

Bożena Lemkowska

## SKUTKI SPOWOLNIENIA PRZEKSZTAŁCANIA SIEDLISK HYDROGENICZNYCH W WYNIKU ZANIECHANIA EKSPLOATACJI KREDY JEZIORNEJ

**Streszczenie.** Największe wydobycie kredy jeziornej ( $3,5 \text{ mln t} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) miało miejsce w latach 90-tych XX, kiedy transport nawozów wapniowych był dotowany. Od momentu zaniechania wsparcia finansowego dla producentów, wydobycie kredy zostało zahamowane. Aktualnie wydobycie ma miejsce tylko na jednym obiekcie spośród 176 udokumentowanych złóż. Jego zasoby bilansowe 165 tys. ton są pomniejszane rocznie o 16 tys. ton. Zaniechano wydobycia na 68 obiektach, przy czym w 7 przypadkach wyeksploatowano złożę. Wstrzymanie eksploatacji spowodowało zmniejszenie zużycia nawozów wapniowych z 200 kg CaO do 37 kg  $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Tereny poeksploatacyjne tylko częściowo zrehabilitowano, formując zbiorniki wodne, zalesiając, tworząc antropogeniczne grunty orne. Część pozostawiono bez uporządkowania terenu, porzucając elementy infrastruktury wykorzystywanej podczas eksploatacji. Dawne mokradła zostały przekształcone geomechanicznie i są wykorzystywane jako nielegalne wysypiska śmieci. Retardacja eksploatacji zasobów kredy jeziornej zapewnia zachowanie złóż, prolongatę funkcjonalności ekosystemów w stanie utrzymania świadczonych przez nie usług. Wiąże się również z zaniechaniem wapnowania gleb i negatywnymi skutkami postępującego ich zakwaszenia.

**Słowa kluczowe:** retardacja, kreda jeziorna, wapnowanie

### WSTĘP

Osady węglanowe zdeponowane w jeziorach stanowią potencjalne źródło kredy nawozowej. Zalegają one zarówno na dnie współczesnych jezior, jak też w podłożu torfowisk niskich uformowanych na skutek lądowania zbiorników [Lemkowska, Piaścik 2004; Piaścik, Lemkowska 2004]. W szczególnych przypadkach znalazły się na powierzchni w wyniku osuszenia płytkich jezior. Eksploatacja złóż wiąże się z przekształcaniem krajobrazu i przeobrażaniem ekosystemów, zaś antropogeniczna redepozycja  $\text{CaCO}_3$  wpływa na obieg węgla w przyrodzie. Zatrzymanie tempa przekształcania środowiska łączy się z pojęciem retardacji, czyli spowalniania materialnego przekształcania naturalnych zasobów, z zachowaniem funkcjonalności ekosystemów w stanie utrzymania świadczonych przez nie usług [Kostecka 2010]. Gospodarowanie zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju promuje retardację w zakresie zapewniającym optymalne wykorzystanie zasobów na poziomie nie naruszającym funkcjonowania poszczególnych ogniw środowiska [Dołęga 2010].

Celem pracy jest analiza skutków retardacji przemian związanych z eksploatacją i wykorzystaniem kredy jeziornej.

## KREDA JEZIORNA – POWSTAWANIE

Osady denne jezior zawierające duże ilości węglanu wapnia są określane jako gytie wapienne lub węglanowe, a przy zawartości ponad 80%  $\text{CaCO}_3$  są nazywane kredą jeziorną [Uggla 1976; Rzepecki 1983; Więckowski 2009]. Powstawanie kredy jeziornej jest związane z biochemicznym wytrącaniem węglanów w jeziorach w wyniku pobierania  $\text{CO}_2$  przez rośliny. Pewna jego część powstaje przy udziale ramienic *Chara sp.*, rdestnic, *Najas marina*, *Phacotus* i cyanobakterii [Stasiak 1963, 1971; Rzepecki 1985; Stabel 1986; Hepperle, Krienitz 1997; Freytet, Verrecchia 2002].

Głównym składnikiem kredy jest drobnokrystaliczny kalcyt ( $\varnothing < 1 \mu\text{m}$ ), który tworząc agregaty różnicuje uziarnienie. Składniki towarzyszące mają charakter alogeniczny (kwarc, minerały ilaste, skalenie) lub autogeniczny (wiwianit, gips, siarczki żelaza, uwodnione tlenki żelaza, halit, okrzemki). Substancja organiczna składa się z fito- i zooklastów [Wyrwicki 2001]. Wśród osadów węglanowych wyróżnia się facje bagienne i jeziorne obejmujące *Lacustrine chalk* deponowany w strefie pelagialnej i *Lacustrine marl* [Freytet, Verrecchia 2002]. Osady węglanowe strefy litoralnej zawierają do 95%  $\text{CaCO}_3$  i nie wykazują warstwowania. Akumulowana tu kreda jeziorna o barwie białej, biało-żółtawej lub jasno szarej wykazuje uziarnienie pyłu lub iłu niekiedy piasku. Gytie węglanowe litoralu występujące na płycznach, charakteryzują się największą zawartością  $\text{CaCO}_3$  i zasobnością w szczątki roślin [Rutkowski 2007]. Ich miąższość wynosi średnio 2-4 m. Niekiedy są położone nad współczesnym poziomem wody, tworząc cienkie pokłady tarasowe przykryte darnią [Rzepecki 1985] lub utworami deluwialnymi [Lemkowska, Sowiński 2008]. Lokalnie w tej strefie występuje odsyp muszlowy, świadczący o znacznym obniżeniu poziomu wody w jeziorze [Rutkowski 2007]. Akumulowany w tej postaci węglan wapnia, w przeciwieństwie do wytrąconego chemicznie, jest mało rozpuszczalny [Gołębiewski 1976].

Osad profundalu jest laminowany i zawiera 60-85%  $\text{CaCO}_3$ . Powstaje na drodze strącania chemicznego, przesuwania ze strefy litoralnej oraz przy udziale fitoplanktonu [Rzepecki 1985; Rutkowski i in. 2002]. W tej strefie gytie węglanowe osiągają miąższość ponad 10 m, lecz są mniej zasobne w  $\text{CaCO}_3$  (50-80%). Mają barwę ciemnoszarą, niekiedy czarną lub jasnoszarą i są bardziej rozdrobnione, dominują frakcje mniejsze od 0,02 mm [Rutkowski i in. 2005]. Osady węglanowe mogą mieć zabarwienie różowe lub czerwone dzięki obecności karotenów, zielone zabarwienie pochodzi od chlorofilu, brunatne ciemniejące na powietrzu od związków humusowych [Rzepecki 1985], zaś czarne od hydrotroilitu ( $\text{FeS} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) [Gołębiewski 1976; Więckowski 2009].

Występowanie osadów węglanowych wykazuje pewną strefowość związaną z faktem, że zawartość węglanu wapnia oraz węgla organicznego w gytiach wykazuje zależność inwersyjną [Dean 1999; Punning i in. 2008], co wiąże się z uwalnianiem  $\text{CO}_2$  podczas rozkładu materii organicznej, który uniemożliwia wytrącanie  $\text{CaCO}_3$  [Stasiak 1971; Petelski, Sadurski 1987]. Na proces ten wpływa także mieszanie się wód, warstwowanie węglanowości w jeziorach, jak też rozpuszczanie już zdeponowanych osadów, przy czym rozpuszczalność  $\text{CaCO}_3$  maleje wraz ze wzrostem temperatury, a duża ilość  $\text{CaCO}_3$  powoduje silny rozkład materii organicznej [Więckowski 1966].

Szybkość sedymentacji gytii węglanowej ocenia się średnio na 0,4-2,0 mm rocznie, a w szczególnych przypadkach  $5 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$  [Stasiak 1963, 1971; Żurek 1986]. Miąższość osadów węglanowych w jeziorach kształtuje się na poziomie 5-10 m, osiągając niekiedy 25 m [Więckowski 1966, 2009], w złożach podtorfowych wynosi najczęściej 2 m [Rzepecki 1985]. Głębokie złoża gytii węglanowych występują z reguły w obrębie jezior

przepływowym, wykorzystujących rynnę glacialne [Gołębiowski 1976; Rzepecki 1985; Petelski, Sadurski 1987], w szczególności pełniące rolę odstożników dla rzek [Gołębiowski 1976; Więckowski 2009]. Ponadto w rynnach dochodzi do rozładowania kilku poziomów wodonośnych, będących źródłem dodatkowej ilości jonów wapnia [Petelski, Sadurski 1988].

Na Pojezierzu Mazurskim od IX wieku przeprowadzono wiele prac hydrotechnicznych, w wyniku których osuszono płytkie jeziora, obniżając poziom wody o około 6 m. Doszło w ten sposób do drastycznej zmiany warunków siedliskowych z subhydrycznych na terestyczne, zastępując tym samym akumulację decesją. Doprowadziło to do uformowania specyficznej mozaiki gleb pojeziernych, w skład której wchodzi gleby bagienne i pobagienne o dużej zmienności sekwencyjnej poziomów w profilu. Należą do nich gleby uformowane na węglanowych osadach jeziornych określane jako rędziny czwartorzędowe [Uggla 1976; Lemkowska, Sowiński 2008]. W zależności od genezy mają one urozmaiconą budowę profilu odzwierciedlającą zmianę warunków wodnych na przestrzeni tysięcy lat. Podstawowe warianty to gleby torfowo-murszowe i gytiovo-murszowe na gytii węglanowej. W pierwszym przypadku miało miejsce naturalne lądowanie jeziora, które w przeciągu wieków przeobraziło się w torfowisko, następnie – murszowisko. W sytuacji, gdy spuszczone wodę z jezior, lądowanie miało charakter nagłej zmiany hydrologicznej, która przeobraziła ich dna w gytioviska. Spowodowało to przekształcenie wapiennych osadów podwodnych w węglanowe gleby gytiove, podlegające namulaniu, murszeniu i modyfikacji przez procesy deluwialne [Lemkowska, Sowiński 2008]. W ten sposób kreda jeziorna znalazła się na powierzchni i stała się łatwym do eksploatacji złożem.

## **EKSPLOATACJA KREDY JEZIORNEJ - KONSEKWENCJE**

Złóża kredy jeziornej podlegają eksploatacji, gdy zawierają ponad 40% CaO, mają miąższość od 1 m do 10 m, a maksymalna grubość nadkładu nie przekracza 2,5 m, przy maksymalnym stosunku grubości nadkładu do miąższości złoża 0,3 [Bilans zasobów... 2012]. Największe wydobycie kredy jeziornej ( $3,5 \text{ mln t} \cdot \text{rok}^{-1}$ ) przypada na okres dotowania przez państwo transportu nawozów wapniowych w latach 90-tych XX wieku. Od momentu zaniechania wsparcia finansowego dla producentów, wydobycie kredy zostało zahamowane. Doszło w ten sposób do ekonomicznej retardacji eksploatacji zasobów kredy jeziornej. Aktualnie wydobycie ma miejsce tylko na jednym obiekcie spośród 176 udokumentowanych złóż. Jego zasoby bilansowe 165 tys. t są pomniejszane rocznie o 16 tys. t. Zaniechano wydobywania na 68 obiektach, z czego tylko w 7 przypadkach wyeksploatowano zasoby. Złóża rozpoznane szczegółowo obejmują 49,971 mln t, zaś wstępnie rozpoznane 57,80 mln t [Bilans zasobów... 2012]. W ramach aktualizacji z listy zasobów są usuwane obiekty wyeksploatowane. Nie prowadzi się ewidencji stanu po eksploatacji. Z badań terenowych przeprowadzonych na terenie Polski północnej wynika, że tereny poeksploatacyjne zostały tylko częściowo zrehabilitowane, przez uformowanie zbiorników wodnych, często o nieregularnych kształtach, z wyspami kredowymi (Malinowo, Gant, Łęguty). Niektóre wyrobiska zagospodarowano jako stawy rybne, tworząc niekiedy komercyjne łowiska (Zezuj). Część pozostawiono bez uporządkowania terenu, porzucając żelbetowe elementy infrastruktury wykorzystywanej podczas eksploatacji (Gajne, Malinowo, Kruklin, Losy). Powstały w ten sposób tereny przekształcone geomechanicznie w trakcie formowania wyrobiska i grobli. Są one postrzegane przez społeczeństwo jako nieużytki i traktowane jak nielegalne wysypiska śmieci (Losy, Gajne, Kruklin).

Trwale zmiany w krajobrazie pociągają za sobą również degradacja pokrywy glebowej

związana z odwodnieniem i usuwaniem żyznej warstwy organicznej. W dokumentacjach geologicznych złóż kredy wytyczne do rekultywacji opierają się na zasadach sformułowanych przez Skawinę [Skawina 1968]. Traktuje on torfy i gytie jako kopalinę towarzyszącą, a grunty wapienne zalicza do złych, jałowych i nieproduktywnych, wymagających użyźnienia lub izolacji. Przemawia za tym wskaźnik wapniowy, który zmniejsza się wraz ze zwiększeniem zawartości  $\text{CaCO}_3$  ponad 10%, osiągając wartość zerową po przekroczeniu 50%  $\text{CaCO}_3$  [Skawina 1968]. Aktualnie torfy i kreda są zaliczane do geologicznych odpadów organicznych i mineralnych przydatnych do glebotwórczej rekultywacji technicznej [Siuta 2007].

Na terenie dawnych kopalni powstały inicjalne antropogeniczne gleby węglanowe, podlegające zalesieniu (Losy) lub użytkowane jako łąki (Gajne, Malinowo), wyjątkowo jako grunty orne (Kruklin). Ponieważ przekształcenia fizykochemiczne spowodowały znaczny zwiększenie wartości pH (8,5) w poziomach powierzchniowych, dochodzi do unieruchomienia składników pokarmowych w strefie korzeniowej. Nadmiar  $\text{CaCO}_3$  powoduje zaburzenie równowagi pomiędzy makroskładnikami i dezaktywuje mikroskładniki, zakłóca ich pobieranie przez rośliny. W przypadku roślin uprawnych skutkuje to obniżeniem plonu [Gorlach, Gorlach 1983]. Ze względu na wymagania glebowe drzewostanów, dla których optymalne pH umożliwiające rozwój grzybów zawiera się pomiędzy 3 a 6, zalesianie gruntów o odczynie zasadowym wydaje się niecelowe. Wskazuje na to zła kondycja drzew posadzonych na takich glebach (Jęcznik, Losy).

Odwodnienie organicznych gleb uformowanych na utworach węglanowych prowadzi do ich degradacji fizycznej i chemicznej. Proces murszenia i zwiększający się wpływ podłoża stymulowany uprawą nieodwracalnie przekształcają siedlisko glebowe [Krzywonos 1992, 1993; Meller 2006; Meller i in. 2010]. Kreda wykazuje podsiąk kapilarny podobny jak ility, a w stanie uwodnienia ma charakter żelu, co czyni ją nieprzepuszczalną [Wyrwicki 2001]. Utrata wody powoduje skurczenie szkieletu gruntowego gytii i nieodwracalne zmiany w koloidach [Żurek-Pysz 1998]. Po odwodnieniu, w utworach warstwowanych powstają niekorzystne układy oporności hydraulicznej, co może spowodować odcięcie podsiąku kapilarnego do poziomu próchnicznego, obniżając retencję wody użytecznej dla roślin [Marcinek, Spychalski 1998]. Nieselektywna gospodarka nadkładem organicznym i przypadkowe wymieszanie z podłożem o dużej zawartości  $\text{CaCO}_3$ , nie tylko tworzy niejednorodny utwór glebowy, ale także stymuluje jego mineralizację. Nadmiar aktywnych węglanów powoduje zmniejszenie ilości związków próchnicznych i pogorszenie ich jakości poprzez hamowanie polimeryzacji wielocząsteczkowych połączeń próchnicznych [Kuźnicki, Skłodowski 1976; Kowaliński, Licznar 1986]. W ten sposób mokradła, funkcjonujące dotychczas jako naturalne bariery geochemiczne, mogą stać się źródłem zanieczyszczeń i  $\text{CO}_2$  uwalnianego do atmosfery.

Nie bez znaczenia jest oddziaływanie ciężkiego sprzętu podczas robót technicznych, ponieważ kreda jeziorna pod wpływem długotrwałego nacisku zmienia swoje właściwości fizyczne i chemiczne. Dochodzi wówczas do zmniejszenia porowatości, w wyniku wypełnienia porów przez minerały autigeniczne i powstania struktury mikroturbulentnej. Ziarna kalcytu powiększają się i agregują z materią organiczną. Następuje przemiana faz amorficznych (opal) w krystaliczne (kwarc), a osad ulega cementacji [Żurek-Pysz 1998; 2002]. Przypuszcza się, że w obrębie kopalni może to doprowadzać do lityfikacji kredy jeziornej, pogarszając jej właściwości jako skały macierzystej antropogenicznych gleb węglanowych.

Wykorzystywanie kredy jeziornej jako nawozu wapniowego niesie za sobą poprawę warunków glebowych gruntów rolnych, które dzięki wapnowaniu stają się zasobniejsze w składniki odżywcze i mniej podatne na degradację [Filipek i in. 2006]. Zahamowanie

wydobycia kredy w Polsce spowodowało zaniechanie procesu odkwaszania gleb. Z informacji GUS wynika, że w okresie największego wydobycia kredy, stosowano średnio rocznie około  $200 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ , a do 2011 roku zużycie zmalało do  $36,8 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Zważywszy na fakt wypłukiwania z gleb od 100 do  $200 \text{ kg CaO} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ , wapnowanie nie pokrywa nawet bieżących strat, co skutkuje postępującym zakwaszaniem gleb, potęgowanym zwiększonym nawożeniem azotowym [Kopiński i in. 2010]. Duży udział gleb bardzo kwaśnych i kwaśnych w skali kraju ma swoje odzwierciedlenie w obniżonym plonowaniu i zmniejszonej opłacalności uprawy roślin [Filipek i in. 2006; Siuta, Żukowski 2009].

Racjonalne wykorzystanie złóż surowców naturalnych, do których zalicza się kreda jeziorna, powinno być głównym elementem gospodarowania zgodnym z zasadami zrównoważonego rozwoju. Podczas rekultywacji terenów poeksploatacyjnych należy dążyć do wytworzenia ładu przestrzennego, zapewniającego równowagę przyrodniczą [Dulewski, Wtorek 2000; Solon 2007; Degórski 2008; Kostecka 2010]. Ważne w tym procesie jest także osiągnięcie stabilności funkcjonowania ekosystemów hydrogenicznym pełniących istotną rolę w środowisku. Przekształcanie krajobrazu nie musi nieść ze sobą wyłącznie negatywnych skutków. Przy racjonalnej gospodarce obszarami odwodnionymi i dbałości o teren poeksploatacyjny można doprowadzić do powstania nowych, cennych przyrodniczo siedlisk. Zawodnione wyrobiska są chętnie zasiedlane przez ptaki wodno-blotne. Unikalnym elementem środowiska związanym z osadami wapiennymi są torfowiska węglanowe z oligotroficznymi i mezo-oligotroficznymi fitocenozy, bogatymi w rzadkie gatunki roślin. W Polsce mają one charakter naturalny lub pół naturalny. Ze względu na dużą wrażliwość na zmiany warunków hydrologicznych ich renaturyzacja jest trudna, ale odtwarzają się niekiedy w dołach potorfowych [Tyszkowski 1993; Wołejko i in. 2008], co pozwala przypuszczać, że mogą rozwinąć się także w pokredowych wyrobiskach.

## PODSUMOWANIE

Przekształcanie zasobów kredy jeziornej niesie ze sobą szereg bezpośrednich i pośrednich skutków środowiskowych. Do negatywnych należą: zmniejszenie powierzchni mokradeł ze zniesieniem ich funkcji filtracyjnej i buforowej, zmniejszenie powierzchni użytkowanych rolniczo, przekształcanie gleb o wykształconym profilu i ustabilizowanej roli w środowisku w gleby inicjalne o diametralnie różnych właściwościach, zlikwidowanie barier geochemicznych, uruchomienie zakumulowanych zanieczyszczeń, stymulowanie mineralizacji materii organicznej z nadkładu (mursz, torf), uwolnienie  $\text{CO}_2$  do atmosfery, wykorzystywanie wyrobisk do składowania śmieci.

Do zalet można zaliczyć: zwiększenie wartości pH i zdolności buforowych gleb poprzez wapnowanie pozyskaną kredą, powstanie nowych siedlisk o unikalnych walorach, powiększenie powierzchni wód powierzchniowych, wykorzystanie gospodarcze nowych akwenów (stawy rybne). Retardacja eksploatacji zasobów kredy jeziornej ma zatem dwa oblicza, jednym z nich jest zachowanie złóż i funkcjonalności ekosystemów w stanie utrzymania świadczonych przez nie usług, drugim zaś zaniechanie wapnowania gleb i przeciwdziałania negatywnym skutkom postępującego ich zakwaszenia.

## PIŚMIENNICTWO

Bilans zasobów złóż kopalin w Polsce. 2012. M. Szuflicki, A. Malon, M. Tymiński (red.), PIG, PIB Warszawa.

- Degórski M. 2008. Polityka ekologiczna w zarządzaniu regionem. Biuletyn KPZK PAN, Warszawa, 237: 50-71.
- Dean W.E. 1999. The carbon cycle and biogeochemical dynamics in lake sediments. *J. Paleolimnol.*, 21: 375-393.
- Dobak P., Wyrwicki R. 2000. Hydroizolacyjne właściwości kredy jeziornej. *Przegl. Geol.*, 48(5): 412-415.
- Dołęga J. 2010. Problem retardacji w sozologii systemowej i zasadach zrównoważonego rozwoju. [w:] Retardacja materialnego przekształcania zasobów przyrodniczych, J. Kostecka (red.), Biuletyn KPZK PAN, 242: 12-26.
- Dulewski J., Wtorek L. 2000. Problemy przywracania wartości użytkowych gruntom zdegradowanym działalnością górniczą. *Inż. Ekol.*, 1: 14-22.
- Filipek T., Fotyma M., Lipiński W. 2006. Stan, przyczyny i skutki zakwaszenia gleb ornych w Polsce. Nawozy i Nawożenie (Fertilizers and Fertilization), 2(27): 7-38.
- Freytet P., Verrecchia P. 2002. Lacustrine and palustrine carbonate petrography: an overview. *J. Paleolimnol.*, 27: 221-237.
- Gorlach E., Gorlach K. 1983. Porównanie działania  $\text{CaCO}_3$  i  $\text{MgCO}_3$  oraz zawożenia wapniowo-magnezowego na wzrost i skład chemiczny kilku gatunków roślin. Cz. 1. Plon suchej masy i zawartość niektórych makroelementów. Cz. 2. Zawartość mikroelementów. *Roczn. Glebozn.*, 34(4): 27-54.
- Gołębiewski R. 1976. Osady denne Jezior Raduńskich. *Gdańskie Tow. Nauk.*, ss. 90.
- Hepperle D., Krienitz L. 1997. *Phacotus lenticularis* (chlamydomonadales, phacotaceae) zoospores require external supersaturation of calcium carbonate for calcification in culture. *J. Phycology*, 33(3): 415-424.
- Kopiński J., Matyka M., Ochal P., Igras J. 2010. Tendencje zmian zużycia nawozów mineralnych w Polsce. Nawozy i Nawożenie (Fertilizers and Fertilization), 41: 106-119.
- Kostecka J. 2010. Retardacja przekształcania zasobów przyrodniczych jako element zrównoważonego rozwoju. [w:] Retardacja materialnego przekształcania zasobów przyrodniczych, J. Kostecka (red.), Biuletyn KPZK PAN, 242: 27-49.
- Kowaliński S., Licznar E. 1986. Związki próchniczne w rędzinach wytworzonych z wapieni różnych formacji geologicznych. *Roczn. Glebozn.*, 37(2-3):159-167.
- Kuźnicki F., Skłodowski P. 1976. Zawartość i charakterystyka form związków próchnicznych w rędzinach wytworzonych ze skał węglanowych różnych formacji geologicznych. *Roczn. Glebozn.*, 27(2): 127-135.
- Krzywonos K. 1992. Organogeniczne gleby węglanowe na kredzie jeziornej – charakterystyka i klasyfikacja. *Wiad. IMUZ*, 17(3): 37-55.
- Krzywonos K. 1993. Fizyczna i wodna charakterystyka gleb mineralno-węglanowych na kredzie jeziornej. *Wiad. IMUZ*, 17(3): 57-77.
- Lemkowska B., Piaścik H. 2006. Differentiation of fens in landscapes of the Mazurian Lakeland. *Pol. J. Environ. Stud.*, 15(5D): 43-46.
- Lemkowska B., Sowiński P. 2008. Ewolucja „rędzin pojeziornych” w krajobrazie Pojezierza Mazurskiego. *Roczn. Glebozn.*, 59(1): 134-140.
- Marcinek J., Szychalski M. 1998. Degradacja gleb organicznych doliny Obry po ich odwodnieniu i wieloletnim rolniczym użytkowaniu. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 460: 219-236.
- Meller E. 2006. Płytkie gleby organogeniczno-węglanowe na kredzie jeziornej i ich przeobrażenia w wyniku uprawy. *AR w Szczecinie. Rozprawy*, 233, 116 ss.
- Meller E., Sienkiewicz M., Niedźwiecki E., Gołębiewska D. 2010. Parametry związków próchnicznych gleb pobagiennych wytworzonych na kredzie jeziornej jako wskaźniki ich przynależności systematycznej. *Roczn. Glebozn.*, 60(3): 114-122.
- Petelski K., Sadurski A. 1987. Kreda jeziorna wskaźnikiem holocenińskiej wymiany wód podziemnych. *Przegl. Geol.*, 3: 143-147.
- Petelski K., Sadurski A. 1988. Geological and hydrogeological characteristics of the catchment

- area of the Kettle-Lake Orle. [In:] Late glacial and Holocene Lacustrine sediments of the Melt-Lake Orle near Gdansk. *Folia Quaternaria*, 58: 13-30.
- Piaścik H., Lemkowska B. 2004. Genese der niedermoore in der Masurischen Seeplatte. *Telma*, 34: 31-37.
- Punning J.M., Kapanen G., Hang T., Davydova N., Kangur M. 2008. Changes in the water level of Lake Peipsi and their reflection in a sediment core. *Hydrobiol.*, 599: 97-104.
- Rutkowski J. 2007. Osady jezior w Polsce. Charakterystyka i stan rozpoznania, metodyka badań, propozycje. *Stud. Lim. et Tel.*, 1(1): 17-27.
- Rutkowski J., Król K., Krzysztofiak L., Prosovicz D. 2002. Recent sediments of Lake Wigry (Bryzgiel Basin). *Limnol. Rev.*, 2: 353-362.
- Rutkowski J., Król K., Krzysztofiak L., Prosovicz D. 2005. Mapa osadów pokrywających dno jeziora Wigry. *Prac. Kom. Paleogeografii czwartorzędu PAN*, 3: 171-178.
- Rzepecki P. 1983. Klasyfikacja i główne typy litologiczne osadów jeziornych. *Geologia*, 9(1): 73-94.
- Rzepecki P. 1985. Jeziorne osady wapienne Polski Północnej między Łyną a Brdą. *Geologia*, 11(3): 5-78.
- Sadurski A. 1990. Dyskusja o związkach złóż kredy jeziornej z węglanowym systemem wód podziemnych. *Przegl. Geol.*, 7-8: 334-337.
- Skawina T. 1968. Klasyfikacja terenów pogórnicznych dla potrzeb rekultywacji. *Ochr. Ter. Górn.*, 6: 3-10.
- Siuta J. 2007. Odpady w rekultywacji gruntów. *Inż. Ekol.*, 19: 59-78.
- Siuta J., Żukowski B. 2009. Rozwój i potencjalne zagrożenia agroekosystemów. Cz. I. Uwarunkowania agroekologicznego rozwoju gleb mineralnych. *Ochr. Środ. Zasob. Natur.*, 39: 115-125.
- Solon J. 2007. Wpływ środowiska na zróżnicowanie kierunków rozwoju obszarów wiejskich. *Biuletyn KPZK PAN, Warszawa*, 234: 103-117.
- Stabel H.H. 1986. Calcite precipitation in Lake Constance: Chemical equilibrium, sedimentation, and nucleation by algae. *Limnol. Oceanogr.*, 31(5): 1081-1093.
- Stasiak J. 1963. Historia jeziora Kruklin w świetle osadów strefy litoralnej. *Prac. Geogr. Wyd. Geol., Warszawa*, 42: 1-92.
- Stasiak J. 1971. Szybkość sedymentacji złóż gytii wapiennej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 107: 113-119.
- Tyszkowski M. 1993. *Eleocharitetum quinqueflorae* Lüdi 1921 – the initial plant association of calcareous fens in Poland. *Fragm. Flor. Geobot.*, 38(2): 621-626.
- Uggla H. 1976. „Rędziny” Pojezierza Mazurskiego. *Roczn. Glebozn.*, 27(2): 113-125.
- Więckowski K. 1966. Osady dennie jeziora Mikołajskiego. *IG PAN, Pr. Geogr., PWN Warszawa*, 57: 1-112.
- Więckowski K. 2009. Zagadnienia genezy, wieku i ewolucji jezior poszczególnych regionów Polski w świetle badań ich osadów dennych. *Stud. Lim. et Tel. Sup.*, 1: 29-72.
- Wołejko L., Stańko R., Pawlikowski P. 2008. Poradnik utrzymania i ochrony siedliska przyrodniczego -7230- torfowiska alkaliczne. [dokument elektroniczny: <http://natura2000.mos.gov.pl/natura2000/pl/dokumenty/n4/7230.pdf>, data wejścia 2.09. 2012].
- Wyrwicki R. 2001. Holocenne osady wapienne: właściwości i chemizm żelu, skład części płynnej i suchej. *Przegl. Geol.*, 49(6): 525-532.
- Żurek S. 1986. Szybkość akumulacji torfu i gytii w profilach torfowisk i jezior Polski (na podstawie danych <sup>14</sup>C). *Przegl. Geograf.*, 58(3): 459-477.
- Żurek-Pysz U. 1998. Wskaźniki litologiczne gytii nawiązaniu do ich właściwości geologiczno-inżynierskich. [w:] *Mat. Konf.: „Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce”*, J. Liszkowski (red.), Wind-Wojewoda, Wrocław: 173-180.
- Żurek-Pysz U. 2002. Zmiany fizyczne i chemiczne wybranych wskaźników litologicznych kredy jeziornej wywołane obciążeniem. *Górn. Odkrywk.*, 137-141.

## **CONSEQUENCES OF THE DECREASE OF HYDROGENIC SITES TRANSFORMATIONS AS A RESULT OF DISCONTINUATION OF LACUSTRINE CHALK EXPLOITATION**

**Abstract.** The greatest exploitation of lacustrine chalk (3.5 million t per year) was noted in the 90. of 20th century when the transport of calcareous fertilizers was subsidized by the government. Since the financial support was desisted, the excavation of the chalk was stopped. Now, the excavation of chalk takes place only at one site, among 176 documented ones. Its resources of 165,000 t are decreased by 16,000 t every year. The exploitation was stopped at 68 sites, among which seven were completely exploited. The reduction in exploitation resulted in decreasing calcareous fertilization from 200 kg CaO to 37 kg CaO per hectare per year. After exploitation, these areas were partly reclaimed and transformed into water bodies, forests, anthropogenic arable lands. Some areas were left unarranged with parts of infrastructure used during exploitation. Former wetlands were geomechanically transformed and are used as illegal landfills. Retardation of lacustrine chalk exploitation saves the deposits and maintains the ecosystem functions. It is also associated with decreasing soil liming and negative effects of acidification.

**Keywords:** retardation, lacustrine chalk, liming