

WOJCIECH STRZETELSKI

Klastyczne utwory transgresywne cechsztynu wyniesienia Łeby na tle modelu facjalnego basenu ewaporatowego

CLASTIC TRANSGRESSIVE DEPOSITS OF THE ZECHSTEIN IN THE ŁEBA ELEVATION
AGAINST THE FACIAL PATTERN OF AN EVAPORITE BASIN

STRESZCZENIE: Ustalono statystyczne związki korelacyjne pomiędzy miąższością transgresywnych utworów terygeniczných białego spągowca a miąższościami pozostałych składników litofacjalnych cechsztynu na wyniesieniu Łeby. Na tej podstawie podjęto próbę zrekonstruowania pierwotnych miąższości soli i zestawienia modelu sedimentacji w basenie cechsztyńskim.

WSTĘP

W przypadku ewaporatowej serii cechsztynu mamy do czynienia z czteroskładnikowym systemem litofacjalnym złożonym z soli kamiennych i potasowych, anhydrytów, skał węglanowych oraz transgresywnych utworów terygeniczných leżących w spągu (biały spągowiec). Osady te są w przeważającej większości produktem sedimentacji chemicznej regulowanej dopływem świeżych wód oceanicznych. Proporcje ich wzajemnego udziału zależą od głębokości zbiornika i morfologii dna a przede wszystkim od wielkości i zmienności zasolenia wód. Zmienność litofacjalna cyklotemów wyraża się poprzez wzajemnie skompensowany miąższościowo układ facjalny węglanów, anhydrytów i soli (Poborski 1960, 1961a,b, 1969; Dadlez 1976). Istnieje więc możliwość potraktowania całego systemu jako jednorodnego układu chemogenicznego i rozpatrywania zależności korelacyjnych pomiędzy jego składnikami. Zależność pomiędzy składnikami można badać w układzie otwartym biorąc pod uwagę sumaryczne miąższości elementów litofacjalnych w profilu, bądź też w układzie zamkniętym, gdy udział elementów wyrażony jest w formie procentowej w stosunku do całej miąższości profilu branej za 100%. W normalnym basenie se-

dymencyjnym korelacje w układzie zamkniętym są silniejsze i bardziej wyraziste aniżeli w otwartym układzie numerycznym (Krumbein 1962, 1963). Jednakże stosunki procentowe w basenie cechsztyńskim są silnie zaburzone w wyniku wtórnych rozmyć, redepozycji i ruchów soli kamiennych i potasowo-magnezowych. Dlatego też związki korelacyjne pomiędzy poszczególnymi składnikami litofacjalnymi w profilu cechsztynu na wyniesieniu Łeby zdecydowano rozpatrywać w otwartym układzie numerycznym opierając się na sumarycznych miąższościach obserwowanych w wierceniach. Autor kierował się przekonaniem, że badanie statystycznych zależności pomiędzy miąższościami wzajemnie kompensujących się składników przybliży nas do odtworzenia ilościowego modelu pierwotnej sedymentacji w zbiorniku salinarnym.

Niezbędnych obliczeń dokonano w Ośrodku Cyfrowym Międzyresortowego Instytutu Geofizyki Stosowanej i Geologii Naftowej AGH w Krakowie na maszynie Odra 1325 według programu *JMSR-OLD* przygotowanego przez dr inż. J.M. Szwejtkowskiego, któremu autor składa serdeczne podziękowanie za życzliwą pomoc i współpracę. Składam również serdeczne podziękowania prof. dr hab. S.W. Alexandrowiczowi, prof. dr hab. inż. R. Neyowi, prof. dr inż. J. Poborskiemu i dr inż. K. Stupczyńskiemu za ceną i wnikliwą dyskusję przedmiotu oraz przeglądnięcie rękopisu.

KORELACJE SKŁADNIKÓW LITOFACJALNYCH PROFILU

Na obszarze wyniesienia Łeby zaobserwowano istnienie ścisłego związku pomiędzy miąższością piaszczysto-zlepieńcowych osadów białego spągowca a miąższością całego cyklotemu Werra (Strzetelski 1977). W miarę wzrostu miąższości cyklotemu Z_1 miąższość spągowych utworów terygeniczných spada do zera i odwrotnie. Oznacza to, iż piaskowce i zlepieńce transgresywne narastają miąższościowo w kierunku dawnego ładu tworząc jednocześnie nabrzmienia o charakterze wałów piaszczystych (bary lub rewy) rozwijające się ponad wyniesieniami morfologicznymi dawnego dna zbiornika. Piaskowce i zlepieńce białego spągowca są w całości pochodzenia morskiego i stanowią utwór bazalny morza cechsztyńskiego (Górecki & Strzetelski 1972a, b, Strzetelski 1977; Aleksandrowicz & al. 1977, Pryor 1969, 1971 a, b). Miąższość ich zmienia się od 80—100 m w zachodniej części wyniesienia Łeby do pojedynczych decymetrów w rejonie Zatoki Puckiej i u nasady półwyspu Hel. W przybrzeżnych strefach swojego maksymalnego rozwoju spągowiec stanowi niewątpliwie odpowiednik litofacjalny wapienia cechsztyńskiego, a nawet pozostałych ewaporatów cyklotemu Werra.

Stwierdzenie zależności miąższościowej pomiędzy białym spągowcem a całym cyklotemem Werra nasunęło autorowi myśl zbadania tych samych relacji dla pozostałych składników cechsztynu. Jako punkt wyjścia przyjęto więc miąższość zlepieńców i piaskowców białego spągowca oznaczając ją symbolem *MZL* (miąższość zlepieńca). System korelacji *MZL* z pozostałymi składnikami przedstawiono na fig. 1.

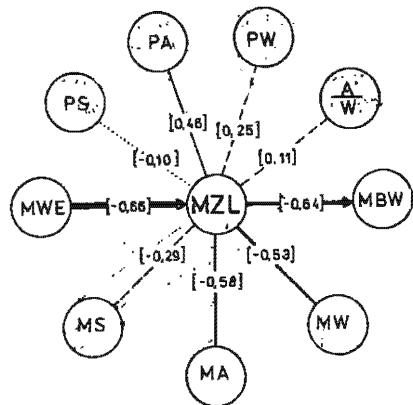
Stosując metodę analizy regresji wielokrotnej (Krumbein & Graybill 1965) badano korelacje pomiędzy *MZL* a następującymi parametrami litofacjalnymi profilu cechsztynu (reprezentowanego prawie wyłącznie przez cyklotem Werra):

1. miąższością cechsztynu; głównie cyklotemu Werra (*MWE*)
 2. miąższością skał węglanowych (*MW*)
 3. procentowym udziałem skał węglanowych (*PW*)
 4. miąższością anhydrytów (*MA*)
 5. procentowym udziałem anhydrytów (*PA*)
 6. miąższością soli (*MS*)
 7. procentowym udziałem soli (*PS*)
 8. sumaryczną miąższością utworów bezsolnych cechsztynu; głównie Werra (*MBW*)
 9. stosunkiem miąższości anhydrytów do węglanów (*A/W*).
- Wyniki tych porównań przedyskutowano poniżej.

Fig. 1

Schemat badanych związków statystycznych pomiędzy składnikami profilu cechsztynu, głównie Werra (Diagramatically shown statistical connections between the components of the Zechstein, mainly Werra profile)

Cyframi oznaczono wartość współczynnika korelacji. Linie ciągłe oznaczają korelację istotną, nieciągłe — brak korelacji (Figures indicate the correlation coefficient value, lines indicate the existing correlation, broken lines indicate lack of correlation)



MZL miąższość spągowych utworów terygeniczych (thickness of the terrigenous bottom deposits); *MWE* miąższość cechsztynu (thickness of the Zechstein); *MBW* sumaryczna miąższość bezsolnych utworów (summaric thickness of the saltless deposits); *MW* miąższość skał węglanowych (thickness of carbonate rocks); *PW* procent skał węglanowych w profilu (percent content of carbonate rocks in the profile); *MA* sumaryczna miąższość anhydrytów (summaric thickness of anhydrites); *PA* procent anhydrytów w profilu (percent content of anhydrites in the profile); *MS* miąższość arzych soli kamiennych (thickness of oldest rock salts); *PS* procent najstarszych soli kamiennych w profilu (percent ant of oldest rock salts in the profile); *A/W* stosunek miąższości anhydrytów do węglanów (anhydrites-carbonates thickness ratio)

ZALEŻNOŚĆ MZL OD MIAŻSZOŚCI WERRA (*MWE*)

Miąższość cechsztynu zmienia się od 67 m (Darłowo 3) do 353 m (Miłoszewo 1). Jest to niestety w wielu miejscach miąższość zredukowana erozyjnie, ponieważ na przelomie Werra-Stassfurt nastąpiły ruchy wynoszące, przekształcające całą centralną część wyniesienia Łęby w obszar lądowy. Łąd ten zwany półwyspem środkowo-pomorskim stanowił najprawdopodobniej wysunięty element lądu skandynawskiego (Poborski & Wagner 1972). Jedynie wzdłuż wschodniego i zachodniego obrzeżenia wyniesienia Łęby zachowane są wyższe cyklotemy cechsztynu.

Na lądzie sól poddana była intensywnemu rozmywaniu i erozji tak dalece, iż miejscami powstały głęboko rozcięte kaniony z leżącą na ich dnie czapą gipsową (Poborski 1978). W pozostałych obszarach miąższość cyklotemu Werra zależy od zmian miąższości soli najstarszej (fig. 7), mimo iż w brzeźnej części zbiornika następuje charakterystyczna redukcja stratygraficzno-miąższościowa związana z wyklonowaniem soli i dominacją utworów węglanowo-siarczanowych (Dadlez & al. 1976) przy narastającym udziale piaskowców i zlepieńców białego spągowca.

Porównując miąższość białego spagowca (MZL) z miąższością całego cyklotemu Z_1 (MWE) dysponowano $n=21$ obserwacjami w profilach wiertniczych, a zatem ilość stopni swobody w próbie wynosi $r=19$. Średnia miąższość $MZL=17,6$ m, a $MWE=197$ m.

Proste regresji według korelacji liniowej dla zależności $MWE=\hat{A}+\hat{B}\cdot MZL$ oraz $MZL=\hat{A}+\hat{B}\cdot MWE$ mają postać:

$$MWE=248,4-2,872\cdot MZL \text{ przy wariancji } \delta^2=6069 \quad (1)$$

$$MZL=39,03-0,108\cdot MWE \text{ przy wariancji } \delta^2=229 \quad (2)$$

Na poziomie $\alpha=10\%$ przedziały ufności dla parametrów równania (1) wynoszą: $206 \leq \hat{A} \leq 290$ oraz $-4,56 \leq \hat{B} \leq -1,18$, zaś dla parametrów równania (2): $25,2 \leq \hat{A} \leq 52,9$ oraz $-0,168 \leq \hat{B} \leq -0,05$. Współczynnik korelacji dla powyższej regresji $\rho=-0,558$ pozostaje w przedziale istotności zarówno na poziomie $\alpha=1\%$ jak i $\alpha=5\%$.

Przy $n'=19$ stopniom swobody istotne są wszystkie współczynniki korelacji $\rho \geq |0,5|$ na poziomie $\alpha=0,01$ oraz współczynniki korelacji $\rho \geq |0,4|$ na poziomie ufności $\alpha=0,05$. Ponieważ ilość stopni swobody pozostaje bez zmiany, dlatego powyższe granice istotności obowiązują dla wszystkich dalszych współczynników korelacji dyskutowanych w niniejszym artykule.

Krzywe wykładnicze regresji przy korelacji nieliniowej ustalone dla zależności między MZL a MWE przedstawiono na wykresie fig. 2.

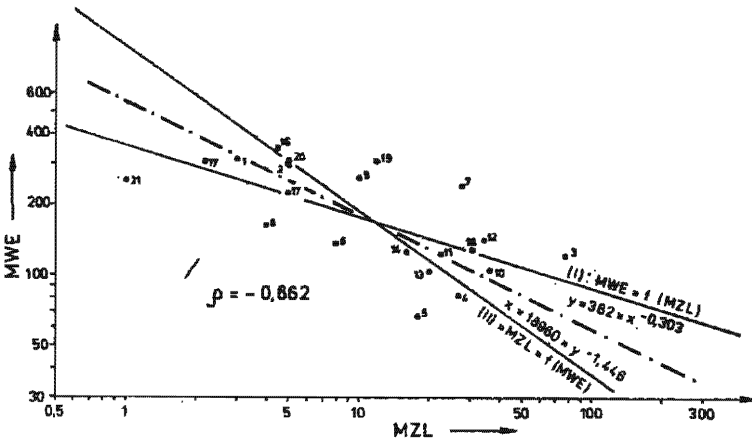


Fig. 2. Proste i równania regresji dla zależności nieliniowej między miąższością terygenicnych utworów spagowych MZL a miąższością Werra MWE (Regression lines and equations for non-linear dependence between the thickness of terrigenous bottom deposits MZL and that of the Werra thickness MWE)

Profile wierceń (Borehole profiles): 1 — Białogarda 1; 2 — Bytów 1; 3—6 — Darłowo 1—4; 7 — Lębork 1; 8—15 — Leba 1—8; 16 — Miłoczewo 1; 17 — Salino 1; 18 — Smołdzino 1; 19 — Swarzewo 1; 20 — Swarzewo 5; 21 — Żarnowiec 1

Mają one postać:

$$MWE=363\cdot MZL^{-0,303} \text{ przy wariancji } \delta^2=5388 \quad (3)$$

$$MZL=18960\cdot MWE^{-1,446} \text{ przy wariancji } \delta^2=302,8 \quad (4)$$

Te same krzywe w postaci logarytmicznej: $\lg MWE=\lg \hat{A}-\hat{B} \lg MZL$ i $\lg MZL=\lg \hat{A}-\hat{B} \lg MWE$ przybierają kształt prostych (fig. 2) opisanych równaniami:

$$\lg MWE=2,559-0,303 \lg MZL \text{ przy } \delta^2=0,0283 \quad (5)$$

$$\lg MZL=4,278-1,446 \lg MWE \text{ przy } \delta^2=0,1353 \quad (6)$$

Na poziomie istotności $\alpha=10\%$ przedziały ufności dla parametrów równania (5) wynoszą: $2,41 \leq \lg \hat{A} \leq 2,71$ oraz $-0,433 \leq \hat{B} \leq -0,17$ zaś dla równania (6): $2,82 \leq \lg \hat{A} \leq 5,74$ oraz $-2,1 \leq \hat{B} \leq -0,8$.

Współczynnik korelacji dla regresji krzywoliniowej wynosi: $\rho = -0,662$, a więc spełnia warunek istotności na poziomie $\alpha=1\%$.

Jak z tego wynika, korelacja nieliniowa między *MZL* a *MWE* jest silniejsza aniżeli korelacja liniowa na tym samym poziomie istotności, wobec czego została ona zastosowana dla konstrukcji modelu sedymentacyjnego (fig. 9).

ZALEŻNOŚĆ *MZL* OD MIAŻSZOŚCI (*MW*) I UDZIAŁU (*PW*) SKAŁ WĘGLANOWYCH

Summaryczna miąższość skał węglanowych (*MW*) w profilu zmienia się od 5—7 m (Darłowo 3, Łeba 4, 7) do 60—80 m (Darłowo 4, Swarzewo 5, Salino 1, Białogarda 1, Żarnowiec 1). Są to wapienie i dolomity tworzące kompleks wapienia cechsztyńskiego w spągu profilu. Zmienna miąższość tych skał wiąże się z różną prędkością narastania osadów i rozwojem wtórnych procesów dolomityzacji (Alexandrowicz 1974). Zdaniem Richter-Bernburga (1968), barierę węglanową należy uważać za jeden ze składników normalnego cyklu sedymentacji ewaporatowej.

Procentowy udział utworów węglanowych (*PA*) w profilu zmienia się od 4—5% (Bytów 1, Łeba 2) do 50—65% (Darłowo 4, Łeba 3).

Porównując miąższość zlepieńca podstawowego i piaskowców białego spągowca (*MZL*) z miąższością skał węglanowych (*MW*) opierano się na tej samej co poprzednio liczbie obserwacji $n=21$ przy $n'=19$ stopniom swobody. Średnie miąższości węglanów $MW=31,4$ m. Proste regresji według korelacji liniowej dla zależności $MW = \hat{A} + \hat{B} \cdot MZL$ i $MZL = \hat{A} + \hat{B} \cdot MW$ mają postać:

$$MW = 41,99 - 0,6 \cdot MZL \text{ przy wariancji } \delta^2 = 455,2 \quad (7)$$

$$MZL = 28,5 - 0,35 \cdot MW \text{ przy wariancji } \delta^2 = 262,8 \quad (8)$$

współczynnik korelacji dla powyższej regresji $\rho = -0,458$ spełnia warunek istotności na poziomie $\alpha=5\%$ natomiast nie spełnia tego warunku na poziomie $\alpha=1\%$. Parametry równań regresji pozostają w następujących granicach ufności na poziomie $\alpha=10\%$:

$$\text{dla równania (7): } 30,5 \leq \hat{A} \leq 53,4 \text{ oraz } -1,06 \leq \hat{B} \leq 0,14$$

$$\text{dla równania (8): } 18,1 \leq \hat{A} \leq 38,9 \text{ oraz } -0,62 \leq \hat{B} \leq 0,08$$

Krzywe regresji dla korelacji nieliniowej według funkcji wykładniczej wyżej wymienionej zależności przedstawione zostały na wykresie fig. 3 i przybierają postać:

$$MW = 61,79 \cdot MZL^{-0,417} \text{ przy } \delta^2 = 416,7 \quad (9)$$

$$MZL = 92,88 \cdot MW^{-0,689} \text{ przy } \delta^2 = 341 \quad (10)$$

Te same krzywe w postaci logarymicznej opisane są równaniami:

$$\lg MW = 1,79 - 0,417 \lg MZL \quad (11)$$

$$\lg MZL = 1,96 - 0,689 \lg MW \quad (12)$$

Parametry równań regresji w postaci logarymicznej na poziomie $\alpha=10\%$ pozostają w następujących przedziałach ufności:

$$\text{dla równania (11): } 1,5 \leq \lg \hat{A} \leq 2,08 \text{ oraz } -0,68 \leq \hat{B} \leq -0,16$$

$$\text{dla równania (12): } 1,35 \leq \lg \hat{A} \leq 2,57 \text{ oraz } -1,12 \leq \hat{B} \leq -0,26$$

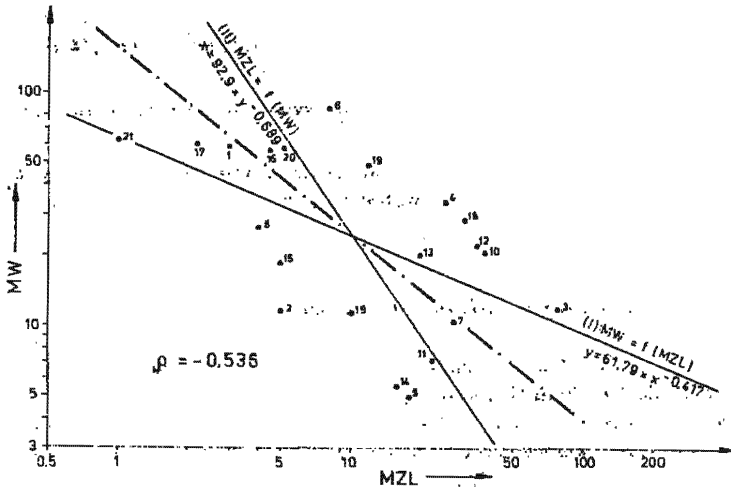


Fig. 3. Proste i równania regresji dla zależności nieliniowej między miąższością terygenicnych utworów spagowych MZL a miąższością skał węglanowych MW . Numery odwiertów jak na fig. 2 (Regression lines and equations for non-linear dependences between the thickness of the terrigenous bottom deposits MZL and that of the carbonate rocks MW . Numbering of boreholes as in Fig. 2)

Współczynnik korelacji dla regresji nieliniowej między MZL a MW wynosi $\rho = -0,536$, a więc spełnia warunek istotności na poziomie $\alpha = 1\%$.

Jak wynika z powyższych rozważań, korelacja między MZL a MW jest silniejsza w postaci wykładniczej aniżeli w postaci prostołiniowej, stąd przy konstrukcji modelu sedimentacyjnego zastosowano korelację nieliniową — równania (11), (12) (fig. 8).

Zbadano również zależność pomiędzy miąższością zlepionca (MZL) a procentowym udziałem skał węglanowych w profilu Werra (PW). Jednakże współczynniki tej korelacji dla regresji liniowej ($\alpha = 0,24$) i nieliniowej ($\alpha = 0,25$) są zbyt niskie i nie spełniają warunku istotności przy założonych poziomach ufności. Wobec tego korelację powyższą wyeliminowano z dalszych rozważań (fig. 1).

ZALEŻNOŚĆ MZL OD MIAŻSZOŚCI (MA) I UDZIAŁU ANHYDRYTÓW (PA)

Miąższość anhydrytów (MA) w cyklotemie Z_1 potraktowana została łącznie tj. obejmuje ona miąższość anhydrytu dolnego i górnego Werra.

Anhydryt dolny powstawał w warunkach stopniowego wzrostu koncentracji soli w wodzie morskiej (cykl progresywny) natomiast anhydryt górny pojawił się w związku ze spadkiem zasolenia (cykl recesywny). Niemniej obydwie poziomy odzwierciedlają ten sam stan chemiczny zbiornika sedimentacyjnego istniejący na początku i przy końcu cyklotemu (Szaniawski 1966, 1970). Stąd też w przyjętym modelu sedimentacji miąższość obydwu poziomów anhydrytowych została zsumowana.

Z poglądem tym nie zgadza się Podemski (1968) stwierdzając, iż anhydryty kryjące nie są produktem ewaporacji tego samego roztworu co leżące niżej najstarsze sole kamienne. Cytowany autor uważa więc, że łączenie anhydrytów górnych z leżącymi poniżej chlorkami w jeden cykl chemiczny jest nieuzasadnione. Anhydryt górny wyznaczałby w tym układzie początek nowego cyklotemu.

Powstawanie kolejnych cykli ewaporatowych było przede wszystkim wynikiem działania czynników klimatycznych oraz mechanizmu kolejnych ingresji świeżych wód z morza otwartego.

Sumaryczne potraktowanie anhydrytów jako jednego składnika litologicznego w profilu nie powinno być błędem, ponieważ dążymy do wykrycia prawidłowości rządzących całą sedimentacją

chemiczną. Ponadto znane jest zjawisko wzajemnego uzupełniania się miąższościowego anhydrytów dolnych i górnych Werry, a efekt sumarycznego wzrostu ich miąższości określa się jako „barierę anhydrytową” (Antonowicz & Knieszner 1975). W cyklotemie Z_1 bariera ta oddzielała basen główny od przybrzeżnego zbiornika pobocznego wypełnionego solą kamienną oraz wieńczącą ten cykl solą potasowo-magnezową. Basen poboczny traktowany jest jako megasabha charakteryzująca się wysokim parowaniem (Richter-Bernburg & al. 1968). Zatoka pomorska cechazytynu oraz wschodnia część wyniesienia Łeby stanowiły basen poboczny morza górnego permu. W pasie nadbrzeżnym między Darłowem a Łebą perm górny ogranicza się do utworów piętra Z_1 (Dadlez & al. 1976). Zatem rozpatrywanie związków korelacyjnych w obrębie cechazytynu przy sumarycznym potraktowaniu wszystkich jego składników litofacjalnych wydaje się być uzasadnione. Sumaryczna miąższość anhydrytów waha się od 32–35 m (Darłowo 3, Darłowo 1) do 175–185 m (Swarzewo 1, 5), co stanowi od 22–24% (Łębork 1, Łeba 1, 2) do 70–76% (Smoldziño 1, Łeba 6) całości profilu.

Przy korelacji miąższości zlepieńca i piaskowca białego spągowca (MZL) z miąższością anhydrytów (MA), ilość obserwacji ($n=21$) i stopni swobody ($n'=19$) pozostaje bez zmian. Średnia wartość $MA=72$ m.

Proste regresji wh. korelacji liniowej przybierają postać:

$$MA = 90,61 - 1,05 \cdot MZL \text{ przy } \delta^2 = 1341 \quad (13)$$

$$MZL = 32,35 - 0,205 \cdot MA \text{ przy } \delta^2 = 260 \quad (14)$$

Współczynnik korelacji dla powyższej regresji wynosi $\rho = -0,465$ i pozostaje w przedziale istotności na poziomie ufności $\alpha = 5\%$, natomiast nie spełnia warunku istotności na poziomie $\alpha = 1\%$. Parametry równań regresji prostoliniowej pozostają w następujących przedziałach ufności na poziomie $\alpha = 10\%$:

dla równania (13): $71 \leq \hat{A} \leq 110,3$ oraz $-1,85 \leq \hat{B} \leq -0,25$

dla równania (14): $19,6 \leq \hat{A} \leq 45$ oraz $-0,36 \leq \hat{B} \leq -0,055$

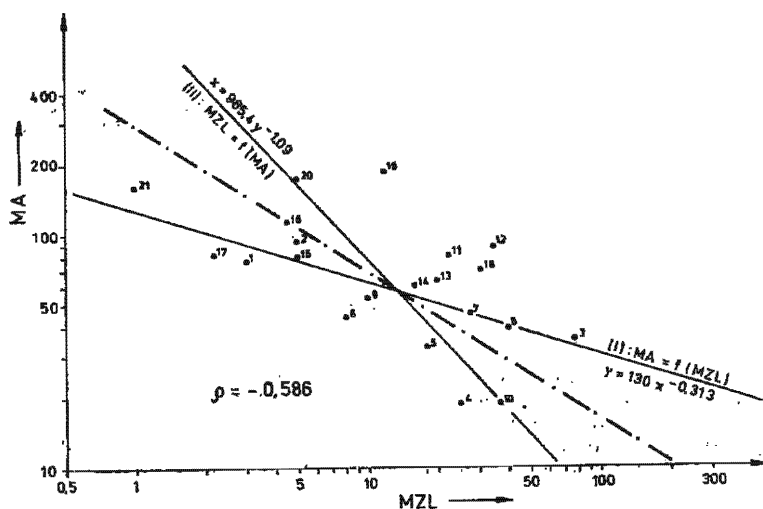


Fig. 4. Proste i równania regresji dla zależności nieliniowej między miąższością terygeniczných utworów spągowych MZL a miąższością anhydrytów MA . Numery odwiertów jak na fig. 2 (Regression lines and equations for non-linear dependence between the thickness of terrigenous bottom deposits MZL and that of anhydrites MA . Numbering of boreholes as in Fig. 2)

Krzywe regresji dla korelacji nieliniowej pomiędzy MZL a MA przedstawione na fig. 4 przybierają postać:

$$MA = 130 \cdot MZL^{-0,313} \text{ przy } \delta^2 = 1059 \quad (15)$$

$$MZL = 985,4 \cdot MA^{-1,09} \text{ przy } \delta^2 = 292 \quad (16)$$

Te same krzywe będą miały kształt prostych w układzie logarytmicznym:

$$\lg MA = 2,11 - 0,313 \lg MZL \quad (17)$$

$$\lg MZL = 2,99 - 1,09 \lg MA \quad (18)$$

Współczynnik korelacji dla wykładniczej funkcji regresji wynosi $\rho = -0,586$, a więc jest większy aniżeli przy korelacji liniowej ($\rho = -0,465$) i spełnia warunek istotności na poziomie $\alpha = 1\%$.

Wobec powyższego korelacja nieliniowa między MZL a MA przyjęta została do dalszych rozważań (fig. 8).

Parametry równań regresji nieliniowej na poziomie $\alpha = 10\%$ wahają się w następujących przedziałach ufności:

$$\text{dla równania (17): } 1,92 \leq \lg \hat{A} \leq 2,3 \text{ oraz } -0,483 \leq \hat{B} \leq -0,14$$

$$\text{dla równania (18): } 1,9 \leq \lg \hat{A} \leq 4,1 \text{ oraz } -1,69 \leq \hat{B} \leq -0,49$$

Zbadano również zależność pomiędzy miąższością zlepienica podstawowego (MZL) a procentowym udziałem anhydrytów w profilu (PA). Zależność ta w postaci prostych regresji nieliniowej zostały przedstawiona na fig. 5. Okazało się jednak, że w opisywanym przypadku zarówno

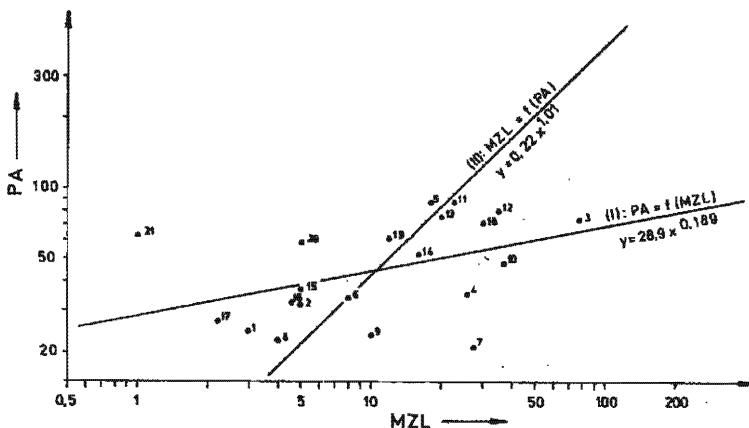


fig. 5. Proste i równania regresji dla zależności nieliniowej między miąższością terygeniczych utworów spagowych MZL a procentowym udziałem anhydrytów PA w profilu. Numery odwiertów jak na fig. 2 (Regression lines and equations for non-linear dependence between the thickness of terrigenous bottom deposits MZL and the percent anhydrite content PA in the Zechstein profile. Numbering of boreholes as in Fig. 2).

współczynnik korelacji liniowej ($\rho = 0,46$) jak i nieliniowej ($\rho = 0,438$) nie przekracza wartości $\rho = 0,50$, a więc nie spełnia warunku istotności przy założonym poziomie ufności $\alpha = 1\%$. Dlatego zależności między MZL a PA nie zastosowano dla rekonstrukcji modelu sedymentacyjnego wg schematu podanego na fig. 1.

ZALEŻNOŚĆ MZL OD MIAŻSZOŚCI (MS) I UDZIAŁU SOLI (PS)

Miąższość soli najstarszych (MS) zmienia się w bardzo szerokich granicach od zera (Dartowo 1, 2, 3, 4; Łeba 3, 5, 6; Salino 1) do 170—180 m (Białogarda 1, Bytów 1, Łeba 2, Miłoszewo 1). Nieregularne pojawianie się częściowo zerodowanych i rozmytych soli najstarszych stanowi główną trudność przy próbie rekonstrukcji pierwotnego modelu sedimentacji. W przypadku wyniesienia Łeby większość soli najstarszych osadzona była w basenie śródpłatformowym stanowiącym odnogę centralnego morza cechsztyńskiego. Co prawda nie nastąpiły tu późniejsze deformacje halokinetyczne, jednakże duża część soli została najprawdopodobniej rozmyta i descendentnie zniesiona w głąb zbiornika (Poborski 1961, Szaniawski 1970). Jak już zaznaczono, po zakończeniu normalnej sedimentacji ewaporatów Z_1 nastąpiła przerwa obejmująca piętro Z_2 odpowiadająca stadium lądowemu (Korab & Stermulak 1961). Na rozługowanych najstarszych solach tworzyły się typowe sole descendentne stwierdzone m.in. w profilu Lębork IG-1 i Bytów IG-2 (Poborski & Cimaszewski 1961). Sole descendentne problematycznego pochodzenia wypełniają zatem lukę sedimentacyjną między niekompletnym zespołem soli najstarszych Z_1 a spagową powierzchnią Z_3 . Luka stratygraficzna obejmująca okres erozji lądowej powiększała się przy przejściu od Zatoki Gdańskiej ku zachodowi, tj. w stronę wyniesienia Łeby (Poborski 1978), gdzie obejmowała najwyższą część cyklotemu Z_1 i cały cyklotem Z_2 . O nieregularnych postsedymenacyjnych zmianach warstwy soli kamiennej świadczy bardzo niska korelacja pomiędzy MZL a MS. Przy korelacji liniowej wynosi ona zaledwie $\rho = -0,275$, a przy korelacji według krzywej wykładniczej $\rho = -0,291$. Żaden ze współczynników nie spełnia warunku istotności przy założonych parametrach ufności $\alpha = 1\%$ i $\alpha = 5\%$. Nie można więc było uwzględnić powyższej relacji przy próbie rekonstrukcji pierwotnego rozkładu facji w basenie sedimentacyjnym.

ZALEŻNOŚĆ MZL OD SUMARYCZNEJ MIAŻSZOŚCI UTWORÓW BEZSOLNYCH (MBW)

Współcześnie obserwowana zmienność miąższościowa soli ma charakter epigenetyczny i nie odzwierciedla pierwotnego układu sedimentacyjnego. Maskuje ona rzeczywiste stosunki ilościowe w badanym zbiorniku ewaporatowym i utrudnia odczytanie związków korelacyjnych między składnikami a miąższością całego cyklotemu. W celu wyeliminowania wpływu „szumów solnych” wprowadzono do korelacji wartość sumarycznej miąższości wszystkich utworów za wyjątkiem soli kamiennej (MBW).

Równania regresji liniowej dla zależności między MZL a MBW mają następującą postać:

$$MBW = 138,9 - 1,747 \cdot MZL \text{ przy } \delta^2 = 2945 \quad (19)$$

$$MZL = 33,45 - 0,146 \cdot MBW \text{ przy } \delta^2 = 247 \quad (20)$$

Współczynnik korelacji dla powyższej regresji wynosi $\rho = -0,506$ a więc spełnia warunek istotności na poziomie $\alpha = 5\%$ i równy jest dolnej granicy obszaru istotności na poziomie ufności $\alpha = 1\%$.

Parametry równań regresji liniowej na poziomie $\alpha = 10\%$ pozostają w granicach ufności:

$$\text{dla równania (19): } 110 \leq \hat{A} \leq 168 \text{ oraz } -2,93 \leq \hat{B} \leq -0,57$$

$$\text{dla równania (20): } 21 \leq \hat{A} \leq 46 \text{ oraz } -0,24 \leq \hat{B} \leq -0,06$$

Równanie regresji przy korelacji nieliniowej dla opisywanego związku można przedstawić w postaci funkcji wykładniczej:

$$MBW = 202,8 \cdot MZL^{-0,327} \text{ przy } \delta^2 = 2549 \quad (21)$$

$$MZL = 3568 \cdot MBW^{-1,281} \text{ przy } \delta^2 = 246,5 \quad (22)$$

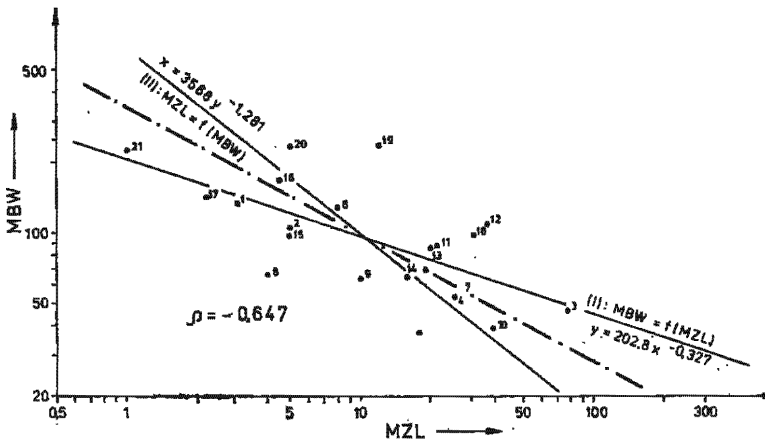


Fig. 6. Proste i równania regresji dla zależności nieliniowej między miąższością terygenicznych osadów spagowych MZL a sumaryczną miąższością bezsolnych utworów MBW . Numery odwiertów jak na fig. 2 (Regression lines and equations for non-linear dependence between the thickness of terrigenous bottom deposits MZL and the total thickness of the saltless rocks MBW . Numbering of boreholes as in Fig. 2)

Równania te zostały przedstawione w postaci logarytmicznej na fig. 6 i można je zapisać w postaci:

$$\lg MBW = 2,307 - 0,327 \lg MZL \text{ przy } \delta^2 = 0,035 \quad (23)$$

$$\lg MZL = 3,552 - 1,281 \lg MBW \text{ przy } \delta^2 = 0,139 \quad (24)$$

Przedziały ufności parametrów równań logarytmicznych na poziomie $\alpha = 1\%$ wynoszą:

$$\text{dla równania (23): } 2,14 \leq \lg \hat{A} \leq 2,46 \text{ oraz } -0,47 \leq \hat{B} \leq -0,19$$

$$\text{dla równania (24): } 2,36 \leq \lg \hat{A} \leq 4,74 \text{ oraz } -1,88 \leq \hat{B} \leq -0,68$$

Współczynnik powyższej korelacji nieliniowej wynosi $\rho = -0,647$, a więc pozostaje w obszarze istotności na poziomie $\alpha = 1\%$ i jest wyższy od współczynnika korelacji liniowej ($\rho = -0,506$). Dlatego związek nieliniowy pomiędzy MZL a MBW został zastosowany przy rekonstrukcji modelu sedymentacji cechsztynu (fig. 8).

ZALEŻNOŚĆ MZL OD WSPÓLCZYNNIKA ANHYDRYTOWO-WĘGLANOWEGO (AW)

Współczynnik anhydrytowo-węglanowy jest to stosunek sumarycznej miąższości anhydrytów do sumarycznej miąższości węglanów w profilu cechsztynu. Waha się on w granicach 0,5–0,7 (Darlówo 2, 4; Łeba 3) do 8–12 (Bytów 1; Łeba 4, 7). Współczynnik ten wprowadzono jako jedną z charakterystyk bezsolnych składników cyklotemu w celu porównania go z miąższością białego spagowca (MZL). Porównanie to wykazało jednak niemożliwość korelacji między MZL a AW ($\rho = 0,002$ wg korelacji liniowej i $\rho = 0,115$ wg nieliniowej). Dlatego współczynnik AW nie znalazł zastosowania przy rekonstrukcji modelu sedymentacyjnego (fig. 1).

MODEL EMPIRYCZNY BASENU SEDYMENTACYJNEGO

Prosty empiryczny model sedymentacji ewaporatowej przedstawiono na fig. 7. Ilustruje ona współczesne stosunki miąższościowo-litofacjalne stwierdzone w poszczególnych profilach wierceń, przy czym profile te zostały ustawione w kolej-

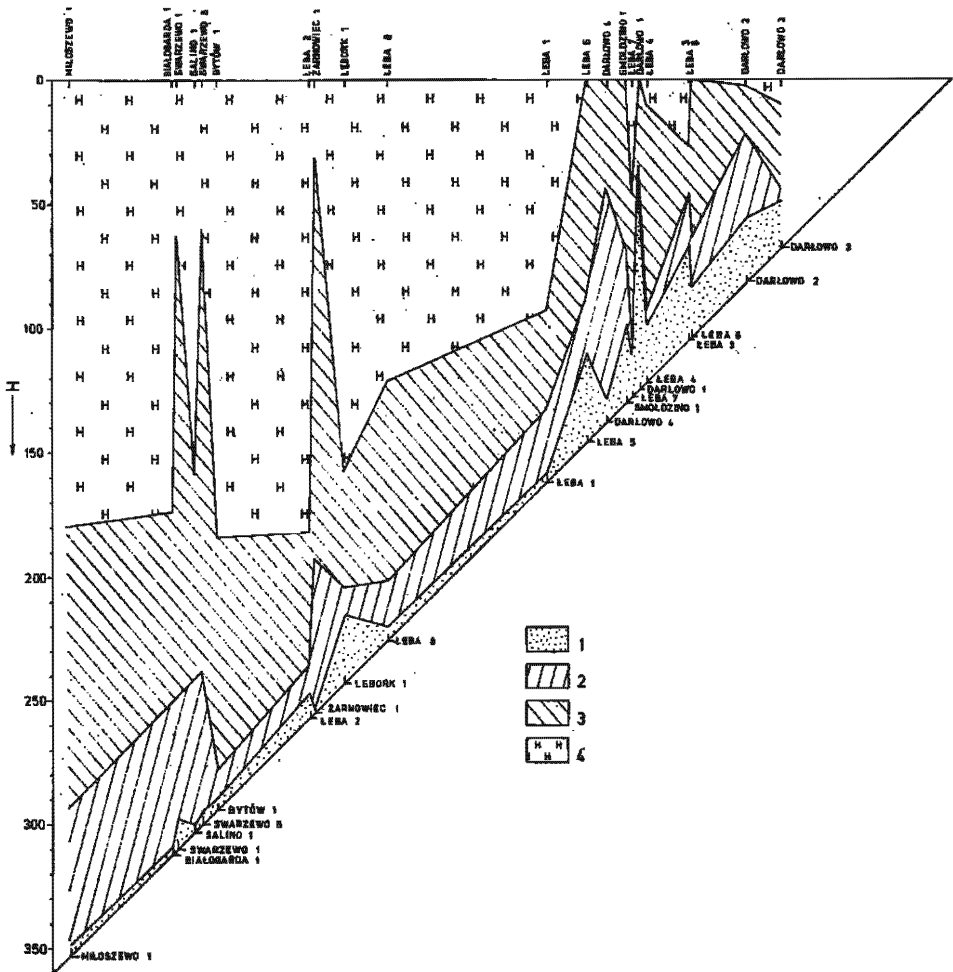


Fig. 7. Empiryczny model sedimentacji cechsztynu na wyniesieniu Leby (Empiric model of the Zechstein sedimentation on the Leba Elevation)

Profile odwiertów ustawiono z prawa na lewo w kolejności wzrostu miąższości cechsztynu (The borehole profiles are arranged clock-wise according to the increasing thickness of the Zechstein)

H — głębokość czyli miąższość cechsztynu (depth or thickness of the Zechstein); 1 — spagowe utwory terygeniczne cechsztynu = biały spagowiec (bottom terrigenous deposits of the Zechstein = Weiss Liegende); 2 — skały węglanowe (carbonate rocks); 3 — anhydryty (anhydrites); 4 — sól kamieszna (rock salt)

ności wzrastającej miąższości cechsztynu od zera do 350 m. Powstał w ten sposób trójkąt modelowy nie będący rzecz jasna żadnym konkretnym przekrojem, lecz jedynie syntetycznym schematem ukazującym poszczególne wiercenia w zależności od ich przybliżonego położenia w basenie sedimentacyjnym. Można z niego odczytać pewne ogólne prawidłowości, a mianowicie:

1. Miąższość spagowych utworów terygenicznycch wzrasta ku brzegom basenu. Osady te w partiach krawędziowych stanowią najprawdopodobniej odpowiednik facjalny utworów węglanowych i ewaporatów wypełniających centralną część basenu.

2. Wahania sumarycznej miąższości skał węglanowych są stosunkowo niewielkie, jakkolwiek zaznacza się lekki spadek miąższości w stronę krawędzi zbiornika.
3. Anhydryty wypełniają centrum opisywanej części basenu i tu miąższość ich jest największa. Spada ona stopniowo w stronę krawędzi zbiornika.
4. Sole wypełniają tylko środkową część zbiornika i pojawiają się dopiero wówczas gdy miąższość cechsztynu przekracza 120—150 m.

Na tle tak zarysowanych ogólnych tendencji zmian miąższości (fig. 7) występują wyraźnie zaburzenia w postaci profili o anomalnie wysokim udziale anhydrytów w stosunku do zredukowanych soli kamiennych (np. profile Swarzewo 1, 5; Żarnowiec 1), bądź też profili charakteryzujących się zupełnym brakiem soli przy dużej miąższości anhydrytów i skał węglanowych (np. Łeba 5, Darłowo 4, Smołdzino 1). Anomalie te świadczą dobitnie, że charakter wspomnianych profili w pierwotnym basenie sedymentacyjnym musiał być inny niżeli obecnie. Warto więc podjąć próbę zrekonstruowania stosunków pierwotnych w oparciu o ogólne związki korelacyjne między składnikami litofacjalnymi.

MODEL SEDYMENTACJI BEZ SOLI KAMIENNEJ

Fig. 1 przedstawia schemat zależności pomiędzy miąższością białego spagowca (*MZL*) a pozostałymi parametrami litofacjalnymi cyklotemu Werra. Każda para porównywanych zmiennych została połączona linią przerywaną w przypadku, gdy korelacja jest nieistotna, lub ciągłą, gdy korelacja spełnia warunek istotności. Grubość linii ciągłych reprezentuje siłę korelacji. Rysunek uzupełniono wartościami współczynnika korelacji ρ . Współczynnik korelacji zawiera w sobie odpowiedź na pytanie: na ile przydatna jest wartość *MZL* dla przewidywania innych parametrów litofacjalnych? (i odwrotnie).

Jeśli $\rho = \pm 1$, to istnieje idealna korelacja między zmiennymi, jeśli zaś $\rho = 0$, to korelacja taka w ogóle nie występuje. Dodatnia wartość współczynnika korelacji oznacza, że obie zmienne rosną jednocześnie, natomiast gdy współczynnik ρ jest ujemny to wówczas przy wzroście jednej zmiennej, druga maleje (Krumbein & Graybill 1965).

Stosunkowo najsilniejszy związek korelacyjny istnieje pomiędzy miąższością *MZL* a miąższością cyklotemu *MWE* ($\rho = -0.66$) i miąższością utworów bezsolnych *MBW* ($\rho = -0.64$) na tym samym poziomie istotności. Wraz ze wzrostem *MZL* maleje miąższość *MWE* i *MBW*. W sensie geologicznym oznacza to, iż miąższość spagowych utworów terygenicznych w badanym cyklocenie narasta ku krawężdom basenu.

Nieco słabsze związki korelacyjne istnieją pomiędzy miąższością zlepieńców i piaskowców (*MZL*) a miąższością węglanów *MW* ($\rho = -0.53$) i anhydrytów ($\rho = -0.58$). Zależności te są również odwrotne i wskazują, że wraz ze spadkiem miąższości terygenicznych utworów transgresywnych do centrum basenu wzrasta jednocześnie miąższość skał węglanowych i anhydrytów.

Każde z porównań przeprowadzone metodą regresji wielokrotnej stanowi model matematyczny oparty na ograniczonej ilości obserwacji (próbna) i odnosi się zarazem do większej grupy zjawisk (populacja). W badanym przypadku wielkość próby ($n=21$ obserwacji) jest niestety bardzo mała, jednakże i cała populacja dotyczy obszaru o dość ograniczonym zasięgu (wyniesienie Łeby). Zastosowanie metod statystycznych okazało się w tym wypadku niezbędne, ponieważ pojedyncze obserwacje nie wystarczają, aby dać odpowiedź na zagadnienie geologiczne (Krumbein & Graybill 1965). Postawione zagadnienie geologiczne zawiera się w pytaniu: jak

wyglądały pierwotne stosunki miąższościowo-facjalne w danym basenie Werra? Autor sądzi, iż posługując się opisanymi zależnościami wiarygodnymi pod względem statystycznym można dać choćby przybliżoną odpowiedź na powyższe pytanie. Cała trudność tkwi w tym, iż ze względu na skomplikowane związki i współzależności pomiędzy zmiennymi trudno jest oddzielić czyste przyczyny od czystego skutku. Znając jednak skutki w postaci zmiennych parametrów litofacjalnych możemy postarać się odgadnąć przyczyny, opisane poprzez funkcje regresji. Idąc wzdłuż najsilniejszych korelacji między składnikami budujemy model statystyczny pierwotnego rozkładu litofacjalnego. Obraz ten jest zniekształcony przede wszystkim przez zakłócenia postsedymetacyjne, jakimi są ewentualne rozmycia i spływy soli. O wielkości tych zakłóceń świadczy bardzo niska korelacja między *MZL* a *MS*. Dlatego też we wstępnym modelu rozważać będziemy stosunki miąższościowe z pominięciem soli.

Model sedymentacji (fig. 8) utworów bezsolnych ma kształt trójkąta równoramiennego, którego ramię pionowe wyraża miąższość utworów bezsolnych (*MBW*). Miąższość ta zmienia się w granicach 0–200 m, a więc mniej więcej zgodnie z wartościami obserwowanymi na wyniesieniu Leby (od 40 m w profilach Darłowo 3, Łeba 3 do 230 m w profilach Swarzewo 1, 5).

Za punkt wyjścia przyjmujemy więc miąższość *MBW*, a znając tę wartość możemy w każdym punkcie leżącym na przeciwprostokątnej trójkąta modelowego (fig. 8) odłożyć spodziewaną miąższość utworów terygeniczných $MZL=T$, posługując się zależnością wg prostej korelacyjnej uśrednionych graficznie funkcji regresji między *MZL* a *MBW* (linia środkowa na fig. 6). Z kolei, traktując *MZL* jako zmienną niezależną ustalamy dla każdej miąższości utworów terygeniczných („*T*” — fig. 8) przewidywaną miąższość anhydrytów *MA* według uśrednionych prostych regresji między *MZL* a *MA* (linia środkowa na fig. 4). Otrzymaną w ten sposób miąższość anhydrytów (*A*) odkładamy od górnej krawędzi trójkąta modelowego w dół, tj. odejmujemy od całej miąższości *MBW* (fig. 8) uzyskując linię 1. Reszta będzie obrazować miąższość węglanów (*W*), jako że $MW=MBW-(MZL+MA)$. Cały trójkąt facjalny (fig. 8) ilustruje jak gdyby przekrój przez abstrakcyjny model basenu sedymetacyjnego cyklotemu Werra.

Chcąc jednak sprawdzić wewnętrzną spójność tego modelu, wykorzystano także średnią zależność korelacyjną między *MZL* a *MW* (fig. 3) dla wyliczenia miąższości węglanów przewidywanej na podstawie miąższości białego spagowca (fig. 8 — linia 2). W rezultacie na trójkącie modelowym (fig. 8) uzyskano dwie powierzchnie stropu węglanów (*W*), jedną (oznaczoną numerem 1) wynikającą z odejmowania miąższości pozostałych składników i drugą (nr 2) przy wykorzystaniu statystycznej relacji między *MZL* a *MW* (linia 3 oznacza średni „strop” węglanów).

Model sedymentacji bezsolnej sugeruje, iż głównie węglany, a także i anhydryty zastępowane są facjalnie przez „spagowe” utwory terygeniczne narastające miąższościowo w kierunku krawędzi basenu. Zatem zależność między anhydrytami i węglanami z jednej strony, a piaskowcami i zlepieńcami z drugiej, ma charakter

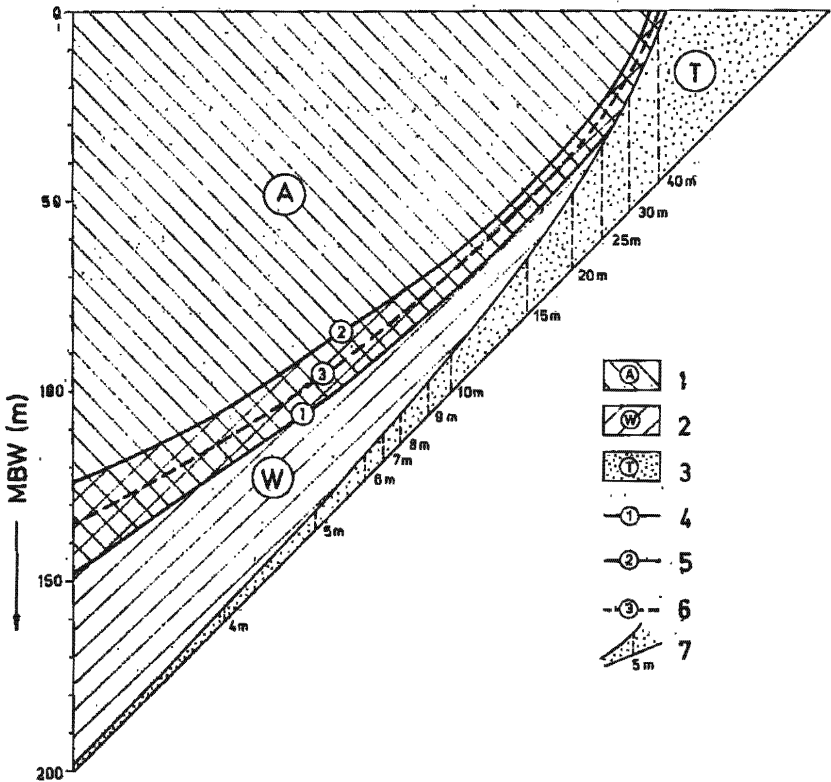


Fig. 8. Statystyczny model sedymentacji cyklotemu Werra bez soli kamiennej (Statistical model of the cyclotem Werra sedimentation without rock salt)

MBW — sumaryczna miąższość utworów Werra bez soli kamiennej (total thickness of deposits without rock salt); 1 — anhydryty (anhydrites); 2 — skały węglanowe (carbonate rocks); 3 — spagowe utwory terygeniczne (bottom terrigenous deposits); 4 — strop utworów węglanowych uzyskany w wyniku odejmowania (top of carbonate deposits ascertained as a result of subtracting) $MW = MBW - (MZZ + MA)$; 5 — strop utworów węglanowych uzyskany na podstawie korelacji między *MZZ* a *MW* (top of carbonate deposits based on correlation of *MZZ* with *MW*) cf. Fig. 3; 6 — średnie położenie stropu utworów węglanowych (average position of top of carbonate rocks); 7 — miąższość spagowych utworów terygenicznych (thickness of bottom terrigenous deposits)

odwrotny. Gdy jedne zanikają, to miąższość drugich — rośnie. Natomiast między miąższością skał węglanowych i anhydrytów istnieje zależność prosta, bowiem jedne i drugie wypełniają centralną część basenu i narastają miąższościowo w tym samym kierunku.

Dyskutowany model nie sugeruje istnienia bariery węglanowej ani anhydrytowej. Jedynie w marginalnej części basenu (miąższość *MBW* < 75 m) anhydryty są w coraz to większym stopniu zastępowane facjalnie przez cieniejącą fację węglanową. Przedstawiony schemat sedymentacji (fig. 8) posiada tę zaletę, że zbudowany jest z elementów litofacjalnych, których zasadniczo nie podejrzewamy o postsedymentacyjne zmiany miąższości. Można więc powiedzieć, że stanowi on względnie najlepsze przybliżenie do rozkładu pierwotnych miąższości i facji w basenie cechsztynu.

MODEL SEDYMENTACJI UWZGLĘDNIAJĄCY SOLE

Stosunkowo wysoka korelacja ($\rho = -0,66$) pomiędzy miąższością spagowych utworów terygeniczych (*MZL*) a całkowitą miąższością cyklotemu Werra (*MWE*) skłania nas do wypróbowania modelu sedymentacji uwzględniającego także i sole. Obraz jaki uzyskamy nie będzie już tak statystycznie poprawny jak model sedymentacji bezsolnej, ponieważ jak wiadomo, sole kamienne nie zachowały swojej pierwotnej miąższości. Pierwotna miąższość soli (*MS*) może być jedynie sugerowana przez różnicę $MS = MWE - MBW$. Będzie więc ona uzyskana pośrednio. Konstruując model sedymentacji solnej (fig. 9) mamy na celu sprawdzenie, na ile różni się on od modelu bezsolnego (fig. 8). Tym razem za punkt wyjścia przyjmujemy całkowitą miąższość cyklotemu Werra (*MWE*), która w opisywanym obszarze

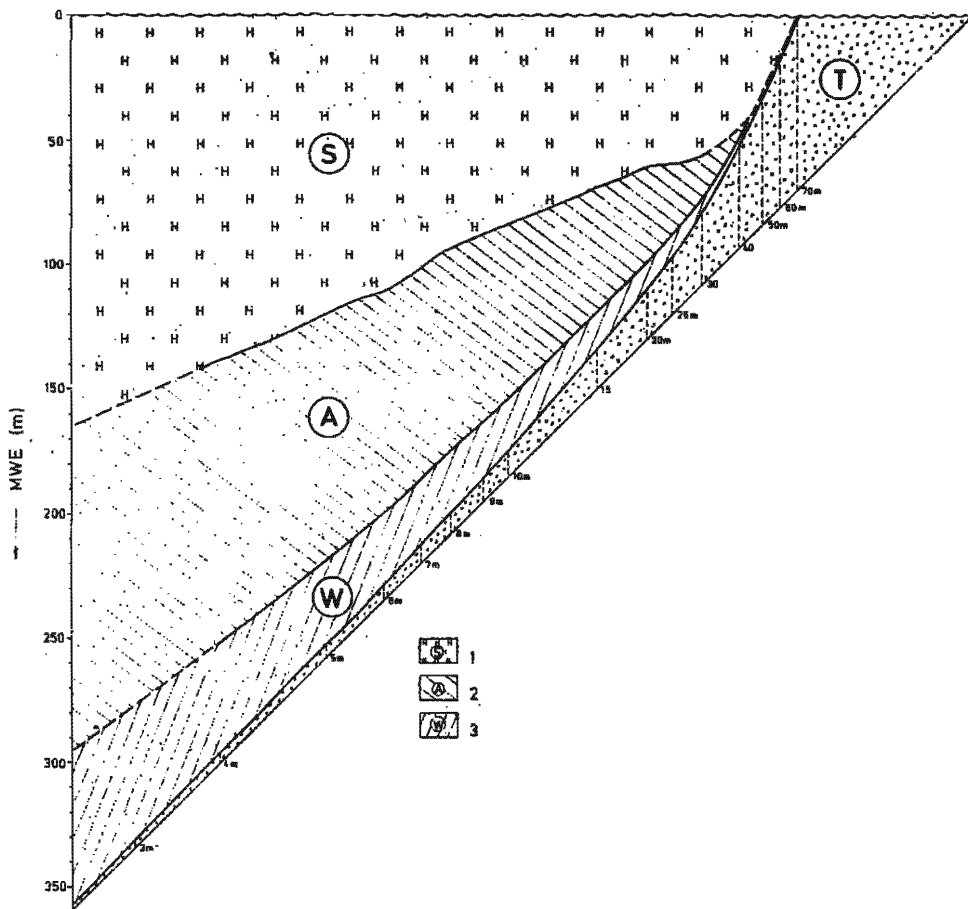


Fig. 9. Statystyczny model sedymentacji cyklotemu Werra z uwzględnieniem soli kamiennej (Statistical model of the Werra cyclothem sedimentation including the rock salt)

MWE — miąższość cyklotemu Werra (thickness of the Werra cyclothem); *I* — sól kamienna (rock salt); 2 — anhydryty (anhydrites); 3 — utwory węglanowe (carbonate rocks); *T* — spagowe utwory terygeniczne białego spagowca z zaznaczoną miąższością (bottom terrigenous deposits of the Weiss Liegende with their thickness)

zmienia się w granicach $0 \div 360$ m. Została ona naniesiona w metrach na skali pionowej tworzącej jeden bok trójkąta równoramiennego. Tak jak w poprzednim przypadku, poziomy bok trójkąta przyjmujemy jako równy pionowemu. Posługując się średnią zależnością wyinterpolowaną między prostymi regresji (fig. 2), możemy dla każdej wartości MWE określić najbardziej prawdopodobną miąższość osadów terygeniczných MZL i wówczas odkładamy ją w górę od przeciwprostokątnej trójkąta modelowego (fig. 9). Z kolei zaś znając rozkład wartości MZL możemy, posługując się trójkątem modelowym sedymentacji bezsolnej (fig. 8), odtworzyć rozkład miąższościowy utworów węglanowych (MW) i anhydrytów (MA). Wartość MA odkładamy pionowo do góry od „stropu” utworów węglanowych. Wobec tego reszta mieszcząca się między „stropem” anhydrytów a wyrównanym „stropem” cyklotemu Werra powinna obrazować miąższość soli najstarszych.

Sens logiczny opisywanego modelu można przedstawić na przykładzie:

„Jeśli miąższość cyklotemu Werra wynosiła co najmniej $MWE=150$ m (fig. 9), to miąższość spagowych utworów terygeniczných powinna wynosić $MZL=15$ m, miąższość anhydrytów $MA=50$ m, a pierwotna miąższość soli co najmniej $MS=70$ m”.

Gdybyśmy znali wielkość erozji, wówczas trójkąt modelowy uległby nadbudowaniu ku górze (powyżej linii falistej); przy czym odbiło by się to przede wszystkim na wzroście miąższości soli.

Dlatego na podstawie przytoczonego rysunku możemy wnioskować jedynie o minimalnej miąższości soli, jaka mogła pierwotnie istnieć w danym punkcie basenu ewaporatowego.

Według oceny Poborskiego (1978), pierwotna miąższość soli najstarszej na wyniesieniu Łeby przekraczała 190 m. Należy jednak zwrócić uwagę, że zjawiska, które interpretujemy jako przejawy lądowej erozji postsedymentacyjnej w obrębie soli Z_1 , mogły pojawiać się w związku z podwodnym rozpuszczaniem soli na dnie zbiornika. Niewielka zmiana któregośkolwiek z czynników klimatyczno-paleogeograficznych prowadzi często do przerwania sedymentacji i powstawania rozmyć i luk w obrębie bardzo „wrażliwej” sekwencji warstw ewaporatowych. Luki i przerwy sedymentacyjne w seriach terygeniczných lub terygeniczno-węglanowych są na ogół słusznie traktowane jako rezultat erozji lądowej. Jednakże w utworach solonośnych ten sam efekt bywa wywołany zmianą temperatury, głębokości zbiornika lub koncentracji roztworu i sprowadza się do wtórnego rozpuszczania soli w warunkach subakwalnych. Najbardziej podatne na rozpuszczanie są oczywiście sole potasowo-magnezowe, które mogą zaniknąć zupełnie lub zachować się w formie pseudoerozyjnych „ostańców”, tak jak to właśnie ma miejsce na wyniesieniu Łeby. Natomiast trudniej rozpuszczalne składniki (sole kamienne, anhydryty) mogą pozostać nienaruszone lub nawet wzbogacone. Towarzyszy temu zjawisko „śródfarmacyjnych czap gipsowych” oraz „zlepieńców solnych”, w których zaokrąglone fragmenty halitu zostały wtórnice spojone tworząc sploty lub coś w rodzaju „zamarłego prądu zawieszinowego” (Richter-Bernburg 1968).

Jak się okazuje, model sedymentacji bezsolnej (fig. 8) jest w zasadzie bardzo podobny do modelu uwzględniającego obecność soli (fig. 9), co może być argumentem na rzecz poprawności tego ostatniego. Zaznacza się tu również (fig. 9) zależność

odwrotna pomiędzy miąższością spągowych utworów terygeniczných a pozostałymi składnikami profilu. W świetle przedstawionej argumentacji osady terygeniczne tworzą nie tylko poziom spągowy, lecz są zarazem przybrzeżnym odpowiednikiem facjalnym skał ewaporatowych.

Przy miąższości Werra rzędu 0—50 m utwory terygeniczne odpowiadają wprost najstarszej soli kamiennej. Przy miąższości cyklotemu Z_1 w granicach 50—100 m utwory piaszczysto-zlepińcowe osadzone w partiach przybrzeżnych odpowiadają cienkiej warstwie węglanów, a być może anhydrytom i soli kamiennej wytrącającej się w centralnych częściach zbiornika.

Przy większych miąższościach *MWE* rzędu 100—150 m cienieje warstwa osadów terygeniczných na korzyść odpowiadających im czasowo węglanów. Powyżej 150 m miąższości Werra cienki osad utworów terygeniczných odpowiada już tylko wapieniom w bardziej środkowej części basenu.

Skały węglanowe, anhydryty i sole zanikają miąższościowo w sposób zgodny, tj. w stronę krawędzi zbiornika, przy czym najszybciej zanikają anhydryty, nieco wolniej — sole. Utwory węglanowe zanikają najwolniej cieniejąc stopniowo w stronę najbardziej zewnętrznej krawędzi basenu.

Powstaje pytanie: dlaczego w przedstawionym modelu (fig. 9) nie zaznacza się ani bariera anhydrytowa, ani wał utworów węglanowych?

Należy pamiętać, że rozpatrywany model dotyczy wschodniej krawędzi pobocznej zatoki cechsztynu pokrywającej się z zarysem wschodniego brzegu półwyspu środkowo-pomorskiego. Rozważany obszar reprezentuje zatem najpłytszą część basenu otoczoną od południa, wschodu i zachodu pomorskim odcinkiem bariery dolomitowej Z_2 (Depowski & al., 1978). Można więc sądzić, że bariery anhydrytowa i węglanowa leżały głębiej już poza granicami rozpatrywanego modelu bądź też, że przedstawiony model (fig. 8) obejmuje tylko ich krawędź zewnętrzną, tj. po stronie lądu.

WNIOSKI

1. Istnieje silny związek korelacyjny pomiędzy miąższością spągowych utworów terygeniczných cechsztynu (biały spągowiec i zlepieniec podstawowy), a miąższością całego cyklotemu Werra, co stanowi potwierdzenie tezy, iż biały spągowiec na wyniesieniu Łeby jest transgresywnym utworem morza cechsztyńskiego.
2. Osady terygeniczne białego spągowca stanowią przybrzeżny odpowiednik facjalny wapieni, a być może także anhydrytów i soli wypełniających środkową część zbiornika. Osady klastyczne narastają miąższościowo w kierunku brzegu i na wyniesieniach, zanikając w głębszych częściach basenu. Są dobrym wskaźnikiem litofacjalnym umożliwiającym rekonstrukcję pierwotnych stosunków miąższościowych w przybrzeżnej strefie cechsztynu.
3. Rekonstrukcja modelu sedymentacji ewaporatowej jest możliwa na podstawie badań statystycznych związków pomiędzy składnikami litofacjalnymi profilu i przy wykorzystaniu najsilniejszych korelacji w celu pośredniej oceny nieznaney

miażdżności warstw wtórnie zaburzonych (głównie soli). Przedstawiona metodyka nadaje się przede wszystkim do rozwiązywania wewnętrznej budowy chemicykli cechsztyńskich, a także innych serii osadowych. Umożliwia one zestawienie zbiorczego modelu sedymentacji.

4. W rejonie wyniesienia Łeby skały węglanowe, anhidryty i sole zanikają w sposób zgodny ku krawędziom basenu.

*Międzyresortowy Instytut
Geofizyki Stosowanej i Geologii Naftowej
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica
Al. Adama Mickiewicza 30, Kraków 31-120*

LITERATURA CYTOWANA

- ALEXANDROWICZ S. W. 1974. Poziomy litostratygraficzne wapienia cechsztyńskiego w zachodniej Polsce. *Roczn. PTG*, 44 (2—3).
- , GÓRECKI W. & STRZETELSKI W. 1977. Spagowe osady permu w profilu z otworu wiertniczego Leba 8. *Zesz. Nauk. AGH, Kwartalnik Geologia*, 3 (4).
- ANTONOWICZ L. & KNIESZNER L. 1975. O rafach dolomitu głównego w Polsce. *Nafta*, 3—4.
- DADLEZ R., DAYCZAK-CALIKOWSKA K., DEMBOWSKA J., JASKOWIAK-SCHOENELCHOWA M., MAREK S., SZYPERKO-SŁIWczyńska A. & WAGNER R. 1976. Pokrywa permsko-mezozoiczna w zachodniej części Synklizy Perybałtyckiej. *Biul. Inst. Geol.*, 270.
- DEPOWSKI S., PERYT T. M., PIĄTKOWSKI T. S. & WAGNER R. 1978. Sedymentacja i paleogeografia cechsztyńskiego dolomitu głównego a jego ropo-gazonośność. *Przeł. Geol.*, 3.
- GÓRECKI W. & STRZETELSKI W. 1972. Osady białego spagowca w profilu wiercenia Leba Geo-4 oraz ich charakterystyka zbiornikowa. *Zesz. Nauk. AGH, Górnictwo*, 43.
- & — 1972b. Interpretacja batymetryczna piaskowców białego spagowca w wierceniu Leba Geo-4. *Nafta*, 3.
- KORAB Z. & STEMULAK J. 1961. Profil cechsztynu na Wyniesieniu Łeby. *Przeł. Geol.*, 11.
- KRUMBEIN W. C. 1962. Open and closed number systems in stratigraphic mapping. *AAPG Bull.*, 46 (12).
- 1963. Stratigraphic factor maps (Geological note). *AAPG Bull.*, 47 (6).
- & GRAYBILL F. A. 1965. An introduction to statistical models in geology. *McGraw Hill Book Co.*, New York.
- POBORSKI J. 1960. Cechsztyńskie zagłębienie solne Europy Środkowej na ziemiach Polski. *Pracel Inst. Geol.*, 30 (2), Warszawa.
- 1961a. System permski na tzw. Wyniesieniu Łeby i związane z nim możliwości górnicze. *Przeł. Geol.*, 7.
- 1961b. Główne kierunki poszukiawcze soli potasowo-magnezowych w Polsce. *Przeł. Geol.*, 11.
- & CIMASZEWSKI L. 1961. Z paleogeografii permu na Pomorzu. *Przeł. Geol.*, 11.
- 1969. Nowy obraz stosunków litofacjalnych w Zagłębiu Cechsztyńskim w Polsce. *Kwart. Geol.*, 13 (1).
- 1978. Discontinuity in Upper Permian (Zechstein) succession of evaporites in Eastern Pomerania, Poland. *Symposium on Salt, Hamburg (maszynopis)*.
- PODEMSKI M. 1968. Kilka uwag o sedymentologicznych podstawach stratygrafii cechsztynu. *Kwart. Geol.*, 12 (4).
- POKORSKI J. & WAGNER R. 1972. Stratygrafia i paleogeografia cechsztynu. *Biul. Inst. Geol.*, 252.

- PRYOR W. A. 1969. Geological investigation of the sediments at the Rotliegendes — Zechstein boundary zone in Western Europe. *Year Book of the American Philosophical Society*.
- 1971a. Petrology of Weissliegendes sandstones in the Harz and Werra-Fulda areas, Germany. *Geol. Rundschau*, **60** (2).
- 1971b. Petrology of the Permian yellow sands of Northeastern England and their North Sea basin equivalents. *Sedimentary Geology*, **6**.
- RICHTER-BERNBURG G. 1968. Sedimentological problems of saline deposits. In: *Geology of saline deposits, Proc. Hanover Symposium, Earth Sciences*, **7**.
- STRZETELSKI W. 1977. Rozwój litofacjalny spągowych utworów terygenicznych cechsztynu na Wyniesieniu Łeby i ich znaczenie dla poszukiwań złóż węglowodorów. *Prace Geol. PAN*, **107**, Kraków.
- SZANIAWSKI H. 1966. Rozwój facjalny i paleogeografia cechsztynu w rejonie Wyniesienia Łeby. *Acta Geol. Pol.*, **16** (2).
- 1970. Stratygrafia, sedimentacja i paleogeografia cechsztynu na obszarze Pomorza. *Acta Geol. Pol.*, **20** (3).

W. STRZETELSKI

SUMMARY

Statistical correlative connections have been determined between the thickness of the transgressive sandstones of the Weiss Liegendes (*MZL*) occurring in the Zechstein bottom (Upper Permian) and the thickness of the remaining lithological components of the Werra cyclothem. The necessary data have been obtained from borehole profiles situated in the eastern margin of the Łeba elevation (central part of the Polish Baltic Coast). Regression lines have been plotted showing the interdependence of the thickness of the Weiss Liegendes and the following variables: total thickness of the Werra cyclothem (*MWE*), thickness of the Zechstein limestone (*MW*), summaric thickness of anhydrites in the Werra cyclothem (*MA*), thickness of salts (*MS*) and the summaric thickness of the Werra saltless deposits (*MBW*). The studied interdependence and the corresponding regression lines have been diagrammatically shown in Figs 1—6. This provided the basis for plotting the pattern of the primary original changes in the thickness of lithological components within the sedimentary basin of the Werra cyclothem. The sedimentation pattern shown in Fig. 8 does not comprise the rock salt while that in Fig. 9 takes account of the minimum original thickness of NaCl. The plotting of these patterns was feasible by taking advantage of the statistically existing correlations: MBW vs $MZL (=T)$; MZL vs $MA (=A)$; $W = MW = MBW - (T + A)$ for the pattern in Fig. 8 and MWE vs $MZL (=T)$; MZL vs $MW (=W)$; MZL vs $MA (=A)$ for that in Fig. 9 where the hypothetical salt thickness (*MS*) was obtained: $S = MWE - (T + W + A)$. This resulted in the determination that relatively the strongest correlative connection exists between the thickness of the terrigenous Weiss Liegende deposits and the total thickness of the Werra cyclothem. This provides additional evidence that the Weiss Liegende sandstones are a transgressive product of the Zechstein sea and are stratigraphically referable to the Upper Permian. Their thickness increases towards the basin shores (Figs 8—9). It is reasonably supposed that they are the geochronological correspondent of the Zechstein limestones (*W*) while in the off-shore part of the basin they may correspond to the an-

hydrites (*A*) and even to the rock salts (*S*) — Figs 8—9. Changes in the thickness of the Weiss Liegende are a reliable lithofacial index making possible the reconstruction of the original quantitative relations in the peripheral parts of the evaporation basin. In this zone the carbonate rocks and the anhydrites decrease in thickness towards the basin shores while the central part of the basin (Fig. 9) is occupied by rock salt.
