

Czy holocena kreda jeziorna jest osadem słodkowodnym?

Ryszard Wyrwicki*

Has lacustrine chalk originated in freshwater environment? *Prz. Geol.*, 51: 483–488.

Summary. Holocene lacustrine chalk is commonly considered as a freshwater sediment. However, the actual origin of lacustrine chalk is closely related to three different types of water. The first one is underground descending water, which supplies sedimentary basin with $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Its potential of mineralization equals $1\text{g}/\text{dm}^3$ and is higher than upper limit of fresh water mineralization. The second type of water is the lake water which stays fresh due to permanent precipitation and deposition of CaCO_3 , due to the vegetation of plants. The third type is water presently included in calcareous sediment. The average content of such water in the sediment varies between 50 and 60 weight percent. Such water is a multi-ion solution (tab. 1) with SO_4^{2-} and Ca^{2+} as the main cations. The analysis of water included in lacustrine chalk taken from two deposits (tab. 2, fig. 1, 2) shows quite distinct differentiation of mineralization not only between particular deposits, but profiles and beds as well. These results have been confirmed by the analysis of probable mineralization calculated on the base of the content of SO_3 in the chalk (tab. 3, fig. 3). Water taken from some deposits is additionally mineralized with NaCl (tab. 4, fig. 4). Accordingly to the author's opinion, relatively high level of mineralization is caused by permanent feed of lakes by ascending water.

Key words: Holocene, lacustrine chalk, water mineralization, genesis of mineralization

W tworzeniu holocena kredy jeziornej mają udział wody różne co do pochodzenia i roli. Pierwszymi były wody powierzchniowe i podziemne dostarczające do basenu sedymentacyjnego klastyczne i chemiczne składniki, z których powstał osad. Drugie to wody samego basenu sedymentacyjnego jeziora, w którym miało miejsce „tworzenie się osadu”. Trzecimi są wody będące dziś integralną częścią osadu, stanowiące jego główny, choć płynny, składnik — wody wapiennego żelu (Wyrwicki, 2001). Te wody brały i biorą nadal udział w diagenecie kredy.

W fundamentalnej dla znajomości holocena kredy pracy Rzepeckiego (1985, str. 5), autor zaraz we wstępie stwierdza, że kreda jeziorna i wapienna gytia są „... jeziornymi osadami słodkowodnymi”.

Czy takie uogólnienie w odniesieniu do holocena kredy jeziornej jest uzasadnione i, której/których z wymienionych wód dotyczy przymiotnik „słodka”? Pytanie można sformułować inaczej: czy mineralizacja (w znaczeniu hydrogeochemicznym) mniejsza od górnej granicy wód słodkich = $1\text{g}/\text{dm}^3$ odnosi się do wód alimentujących, wód środowiska sedymentacji czy też wód wapiennego żelu?

Niniejsza praca jest próbą odpowiedzi na te pytania. Odpowiedź jest ważna z powodów zarówno poznawczych genety i diagenety, jak i użytkowych. Rozważając genety szuka się odpowiedzi na pytanie jaka była jakość wód alimentujących i jeziornych; jaki był chemizm wód pierwotnych — dawnych. Na potrzeby ocen złożowych, hydrogeologicznych, sozologicznych czy też geologiczno-inżynierskich, ważniejsza jest znajomość chemizmu wód dzisiejszych — stopień mineralizacji wód wapiennego żelu. Na potrzeby zaś badań nad diagenetą niezbędna jest, zdaniem autora, znajomość jednych i drugich.

Stopień mineralizacji wszystkich omawianych wód oceniono przyjmując kryteria stosowane w hydrogeologii (Macioszyk, 1987). Praca dotyczy holocena kredy, nieskonsolidowanych osadów wapiennych klasyfikowanych zgodnie z kryteriami złożowymi: jeziornej kredy (kalcytu ok. 80% suchej masy osadu) i wapiennej gytii (kalcytu 40–80% sm). Te dwie odmiany litologiczne, bardzo często przewarstwiające się, występujące obok siebie, ząbiające itd., powszechnie i w znaczeniu ogólnym nazywa-

ne są kredą jeziorną. Ta skrótowa nazwa będzie również stosowana w dalszej części pracy.

Wody alimentujące basen sedymentacyjny

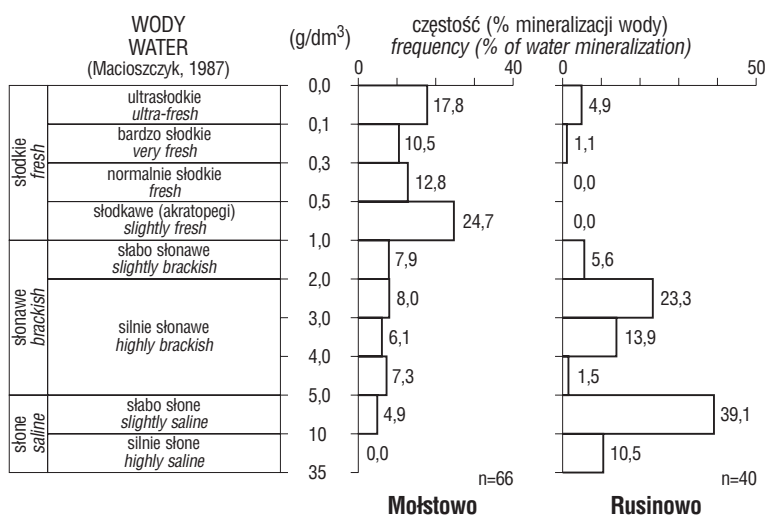
Basen sedymentacyjny kredy jeziornej był zasilany zarówno wodami powierzchniowymi, jak i podziemnymi. Wody powierzchniowe: polodowcowe, rzeczne i spływu powierzchniowego dostarczały — w świetle dotychczasowych badań autora — z obszaru zlewni głównie materiał detrytyczny. Świadczą o tym pelitowo-psefitowe stożki napływowe i przewarstwienia sylikoklastów w kredzie. Wodom powierzchniowym zawdzięczamy — zdaniem autora — obecność minerałów ilastych, obecnych tylko w przyspągowej warstwie kredowych margli (Rzepecki, 1985; Wyrwicki, 2001). Natomiast hipoteza mówiąca, że kreda jeziorna powstała z rozmycia utworów morenowych (np. Alexandrowicz & Tchórzewska, 1981; Żurek-Pysz, 1983) nie znajduje potwierdzenia.

Basen sedymentacyjny był alimentowany w kwaśny węglan wapnia wodami podziemnymi (m.in. Szczepkowski, 1978; Rzepecki, 1985; Petelski & Sadurski, 1987; Gąsiorowski, 2002). W większości przypadków były to, zdaniem autora, wody descenzyjne, a ich źródłem — wody opadowe. Wody te, infiltrując w granicach zlewni jeziora, rozpuszczały w strefie aeracji ziarna wapiennego i dolomitowego żwiru, piasku i pyłu zawarte tak w skałach okrucich, jak i ilastych. Najwięcej $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ dostarczyły fluwioglacjalne piaski i żwiry. Liczniejsze wystąpienia i większa węglanowość kredy na obszarach sandrowych niż zbudowanych z glin zwałowych (Rzepecki, 1985) stoi w wyraźnym związku z wartością współczynnika filtracji: dużego $k=10^{-1}-10^{-3}$, skał okrucich, a małego $k=10^{-6}-10^{-9}$, skał ilastych (Wiłun, 1987).

Przepuszczalność wody przez osad wyraźnie sprzyja ługowaniu. Autor wyliczył (Wyrwicki, 1960), że z 1 ha glin zwałowych o 1m miąższości zostało odprowadzone 2000 t CaCO_3 , tj. 200 kg/m^2 , a Gąsiorowski (2002) oszacował, że z 1 m^2 klastycznych osadów zlewni jeziora Kruklin zostało wylugowane 300–350 kg CaCO_3 .

Powszechny jest pogląd, że wody descenzyjne były bogate w rozpuszczony $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, a Petelski i Sadurski (1987, str. 146) wręcz piszą o wytrącaniu węglanu wapnia z „nasyconego roztworu”. Skoro tak było, to mineralizacja

*Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa



Ryc. 1. Częstość siarczanowo-wapniowej mineralizacji wody wapiennych osadów złoza Mołstowo i Rusinowo na tle klasyfikacji wód

Fig. 1. Frequency of sulphate-calcium mineralization of water from calcareous sediments of Mołstowo and Rusinowo deposits against the background of water classification

alimentującej wody musiała być większa od 1 g/dm^3 (rozpuszczalność w wodzie $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ w temperaturze 20°C wynosi $1,66 \text{ g/dm}^3$; Poradnik ..., 1994). Nie ma zatem podstaw, by te wody zakwalifikować do słodkich. Zważywszy niską temperaturę tych wód, ich ciśnienie i obecność innych jonów, można zaryzykować tezę, że mineralizacja była nawet większa od 2 g/dm^3 , a przy okazji wyrazić pogląd, że gdyby te wody nie były dostatecznie wysoko zmineralizowane, to nie mogłyby dojść do powstania kilkuset, często liczących miliony ton zasobów, nagromadzeń kredy jeziornej w Polsce, w krótkim czasie kilku tysięcy lat holocenu. Warunkiem intensywnego zasilania jeziora w wapienny „budulec” było odprowadzanie wód pozbawio-

nych $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (kalcyt uległ strąceniu) poza basen sedimentacyjny. Z obserwacji Rzepeckiego (1985) wynika, że warunek ten był spełniony. Większość jezior z akumulacją węglanową należała do przepływowych.

Basen sedimentacyjny kredy jeziornej w części przypadków był zasilany głównie lub tylko dodatkowo przez wody ascenzyjne. Taką hipotezę wyrazili w odniesieniu do złoza kredy Wejherowo–Orle — Petelski i Sadurski (1987), kredy holocenu w Puszczy Kampinoskiej — Alexandrowicz i Żurek (1998), a plejstocenijskich złożeń jeziornej kredy okolic Białej Podlaskiej — Lindner i Marciniak (1997). Alimentacja basenu sedimentacyjnego wodami głębokiego krążenia, zupełna lub częściowa mogła, zdaniem autora, nastąpić w tych szczególnych przypadkach, kiedy z kredą współwystępują martwice wapienne, wyraźnie wzbogacone w minerały siarczanowe. Dotyczyć to może znanych autorowi złożeń Grabowo i Skepsk, czy też złożeń kredy o wyraźnie większej zawartości NaCl: Pomorsko i Rańsko (Wyrwicka, 1978). Alimentujące wody ascenzyjne charakteryzowały się, zdaniem autora, mineralizacją większą od 1 g/dm^3 , przy czym w pewnych przypadkach musiały być wyraźnie od descenzyjnych bogatsze w rozpuszczalne sole siarczanowe i chlorkowe.

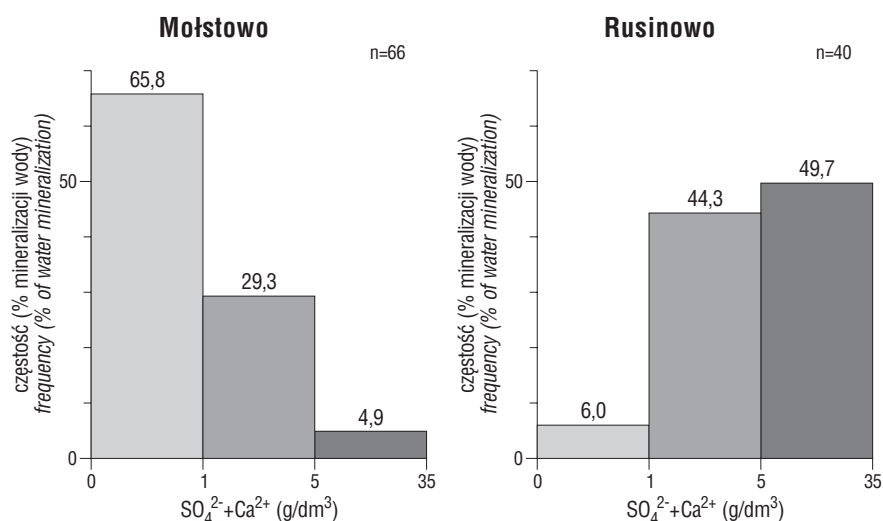
Wody basenów sedimentacyjnych

Wody jezior, w których odbywało się tworzenie osadu wapiennego były i musiały — w przeciwieństwie do alimentujących podziemnych — być słodkie. Dowodem są nie tylko słodkowodne skamieniałości (np. Alexandrowicz & Tchórzewska, 1981; Czepiec, 1997 i in.), ale nade wszystko to, że prawie cały ładunek chemicznych kredo-

Tab. 1. Skład chemiczny wód holocenijskich osadów wapiennych

Table 1. Chemical composition of pore waters of Holocene calcareous sediments (Żurek-Pysz, 1989)

Złoże Deposit	Grabowo		Marcelin		Prostynia	
Typ osadu Type of sediment	gytia detrytusowo-wapienna detrital-limy gytia		kreda jeziorna lacustrine chalk		kreda jeziorna lacustrine chalk	
Głęb. pobrania próbki [m] Depth of sampling [m]	1,0	1,6	0,5	2,0	1,0	2,2
Mineralizacja [mg/dm^3] Mineralisation [mg/dm^3]	3217,1	3201,0	3332,8	3092,8	1317,4	1050,0
pH	6,5	6,5	6,5	5,0	6,5	6,5
Twardość ogólna [mval/dm^3] Hardness [mval/dm^3]	41,8	43,8	37,9	42,2	13,6	13,1
Twardość węglanowa [mval/dm^3] Carbonate hardness [mval/dm^3]	2,4	2,4	2,4	4,0	3,2	3,6
Twardość niewęglanowa [mval/dm^3] Non-carbonate hardness [mval/dm^3]	39,4	41,4	35,5	38,2	10,4	9,5
Ca^{++} [mg/dm^3]	690,6	709,9	690,6	702,2	273,1	263,5
Mg^{++} [mg/dm^3]	89,9	101,5	42,1	87,6	0,0	0,0
Na^+ i K^+ [mg/dm^3]	134,8	100,3	250,5	81,9	118,9	44,4
Σ kationów [mg/dm^3] Cations (total) [mg/dm^3]	915,3	983,2	871,6	871,6	392,0	307,9
SO_4^- [mg/dm^3]	2098,6	2037,2	2131,9	1894,1	676,7	500,0
HCO_3^- [mg/dm^3]	146,4	146,4	146,4	244,0	195,2	183,0
Cl^- [mg/dm^3]	56,7	116,7	71,2	83,1	54,7	59,4



Ryc. 2. Częstość występowania wapiennych osadów w zależności od stopnia mineralizacji wody

Fig. 2. Frequency of occurrence of calcareous sediments independence on the level of water mineralization

twórczych składników uległ strąceniu i osadzeniu na dnie basenu.

Najogólniej i z koniecznym uproszczeniem biorąc, regulatorem strącania CaCO_3 z wodnego roztworu $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ jest CO_2 . Ubywanie CO_2 skutkujące tworzeniem kalcytu powodowały: emanacja do atmosfery wywołana różnicą temperatury, spadki ciśnienia atmosferycznego i drenowanych wód, ale też, co zdaniem autora jest najważniejsze, asymilacja przez rośliny (Stasiak, 1963; Wyrwicka, 1978; Szczepkowski, 1978; Rzepecki,

Tab. 2. Siarczanowo-wapniowa mineralizacja wody wapiennego żelu

Tab. 2. Sulphate-calcium mineralization of water from calcareous gel

Złoże deposit	Mołstowo	Rusinowo
Liczba analizowanych profili Number of investigated profiles	8	8
Długość wapiennych profili [m] Length of carbonate profiles [m]	0,4–5,7 śr. 3,65	1,3–4,05 śr. 2,70
Długość analizowanych odc. [m] Length of analysed sections [m]	0,1–0,8 śr. 0,43	0,1–0,7 śr. 0,33
Zawartość wody [%wag] w: Water content [%weight] in:		
— pojedynczej warstwie osadu — single bed of sediment	22,8–77,1 śr. 55,5	26,6–77,9 śr. 51,1
— profilu — profile	41,6–64,1 śr. 55,0	44,5–69,8 śr. 52,5
— złożu (średnioważona) — deposit (average)	55	49,5
Mineralizacja wody $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{2+}$ [g/dm ³] w: Water mineralization $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{2+}$ [g/dm ³] in:		
— pojedynczej warstwie osadu — single bed of sediment	0,00–9,213	0,00–11,429
— profilu (średnioważona) — profile (average)	0,123–4,113	1,431–7,314
— złożu (średnioważona) — deposit (average)	1,440	5,168
Liczba oznaczeń Number of analyses	66	40

1985 i in.). Holoceneskie osady wapienne są sumą akumulacji kalcytu (chemicznego, biochemicznego i biologicznego) i fitogenicznej substancji organicznej. Mały udział organiki skutkuje powstaniem kredy, większy — gytii wapiennej. Udział zoogenicznego węglanu wapnia ma tu znaczenie podrzędne.

Świat wodnych i nawodnych roślin pobierał z atmosfery i wód alimentujących basen sedimentacyjny również związki siarki i wbudowywał w swe organizmy. Stąd, jony SO_4^{2-} mineralizowały jeziorną wodę w niskim stopniu. Pozostawały w niej najłatwiej rozpuszczalne sole chlorkowe.

Mineralizacja wód basenu sedimentacyjnego zdaniem autora nie była większa, przeciętnie biorąc od $0,5 \text{ g/dm}^3$, choć wykazywała zapewne znaczne wahania w rytm życiowej aktywności roślin.

Wody wapiennego żelu

Holoceneskie, nieskonsolidowane osady wapienne zawierają 29–90% wag. wody. Przeciętnie biorąc, w złożach kredy jeziornej jest jej 56% wag., a wapiennej gytii — 61% wag. (Wyrwicki, 2001). Są to wody związane, co sprawia, że omawiane osady w stanie naturalnym są galaretowatym żelem. Inny w porównaniu do wolnych wód alimentujących i wód basenu sedimentacyjnego jest też ich chemizm.

W składzie wód odcisniętych z wapiennego żelu (tab. 1) zwracają uwagę:

□ mineralizacja znacznie przekraczająca 1 g/dm^3 i jej wielojonowy charakter,

□ pH mniejsze od 7 wskazujące na słabo kwaśny odczyn,

□ wysokie jak na czwartorzędowe stężenie jonu chlorkowego oraz to, że:

□ mineralizację wód wywołują głównie SO_4^{2-} i Ca^{2+} stanowiące 72–87, średnio 81% oznaczonych składników.

Dało to podstawę do postawienia tezy, iż wody wapiennego żelu nie są wodami słodkimi, a zmineralizowanymi głównie jonami SO_4^{2-} i Ca^{2+} w stopniu odpowiadającym wodom słanawym. Tezę tę autor sprawdził następująco.

Po pierwsze: opracowawszy oryginalną, ekstrakcyjną metodę oznaczania ilości $\text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{2+}$ w wodzie wapiennego żelu (Wyrwicki, 2002) autor przeanalizował ponad 100 próbek ciągłych pobranych wierceniami ze złóż Rusinowo i Mołstowo (dolina rzeki Mołstowej na W od Świdwina, Pomorze Zachodnie).

Po drugie: korzystając z wyników chemicznych oznaczeń SO_3 i Cl wykonanych do 1979 r. na potrzeby dokumentacji złóż (Kozłowski, 1981) autor oszacował stopień mineralizacji wód kredy jeziornej: siarczanowej oraz chlorkowej. Tu wypada zauważyć, że oznaczenia Cl , SO_3 i S_s zaprzestano po roku 1979 z mocy przepisów o dokumentowaniu złóż kredy jeziornej.

Dyskusja wyników

Siarczanowo-wapniowa mineralizacja wód wapiennego żelu. Rezultaty bezpośrednich pomiarów metodą

ekstrakcyjną (tab. 2) potwierdzają obecność wód zmineralizowanych ponad 1 g/dm³ i wskazują na ogromną rozpiętość stopnia mineralizacji (0–11,5 g/dm³) wód pojedynczych warstw i dużą profili (0,1–7,3 g/dm³).

Obliczona metodą średniej ważonej częstość występowania osadów w zależności od stopnia mineralizacji wody (ryc. 1) wskazuje, że zróżnicowanie odnosi się również do złóż. Wapiennych osadów z wodą słodką (ryc. 2) stwierdzono w złożu Rusinowo 6%, a w złożu Mołstowo 66%; osadów z wodą słoną odwrotnie: w Rusinowie — 50%, a w Mołstowie — 5%. Zróżnicowany, choć na małą skalę jest też udział osadów z wodami słanawymi. Histogramy obu zlokalizowanych blisko siebie złóż (ryc. 2) dobrze oddają anizotropię mineralizacji wód.

Oszacowania stopnia mineralizacji siarczanowo-wapniowej, wód kredy jeziornej 34 złóż na podstawie 382 oznaczeń SO₃ (Kozłowski, 1981), autor dokonał z założeniem, że tylko połowa ilości SO₃ pochodzi z SO₄²⁻ mineralizującego wodę i uproszczeniem, że anion SO₄²⁻ równoważony jest tylko przez Ca²⁺. Czyni to wyniki osza-

cowania (reprezentatywne przykłady — tab. 3) porównywalnymi z mineralizacją ustaloną metodą ekstrakcyjną.

Uzyskano następujące rezultaty:

□ potwierdza się obecność w jeziornej kredzie wód zmineralizowanych ponad 1 g/dm³; średnia arytmetyczna wszystkich 34 złóż wynosi 4,1 g/dm³,

□ mineralizacja wody zmienia się w ogromnym przedziale 0,1–36,6 g/dm³, przy czym podane wartości odnoszą się do profili, a nie warstw,

□ złóż kredy ze słodką wodą, tj. takich, gdzie średnia mineralizacja SO₄²⁻ + Ca²⁺ nie przekracza 1 g/dm³ jest tylko 20% (ryc. 3),

□ siarczanowo-wapiowa mineralizacja wód w obrębie złóż również wykazuje duże zróżnicowanie (tab. 3). Wyniki odnoszące się do złóż Sulęcyno i Pomorsko, kilkakrotnie większe od pozostałych, mogą — zdaniem autora — mieć związek ze współwystępowaniem z nieskonsolidowaną kredą jeziorną skonsolidowanych martwic siarczanowo-wapniowych. Martwice takie są znane autorowi z innych złóż, m.in. z Grabowa.

Tab. 3. Zawartość H₂O i SO₃ a przypuszczalna mineralizacja wody

Table 3. Content of H₂O and SO₃ versus probable mineralization of water

Złoże* Deposit*	H ₂ O [%wag.]	Zawartość SO ₃ w % wag. suchej masy Content of SO ₃ in dry mass			Mineralizacja wody SO ₄ ²⁻ i Ca ²⁺ [g/dm ³] Water mineralization			Liczba oznaczeń Number of analyses
		od from	do to	średnio average	od from	do to	średnio average	
Laska K	55,7	0,01	0,18	0,02	0,077	1,381	0,153	8
Florezaki K	64,0	0,00	0,11	0,05	0,000	0,597	0,271	12
Kazimierz II K	64,0	0,03	0,26	0,16	0,163	1,411	0,868	3
Węgorzyn G	75,2	0,13	0,31	0,16	0,414	0,986	0,509	5
Czarnoszyce G	59,2	0,10	0,50	0,30	0,665	3,325	1,995	11
Jeziernik K	58,2	0,11	0,54	0,32	0,762	3,743	2,218	17
Grabowo G	52,7	0,06	1,11	0,50	0,520	9,614	4,331	38
Konotop III K	58,0	0,45	0,70	0,60	3,145	4,891	4,193	4
Sulęcyno G	50,4	0,99	2,74	1,63	9,402	26,021	15,480	22
Pomorsko K	43,6	1,71	2,93	2,04	21,346	36,575	25,465	8

Zawartość H₂O w kopalinie i SO₃ w suchej masie (Kozłowski, 1981) (content of H₂O in sediment and SO₃ in dry mass)

*klasyfikacja złóż autora (classification of deposits by the author); K — kreda jeziorna (lacustrine chalk), G — wapiennej gytii (limy gytia)

Tab. 4. Zawartość H₂O i Cl a przypuszczalna mineralizacja wody

Table 4. Content of H₂O and Cl versus probable mineralization of water

Złoże* Deposit	H ₂ O [%wag.]	Zawartość Cl w % wag. suchej masy Content of Cl in dry mass			Mineralizacja wody Cl- i Na+ [g/dm ³] Water mineralization			Liczba oznaczeń Number of analyses
		od from	do to	średnio average	od from	do to	średnio average	
Grabówko G	66,3	0,00	0,1	0,04	0,000	0,838	0,251	15
Wielimskie Bagno G	64,1	0,011	0,028	0,021	0,101	0,258	0,194	15
Strzeszów K	47,4	0,02	0,04	0,03	0,366	0,732	0,549	22
Osiek K	56,6	0,01	0,04	0,30	0,126	0,505	0,379	9
Prostynia K	58,0	0,01	0,01	0,01	0,119	0,119	0,119	3
Kazimierz K	64,0	0,07	0,13	0,10	0,649	1,205	0,927	3
SulęcynoG	50,4	0,00	0,53	0,21	0,000	8,596	3,406	22
Rańsko II K	56,3	0,04	0,53	0,27	0,512	6,780	3,454	6
Kaniewo K	56,8	0,18	0,20	0,21	2,256	2,507	2,507	20
Pomorsko K	43,6	0,35	1,15	0,74	7,461	24,516	15,775	8

Zawartość H₂O w kopalinie i Cl w suchej masie (Kozłowski, 1981) (content of H₂O in sediment and Cl in dry mass)

*klasyfikacja złóż autora (classification of deposits by the author); K — kreda jeziorna (lacustrine chalk), G — wapiennej gytii (limy gytia)

W świetle powyższego, siarczanowo-wapniowa mineralizacja wód wapiennego żelu oraz przewaga, ogólnie biorąc, osadów, których woda jest zmineralizowana ponad 1 g/dm³, wydają się pewnością.

Chlorkowo-sodowa mineralizacja wód wapiennego żelu. Oszacowania stopnia chlorkowo-sodowej mineralizacji wód kredy jeziornej 22 złożeń na podstawie 260 oznaczeń Cl (Kozłowski, 1981) autor dokonał z przekonaniem, że Cl pochodzi tylko z mineralizującej wodę anionu Cl⁻ i ze świadomym uproszczeniem, że jest on kompensowany Na⁺.

Stopień mineralizacji M obliczono wzorem:

$$M = \frac{(Cl \times 1,648) \times (100 - Wz)}{Wz} \times 10$$

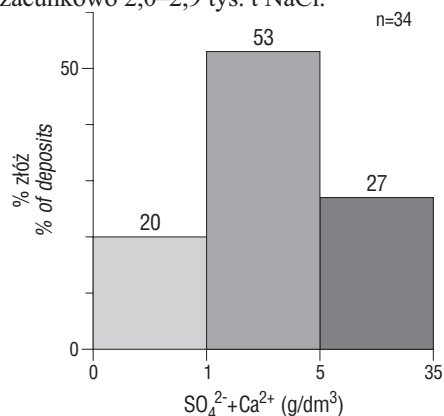
gdzie: Cl — zawartość w % wag. w suchej masie kredy 1,648 — czynnik przeliczeniowy Cl na NaCl

Wz — średnia zawartość H₂O w kredzie danego złoża 10 — przelicznik %wag. na g/dm³

Oszacowanie wykazało (tab. 4, ryc. 4), że w próbkach kredy z 5 złożeń chloru nie wykryto, w 10. średnia mineralizacja chlorkowo-sodowa wody nie przekraczała 1 g/dm³, ale aż w 7. średnie zasolenie przekraczało 2 g NaCl/dm³, wskazując na wyjątkowość zjawiska.

Zauważono też, że zasolenie wody holocenich osadów wapiennych jest bardziej równomierne w obrębie złoża niż siarczanowo-wapniowa mineralizacja (por. tab. 3 i 4). Tę ogólną prawidłowość zakłócają wyjątki złoża Grabówko, Sulęczyno i Rańsko.

Zdaniem autora chlorkowo-sodowa mineralizacja przekraczająca 2 g NaCl/dm³ i przypadki bardzo dużego jej zróżnicowania są rezultatem współalimentowania basenu sedymentacyjnego przez wody ascenzyjne. O źródłach solankowych w Raciążku (koło Ciechocinka) pisał Staszic (1815). Prochazka (1970) wykazał związek zasolenia czwartorzędowych płytkich wód wokół wysadu solnego Uścikowa z jego rozpuszczeniem. Pruszkowska i Przewłocka (2002) donoszą o anomalii chlorkowej Dębek (na E od Jeziora Żarnowieckiego), w obrębie której „stężenie chlorków dochodzi do 16 g Cl/dm³ w czwartorzędzie...” (str.180) (nie wyłączając poziomu holocenich). Tak duże zasolenie ma ascenzyjne źródło poprzez hydrauliczny kontakt czwartorzędu, kredy, jury i triasu, możliwy dzięki tektonicznej dyslokacji. I rzecz najważniejsza: poprzez tę dyslokację, na odcinku 5,5 km wschodniego brzegu, następuje dopływ zasolonych wód do Jeziora Żarnowieckiego (Sierżęga, 2002). Rocznie dostarcza-
na jest szacunkowo 2,0–2,9 tys. t NaCl.



Ryc. 3. Częstość występowania złożeń kredy jeziornej w zależności od średniego, szacunkowego stopnia siarczanowo-wapniowej mineralizacji wody

Fig. 3. Frequency of occurrence of lacustrine deposits depending on average, estimated level of sulphate-calcium mineralization of water

W świetle powyższego dodatkową chlorkowo-sodową mineralizację wód wapiennego żelu oraz przypadki mineralizacji >1 g NaCl/dm³ można wytłumaczyć.

Podsumowanie

Analiza mineralizacji wód genetycznie związanych z holoceną kredą jeziorną przynosi szereg konstatacji natury ogólnej.

1. Holocenska kreda jeziorna jest jeziornym osadem słodkowodnym w tym sensie, że wody basenu, w którym odbywała się depozycja (dodajmy: wody znad osadu), wykazywały mineralizację mniejszą od 0,5–1,0 g/dm³. Wyjątek od tej reguły stanowiły wody jezior dodatkowo alimentowanych ascenzyjnymi wodami typu chlorkowego i/lub siarczanowego.

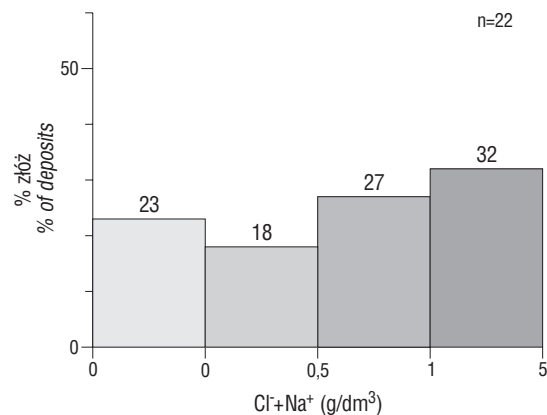
2. Głównym źródłem zasilania jeziora w Ca(HCO₃)₂ były podziemne wody descenzyjne bliskiego krążenia z obrębu zlewni basenu sedymentacyjnego. Mineralizacja tych wód musiała być większa od 1 g/dm³, wobec czego miano słodkich im nie przystaje. Zgodnie z nomenklaturą hydrogeochemiczną były to wody słonawe (choć nie zawierały soli w potocznym znaczeniu — czyli NaCl).

Dodatkowym źródłem zasilania były ascenzyjne wody głębokiego krążenia typu wodorowęglanowo-wapniowego (w szczególnych przypadkach stanowić mogły główne źródło CaCO₃), typu chlorkowego (podnosiły „zasolenie” wód jeziora) albo też typu siarczanowego. Przez analogię do ascenzyjnej współczesnej były to zapewne wody od akrapetogów po słone.

Ustalenie źródła (źródeł) zasilania każdego z wystąpień kredy jeziornej z osobną pozostaje sprawą otwartą. To ustalenie nabiera szczególnej ważności w sytuacji wykorzystywania izotopów do określania zmian klimatycznych, korzystania z diatomologicznej analizy do oceny środowiska czy też rozważań zasolenia jako łączności z morzem.

3. Wody wapiennego żelu mają mineralizację ponad 1 g/dm³; nie można zatem zaliczyć ich do słodkich. Mineralizacja jest wielojonowa, ale ilościowo dominują dwa jony: SO₄²⁻ i Ca²⁺ (70–85% składników), co pozwala omawiane wody zakwalifikować do siarczanowo-wapniowych. W szczególnych przypadkach wody te są wzbogacone w Cl⁻ i Na⁺ do stopnia wód słonawych i słonych. Można przypuszczać, że złoża jeziornej kredy z tak zmineralizowaną wodą znajdują się zapewne w strefie ascenzyjnej wód chlorkowych.

4. Siarczanowa mineralizacja wód wapiennego żelu charakteryzuje się dużą anizotropią: obok złożeń jeziornej kredy z wodą słodką ($M \leq 0,5 \text{ g/dm}^3$) występują takie, któ-



Ryc. 4. Częstość występowania złożeń kredy jeziornej w zależności od średniego stopnia chlorkowo-sodowej mineralizacji wody.

Fig. 4. Frequency of occurrence of lacustrine deposits depending on average, estimated level of chloride-sodium mineralization of water

rych woda jest zmineralizowana ponad 2 g/dm^3 ; obok profili kredy z wodą bardzo słodką, stwierdzono w tym samym złożu profile kredy z wodą silnie słoną i wreszcie, co jest najbardziej zdumiewające, w jednym i tym samym profilu występują warstwy kredy o diametralnie różnej mineralizacji wody, np. 0,00–1,5 (Rusinowo, otw. R8), 2,3–10,7 (Rusinowo, otwór R1) czy 1,4–11,4 $\text{g CaSO}_4/\text{dm}^3$ (Rusinowo, otw. R7).

5. Geneza siarczanowej mineralizacji kredowych wód i jej anizotropia pozostaje sprawą otwartą. Zdaniem autora mineralizacja ta jest skutkiem diagenetycznych, postsedymentacyjnych przemian wapiennego osadu; jest jednym z etapów małego obiegu siarki w wapiennym żelu.

6. Holocenska kreda jeziorna powstała w środowisku jeziornych wód słodkich, a materiał z którego jest zbudowana pochodzi z podziemnych wód zawierających ponad $1 \text{ g HCO}_3^- + \text{Ca}/\text{dm}^3$. Obecnie, wskutek diagenety, wody będące integralną częścią wapiennego żelu są zmineralizowane SO_4^{2-} i Ca^{2+} w stopniu odpowiadającym wodzie słonawej i słonej.

Autor czuje się w miłym obowiązku podziękować Państwu R. i P. Ordon za zezwolenie na wykonanie badań na obszarze złóż, opublikowanie wyników i nieocenioną pomoc w odwiercieniu otworów.

Literatura

- ALEXANDROWICZ S.W. 1991 — Typologia i geneza złóż węglanowych osadów czwartorzędowych. Pol. Tow. Min. Pr. Spec., 1: 11–16.
- ALEXANDROWICZ S.W. & TCHÓRZEWSKA D. 1981 — Kreda jeziorna w osadach czwartorzędowych Środkowego Pomorza. Kwart. AGH, Geol., 7: 59–69.
- ALEXANDROWICZ S.W. & ŻUREK S. 1998 — Jeziorne osady holocenu w środkowym pasie bagien Puszczy Kampinoskiej. Kwart. AGH, Geol., 24:
- CZEPIEC J. 1997 — Malakofauna i środowisko depozycji jeziornych osadów złoża Kruklin (NE Polska). Kwart. AGH, Geol., 23: 121–129.
- GAŚSIOROWSKI M. 2002 — Lacustrine chalk deposition in Lake Kruklin (NE Poland) as a result of decalcification of the Lake catchment. Stud. Quater., 18: 17–24.
- KOZŁOWSKI S. (red.) 1981 — Katalog węglanowych złóż surowców wiążących w Polsce. Wyd. Geol.
- LINDNER L. & MARCINIĄK B. 1997 — Środkowopolejskoceńskie jeziora kopalne na tle stratygrafii czwartorzędu w rejonie Janowa Podlaskiego. Prz. Geol., 45: 484–488.
- MACIOSZCZYK A. 1987 — Hydrogeochemia. Wyd. Geol.
- PETELSKI K. & SADURSKI A. 1987 — Kreda jeziorna wskaźnikiem rozpoczęcia holocেনskiej wymiany wód podziemnych. Prz. Geol., 35: 143–147.
- Poradnik chemika analityka 1994 — Wyd. Nauk. Techn., Warszawa.
- PRUSZKOWSKA M. & PRZEWŁÓCKA M. 2002 — Rejon Jeziora Żarnowieckiego — jego funkcja w regionie, budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne. Pol. Tow. Geol. Przew. 73 Zj. PTG, Gdańsk: 117–121.
- RZEPECKI P. 1985 — Jeziorne osady wapienne Polski Północnej. Kwart. AGH, Geol., 11.
- SIERŻĘGA P. 2002 — Warunki hydrogeologiczne w rejonie Jeziora Żarnowieckiego. Pol. Tow. Geol. Przew. 73 Zjazd PTG, Gdańsk: 43–48.
- STASIAK J. 1963 — Historia Jeziora Kruklin w świetle osadów strefy litoralnej. PAN Pr. Geogr., 32.
- STASZIC S. 1815 — O Ziemiородztwie Karpatów i innych gor i rownin Polski. Reprint: Wyd. Geol. 1955.
- SZCZEPKOWSKI B. 1978 — Kreda jeziorna. W Kozłowski S. (red.) Surowce mineralne województwa olsztyńskiego. Wyd. Geol.: 79–93.
- WIŁUN Z. 1987 — Zarys geotechniki. Wyd. Komun. i Łącz., Warszawa.
- WYRWICKA K. 1978 — Kreda jeziorna. [W:] Kozłowski S. (red.) Surowce mineralne Ziemi Lubuskiej. Wyd. Geol.: 101–110.
- WYRWICKI R. 1960 — Wtórna koncentracja węglanu wapniowego w utworach ilastych. Kwart. Geol., 4: 1055–1069.
- WYRWICKI R. 2000 — Określenia składu mineralnego gytii wapiennej i kredy jeziornej dla potrzeb dokumentowania. Cz. III. Gips, piryt czy zdysocjowany w wodzie siarczan wapnia? Górn. Odkryw., 42: 184–197.
- WYRWICKI R. 2001 — Holocেনskie osady wapienne: właściwości i chemizm żelu, skład części płynnej i suchej. Prz. Geol., 49: 525–532.
- WYRWICKI R. 2002 — Ekstrakcyjno-derywograficzny sposób określania ilości SO_4^{2-} w wodzie kredy jeziornej. Górn. Odkryw., 44: 133–136.
- ŻUREK-PYSZ U. 1983 — Mikrostruktury i mikrotekstury bigenicnych gruntów węglanowych na tle ich właściwości fizyczno-mechanicznych. Prz. Geol., 31: 485–490.
- ŻUREK-PYSZ U. 1989 — Inżyniersko-geologiczna charakterystyka kredy jeziornej i gytii z Grabowa, Marcelina i Prostyni na Pomorzu Środkowym. Arch. AGH, Kraków.
- ŻUREK-PYSZ U. 1998 — Wskaźniki litologiczne gytii w nawiązaniu do ich właściwości geologiczno-inżynierskich. [W:] Liszkowski (red.) Współcz. Probl. Geol. Inż. w Polsce. Poznań: 173–180.