

Wybrane cechy sedimentologiczne osadów ułatwiające ich podział stratygraficzny, na przykładzie otworu Galumin 1

Jędrzej Kotarbiński*, Elżbieta Mycielska-Dowgiało**, Barbara Woronko**

W interpretacji genetycznej osadów czwartorzędowych istotne znaczenie ma obtoczenie i zmatowienie powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej, skład minerałów ciężkich oraz zawartość kwarcu we frakcji piaszczystej. Wykonanie tych analiz dla osadów z otworu Galumin 1 (zlokalizowanego na Wzniesieniach Mławskich) pozwoliło na wyróżnienie serii o szczególnie wysokiej eolizacji. Analiza stratygraficzna profilu pozwala sądzić, że seria ta podściela glinę zakumulowaną przez lodolód najstarszego ze zlodowaceń środkowopolskich.

Słowa kluczowe: eolizacja osadów czwartorzędowych

Jędrzej Kotarbiński, Elżbieta Mycielska-Dowgiało & Barbara Woronko — Selected sedimentological features of deposits enabling their stratigraphical classification. Application to Galumin 1 borehole (Central Poland). *Prz. Geol.*, 48: 1030–1034.

Summary. The textural features are very important for genetical interpretation of Quaternary deposits, for example: degree of rounding and frosting of quartz grains in sand fraction, composition of heavy minerals and quartz content. Results of analysis of deposits from borehole Galumin 1 (Mławskie Upland) allowed to distinguish the series of a particularly high aeolisation. Stratigraphical analysis of borehole material allows to admit, that this series underlies the glacial till, which was accumulated by the oldest ice sheet of Riss glaciation.

Key words: aeolisation of Quaternary deposits

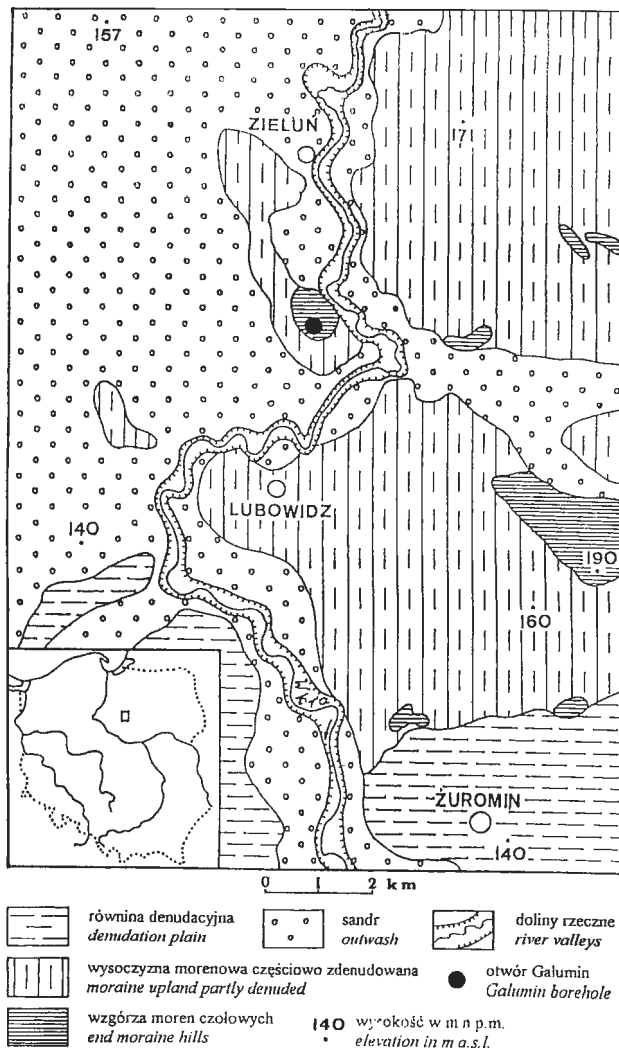
Rdzeniowany otwór Galumin 1 odwiercono w celu udokumentowania arkusza Zuromin Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1 : 50 000. Został on zlokalizowany w obrębie skrajnie zachodniego wzngrza czołowo-morenowego należącego do Wzniesień Mławskich (ryc. 1), stanowiących część Niziny Północnomazowieckiej (Kondracki, 1998). Otwór jest położony w środkowej części istniejącej w podłożu podczwartorzędowym rozległej depresji Lidzbarka Welskiego (Lamparski, 1983), którą cechuje wyjątkowo duża miąższość osadów plejstoceńskich, znacznie przekraczających 250 m.

W żadnym z wykonanych w tym rejonie wierceń — w tym w kilkunastu wierceniach zrealizowanych dla potrzeb SMGP — nie natrafiono na osady organiczne, których wiek można by określić metodami paleobotanicznymi. Przedstawiony poniżej podział stratygraficzny osadów plejstoceńskich opiera się przede wszystkim na analizie litostratygraficznej profilu licznych wierceń zestawionych w przekroje geologiczne i analizie paleogeomorfologicznej.

Litologia i stratygrafia osadów

W otworze Galumin 1 (ryc. 2) bezpośrednio na piaszczystych szarych marglach, w stropie silnie zwietrzałych, których wiek na podstawie mikro- i makrofauny określono na dolny paleocen (Ciesielski, 1997; Gawor-Biedowa, 1997), leży dwudzielna seria glacialna. Oba poziomy glin morenowych oraz rozdzielające je osady limnoglacialne zaliczono do osadów zlodowaceń południowopolskich.

Powyżej wyróżnionej serii leżą miąższe (96,7 m) osady fluwioglacialne, rzeczne i jeziorno-peryglacialne. Zarówno osady rzeczne, jak i jeziorno-peryglacialne z detrytusem roślinnym zaliczono do interglacjalu wielkiego (w rozu-



Ryc. 1. Szkic geomorfologiczny
Fig. 1. Geomorphological outline

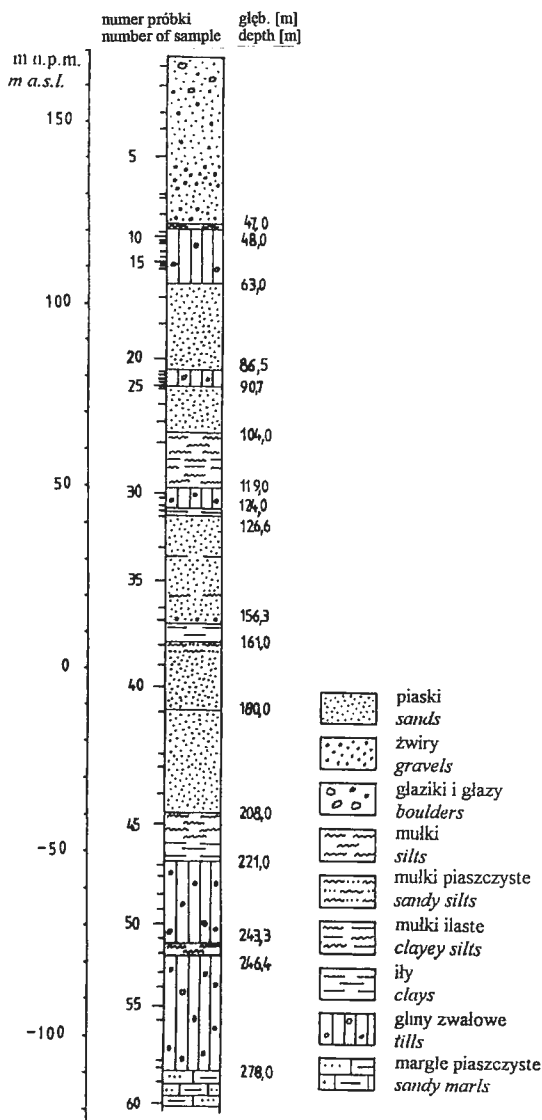
*Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa

**Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski, ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa

mieniu S.Z. Różyckiego), przy czym te ostatnie powstały w fazie chłodnej w obrębie tego interglacjału (Krupiński, 1997). Ponad tą serią leży glina morenowa (124,5–119,0 m p.p.t), oddzielona od następnego poziomu gliny (90,7–86,5 m p.p.t), serią zastoiskową. Powyżej (86,5–63,0 m p.p.t) występują masywne piaski fluwioglacjalne średnio- i gruboziarniste z domieszką żwirów. Przykrywa ją brązowa i szarobrązowa glina morenowa ze znaczną ilością żwirów i głazów (63,0–48,0 m p.p.t). Wyżej leżą zastoiskowe mulki o miąższości 1 m, a ponad nimi (47,0–38,5 m p.p.t) fluwioglacjalne masywne piaski. W stropie występują piaski i żwiry z pojedynczymi głazami, które budują wzgórce morenowe, utworzone w czasie najmłodszego stadiału (mławy) zlodowacenia warty.

Cechy teksturalne osadów, wskaźnikowe do ich interpretacji genetycznej

Wśród cech teksturalnych ważnych w interpretacji genetycznej osadów czwartorzędowych na szczególne



Ryc. 2. Profil otworu wiertniczego Galumin 1
Fig. 2. Borehole of Galumin 1

wyróżnienie zasługują: obtoczenie i zmatowienie powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej, analizowane w mikroskopie optycznym i elektronowym; skład minerałów ciężkich w przedziale wielkości 0,1–0,2 mm; a także procentowy udział ziarn kwarcowych we frakcji piaszczystej (Mycielska-Dowgiało, 1995).

Obtoczenie ziarn kwarcowych informuje o długości czasu trwania procesu formującego ziarno, zmatowienie zaś powierzchni ziarn kwarcowych jest szczególnie przydatne w celu rozróżnienia środowiska eolicznego od plażowego, jak również rozpoznania procesów wietrzeniowych, które współtworzyły mikromorfologię powierzchni ziarn kwarcowych (Mycielska-Dowgiało & Woronko, 1998).

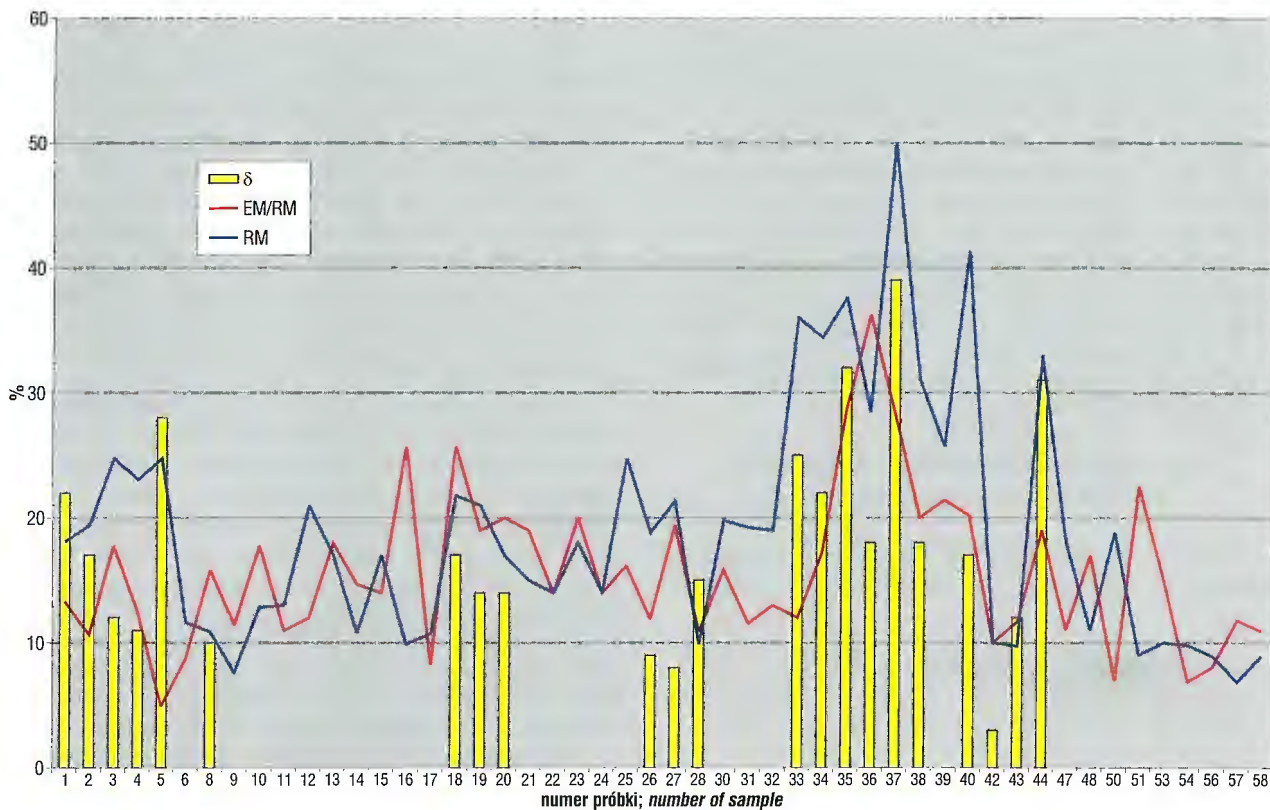
Skład minerałów ciężkich może być szeroko wykorzystywany w interpretacji genetycznej osadów czwartorzędowych ze względu na różną odporność poszczególnych minerałów na wietrzenie chemiczne i abrazję mechaniczną, różną ich podatność na usuwanie z osadu przez wodę lub wiatr, jak również różny ciężar właściwy prowadzący do koncentracji poszczególnych minerałów w określonych środowiskach (Korotaj & Mycielska-Dowgiało, 1982; Florek & Mycielska-Dowgiało, 1991; Mycielska-Dowgiało, 1995; Racinowski, 1995). W składzie minerałów ciężkich szczególnie jest przydatne określenie procentowego udziału minerałów z grupy mik (biotyt, muskowit, glaukonit i chloryt). Minerale te, dzięki swej lamelarnej budowie są w pierwszej kolejności wywiewane z osadów podlegających procesowi eolicznemu. Osady eoliczne są więc sukcesywnie zubożane o tę grupę minerałów, osady zaś zbiornikowe lub aluwia rzeczne mogą być w nie wzbogacane poprzez przechwytywanie ich na powierzchniach wodnych.

Procentowy udział kwarcu w osadach piaszczystych, minerału bardzo odpornego zarówno na wietrzenie chemiczne, jak i na abrazję mechaniczną, stanowi ważną cechę wskaźnikową dotyczącą zarówno długości trwania procesu, jak i rodzaju transportu (Mycielska-Dowgiało, 1995). Zawartość kwarcu rośnie wraz z długością czasu trwania procesu np. eolicznego oraz ilości epizodów redepozycyjnych (Rutkowski, 1995). Równocześnie usuwane są minerały mniej odporne np. skalenie. Procentowy udział kwarcu w osadzie może więc być cennym wskaźnikiem dojrzałości osadu lub stanowić przesłankę dla określenia obszarów źródłowych, jak i ich środowiska sedymentacji.

W dotychczasowych badaniach osadów czwartorzędowych Polski Środkowej, zauważono wyraźne wzmożenie procesów eolicznych, w okresie poprzedzającym zlodowacenia środkowopolskie (Mycielska-Dowgiało, 1978; Goździk, 1980). W całym profilu stratygraficznym osadów czwartorzędowych rysuje się tu wyraźne maksimum eoliczności osadów. Zapisane jest ono bardzo wysokim procentowym udziałem ziarn kwarcowych o genezie eolicznej, występujących na wtórnym złożu w osadach fluwialnych.

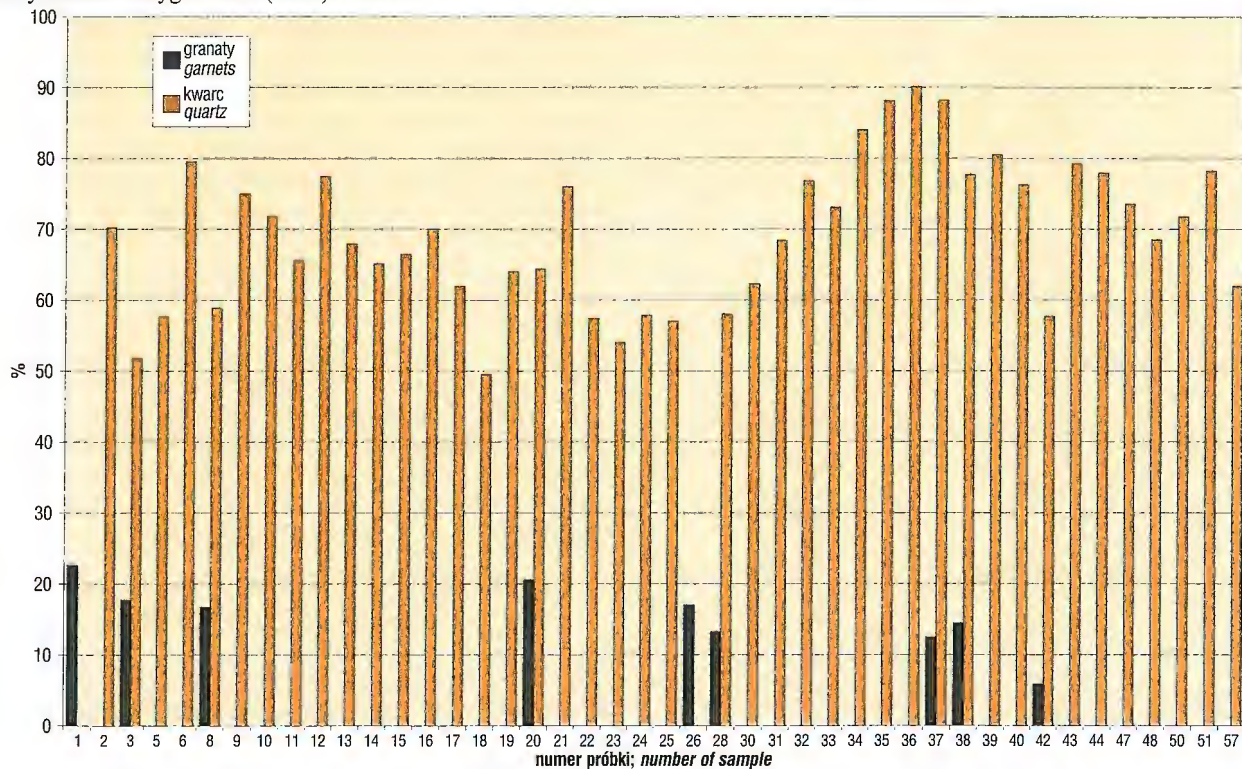
Obtoczenie i zmatowienie powierzchni ziarn kwarcowych (0,8–1,0 mm)

Analiza obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych z otworu Galumin 1 została wykonana dla 49 próbek. Wykorzystano mikroskopową metodę optyczną Cailleux'a (1942) w modyfikacji Goździka (1980) oraz Mycielskiej-Dowgiało i Woronko (1998). Dodatkowo 22 próbki objęto analizą obtoczenia ziarn kwarcowych na gra-



Ryc. 3. Wykresy zawartości procentowej ziarn kwarcowych grupy RM i EM/RM, oparte na wynikach analizy obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej (0,8–1,0 mm) metodą Cailleuxa (1942) w modyfikacji Goździka (1980), Mycielskiej-Dowgiało i Woronko (1998) oraz zawartości procentowej ziarn kwarcu grupy gamma (δ) (0,8–1,0 mm), oparty o analizę obtoczenia metodą Krygowskiego (1964)

Fig. 3. Per cent contain of quartz sand grains of RM and EM/RM groups (0,8–1,0 mm) after Cailleux the (1942) method modified by Goździk (1980), Mycielska-Dowgiało and Woronko (1998) and per cent contain of quartz grains of gamma group (δ) (0,8–1,0 mm) as analysed after Krygowski's (1964) method



Ryc. 4. Udział procentowy kwarcu we frakcji piaszczystej (0,8–1,0 mm) oraz granatów w obrębie składu minerałów ciężkich (0,1–0,2 mm)

Fig. 4. Per cent share of quartz grains in sand fraction (0,8–1,0 mm) and per cent share of garnet within heavy minerals composition (0,1–0,2 mm)

niformametrze spychaczowym Krygowskiego (1964). Analizowany materiał pochodził ze wszystkich rozpoznanych w otworze Galumin 1 serii osadowych: z glin morenowych, jak również warstw żwirowo-piaszczystych (ryc. 2).

Jak pokazuje wykonane zestawienie oparte o analizę metodą Cailleux (ryc. 3), ziarn obtoczonych matowych (RM), jak również pośrednich matowych (EM/RM) w całym profilu jest podobna zawartość procentowa, kształtująca się na poziomie do 18%, za wyjątkiem stropowej części osadów piaszczystych, reprezentowanej przez próbki od nr 33 do nr 40 (ryc. 2). Strop tej serii piaszczystej (126,6–170,0 m p.p.t) wykazuje obecność wysokiej procentowej zawartości ziarn kwarcowych typu RM (25,5%–50,0%) i EM/RM (12,0%–36,3%) (ryc. 3). Od spągu ograniczają ją ok. 30-metrowej miąższości seria piaszczysta (próbki 42, 43) o wyraźnie niższej zawartości ziarn genety eolicznej.

Analiza obtoczenia ziarn kwarcowych wykonana przy zastosowaniu graniformometru spychaczowego Krygowskiego wykazała, podobnie do wyników poprzedniej analizy, relatywnie wysoki udział ziarn bardzo dobrze obtoczonych z grupy gamma (δ) dla próbek od nr 33 do 40 (ryc. 3).

Obie wykonane analizy wskazują na wysoki udział procentowy ziarn kwarcowych o obróbce eolicznej, w stropie serii piaszczystej (próbki od nr 33 do 40), akumulowanej w środowisku wody płynącej. Wydaje się to świadczyć, że depozycji tej serii towarzyszyły intensywne procesy eoliczne, mające miejsce w tym czasie na terenie zlewni rzeki, w której akumulował się badany osad. Ziarna kwarcowe o wysokim stopniu obtoczenia i zmatowieniu powierzchni, transportowane przez wiatr, mogły być przechwytywane przez wszelkie powierzchnie wodne i w nich osadzone. W badanych aluwjach ziarna te znajdują się na wtórnym złożu.

Skład minerałów ciężkich (0,1–0,2 mm)

Analiza minerałów ciężkich została wykonana dla 9 próbek z wybranych serii piaszczystych (tab. 1). Ze stropu miąższej serii piaszczystej (126,6–170,0 m p.p.t), mającej największą ziarn kwarcowych obtoczonych i matowych (świadczących o wysokim stopniu eolizacji), do analizy minerałów ciężkich wybrano dwie próbki (nr 37, 38). Charakteryzują się one wysoką sumaryczną zawartością minerałów z grupy mik (biotyt, chloryt, glaukonit i muskowit) w granicach od 20,0% do 21,9%. W celu scharakteryzowania serii piaszczystych o przeciwnie niższej zawartości ziarn kwarcowych obtoczonych i matowych (czyli o słabej eolizacji), do analizy minerałów ciężkich wybrano cztery próbki (nr 1, 3, 8, 20). Sumaryczna zawartość minerałów z grupy mik w tych osadach jest prawie dwukrotnie niższa (od 11,0% do 12,9%).

Podobne zróżnicowanie, w obu wyróżnionych typach osadów (choć znacznie słabiej wyrażone), zaznacza się w zawartości procentowej piroksenów. W warstwie o wysokim stopniu eolizacji jest niższy udział procentowy piroksenów (od 1,6% do 2,1%), gdy tymczasem w osadach piaszczystych o niskiej eolizacji jest on wyższy (2,5% do 3,2%).

Trzy ostatnie próbki (nr 26, 28 i 42), w których był analizowany skład minerałów ciężkich, zawierają elementy pochodzące z różnych środowisk i na tym etapie są trudne w pełni do zinterpretowania.

Analiza minerałów ciężkich wykazała obecność jeszcze jednej prawidłowości. Probki pobrane z serii piaszczystych od najgłębszego poziomu (nr 42) po poziom najpłytszy (nr 1) wykazują tendencję wzrostową zawartości procentowej granatów (ryc. 4). Pewne wahania w obrębie linii wzrostowej zaznaczają się każdorazowo po akumulacji kolejnych warstw gliny morenowej, wskazujących na dopływ świeżego materiału z relatywnie

Tab. 1. Skład minerałów ciężkich w osadach z otworu Galumin 1 (% minerałów przezroczystych)

Próbka Minerał	Gal.1.1	Gal.1.3	Gal.1.8	Gal.1.20	Gal.1.26	Gal.1.28	Gal.1.37	Gal.1.38	Gal.1.42
Amfibole	9,0	14,0	10,7	15,2	6,7	15,6	12,4	12,7	9,0
Andaluzyt	0,7	0,8	0,7	0,9	0,6	0,3	0,2	0,7	0,4
Apatyt	0,7	0,6	0,9	0,7	0,8	0,3	0,4	0,9	0,4
Biotyt	3,4	1,5	2,2	0,9	4,0	4,4	4,8	6,2	5,6
Chloryt	1,9	1,9	2,2	0,5	2,3	2,1	2,7	1,4	2,6
Cyrkon	0,2	0,2	0,2	0,2	1,5	1,3	0,4	0,5	0,2
Dysten	1,5	0,8	0,7	0,9	0,8	0,3	0,7	0,4	0,4
Epidoty	2,7	6,3	4,2	6,4	4,0	6,1	4,6	7,9	3,6
Fosforany	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6
Glaukonit	5,3	7,7	10,3	9,8	14,6	10,7	12,0	14,1	12,0
Granaty	22,6	17,7	16,7	20,5	17,0	13,2	12,4	14,4	5,8
Monacyt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Muskowit	0,5	0,2	0,2	0,5	0,4	0,5	0,5	0,2	0,2
Nieoznac.	1,0	0,6	0,9	1,1	1,0	0,7	0,9	0,9	0,8
Nieprzezroc.	38,8	36,5	36,8	30,7	34,7	24,67	30,0	26,4	42,2
Pirokseny	2,9	2,5	2,9	3,2	2,1	2,3	1,6	2,1	1,6
Rutyl	0,7	0,2	0,4	0,2	0,6	0,8	0,5	0,2	0,2
Sfen (Ti)	0,2	0,2	0,2	0,5	0,4	0,2	0,2	0,4	0,2
Staurolit	3,2	2,7	4,2	3,6	4,0	2,6	4,1	2,8	1,2
Syllimanit	1,0	1,0	0,7	0,2	0,8	0,5	0,9	0,7	0,2
Turmalin	3,4	4,4	4,5	3,9	3,5	3,3	4,6	3,3	2,6
Węglany	2,7	1,5	1,6	2,7	9,6	9,9	6,2	3,7	10,0

niższą zawartością granatów. Największy skok w zawartości granatów zaznacza się na granicy dolnej eolizacji osadów piaszczystych (próbki 42–38). Można to wyjaśnić wysoką odpornością granatów na abrazję mechaniczną, selektywnie wzbogacanych w osadach o genezie eolicznej (Kamińska i in., 1986), w badanych aluwialach, na wtórnym złożu.

Procentowy udział ziarn kwarcowych we frakcji piaszczystej (0,8–1,0 mm)

W celu określenia procentowego udziału ziarn kwarcowych w osadach różnej genezy pobrano do badań 42 próbki (ryc. 4). Stropowe osady aluwialne miększej serii piaszczystej o najwyższym udziale ziarn kwarcowych obtoczonych matowych (ryc. 3), wyróżniają się również najwyższym, w profilu Galumin 1, udziałem procentowym ziarn kwarcowych w granicach 80–90%. Wszystkie pozostałe próbki pobrane z osadów innej genezy mają wyraźnie niższy udział procentowy kwarcu w granicach 50–80%. Przedstawione zestawienie (ryc. 4) wskazuje wyraźnie na dominację zawartości kwarcu w obrębie próbek od 34 do 37. Wielokrotnie w literaturze jest podkreślany fakt wzrostu zawartości ziarn kwarcowych w osadach o długotrwałych procesach eolicznych (Mycielska-Dowgiałło, 1993, 1995). W czasie trwania procesów eolicznych składniki mineralne mniej odporne na abrazję mechaniczną od kwarcu ulegają stopniowemu usuwaniu, powodując selektywny wzrost procentowego udziału kwarcu.

Wykonana analiza potwierdza wyniki wyżej prezentowanych badań (obtoczenie i zmatowienie powierzchni ziarn kwarcowych oraz minerałów ciężkich) na temat wysokiej eolizacji piaszczystych osadów aluwialnych, w obrębie stropowej części miększej serii piaszczystej, rozdzielającej dwie serie gliny morenowej (ryc. 2).

Wnioski

Dwie serie osadów rzecznych (180,0–161,0 m p.p.t. i 156,3–126,6 m p.p.t.) rozdzielone piaskami pylastymi i mułkami piaszczystymi z detrytusem roślinnym (161,0–156,3 m p.p.t.) zostały zaliczone, na podstawie analizy całości materiału geologicznego z okalającego terenu, do interglacjału wielkiego (w rozumieniu S. Z. Różyckiego).

Równocześnie wyróżnione serie osadów rzecznych charakteryzują się najwyższym udziałem ziarn kwarcowych obtoczonych matowych lub częściowo matowych, najwyższym udziałem minerałów z grupy mik oraz najwyższym procentowym udziałem kwarcu w osadzie. Wszystkie te cechy teksturalne wskazują, że w czasie akumulacji wymienionych osadów aluwialnych panowały na terenie zlewni tej rzeki warunki sprzyjające intensywnym procesom eolicznym. Sądzić można, że były to warunki peryglacialne ze skąpą roślinnością tundrową.

Podobnie, jak dla terenów środkowej Polski najwyższy stopień eolizacji osadów zaznaczył się, w okresie bezpo-

średnio poprzedzającym najstarsze zlodowacenie ze zlodowaceń środkowopolskich.

Literatura

- CAILLEUX A. 1942 — Les actions eoliennes periglaciaires en Europe. Min. Soc. Géol. France, 41: 1–176.
- CIEŚLIŃSKI S. 1997 — Orzeczenie dotyczące wieku makrofauny w otworze Galumin 1, ark. Żuromin (326) SMGP 1 : 50 000. CAG Państw. Inst. Geol. nr arch. 182/99.
- GAWOR-BIEDOWA E. 1997 — Wykonanie analizy mikropaleontologicznej 6 próbek z arkusza Żuromin SMGP 1 : 50 000. CAG Państw. Inst. Geol. nr arch. 182/99.
- GOŹDZIK J. 1980 — Zastosowanie morfoskopii i granformametrii do badań osadów w kopalni węgla brunatnego „Bełchatów”. Stud. Regional., 4: 101–114.
- GOŹDZIK J. 1995 — Wybrane metody analizy kształtu ziarn piasku dla celów paleogeograficznych i stratygraficznych. [W:] Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (red.), Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników. Uniw. Warszaw.: 115–132.
- GOŹDZIK J. & MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1982 — Badania wpływu niektórych procesów geologicznych na przekształcenia powierzchni ziarn kwarcowych. Prz. Geol., 54: 219–240.
- GOŹDZIK J. & MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1988 — Geneza zmatowienia powierzchni dobrze zaokrąglonych ziarn kwarcu w świetle badań w mikroskopie elektronowym. [W:] Mycielska-Dowgiałło E. (red.), Geneza osadów i gleb w świetle badań w mikroskopie elektronowym. Uniw. Warszaw.: 57–64.
- FLOREK W. & MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1991 — Structural and textural character of alluvial deposits as an indicator of environmental condition. F. Gullentops (ed.), Wetlands in Flanders. Aardk. Mededel., 6: 173–179.
- KAMIŃSKA M., KONECKA-BETLEY K. & MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1986 — The Leszno dune in the Vistula valley (east of Płock). Biul. Perygl., 31: 141–162.
- KONDRACKI J. 1998 — Geografia regionalna Polski. PWN.
- KOROTAJ M. & MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1982 — Wurmian periglacial processes on the Kolno plateau in the light of sedimentologic investigations with the use of the scanning electron microscope. Biul. Perygl., 29: 53–76.
- KRUMBEIN W. C. 1941 — Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. J. Sedim. Petrol., 11: 64–72.
- KRUPIŃSKI K. M. 1997 — Orzeczenie paleobotaniczne dotyczące wybranych próbek osadów ze stanowiska Łazy i Galumin, ark. Żuromin. CAG Państw. Inst. Geol., nr arch. 182/99.
- KRYGOWSKI B. 1964 — Granformametrii mechaniczna. Teoria, zastosowanie. Pr. Kom. Geog.-Geol. PTPN, 2: 1–112.
- LAMPARSKI Z. 1983 — Plejstocen i jego podłoże w północnej części środkowego Powiśla. Stud. Geol. Pol., 76: 6–82.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1978 — Rozwój rzeźby fluwialnej północnej części Kotliny Sandomierskiej w świetle badań sedimentologicznych. Rozpr. UW, Uniw. Warszaw., 120: 167.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1993 — Estimates of Late Glacial and Holocene aeolian activity in Belgium, Poland and Sweden. Boreas, 22: 15–17.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. 1995 — Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna. [W:] Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (red.), Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników. Uniw. Warszaw.: 29–105.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. & WORONKO B. 1998 — Analiza obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej i jej wartość interpretacyjna. Prz. Geol., 46: 1275–1281.
- RACINOWSKI R. 1995 — Analiza minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych Polski. [W:] Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (red.), Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników. Uniw. Warszaw.: 151–166.
- RUTKOWSKI J. 1995 — Badania petrograficzne żwirów. [W:] Mycielska-Dowgiałło E., Rutkowski J. (red.), Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników. Uniw. Warszaw.: 133–151.