomski, E – obszar Lubinśko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM), F - peryklina Żar.

Fig. 1. Location of the area studied within the Zechstein Z2 basin of European Permian Basin (A; after Słowakiewicz, Mikołajewski, 2011) and the regions with calculated thickness ratio of Zechstein evaporates in Poland (B). Area symbols: A – Western Pomerania, B – Leba elevation, C – Peribaltic syncline; D – Podlasie and Radom regions; E – Lubin-Głogów Copper District (LGOM), F – Żary pericline.



Ryc. 2. Model basenu ewaporatowego typu „wypełnieniowego”. Dane o miąższości ewaporatów pochodzą z utworów cyklotemu PZ1 cechsztynu z obszaru wyniesienia Łeby. Objasnienia: Na+K+Nat – chlorki (Na1 – najstarsza sól kamienna), Ad – siarczany podścielające (A1d – anhydryt dolny), WK – współczynnik korelacji, subsydencja: 0 – brak.

Fig. 2. Model of evaporite basin - infill basin type. Evaporite thickness data from deposits of Zechstein PZ1 cycle from the Leba elevation area. Captions: Na+K+Nat – chlorides (Na1 – Oldest Halite), Ad – underlying sulphates (A1d – Lower Anhydrite), WK – correlation coefficient, subsidence rate: 0 – lack.

b) tempo subsydencji dna basenu, które może w różnym stopniu kompensować przyrost osadów ewaporatowych (przy niskim tempie subsydencji konsekwencją mogą być liczne luki erozyjne w profilu osadów).

Oba te czynniki są odpowiedzialne za stworzenie odpowiedniej przestrzeni (pojemności) akumulacyjnej w basenie dla gromadzonych ewaporatów i uformowanie się ich pierwotnej sukcesji. W opracowanych modelach nie analizowano zmian facjalnych i zróżnicowanego tempa depozycji poszczególnych typów ewaporatów.

Jak wcześniej opisano, o ile siarczany podścielające (Ad) osady chlorkowe w basenie ewaporacyjnym stanowią naturalny początek każdego cyklu ewaporacyjnego, to depozycja osadów siarczanowych przykrywających (Ag) chlorki może reprezentować zamknięcie tego cyklu i być poprzedzona niemal całkowitym wypełnieniem basenu z okresem erozji i braku depozycji. Może też stanowić odrębny etap depozycyjny, realizowany w innym typie basenu niż wcześniejszy układ chlorków i podścielających siarczanów (Ad).

BASEN EWAPORATOWY TYPU „WYPEŁNIENIOWEGO”

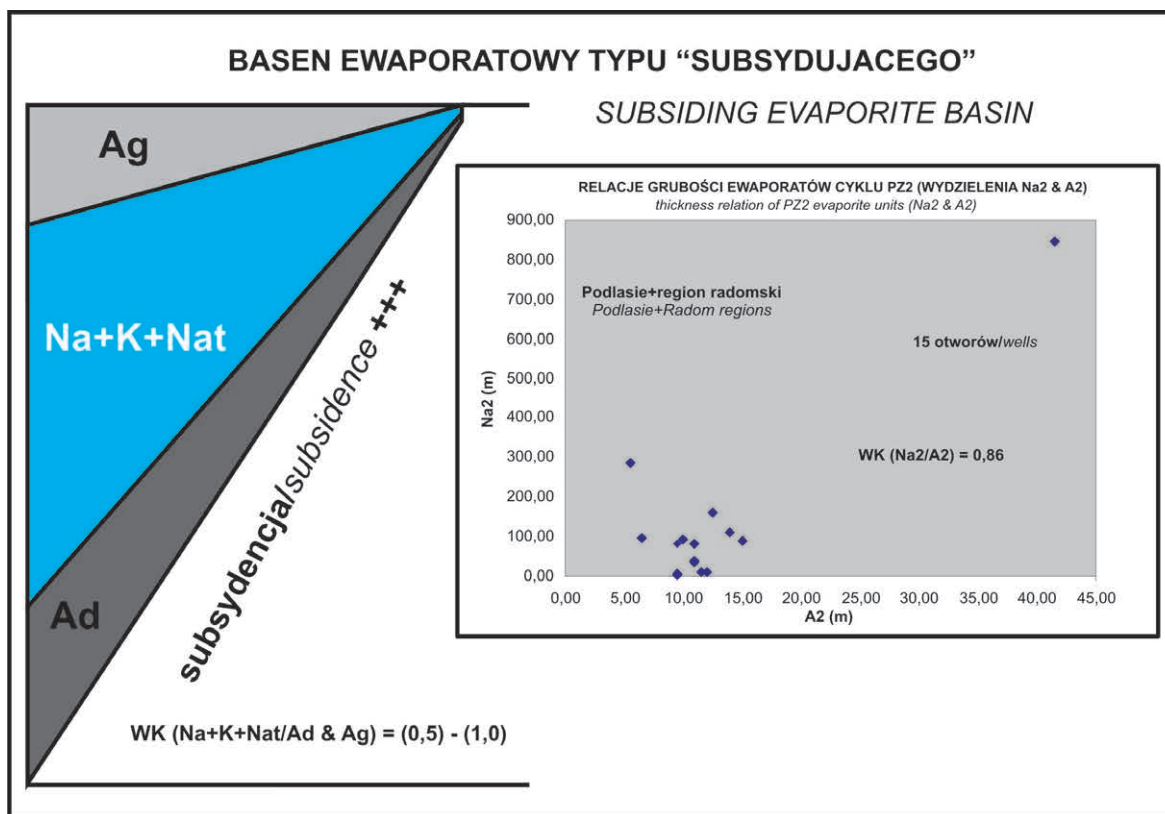
Basen ewaporatowy typu „wypełnieniowego” (Ryc. 2) charakteryzuje wysoce zróżnicowana batymetria, stwarzająca znaczną przestrzeń akumulacyjną dla osadzanych ewaporatów. Brak lub wyjątkowo słabe tempo subsydencji dna basenu powoduje, że po osadzeniu podścielających siarczanów (Ad), szybciej przyrastających w partiach nieco płytszych (szybka ewaporacja solanek i strącanie siarczanów) a wolniej w głębszych, kolejne wypełnianie pozostałej przestrzeni w basenie następowało przez szybko akumulowane chlorki (Na). Profil

osadzonych chlorków reprezentuje pionowe następstwo facji od bardziej głębokowodnej do płytkowodnej (np. Czapowski 1987, 1995; Czapowski i in., 1994), aż do momentu niemal całkowitego spłycenia zbiornika i wyrównania wszelkich różnic w batymetrii. Powstała sukcesja ewaporatów charakteryzuje się odwróconą relacją miąższości podścielających siarczanów i chlorków (Na+K+Nat/Ad), określoną wartością współczynnika korelacji (WK) mieszczącą się w przedziale (-0,5) do (-1,0). Doskonałym przykładem takiej sukcesji są utwory anhydrytu dolnego (A1d) i najstarszej soli kamiennej (Na1) cyklu PZ1 na obszarze wyniesienia Łeby (Ryc. 2A), gdzie wartość WK ustalona w oparciu o analizę 105 otworów wiertniczych wynosi (-0,94).

W opisanym typie basenu rola siarczanów przykrywających (Ag) jako finalnego elementu cyklu ewaporacyjnego jest dość podrzędna ze względu na niewielką pozostałą po fazie chlorkowej przestrzeń akumulacyjną i możliwość niszczenia osadów akumulowanych w ekstremalnie płytkowodnym i subaeralnym środowisku.

BASEN EWAPORATOWY TYPU „SUBSYDUJĄCEGO”

Basen ewaporatowy typu „subszydującego” (Ryc. 3) charakteryzuje słabo zróżnicowana batymetria (basen może być zarówno głęboko- jak i płytkowodny) zaś cechą wyróżniającą jest wysokie tempo subsydencji. Subsydencja jest odpowiedzialna za stworzenie wystarczającej przestrzeni akumulacyjnej, kompensującej stały przyrost osadów ewaporatowych (siarczanów i chlorków) bez względu na zmiany warunków facjalnych wynikające np. ze spłycenia zbiornika. Ewentualne przerwy w sedymentacji (erozja i/lub brak depozycji) nie odbijają się



Ryc. 3. Model basenu ewaporatowego typu „subszydującego”. Dane o miąższości ewaporatów pochodzą z utworów cyklotemu PZ2 cechsztyńsku z obszaru Podlasia i regionu radomskiego. Objaśnienia: Na+K+Nat – chlorki (Na2 – starsza sól kamienna), Ad – siarczan podścielający (A2 – anhydryt podstawowy), Ag – siarczan przykrywający, WK – współczynnik korelacji, subsydenca: +++ - wysoka.

Fig. 3. Model of evaporite basin - subsiding basin type. Evaporite thickness data from deposits of Zechstein PZ2 cycle from the area of Podlasie and Radom region. Captions: Na+K+Nat – chlorides (Na2 – Older Halite), Ad – underlying sulphates (A2 – Basal Anhydrite), Ag – overlying sulphates, WK – correlation coefficient, subsidence rate: +++ - high.

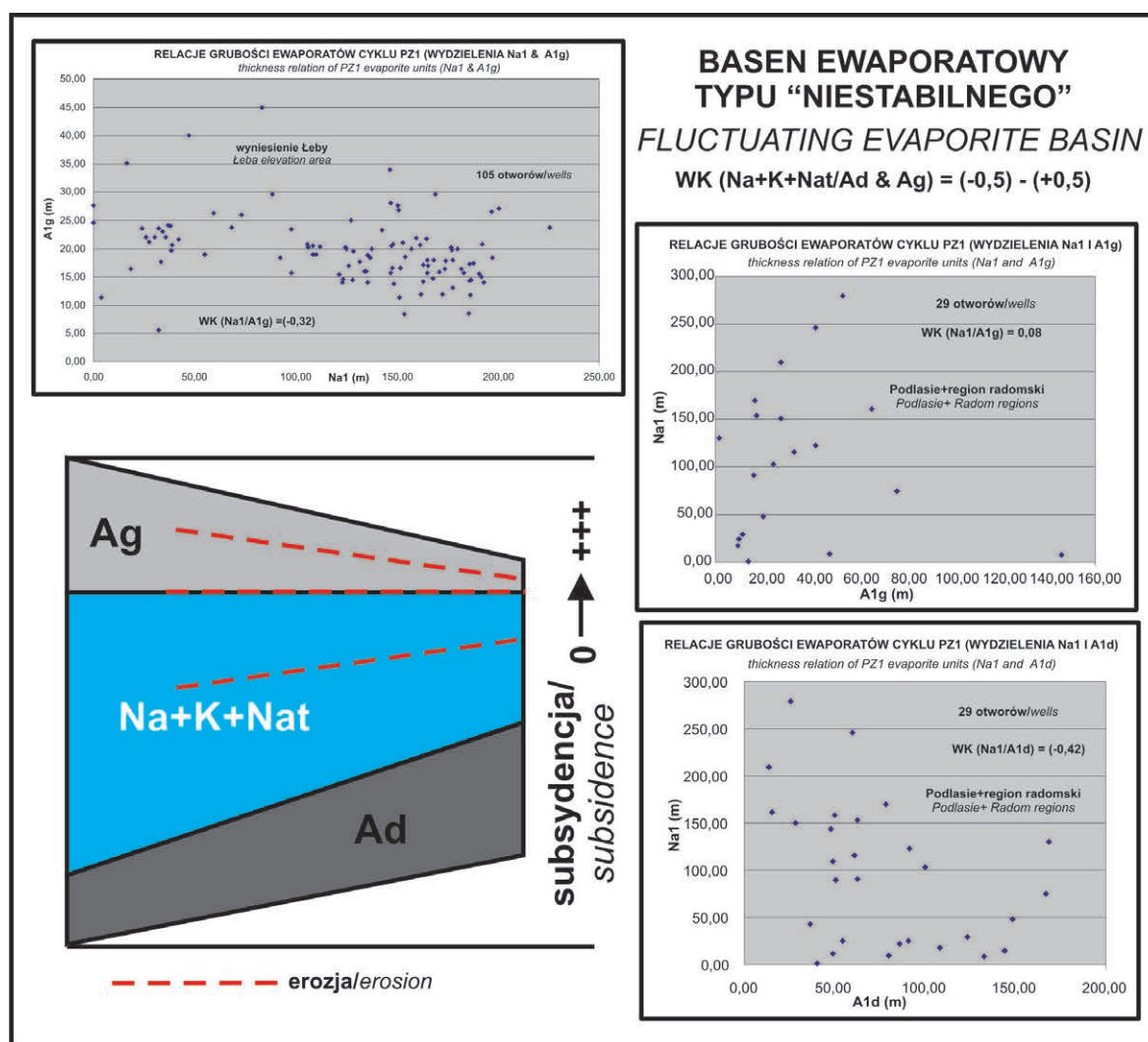
w sposób istotny w miąższości akumulowanych osadów. Powstała sukcesja ewaporatów charakteryzuje się wysoką wprost proporcjonalną relacją miąższości siarczanów i chlorków (Na+K+Nat/Ad lub Ag), określoną wartością współczynnika korelacji (WK) mieszczącą się w przedziale od 0,5 do 1,0. Dobrym przykładem takiego następstwa ewaporatów jest sukcesja utworów starszej soli kamiennej (Na2) i anhydrytu podstawowego (A2) cyklu PZ2 na obszarze Podlasia z regionem radomskim (ryc. 3), gdzie wartość WK ustalona w oparciu o analizę 15 otworów wiertniczych wynosi (0,86).

BASEN EWAPORATOWY TYPU „NIESTABILNEGO”

Basen ewaporatowy typu „niestabilnego” (ryc. 4) ma podobne warunki batymetryczne co basen typu „subszydującego” (słabo zróżnicowana batymetria, basen może być zarówno głęboko- jak i płytkowodny), lecz w odróżnieniu od poprzedniego cechą tego basenu jest zmienne w czasie i intensywności tempo subsydenacji (od niskiego lub jej braku do wysokiego). Konsekwencją jest zmienna w czasie i wielkości przestrzeń akumulacyjna, skutkująca różną miąższością akumulowanych ewaporatów. Istotna może być tu rola przerwy w sedymentacji (erozja i/lub brak depozycji), szczególnie

w okresach zahamowania subsydenacji. Powstała sukcesja ewaporatów charakteryzuje się zmiennymi (od odwróconej do wprost proporcjonalnej) relacjami miąższości siarczanów i chlorków (Na+K+Nat/Ad lub Ag), określonymi wartością współczynnika korelacji (WK) mieszczącą się w przedziale od (-0,5) do (+0,5). Przykładem takiego następstwa ewaporatów jest sukcesja utworów najstarszej soli kamiennej (Na1), anhydrytu dolnego (A1d) i górnego (A1g) cyklu PZ1 na obszarze Podlasia z regionem radomskim (ryc. 4), gdzie wartość WK ustalona w oparciu o analizę 29 otworów wiertniczych wynosi dla stosunku Na1/A1d (-0,42), zaś dla stosunku Na1/A1g - (+0,08). Podobną sukcesję chlorków i nadległych siarczanów na obszarze wyniesienia Łeby cechuje WK o wartości (-0,32), ustalony w oparciu o analizę 105 otworów wiertniczych.

Warto zaznaczyć, że powyższy zapis sukcesji ewaporatowej, przypisany basenowi depozycyjnego o zmiennej w czasie i intensywności subsydenacji, będącej wyrazem dynamicznej tektoniki synsedymenacyjnej, może też odzwierciedlać późniejszą przebudowę tektoniczną, redukującą lub zwiększającą pierwotną grubość niektórych komponentów ewaporatowych. Ustalenie roli tej przebudowy jest jednak niemożliwe w sytuacji braku materiału rdzeniowego.



Ryc. 4. Model basenu ewaporatowego typu „niestabilnego”. Dane o miąższości ewaporatów pochodzą z utworów cyklotemu PZ1 cechsztynu z obszaru Podlasia i regionu radomskiego. Objaśnienia: Na+K+Nat – chlorki (Na1 – najstarsza sól kamienna), Ad – siarczanowy podścielający (A1d – anhydryt dolny), Ag – siarczanowy przykrywający (A1g – anhydryt górny), WK – współczynnik korelacji, subsydenca: 0 – brak, +++ – wysoka.

Fig. 4. Model of evaporite basin - fluctuating basin type. Evaporite thickness data from deposits of Zechstein PZ1 cycle from the area of Podlasie and Radom region. Captions: Na+K+Nat – chlorides (Na1 – Oldest Halite), Ad – underlying sulphates (A1d – Lower Anhydrite), Ag – overlying sulphates (A1g – Upper Anhydrite), WK – correlation coefficient, subsidence rate: 0 – lack, +++ – high.

ROZMIESZCZENIE EWAPORATOWYCH BASENÓW DEPOZYCYJNYCH CECHSZTYNU W POLSCE

Dla wyróżnionych obszarów na obrzeżu basenu permicznego w Polsce określono wartości współczynnika korelacji stosunków miąższości siarczanów i chlorków w ramach poszczególnych cyklotemów cechsztynu (Tab. 2).

Obliczone wartości współczynnika korelacji posłużyły ustaleniu w jakim typie ewaporatowego basenu depozycyjnego powstała określona sukcesja ewaporatowa na każdym z analizowanych obszarów (Ryc. 5-9). W ramach każdego z cykli cechsztynu przyjęto zasadę przedstawienia rozmieszczenia typów basenów ewaporatowych, określanych odrębnie dla dwu rodzajów sukcesji: siarczanowy podścielający (Ad) i chlorki oraz chlorki i siarczanowy przykrywający (Ag).

Cykl PZ1

Na obszarze Pomorza Zachodniego, Podlasia wraz z regionem radomskim, peryklina Żar i Lubińsko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) (Ryc. 5) sukcesja utworów anhydrytu dolnego (A1d) i najstarszej soli kamiennej (Na1) cyklu PZ1 powstała w basenach typu „niestabilnego”, zdefiniowanych wartościami współczynnika korelacji (WK) od (-0,11) do (-0,42), określonymi w oparciu o dane z licznych otworów wiertniczych (29 na Podlasiu wraz z regionem radomskim i od 101 do 180 na pozostałych obszarach; Tab. 2). Na dwu obszarach: wyniesienie Łeby i synekliza perybałtycka, następstwo to ukształtowało się w basenie typu „wypełnieniowego”, zaś wartości WK, określone w oparciu o od 64 do 105 otworów (Tab. 2) zmieniają się od (-0,56) do (-0,94).

Tabela 2. Wartości współczynnika korelacji stosunków miąższości wydzieleni ewaporatowych w cyklotemach PZ1-PZ3 cechsztynu na obrzeżu basenu permskiego Polsce. Objasnienia jak w tab. 1, A – basen typu „wypelnieniowego”, B - basen typu „subszydujacego”, C - basen typu „niestabilnego”, w nawiasie podano ilosc analizowanych otworow wiertniczych.

Table 2. Values of correlation coefficient for thickness relations of evaporite units of PZ1-PZ3 cycles in the Permian basin margin in Poland. Explanations as in Tab. 1, A – “infill” basin type, B – “subsiding” basin type, C – “fluctuating” basin type, in brackets – number of studied wells.

OBSZAR BADANY/ WSPÓLCZYNNIK KORELACJI+ TYP BASENU <i>ANALYZED AREA/ CORRELATION COEFFICIENT+BASIN TYPE</i>	CYKLOTEM I WYDZIELENIA LITOSTRATYGRAFICZNE <i>CYCLOTHEM & LITHOSTRATIGRAPHIC UNITS</i>					
	PZ1		PZ2		PZ3	
	Na1+K1 /A1d	Na1+K1 /A1g	Na2+K2+Na2r /A2	Na2+K2+Na2r /A2r	Na3+K3+Na3t lokalnie/local /A3	Na3+K3+Na3t lokalnie /local lokalnie na brzegu /local on margin
Pomorze Zachodnie <i>Western Pomerania</i>	-0,13 C (101)	-0,12 C (94)	-0,11 C (111)	-0,11 C (80)	-0,06 C (116)	-
wyniesienie Łeby <i>Łeba elevation</i>	-0,94 A (105)	-0,32 C (105)	-	-	-	-
synekliza perybaltycka <i>Peribaltic syncline</i>	-0,56 A (64)	-0,14 C (64)	-0,14 C (61)	-0,09 C (55)	+0,39 C (14)	-
Podlasie z regionem radomskim <i>Podlasie + Radom region</i>	-0,42 C (29)	+0,08 C (29)	+0,86 B (15)	-0,27 C (11)	-0,83 A (8)	-
LGOM	-0,26 C (180)	-0,04 C (180)	+0,4 C (8)	-0,28 C (4)	-0,79 A (5)	-
peryklina Żar <i>Żary pericline</i>	-0,11 C (160)	-0,11 C (158)	-0,2 C (310)	-	-0,08 C (291)	-0,01 C (20)

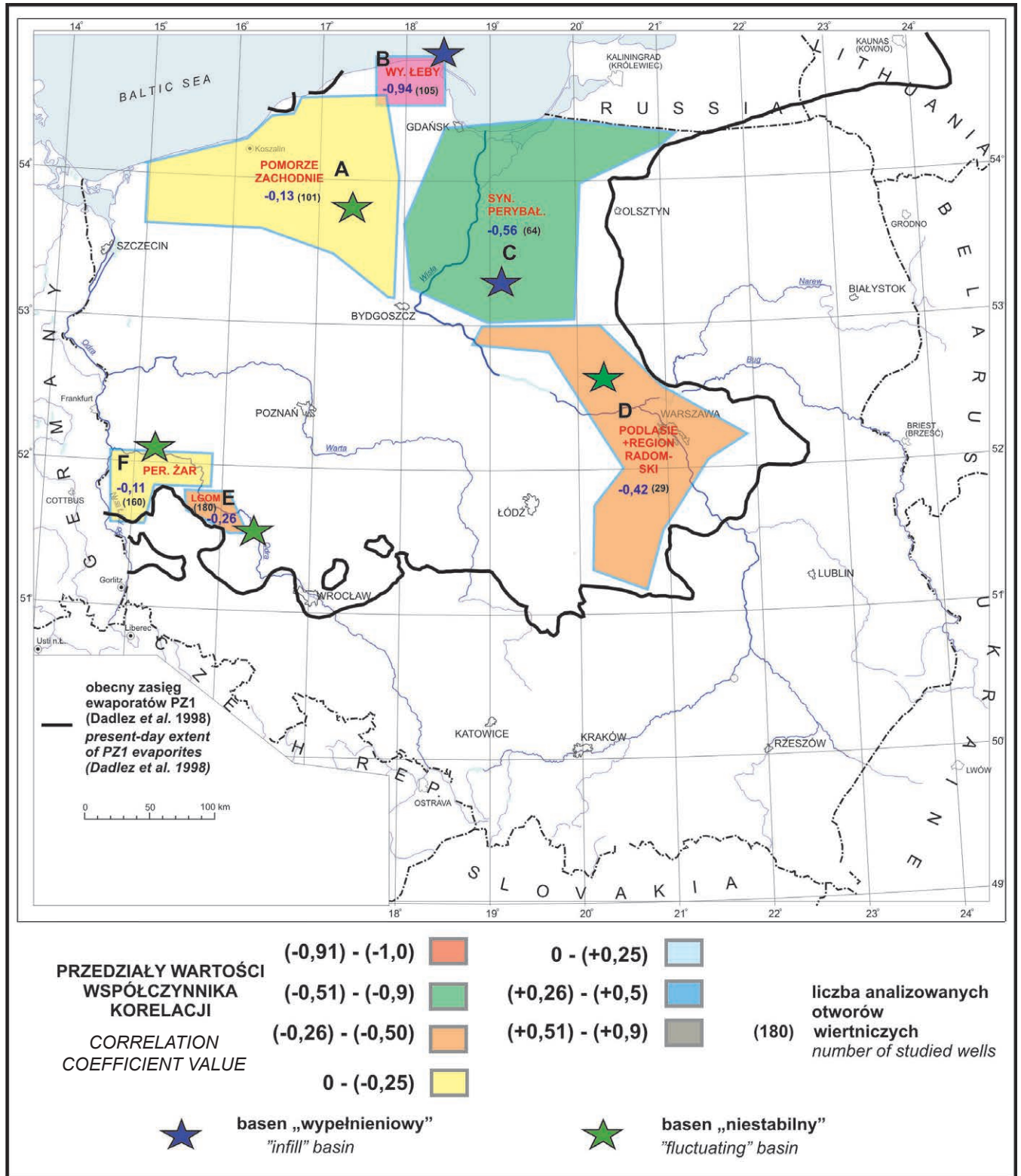
Z kolei utwory anhydrytu górnego (A1g) cyklu PZ1, przykrywające osady najstarszej soli kamiennej (Na1) powstały na całym obrzeżu basenu cechsztyńskiego (Ryc. 6) w basenach typu „niestabilnego”, zdefiniowanych wartościami współczynnika korelacji (WK) od (-0,31) do (+0,08), określonymi w oparciu o dane z różnej ilości otworów wiertniczych na poszczególnych obszarach (od 29 do 180; Tab. 2).

Cykl PZ2

Sukcesja utworów anhydrytu podstawowego (A2) i starszej soli kamiennej (Na2, z włączeniem starszej soli potasowej [K2]) powstała w północnej (obszary: Pomorze Zachodnie i synekliza perybaltycka) i południowo-zachodniej (obszary: peryklina Żar i Lublińsko-Głogowski Okręg Miedziowy) części zbiornika cyklu PZ2 cechsztynu w obrębie basenów typu „niestabilnego” (Ryc. 7). Baseny te cechują wartości współ-

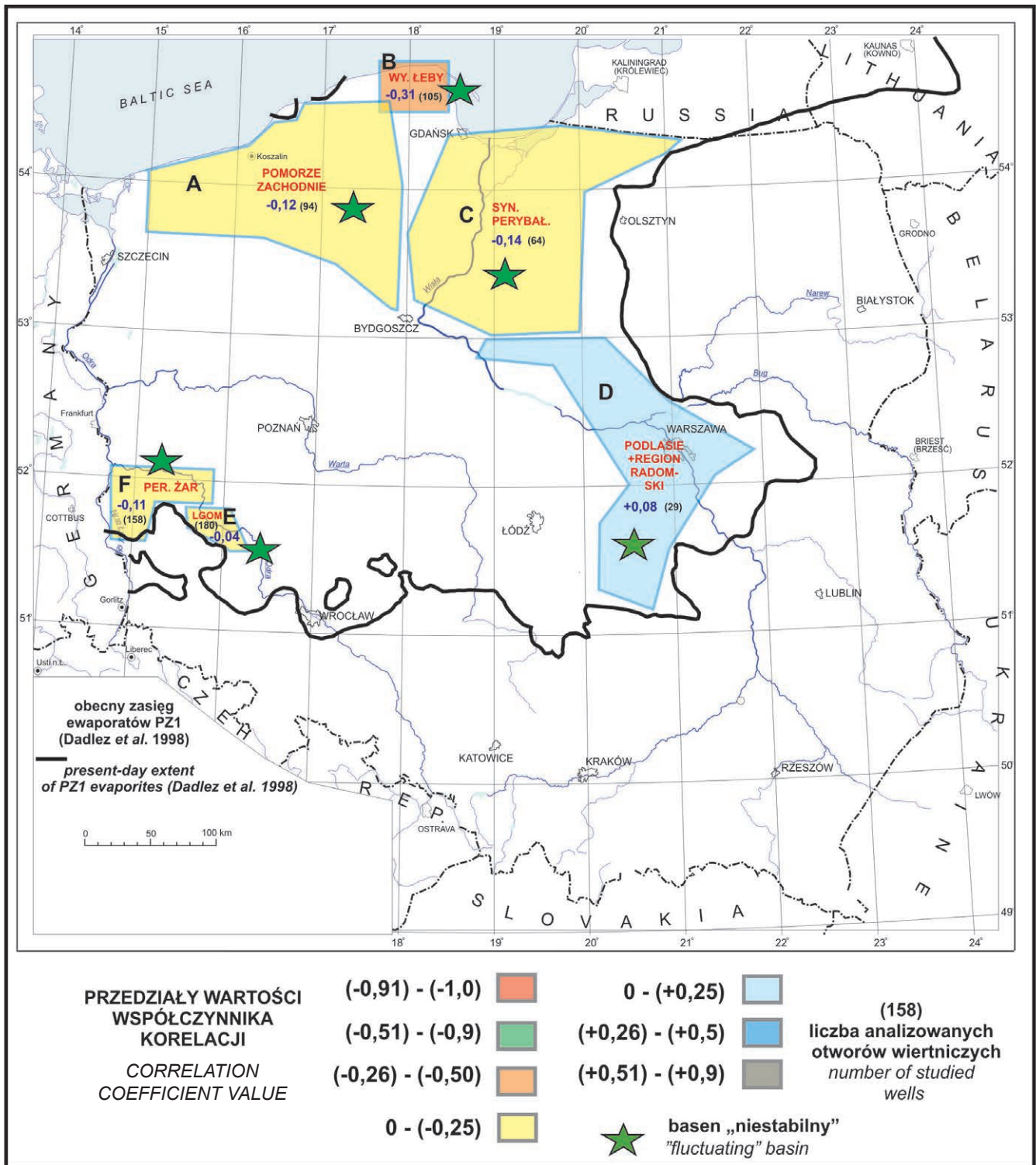
czynnika korelacji (WK) od (-0,11) do (+0,40), określone w oparciu o dane z różnej liczby otworów wiertniczych (od 8 na terenie LGOM do 310 na terenie perykliny Żar – Tab.2). Jedynie na Podlasiu wraz z regionem radomskim następstwo to uformowało się w basenie typu „subszydujacego”, zaś wartość WK, określona w oparciu o 15 otworów wynosi (+0,86) (Tab. 2).

Przykrywające osady chlorkowe cyklu PZ2 utwory anhydrytu kryjącego (A2r) powstały – podobnie jak w przypadku ich odpowiedników cyklu PZ1 - na całym obrzeżu zbiornika cechsztynu w basenach typu „niestabilnego” (Ryc. 8), dla których wartości współczynnika korelacji (WK) zmieniają się od (-0,28) do (-0,09). Wartości te określono w oparciu o dane z różnej ilości otworów wiertniczych na poszczególnych obszarach: od 4 na obszarze LGOM do 80 na Pomorzu Zachodnim (Tab. 2).



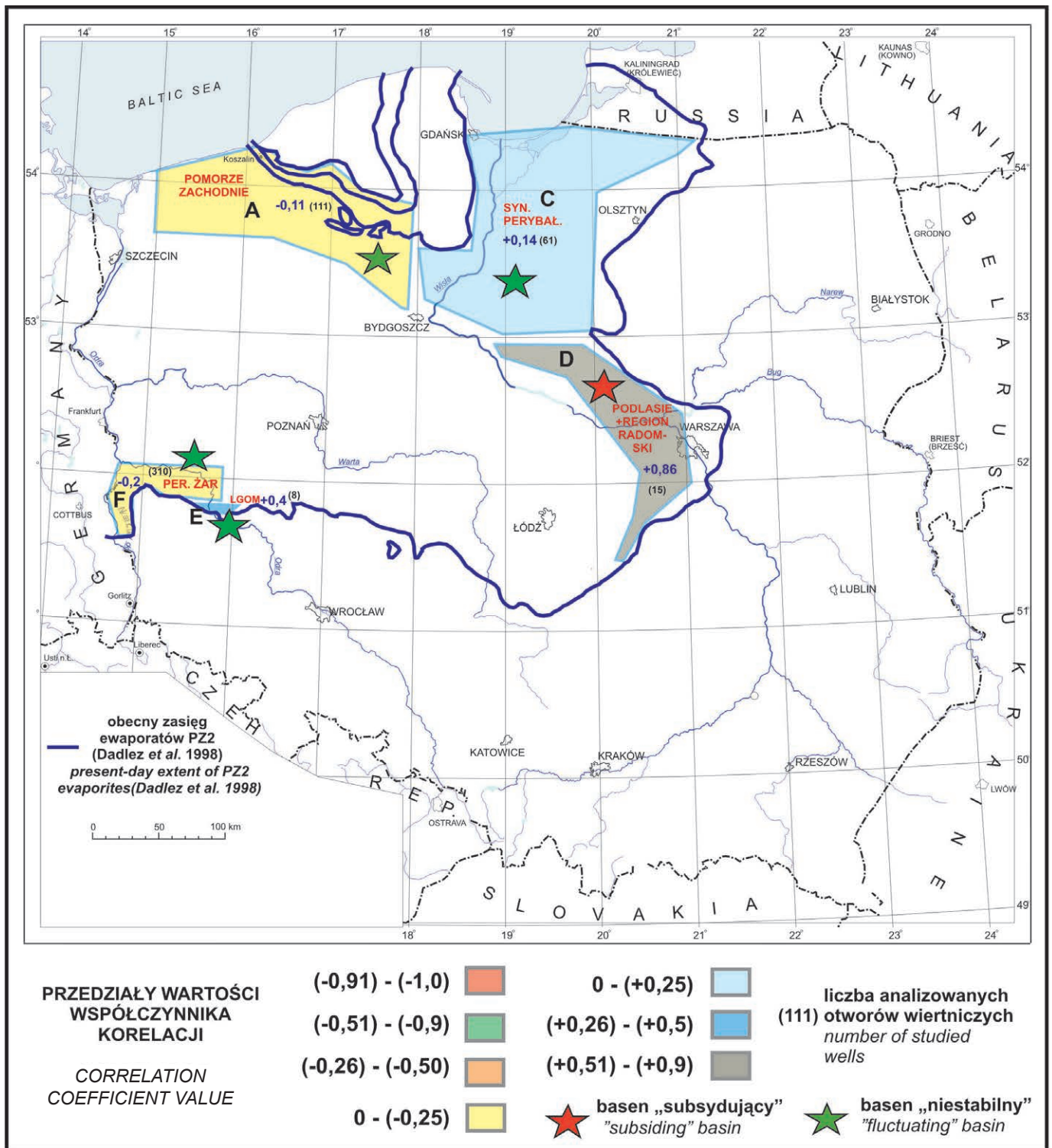
Ryc. 5. Typy ewaporatowych basenów w cyklu PZ1 na obrzeżu basenu cechsztyńskiego w Polsce – utwory chlorkowe i siarczany podścielające. Objasnienia obszarów jak na Ryc. 1.

Fig. 5. Types of depositional evaporite basins of PZ1 cycle on the margins of Polish Zechstein Basin – chlorides and underlying sulphates. Area symbols as on Fig. 1.



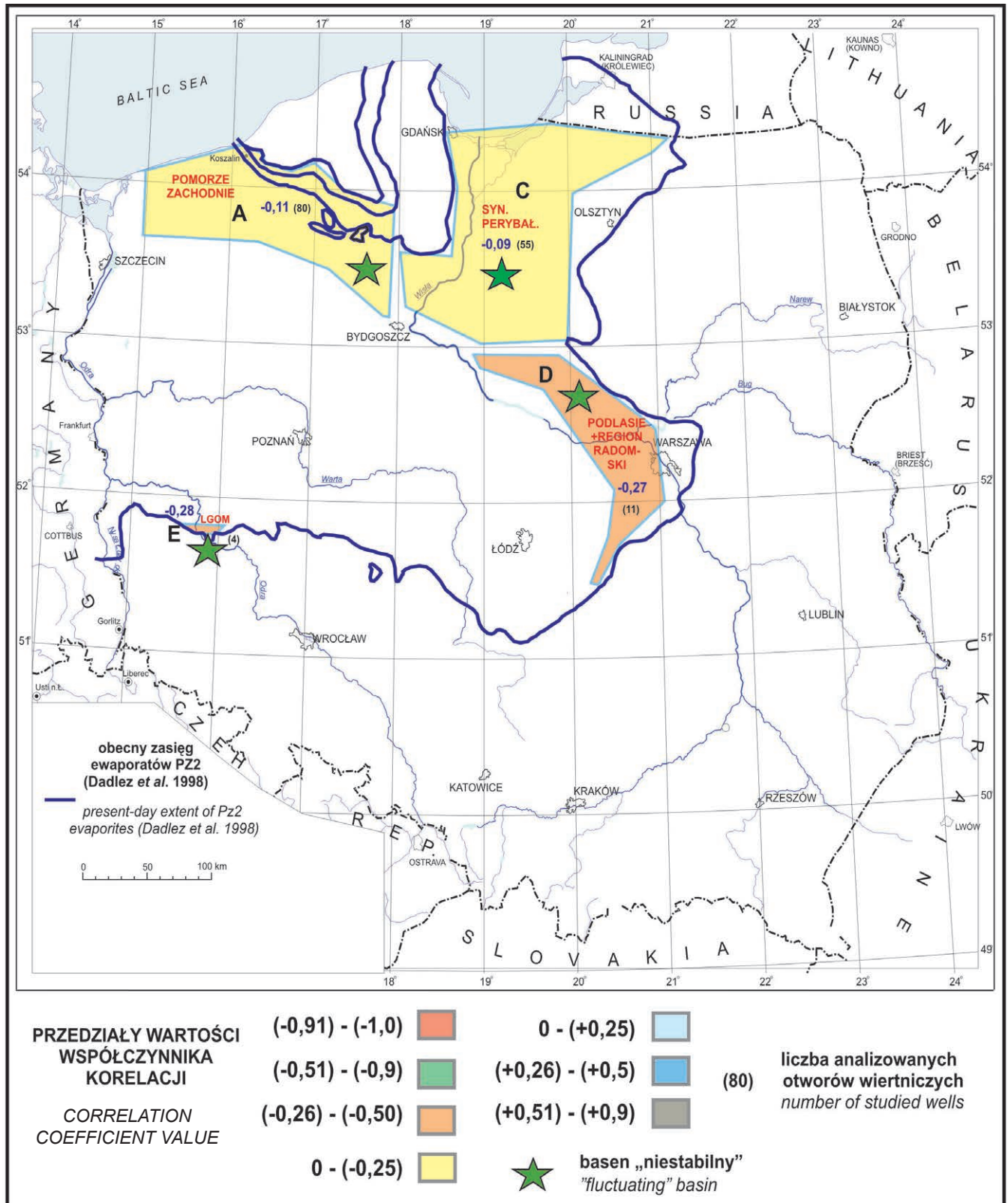
Ryc. 6. Typy ewaporatowych basenów depozycyjnych w cyklu PZ1 na obrzeżu basenu cechsztyńskiego w Polsce – utwory chlorkowe i siarczany przykrywające. Objaśnienia obszarów jak na Ryc. 1.

Fig. 6. Types of depositional evaporite basins of PZ1 cycle on the margins of Polish Zechstein Basin – chlorides and overlying sulphates. Area symbols as on Fig. 1.



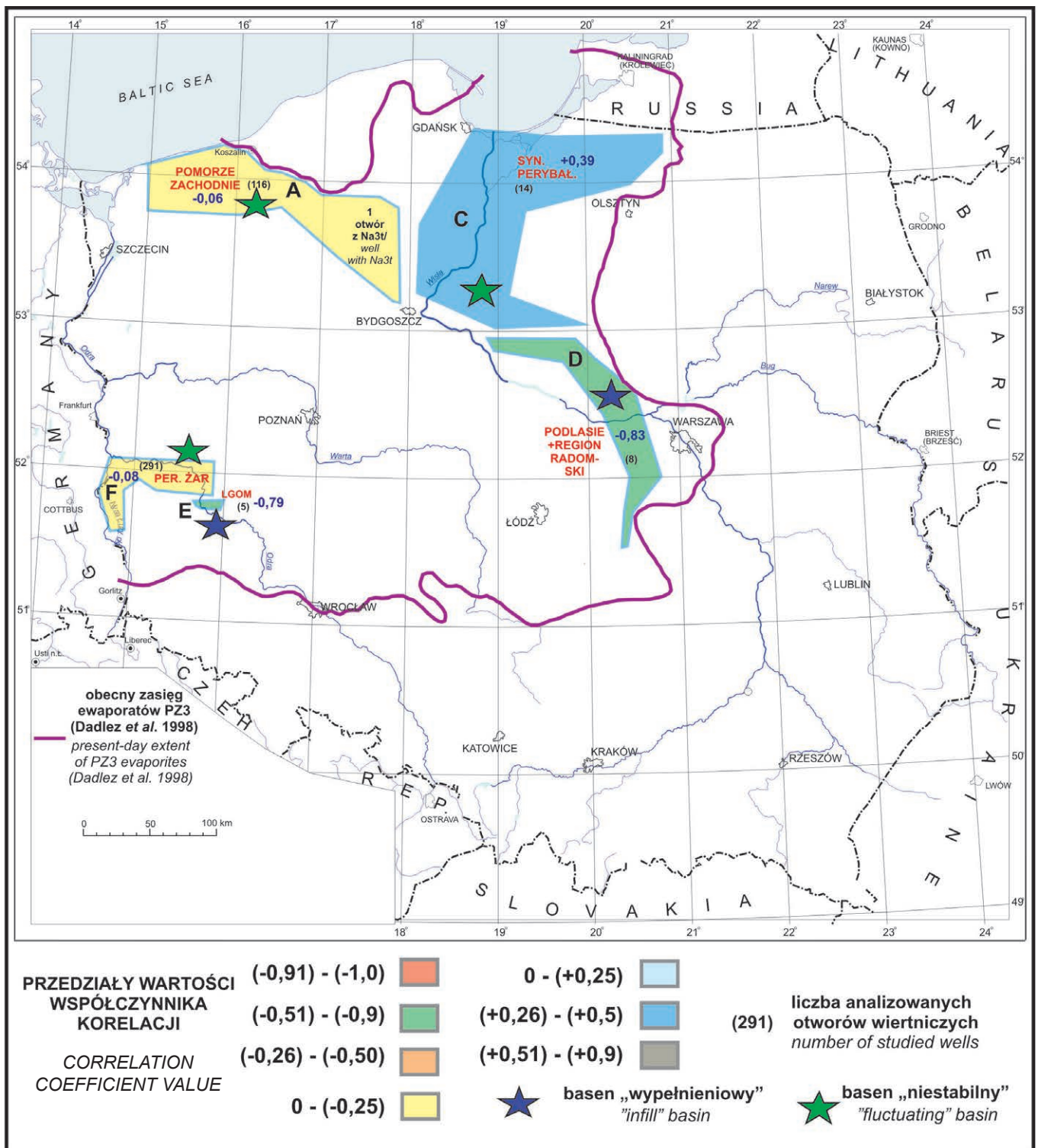
Ryc. 7. Typy ewaporatowych basenów depozycyjnych w cyklu PZ2 na obrzeżu basenu cechsztyńskiego w Polsce – twory chlorkowe i siarczany podścielające. Objasnienia obszarów jak na Ryc. 1.

Fig. 7. Types of depositional evaporite basins of PZ2 cycle on the margins of Polish Zechstein Basin – chlorides and underlying sulphates. Area symbols as on Fig. 1.



Ryc. 8. Typy ewaporatowych basenów depozycyjnych w cyklu Pz2 na obrzeżu basenu cechsztyńskiego w Polsce - twory chlorkowe i siarczany przykrywające. Objaśnienia obszarów jak na Ryc. 1.

Fig. 8. Types of depositional evaporite basins of Pz2 cycle on the margins of Polish Zechstein Basin - chlorides and overlying sulphates. Area symbols as on Fig. 1.



Ryc. 9. Typy ewaporatowych basenów depozycyjnych w cyklu PZ3 na obrzeżu basenu cechsztyńskiego w Polsce - utwory chlorkowe i siarczany podścielające. Objasnienia obszarów jak na Ryc. 1.

Fig. 9. Types of depositional evaporite basins of PZ3 cycle on the margins of Polish Zechstein Basin – chlorides and underlying sulphates. Area symbols as on Fig. 1.

Cykl PZ3

Następstwo utworów anhidrytu głównego (A3) i osadów chlorkowych cyklu PZ3 (młodsza sól kamienna [Na2] wraz młodszą solą potasową [K3] oraz lokalnie z utworami zubru brunatnego [Na3t]) powstała w północnej (obszary: Pomorze Zachodnie i synekliza perybałtycka) i południowo-zachodniej (obszar perykliny Żar) części zbiornika cechsztynu w obrębie basenów typu „niestabilnego” (ryc. 9). Wartości współczynnika korelacji (WK) dla tych basenów, określone w oparciu o dane z różnej liczby otworów wiertniczych (od 14 na obszarze syneklizy perybałtyckiej do 291 na terenie perykliny Żar) zmieniają się od (-0,06) do (+0,39) (Tab. 2). Z kolei na bardziej ku południowi i wschodowi położonych obszarach: Lubiąsko-Głogowski Okręg Miedziowy i Podlasie wraz z regionem radomskim, rozwinęły się baseny typu „wypełnieniowego” (ryc. 9) o wysokich ujemnych wartościach WK: odpowiednio (-0,79) i (-0,83), określonych w oparciu o dane z niewielkiej liczby otworów (odpowiednio 5 i 8 - tab. 2).

Pod koniec cyklu PZ3, w odróżnieniu od cykli poprzednich, na większości obszaru basenu cechsztynskiego nie osadziły się w utwory siarczanowe i cyklotem ten kończą utwory chlorkowe o morskim charakterze, wykształcone miejscami w facji zubrowej (np. Czapowski, 1994; Czapowski i in., 2002, 2007, Tomassi-Morawiec, Czapowski, 2006; Wagner, 1994).

WNIOSKI KOŃCOWE

Interpretacja stosunków obecnych miąższości 2 głównych typów osadów ewaporatowych (chlorków i siarczanów, w oparciu o dane z ponad 800 otworów wiertniczych) w cyklach PZ1, PZ2 i PZ3 cechsztynu na obrzeżu zbiornika permskiego w Polsce (celem zminimalizowania wpływu tektoniki solnej, dominującej obecnie w jego osiowej części) pozwoliła przedstawić wnioski, mające zarówno poznawcze jak i pewne praktyczne walory.

WNIOSKI POZNAWCZE

1) Interpretacja opisanych relacji wskazuje na formowanie się badanych sukcesji ewaporatów w 3 różnych typach basenów depozycyjnych (typy: „wypełnieniowy”, „subszydujący” i „niestabilny”). W modelach tych kluczową rolę w proporcjach miąższościowych zakumulowanych osadów odgrywały pierwotna batymetria i tempo subsydenacji basenu.

2) Siarczany i nadległe chlorki cyklu PZ1 powstały w basenach typu „wypełnieniowego”, rozwiniętych na wyniesieniu Łeby i w syneklizie perybałtyckiej, natomiast w pozostałych obszarach obrzeża zbiornika (Polska NW, E i SE) - w obrębie basenów typu „niestabilnego”.

3) W przypadku podobnej sukcesji cyklu PZ2 na obrzeżu zbiornika dominowały baseny typu „niestabilnego”, za wyjątkiem obszaru Podlasia wraz z regionem radomskim, gdzie wzmożona subsydenacja spowodowała rozwój basenu typu „subszydującego”. Cykl ten charakteryzuje generalnie wzrost

i zróżnicowanie regionalne subsydenacji w całym basenie (por. Dadlez i in., 1994; Wagner, 1988, 1994).

4) Analogiczne następstwo siarczanów i nadległych chlorków w cyklu PZ3 powstało na bardziej ku zachodowi położonym obrzeżu zbiornika w basenach o zmiennej subsydenacji typu „niestabilnego”, zaś w części położonej dalej na wschód – w stabilnych tektonicznie lecz zróżnicowanych batymetrycznie basenach typu „wypełnieniowego”.

5) Z końcem cykli PZ1 i PZ2 na całym badanym obrzeżu zbiornika cechsztynskiego następował przypuszczalnie wzrost subsydenacji, gdyż siarczany przykrywające osady chlorkowe wykazują relacje miąższościowe typowe dla basenów typu „niestabilnego”.

Należy jednak zaznaczyć, że wzór sukcesji osadowej typowej dla basenu typu „niestabilnego” może być też wynikiem halotektonicznych zmian miąższości wydzielen, nieczytelnych w profilach otworów wiertniczych wskutek braku rdzeniowania serii ewaporatowych cechsztynu. Ten czynnik winien być uwzględniany w świetle danych o tektonice dysjunktywnej w utworach cechsztynu na obszarze północnej Polski (np. Dadlez, 1998; Peryt i in., 1984; Szaniawski, 1964) a także stwierdzenia uskoków i nasunięć serii solnych w południowo-zachodniej Polsce (np. Burliga, 2007; Kijewski, Salski, 1978; Kłapciński, 1989; Markiewicz, 2007; Markiewicz, Becker, 2009; Podemski, 1972, 1973, 1974, 1975; Sokołowski, 1967; Szybist, 1976; Toboła, 2014).

Choć zastrzeżenia może budzić podjęta próba interpretacji stosunków miąższościowych w oparciu o bardzo różną dla poszczególnych obszarów ilość informacji o danym cyklocie (różna ilość otworów wiertniczych, zależna od stopnia rozpoznania geologicznego obszaru: od maksymalnie 310 do tylko 4), to jednak stosunki te wydają się rejestrować pewne tendencje w rozwoju basenów ewaporatowych, tym bardziej wiarygodne im większą ilością danych są poparte.

WNIOSKI PRAKTYCZNE

Znajomość typu (odwrotna czy wprost proporcjonalna) korelacji (WK) pomiędzy miąższością serii chlorkowej oraz podścielających ją (Ad) i nadległych (Ag) serii siarczanych w niezaburzonej tektonicznie sukcesji ewaporatowej cechsztynu może być pomocna dla prognozowania miąższości tych utworów przy znanej grubości jednego z komponentów. Jest to istotne w przypadku wyboru lokalizacji i projektowaniu kawern solnych (magazynowych bądź składowiskowych) w pokładowych wystąpieniach ewaporatów. W takich przypadkach kluczowa jest wiedza o możliwie maksymalnej grubości serii solnej (lokalizacja kawern) i odpowiednich miąższościach siarczanów, stanowiących korzystne poziomy izolacyjne. Warto podkreślić, że serie siarczane stanowią najlepsze horyzonty refleksyjne w utworach cechsztynu, stąd informacja o ich miąższości jest uzyskiwana z sekcji sejsmicznych o wysokiej rozdzielczości.

W świetle przedstawionej analizy najbardziej korzystne dla tej formy zagospodarowania wydają się sukcesje ewaporatowe uformowane w basenach typu „wypełnieniowego” i „subszydującego”, dla których wartości współczynników korelacji są bliższe odpowiednio wartości (-1,0) i (+1,0). W pierwszym przypadku wiedza o niewielkiej miąższości siarczanów podsolnych jest gwarancją dużej grubości nadległej serii chlorkowej, zaś w drugim zależności te są wprost proporcjonalne także w odniesieniu do nadległych utworów siarczanowych.

Próba regionalizacji opisanych typów ewaporatowych basenów depozycyjnych cykli PZ1-PZ3 cechsztynu na obrzeżu zbiornika permjskiego w Polsce wskazuje na kilka obszarów, na których można dokonywać prognostycznych szacunków grubości serii ewaporatowych:

- a) dla cyklu PZ1 są to wyniesienie Łęby i synekliza perybałycka (baseny typu „wypełnieniowego”; wartość WK zmienia się od [-0,56] do [-0,94]),
- b) dla cyklu PZ2 - obszar Podlasia z regionem radomskim (basen typu „subszydującego”, wartość WK wynosi [+0,856]),
- c) dla cyklu PZ3 – obszary LGOM i Podlasia z regionem radomskim (baseny typu „wypełnieniowego”, wartość WK zmienia się od [-0,83] do [-0,79]).

Podziękowania. Autorzy serdecznie dziękują Recenzentom, prof. dr hab. inż. Aleksandrowi Garlickiemu i dr hab. inż. Krzysztofowi Bukowskiemu, za cenne uwagi merytoryczne i redakcyjne.

LITERATURA / REFERENCES

- BURLIGA S., 2007. Internal structure of subhorizontal bedded rock salt formation in the area of Sierosszowice, SW Poland – meso- and microstructural indications. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 23 (1) (Przegląd Solny): 51-64.
- CZAPOWSKI G., 1987. Sedimentary facies in the Oldest Rock Salt (Na1) of the Łęba elevation (northern Poland). *Lecture Notes of Earth Sciences*, 10: 207-224. Springer-Verlag.
- CZAPOWSKI G., 1993 - Finalne osady chlorkowe w cechsztynie - schyłek czy początek cyklu depozycyjnego? (implikacje stratygraficzne). *Prz. Geol.*, 41 (5): 342-343.
- CZAPOWSKI G., 1994. Facies characteristics and distribution of the Zechstein (Upper Permian) salt deposits of PZ3 (Leine) Cycle in Poland. *Bull. Pol. Acad. des Sciences, Earth Sciences*, 41 (4): 229-237.
- CZAPOWSKI G., 1995a. Upper Permian (Zechstein) salt deposits on the Żary Pericline - characteristics, origin and economic value. *Prace Państ. Inst. Geol.*, 150: 35-60.
- CZAPOWSKI G., 1995b. Salt facies of the Upper Permian. XIII International Congress on Carboniferous-Permian, Guide to Excursion A3: 85-96.
- CZAPOWSKI G., 1998. Geneza najstarszej soli kamiennej cechsztynu w rejonie Zatoki Puckiej (studium sedymentologiczne). Praca doktorska: 1-114. NAG PIG-PIB [696/99], Warszawa.
- CZAPOWSKI G., 2007. Ocena głębokości zbiornika solnego i czasu depozycji chlorków sodu na przykładzie utworów najstarszej soli kamiennej (Na1) cyklu PZ1 cechsztynu w rejonie Zatoki Puckiej. *Prz. Geol.*, 55 (7): 573-581.
- CZAPOWSKI G., ANTONOWICZ L., PERYT T. M., 1991. Facies and paleogeography of the Zechstein (Upper Permian) Older Halite (Na2) in Poland. *Bull. Pol. Acad. des Sciences, Earth Sciences*, 38 (1-4): 45-55.
- CZAPOWSKI G., PERYT T.M., ANTONOWICZ L., 1994. Facies and paleogeography of the Zechstein (Upper Permian) Oldest Halite (Na1) in Poland. *Bull. Pol. Acad. des Sciences, Earth Sciences*, 41 (4): 217-227.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., LANGER-KUŹNIAROWA A., PERYT T. M., 2002. Salt facies evolution of declining evaporitic basin (history of the Upper Permian succession in Poland). 16th International Sedimentological Congress Abstract Volume (2002), Johannesburg 8-13 July: 73.
- CZAPOWSKI G., TOMASSI-MORAWIEC H., MISIEK G., 2007. Podział i występowanie górnopermskich skał zubrowych w Polsce. Abstrakty XII Międzynarodowego Sympozjum Solnego pt. Przemysł solny w gospodarce. Kłodawa, 11-12 października 2007 r.: 31-33.
- DADLEZ R., (red.), 1998. *Mapa tektoniczna kompleksu cechsztyńsko-mezozoicznego na Niżu Polskim, skala 1:500 000*. Warszawa.
- DADLEZ R., MAREK S., POKORSKI J., (eds), 1998. *Atlas paleogeograficzny epikontynentalnego permu i mezozoiku w Polsce, skala 1:2 500 000*. Warszawa.
- DADLEZ R., NARKIEWICZ M., STEPHENSON R. A., VISSER M. T. M., 1994. Subszydująca bruzda środkowopolskiej w permie i mezozoiku. *Prz. Geol.*, 42 (9): 715-720.
- KIJEWSKI P., SALSKI W., 1978. Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudetica*, 13 (1): 97-134.
- KLAPCIŃSKI J., (ed.), 1989. *Atlas obszaru miedzionośnego (monoklina przedsudecka), skala 1: 50000*. Wyd. Śląsk. Katowice.
- MARKIEWICZ A., 2007. Naskórkowa struktura południowej części monokliny przedsudeckiej a zagospodarowanie utworów najstarszej soli kamiennej (Na1). *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 23 (1) (Przegląd Solny): 35-49.
- MARKIEWICZ A., BECKER R., 2009. Pierwotny zasięg występowania najstarszej soli kamiennej (Na1) w południowej części monokliny przedsudeckiej (SW Polska). *Geologia (kwart. AGH)*, 35 (3): 327-348.
- PERYT T.M., CZAPOWSKI G., DĘBSKI J., GAŚIEWICZ A., HERBICH E., PIZON A., 1984. Poszukiwanie złóż soli cechsztyńskich polihalitu na wyniesieniu Łęby. Część I. Analiza geologicznych warunków występowania i genezy polihalitu i soli cechsztyńskich na wyniesieniu Łęby. 1-100. NAG PIG-PIB [33716, 33/177], Warszawa.
- PODEMSKI M., 1968. Kilka uwag o sedymentologicznych podstawach stratygrafii cechsztynu. *Kwart. Geol.*, 12 (4): 875-883.
- PODEMSKI M., 1972. Cechsztyńskie sole kamienne i potasowe cyklotemów Z2, Z3 w okolicach Nowej Soli. *Biul. Inst. Geol.*, 260 (2): 5-62.
- PODEMSKI M., 1973. Sedymentacja cechsztyńska zachodniej części monokliny przedsudeckiej na przykładzie okolic Nowej Soli. *Pr. Inst. Geol.*, 71: 1-101.
- PODEMSKI M., 1974. Wyniki dotychczasowych badań soli potasowych w strefie przedsudeckiej. *Prz. Geol.*, 21 (1): 7-12.
- PODEMSKI M., 1975. Sole cechsztyńskie w rejonie struktury Rybaki. *Biul. Inst. Geol.*, 286 (III): 5-63.

- 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.
- SOKOŁOWSKI J., 1967. Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przedsudeckiego. *Geologia Sudetica*, 3: 297-367.
- SZANIAWSKI H., 1964. Cechsztyń na Pomorzu Gdańskim. *Kwart. Geol.*, 8 (4): 922-923.
- SZYBIST A., 1976. Złoże soli kamiennej w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedzianym. *Prz. Geol.*, 24 (10): 572-576.
- TOBOŁA T., 2014. The influence of tectonics on petrological characteristics of anhydrite and anhydrite-halite intercalations in the Oldest Halite (Na1) (Zechstein, Upper Permian) of the Bądzów area (SW Poland). *Geol. Quarterly*, 58 (3): 531-542.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., 2006. Brom w skałach ilasto-solnych cechsztyń Polski. *Prz. Geol.*, 54 (6): 488-495.
- WAGNER R., 1988. Ewolucja basenu cechsztyńskiego w Polsce. *Kwart. Geol.*, 32 (1): 33-52.
- WAGNER R., 1994. Stratygrafia i rozwój basenu cechsztyńskiego na Niżu Polskim. *Prace PIG*, 146: 1-71.
- WAGNER R., PERYT T. M., 1997. Possibility of sequence stratigraphy subdivision of the Zechstein in the Polish Basin. *Geol. Quarterly*, 41 (4): 457-474.