

## BUDOWA GEOLOGICZNA FORM GLACIMARGINALNYCH NA WYŻYNIE PRZEDBORSKIEJ – PRZYKŁADOWE STUDIA

### GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE GLACIMARGINAL FORMS OF THE PRZEDBÓRZ HIGHLAND, SELECTED SAMPLES

LUCYNA WACHECKA-KOTKOWSKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono charakterystykę litologiczną osadów budujących wybrane formy glacialne: morenę czołową akumulacyjną (stanowisko Masłowice), powierzchnię wysoczyzny morenowej falistej (stanowisko Ochotnik), przypuszczalną morenę martwego lodu (stanowisko Ludwików), kem (stanowisko Miejskie Pola). Formy pochodzą ze stadiału warty zlodowaceń środkowopolskich, są położone na północnych stokach ostańców mezozoicznych Wyżyny Przedborskiej. Wykonano analizy strukturalne, wybrane analizy teksturalne (uziarnienia i morfoskopowe) oraz oznaczono zawartości CaCO<sub>3</sub> w osadach. Wykazano znaczący wpływ elewacji radomszczańskiej na przebieg i mieszany charakter deglacjacji. Wskazano, że formy glacialne cechuje zróżnicowanie litofacjalne i litogenetyczne związane z dużą dynamiką deglacjacji lądolodu warty w brzeżnej części lobu Rawki, Pilicy i Luciąży.

**Słowa kluczowe:** analiza uziarnienia, analiza strukturalna, formy glacialne, stadiał warty, zlodowacenia środkowopolskie, Wyżyna Przedborska.

**Abstract.** The article presents the lithological characteristics of sediments composing some marginal landforms: accumulated frontal moraine (Masłowice site), moraine plateau (Ochotnik site), alleged dead-ice moraine (Ludwików site) and kame (Miejskie Pola site). The landforms developed during the Warta Stage of the Middle Poland Glaciations and are located on the northern slopes of the remnant Mesozoic hills of the Przedbórz Highland. A structural and textural analysis (grain-size distribution and morphoscopy) was made and the CaCO<sub>3</sub> content in the sediment was determined. A significant effect of the Radomsko elevation on the course and the mixed nature of the deglaciation has been proved. The marginal landforms are characterized by lithological and lithofacies diversity related to the high dynamics of the Wartanian ice-sheet in its frontal part of the Rawka, Pilica and Luciąża Lobe.

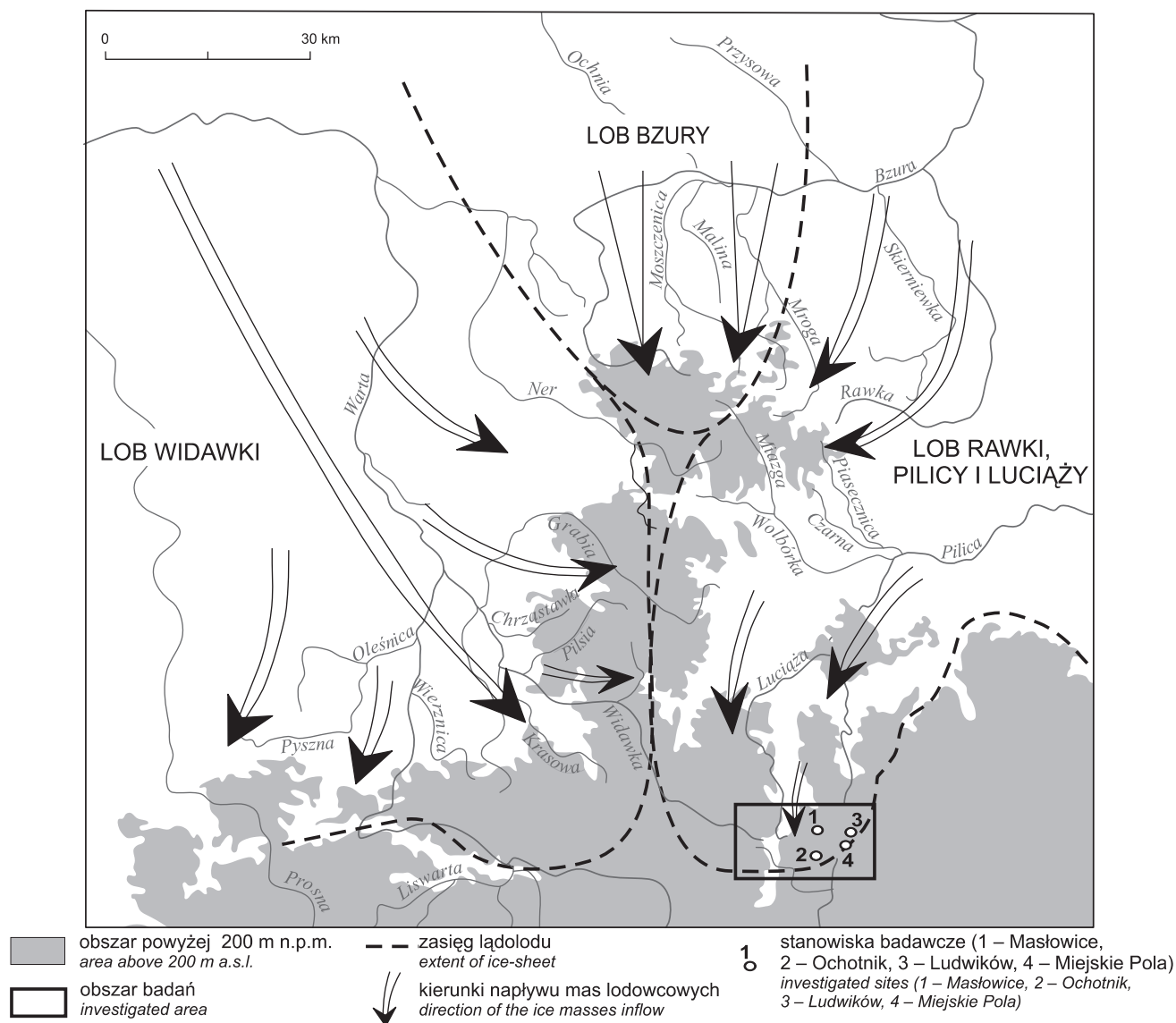
**Key words:** grain-size distribution, structural analysis, glacial landforms, Warta Stage, Middle Polish Glaciations, Przedbórz Highland.

### OBSZAR BADAŃ

Badaniami objęto formy glacialne powstałe podczas nasunięcia lądolodu środkowopolskiego stadiału warty, położone w południowej części lobu Rawki, Pilicy i Luciąży (Turkowska, 2006; Turkowska, Wachecka-Kotkow-

ska, 2010) (fig. 1) na północnych stokach ostańców mezozoicznych Wyżyny Przedborskiej (fig. 2). Do analiz wybrano cztery formy związane z ostatnim epizodem glacialnym (fig. 3):

<sup>1</sup> Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geomorfologii i Paleogeografii; ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź; e-mail: kotkow@geo.uni.lodz.pl



**Fig. 1.** Loby lądolodu warty według Turkowskiej (2006) na tle obszaru badań

The Wartanian ice-sheet lobes according to Turkowska (2006) in the study area

1 – pagórek moreny czołowej akumulacyjnej, położony po lewej stronie doliny Pilicy na wysoczyźnie polodowcowej, 5–6 km na zachód od Przedborza (stanowisko Masłowice) (fig. 4, 5);

2 – powierzchnię wysoczyzny morenowej falistej zalegającej dużym płatem pomiędzy wsiami Masłowice i Ochotnik (stanowisko Ochotnik) (fig. 6, 7);

3 – pagórek moreny martwego lodu (przypuszczalny) o charakterze stożka glacialmarginalnego leżący na wysoczyźnie glacialnej, po prawej stronie Pilicy, 3 km na wschód od Przedborza (stanowisko Ludwików) (fig. 8, 9);

4 – pagórek kemowy położony na północnych stokach ostańca mezozoicznego w okolicach Miejskich Pól, 2,5 km na SEE od Przedborza (stanowisko Miejskie Pola) (fig. 10, 11).

Formy glacialmarginalne są usytuowane na szerokopromiennych wyniesieniach i obniżeniach zbudowanych ze skał

mezozoicznych strefy uskokowej synkliny Masłowic i antykliny Kalinek, synkliny Bąkowej Góry i antykliny Policzka (Kwapisz, 1983; Wachecka-Kotkowska, 2004) (fig. 2). Wszystkie leżą na poprzecznej elewacji radomszczańskiej (Pożaryski, 1971), tzw. pomoście przedborskim według Stupnickiej (1980), wyróżniającej się jako wyniesienie podłoża mezozoicznego o wysokości 40–80 m (fig. 2B) (Kwapisz, 1983). Amfiteatralnie są otoczone ostańcami wzgórz mezozoicznych (fig. 2): od północy – Bąkową Górą (279,8 m n.p.m.), od południowego zachodu i południa – Górą Chełmo (323 m n.p.m.), od południowego wschodu – Sokolą Górą (240,8 m n.p.m.), Brzostkiem (267,7 m n.p.m.) i Czartowską Górą (267,9 m n.p.m.), a od wschodu – Majową Górą (245,8 m n.p.m.), Miejskimi Polami (247,2 m n.p.m.) i Nosalewicami (249,2 m n.p.m.).

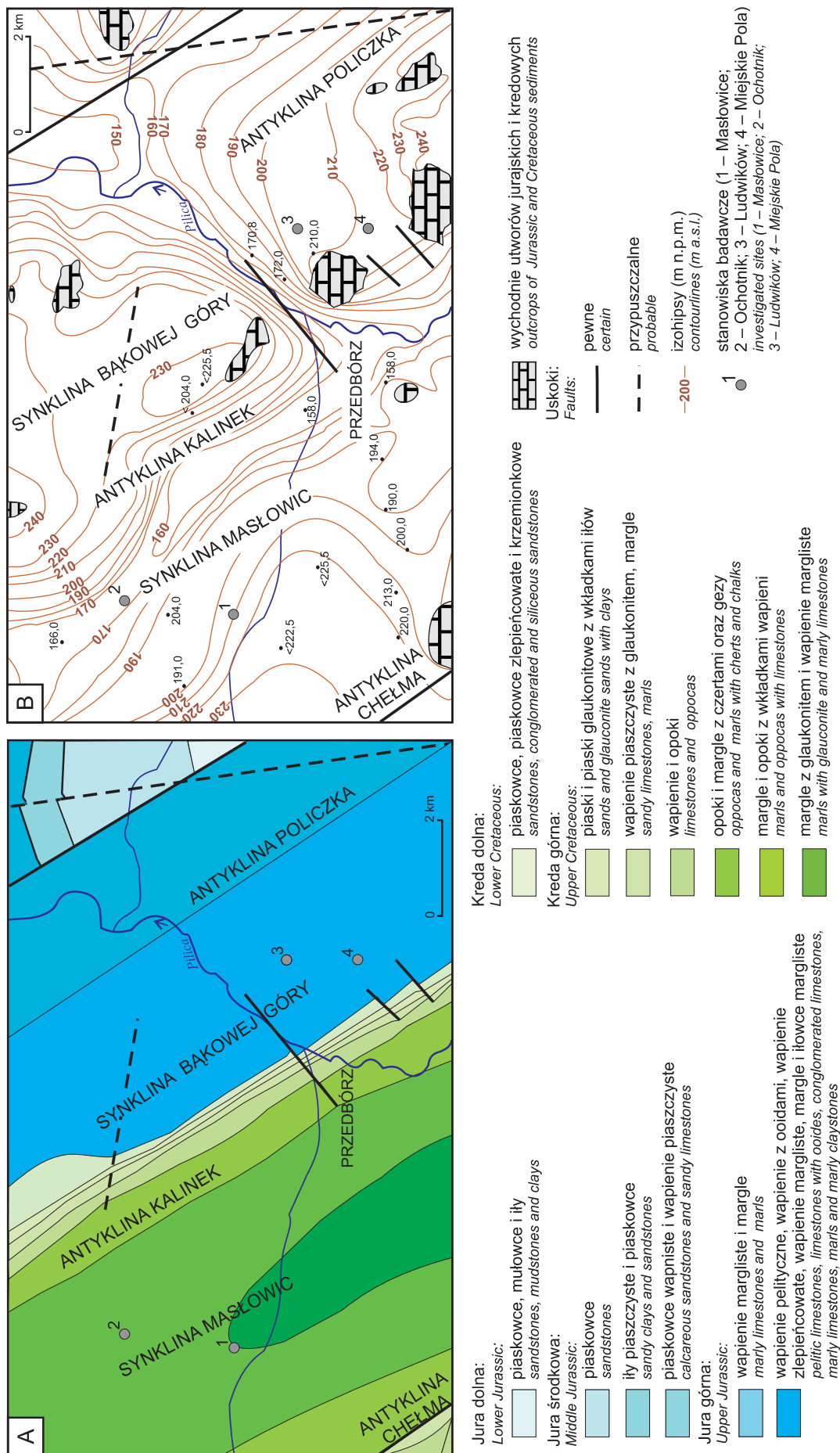


Fig. 2. Budowa geologiczna i rzeźba powierzchni podzwartorzędowej według Kwapisza (1983)

A – szkic geologiczny odkryty, B – hipsometria powierzchni podzwartorzędowej z wychodniami utworów mezozoicznych

Geology and configuration of the sub-Quaternary surface after Kwapisz (1983)

A – geological sketch without Quaternary sediments, B – hypsometry of the sub-Quaternary surface with outcrops of Jurassic and Cretaceous sediments

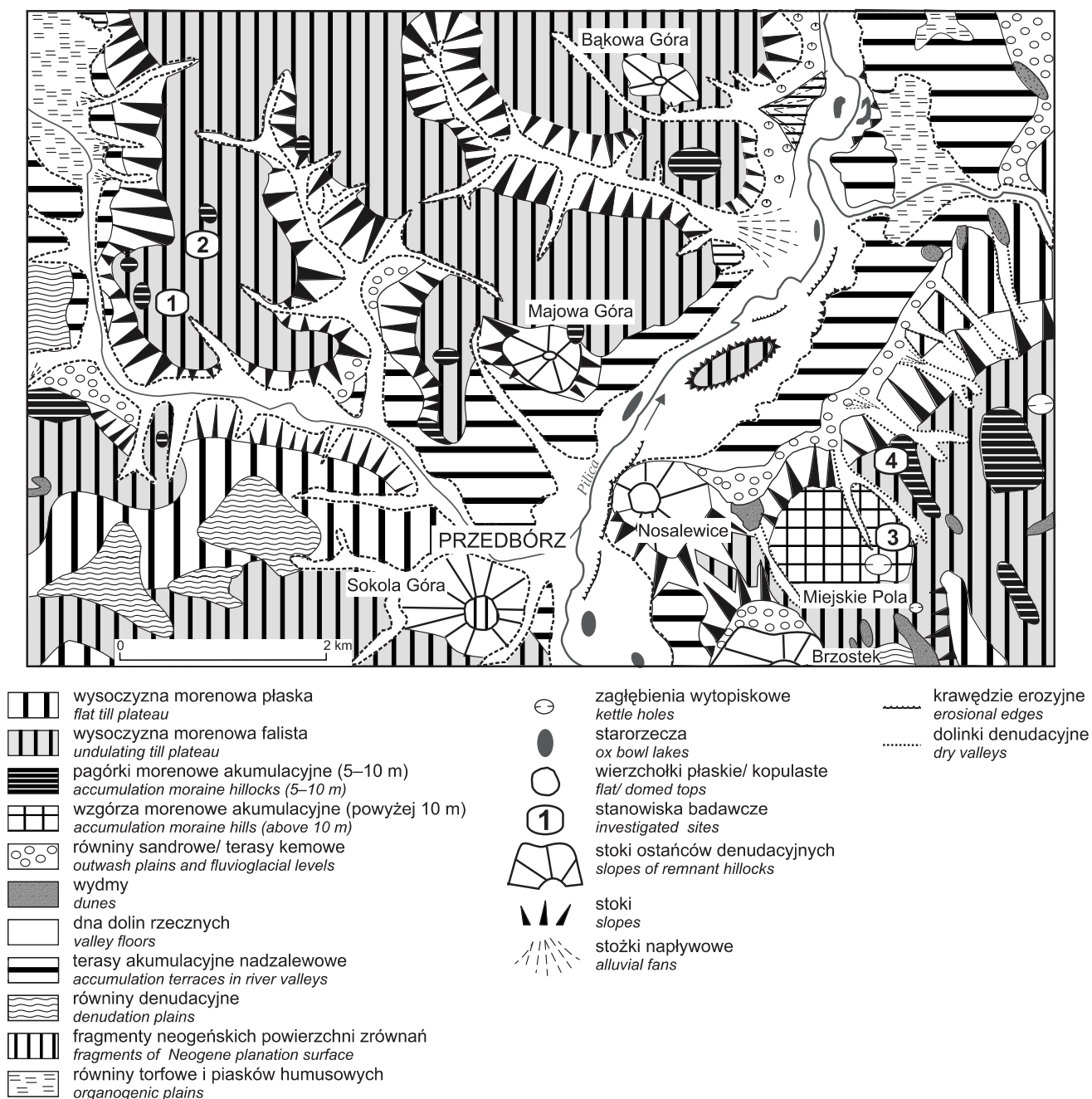


Fig. 3. Szkic geomorfologiczny okolic Przedborza (wg Kwapisza, 1983, zmodyfikowany)

Geomorphological sketch of the Przedbórz area (after Kwapisz, 1983, modified)

## CEL I METODY BADAŃ

Celem pracy jest opis i wyjaśnienie budowy wewnętrznej wybranych form glacialnych w nawiązaniu do wysoko położonego podłoża mezozoicznego, które bez wątpienia miało wpływ na charakter glacjacji i późniejszej deglacjacji.

Opisywane formy glacialne na arkuszu Przedbórz SMGP w skali 1:50 000 widnieją jako pagórki/ wzgórza akumulacyjne moreny czołowej ze zlodowacenia środkowopolskiego starszego stadiau odry – radomki i jego fazy pomaksymalnej – wieniawy (Kwapisz, 1983). Ostatnie badania,

zwłaszcza petrograficzne, wskazują na ich warciański wiek – MIS 6, 180–120 ka BP (Wachecka-Kotkowska, Olszak, 2009; Czubła, Wachecka-Kotkowska, 2009; Wachecka-Kotkowska, Górską-Zabielska, 2010, 2011).

Zdaniem autorki zarówno wiek, jak i genezę form glacialnych należy zrewidować poprzez szczegółowe studia geologiczno-geomorfologiczne. W artykule przedstawiono jedynie kwestie dotyczące morfogenezy wymienionych form. Mając na uwadze urozmaiconą rzeźbę podłoża



(fig. 2B) na którą stagnował, a następnie regresował lądolód, założono, że deglacjacja miała charakter mieszany. W szerokopromiennych obniżeniach mogły zalegać płyty martwego lodu, natomiast na wyniesieniach podłoża – na północnych stokach wzgórz mezozoicznych – mogła odbywać się deglacjacja frontalna. W związku z tym istniały warunki do tworzenia się całej gamy form glacialnych, charakterystycznych zarówno dla deglacjacji frontalnej, jak i arealnej.

W powyższych stanowiskach przeprowadzono analizy cech strukturalnych osadów z zastosowaniem kodu litofacyjnego Rusta i Mialla w modyfikacji Zielińskiego (1995), a także analizy teksturalne uziarnienia oraz morfoskopowe dla frakcji 0,8–1 mm według Cailleux w modyfikacji Goździka (1995), choć wiadomo, że inne modyfikacje tej metody (Mycielska-Dowgiało, Woronko, 1998; Mycielska-Dowgiało, 2001) są szeroko wykorzystywane. Wyniki analiz morfoskopowych pozwalają na określenie cech środowiska transportu i późniejszej diagenety osadu (Goździk, 1995, 2001; Mycielska-Dowgiało, 1995, 2001, 2007).

## CHARAKTERYSTYKA STRUKTURALNA I TEKSTURALNA OSADÓW

### STANOWISKO MASŁOWICE

(240 m n.p.m.)

W obrębie pagórka w Masłowicach jest widoczne głązowisko, głównie skał skandynawskich. W budowie formy uczestniczą dwa poziomy glin – górny o miąższości 1,5 m, przebadany petrograficznie i opisany jako warciański (Czuba, Wachecka-Kotkowska, 2009; Wachecka-Kotkowska, Górską-Zabielska, 2010) oraz dolny, nawiercony na głębokości 8,8 m p.p.t., pochodzący prawdopodobnie z początku warciańskiego epizodu glacialnego. W odsłonięciu o głębokości 6,5 m wyróżniono trzy serie litofacyjne: górną – zbudowaną z brązowej gliny piaszczystej Dmm/Ds, podścielonej brukiem morenowym GSm/Gm; środkową – piaszczysto-żwirową, SGh/GSh/Gm i dolną, piaszczystą, z litofacjami Sh, Sr, SFh oraz GSh (fig. 4, 5). Kontakt między litofacjami ma charakter sedymentacyjny.

Serię górną, glinę, cechuje duża średnica ziarn ( $M_z = 0,4-1,1 \phi$ ), złe wysortowanie ( $\sigma_1 = 1,5-2,2$ ) i zróżnicowana skośność, zarówno dodatnia, jak i ujemna. Bruk morenowy, podścielający glinę jest słabo wysortowany ( $\sigma_1 = 1,37$ ) żwirami piaszczystymi ( $M_z = 0,045 \phi$ ) o dodatniej wartości skośności ( $Sk_1 = 0,43$ ).

Serię środkową budują głównie piaski żwirowe ( $M_z = 0,1-1,29 \phi$ ) o bardzo słabym wysortowaniu ( $\sigma_1 = 1,4-1,8$ ) i zróżnicowanej skośności – dodatniej i ujemnej ( $Sk_1$  od  $-0,48$  do  $0,51$ ).

Serię dolną, spągową, tworzą piaski średnio- oraz drobnoziarniste z przewarstwieniami piasków żwirowych ( $M_z$  od  $-0,652$  do  $2,66 \phi$ ), o średnim wysortowaniu ( $\sigma_1 = 0,8$ ) w ławicach piasku drobnoziarnistego i słabym wysortowaniu ( $\sigma_1 = 1,3$ ) w ławicach osadów grubszych. W całej serii

Dzięki możliwościom ogólnodostępnego programu Gradistat 8.0 (<http://www.kpal.co.uk/gradistat.html>) służącego do obliczania wskaźników uziarnienia według Folka i Warda (1957); (Blott, Pye, 2001; Wachecka-Kotkowska, Kotkowski, 2011) prześledzono przebieg krzywych częstości, które wskazują na pochodzenie materiału (Mycielska-Dowgiało, 1995; Mycielska-Dowgiało, Ludwikowska-Kędzia, 2011). Z diagramu C/M skonstruowanego według Passegi (1964) – rangowej oceny dynamiki środowisk sedymentacyjnych, odczytano informacje dotyczące rodzaju transportu poprzedzającego sedymentację osadów (Mycielska-Dowgiało, 1995, 2007; Mycielska-Dowgiało, Ludwikowska-Kędzia, 2011). Dodatkowo oznaczono zawartości węglanu wapnia w celu określenia ingerencji wód gruntowych lub roztopowych w kształtowaniu się osadów oraz udziału utworów lokalnych, mezozoicznych (głównie wapiennych) w budowie form glacialnych.

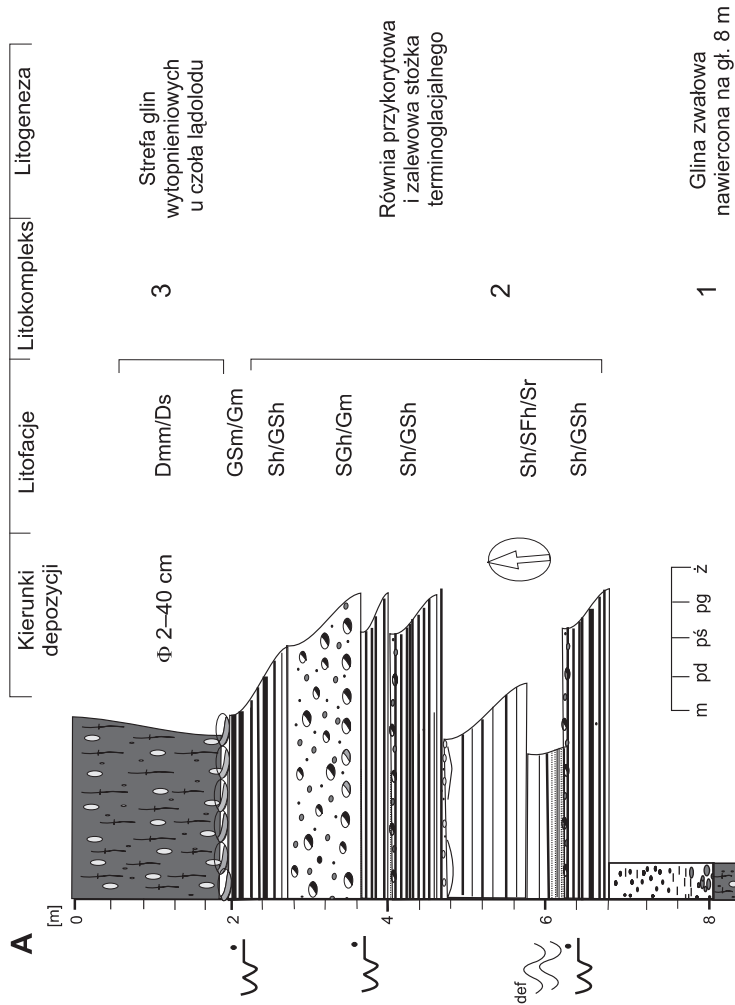
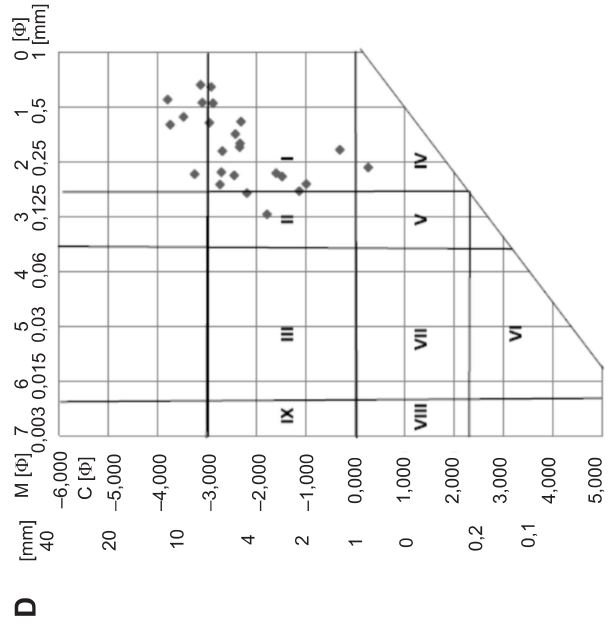
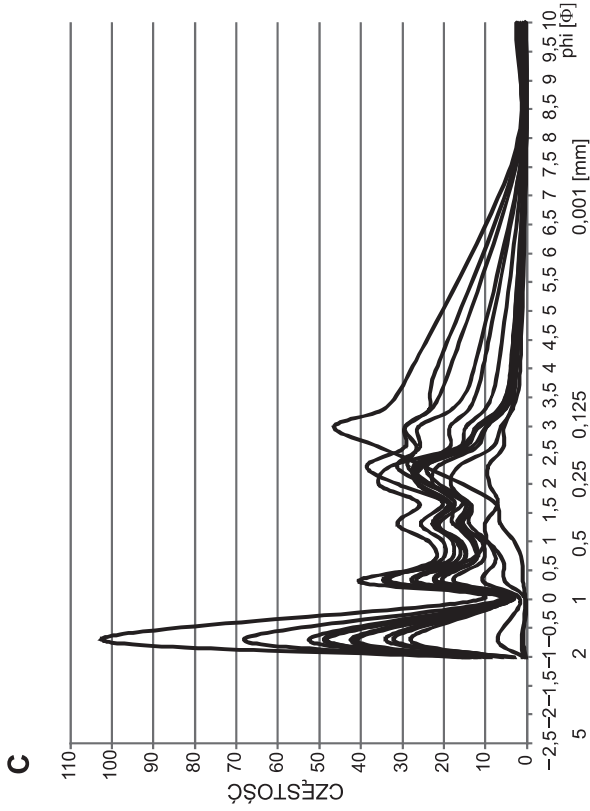
występuje dodatnia skośność świadcząca o wzbogacaniu osadu we frakcje drobniejsze.

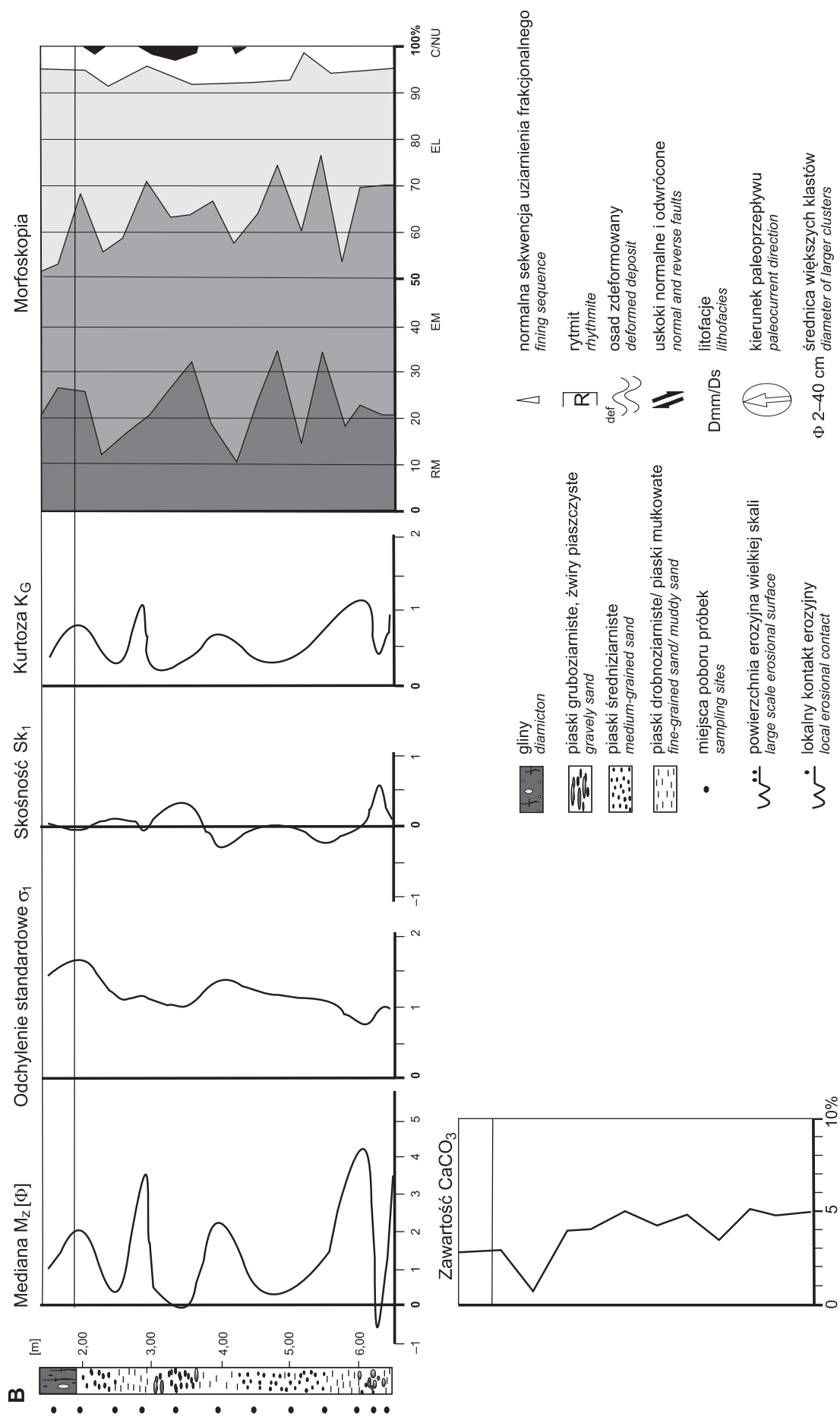
Z diagramu C/M wg Passegi (1964) wynika, że w pierwszym segmencie (I) umieszczonych jest 85,71% próbek, a w drugim (II) – 14,29%, co wskazuje, że osad był transportowany w wyniku toczenia i saltacji. Krzywe częstości dla wszystkich próbek mają układy polimodalne, głównie trimodalne. Świadczy to o poligenicznym charakterze osadu. Jedyne unimodalne rozkłady charakteryzuje osad występujący na głębokości poniżej 6 m p.p.t., zalegający w spągowej części serii środkowej – piaszczystej. Może to świadczyć o dużej dynamice sedymentacji podczas formowania się pagórka i bardziej stabilnych warunkach przy tworzeniu się jego trzonu.

Na głębokości 2,90 m, pod gliną górną, występuje strefa odwapnienia (0,62%  $CaCO_3$ ). Większe wahania zawartości  $CaCO_3$  pod gliną może świadczyć o przemyciu osadów leżących poniżej przez wody lodowcowe (roztopowe). W centralnej części odsłonięcia zawartość  $CaCO_3$  stabilizuje się na poziomie 2,8–4,8%, natomiast w spągu, w piaskach, wzrasta do wartości 5,1%. Wysoka zawartość węglanu wapnia jest uzasadniona, gdyż w podłożu występują margle kredowe synkliny Masłowic.

Analizy morfoskopowe nie wykazują zbyt dużej zmienności w profilu pionowym. Zarówno zawartości ziarn matowych okrągłych – RM, jak i ziarn błyszczących zaokrąglonych – EL wahają się od około 20 do 35%. Dominują ziarna pośrednie – EM (około 35–45%). Ziarna pęknięte – C oraz nieobrobione – NU są najmniej liczne (do 8%).

Biorąc pod uwagę kryterium morfologiczne, a także duże zróżnicowanie cech strukturalnych i teksturalnych osadów, obecność głązowisk, brak deformacji glacicitektonicznych na-



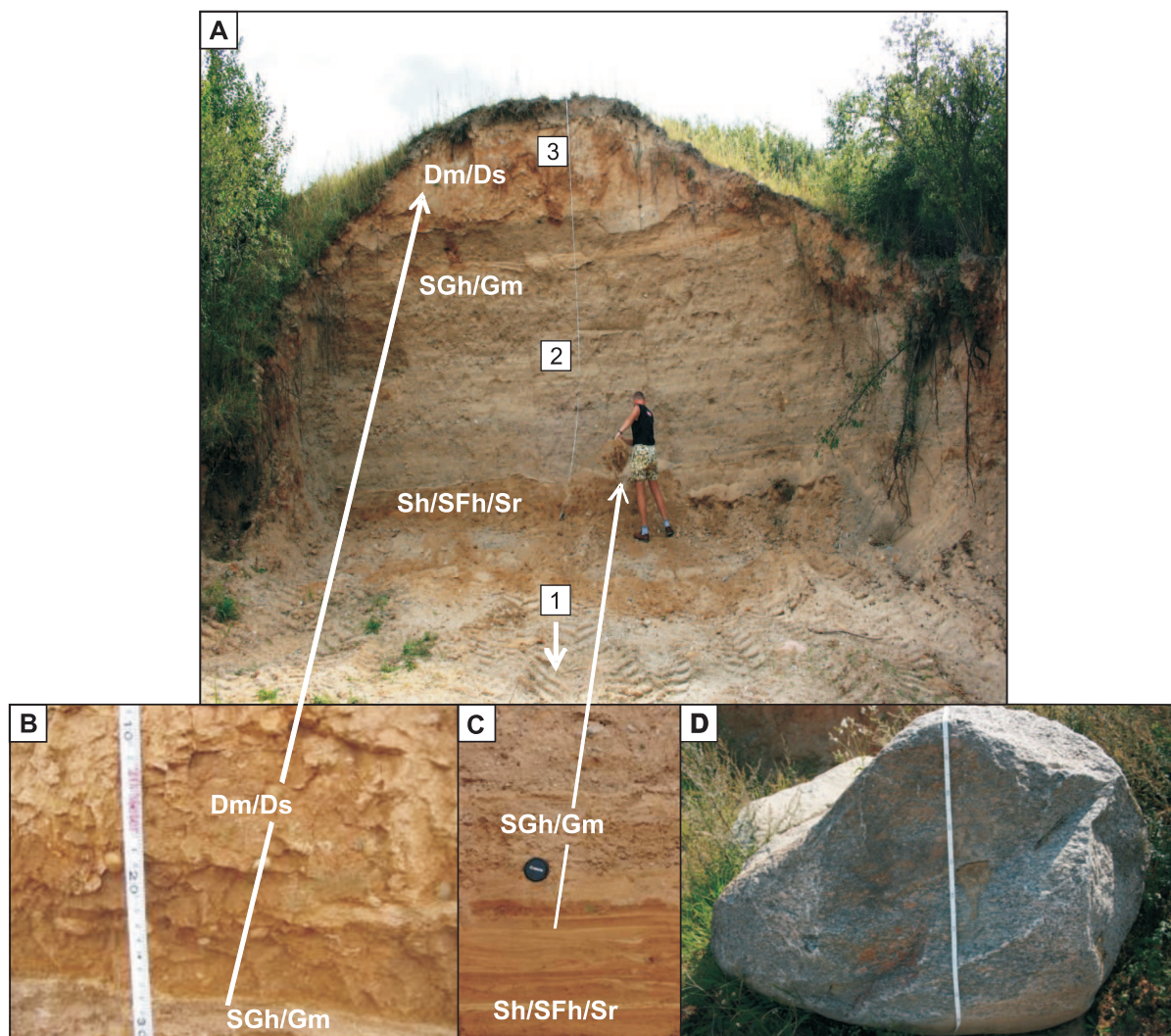


**Fig. 4. Cechy osadów budujących pagórek morenowy – Masłowice**

A – cechy strukturalne, B – cechy teksturalne, C – krzywe częstotliwości, D – diagram C/M wg Passegi (1964)

Properties of deposits of the moraine hillock – Masłowice

A – structural properties, B – textural properties, C – frequency curves, D – C/M diagram after Passegi (1964)



**Fig. 5. Cechy strukturalne osadów – Masłowice**

**A** – budowa pagórka, **B** – kontakt gliny (litokompleks 3) z osadami piaszczysto-żwirowymi (litokompleks 2), **C** – akumulacyjny kontakt pomiędzy serią piaszczysto-żwirową a serią piaszczysto-mułkową w obrębie litokompleksu 2 na głębokości 6 m p.p.t., **D** – głazowiska eratyków skandynawskich obecne w centrum formy; pozostałe objaśnienia na figurze 4

#### Structural features of sediments – Masłowice

**A** – hill structure, **B** – contact between diamicton (lithocomplex 3) and sandy gravel deposits (lithocomplex 2), **C** – accumulation contact between sandy gravel series and sandy mud series within lithocomplex 3 (6 m depth), **D** – Scandinavian erratic boulders in the centre of the landform; for other explanation see Figure 4

leży potwierdzić obserwacje autora arkusza Przedbórz (Kwapisz, 1983) SMGP 1:50 000, że jest to morena czołowa akumulacyjna. Początek jej tworzenia mógł być związany z nasunięciem lądolodu środkowopolskiego, o czym świadczy obecność dolnej gliny (litokompleks 1). Następnie, w wyniku topnienia wód lodowcowych na elewacji podłoża, w warunkach podparcia, powstała na jego bliskim przedpolu równia przykorytowa i zalewowa stożka terminoglacjalnego (litokompleks 2). Ostatni epizod należy wiązać z awansem (oscylacją) lądolodu. U jego czoła powstała strefa glin wytopnieniowych zlodowacenia warty (litokompleks 3) (Czubla, Wachecka-Kotkowska, 2009; Wachecka-Kotkowska, Górska-Zabielska, 2010, 2011).

#### STANOWISKO OCHOTNIK (231,5 m n.p.m.)

W stanowisku Ochotnik osady odsłaniające się do głębokości 6 m p.p.t. (fig. 6, 7) wykazują dwudzielność, podobnie jak w stanowisku Masłowice. W stropie występuje glina zwałowa (3,5–0 m p.p.t.) z kompleksem litofacji Dm/DSm i pakietami piaszczystymi. W spągu gliny można zobaczyć zlicowane głaziki. W części środkowej odsłania się seria żwirowo-piaszczysta (4,0–3,5 m p.p.t.), gdzie litofacje Sh, Sl przechodzą w litofacje SGh/Gm, a w spągu – seria piaszczysta (5,4–4,0 m p.p.t.) z kompleksem litofacyjnym Sh, Sl→GSh.



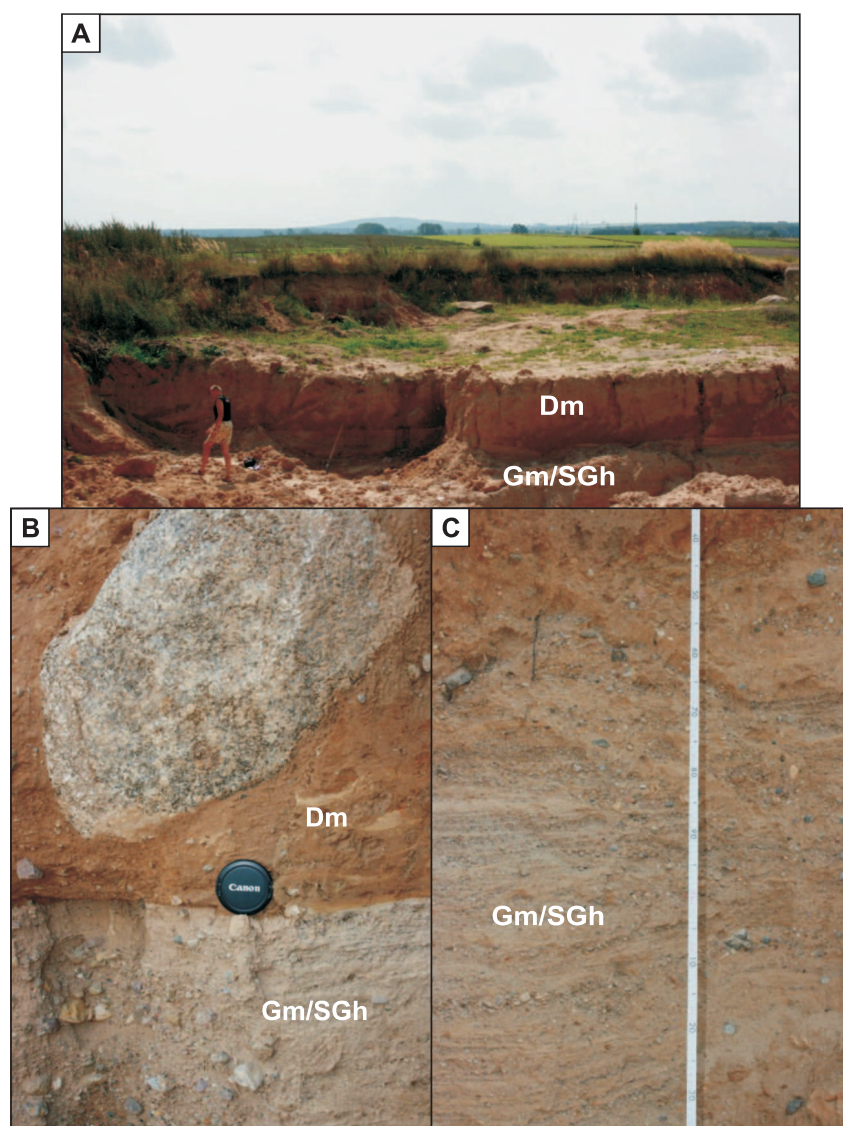
Średnia średnica ziarn ( $M_z$ ) gliny wynosi od 0,54 do 1,33  $\phi$ . Jest to osad bardzo słabo wysortowany ( $\sigma_1 = 1,4-1,7$ ) o dodatnim rozkładzie skośności ( $Sk_1 = 0,25$ ). Serię żwirowo-piaszczystą ( $M_z$  od  $-0,55$  do 1,7  $\phi$ ), zbudowaną z grubego piasku o bardzo słabym wysortowaniu ( $\sigma_1 = 1,88$ ) oraz z piasków średnio- i gruboziarnistych o umiarkowanym ( $\sigma_1 = 0,78$ ) i słabym ( $\sigma_1 = 1,5$ ) wysortowaniu, cechuje duże zróżnicowanie wskaźnika skośności ( $Sk_1$  od  $-0,20$  do 0,74). W spagu, nawet w piaskach drobnoziarnistych ( $M_z = 1,78 \phi$ ), notowane jest bardzo słabe wysortowanie ( $\sigma_1 = 1,1-1,24$ ).

Z diagramu C/M wynika, że 90,48% próbek jest przyporządkowanych pierwszemu segmentowi (I), a drugiemu (II) – 9,52%. Podobnie jak w Masłowicach osad był trans-

portowany w wyniku toczenia i saltacji. Rozkłady krzywych częstości są polimodalne, w większości trimodalne i świadczą o poligeniczności osadu leżącego pod gliną zwałową.

Zawartość  $CaCO_3$  w profilu jest zmienna, na głębokości 4,2 m pod gliną i w dolnej części odsłoniętych osadów występują strefy odwapnienia związane z działalnością wód roztopowych. Na głębokości 1,5 m zawartość  $CaCO_3$  wynosi 2,4% i wzrasta do wartości 8,45% na głębokości 5,3 m.

Z analizy morfoskopowej wynika, że dominują w osadzie ziarna pośrednie EM, których frekwencja w próbkach we frakcji 0,8–1 mm wynosi od 31,7 do 50,4%. Dostyc dużą grupę stanowią ziarna zaokrąglone błyszczące EL (27–48%), natomiast ziarna okrągłe matowe RM występują



**Fig. 6. Budowa wewnętrzna moreny dennej falistej – Ochotnik**

**A** – widok na północne stoki Wyżyni Polskiej z wysoczyzny morenowej falistej, w tle Góra Chelmo (323 m n.p.m.), **B** – kontakt gliny zwałowej, bazalnej z serią żwirowo-piaszczystą, **C** – seria żwirowo-piaszczysta z okruchami skał lokalnych; pozostałe objaśnienia na figurze 7

Structure of the undulating moraine plateau – Ochotnik

**A** – view of the northern slopes of the Polish Highlands of the undulating moraine plateau, Chelmo Mount (323 m a.s.l.) in the background, **B** – contact of basal till with gravelly sand series, **C** – gravelly sand series with fragments of local rocks; for other explanation see Figure 7



w zdecydowanej mniejszości (12–33%). Pojawiają się również ziarna pęknięte C (0–6%), a także świeże, nieobrobione NU (0–4%). W osadach spągu zmatowienie ziarn jest nieco większe, zawartość ziarn RM wynosi 44%. Może to świadczyć o przewiewaniu osadu w warunkach zaostżenia klimatu, na bliskim przedpolu łądolodu lub włączenie do niego osadów starszych cykli.

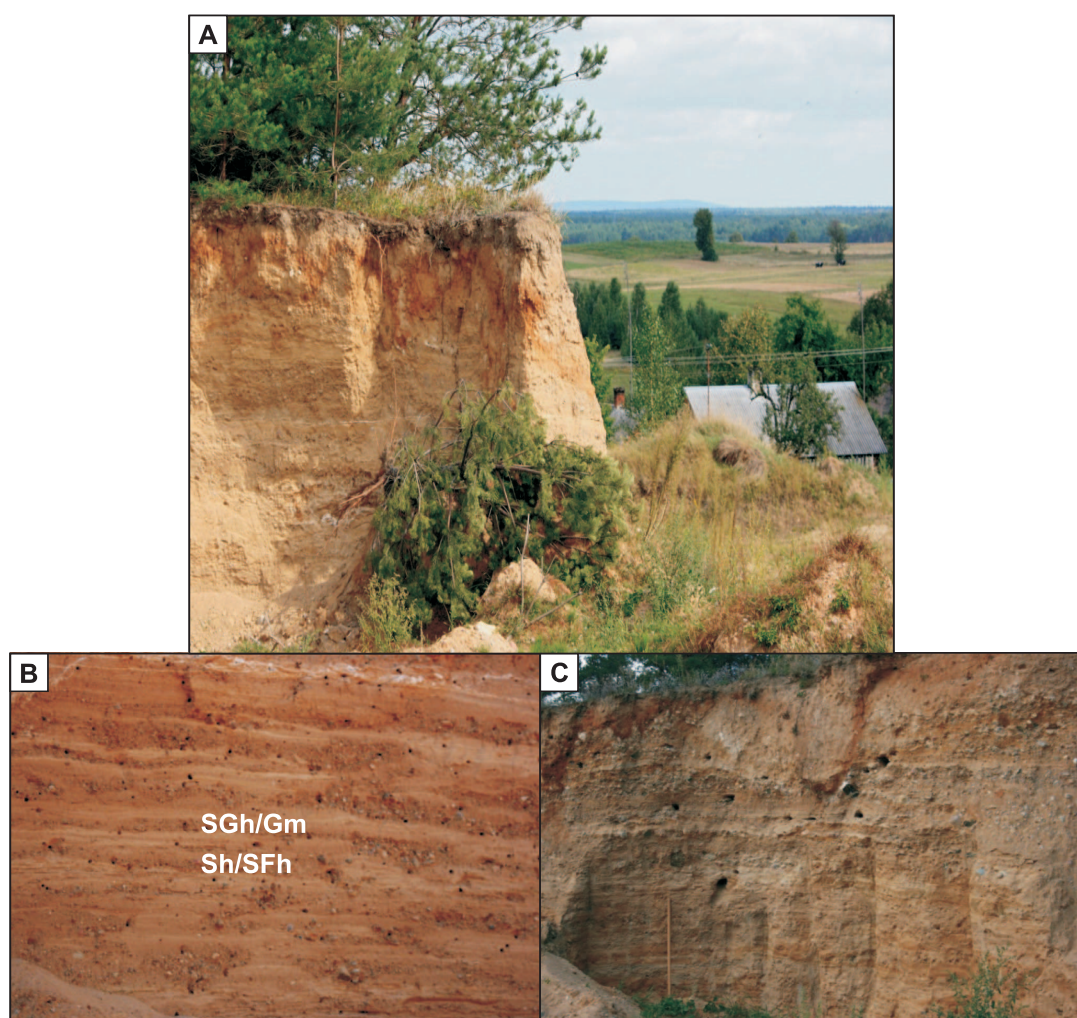
Mając na uwadze morfologię terenu, cechy strukturalne i teksturalne osadu, można powiedzieć, że badana forma to wysoczyzna morenowa falista, która powstała w bardzo zróżnicowanych warunkach i środowiskach sedymentacyjnych.

Spągowa część osadów w odsłonięciu może wskazywać na epizod akumulacyjnej działalności wód łądolodu warty. W środowisku równi przykorytowej i/ lub płytkich koryt roztoki na proksymalnym stożku terminoglacjalnym powstawały osady piaszczysto-żwirowe (litokompleks 1). Odpływ wód odbywał się na północ (A 350°), zgodnie z na-

chyleniem terenu. Kolejne nasunięcie/ oscylacja łądolodu warty spowodowało całkowite pokrycie terenu. Łądolód dotarł 2–3 km na południe (stanowisko Masłowice), natomiast na jego zapleczu w okolicach Ochotnika, w bazalnej części łądolodu następowało wytapianie gliny i gładów (litokompleks 2).

#### STANOWISKO LUDWIKÓW (230 m n.p.m.)

Stanowisko Ludwików występuje w obrębie północnego i wschodniego stoku pagórka o wysokości 25 m. Pokrywa go cienka warstwa gliny piaszczystej SDm (0–70 cm) oraz znaczna ilość gładów o różnych rozmiarach. Forma jest zbudowana głównie z osadów piaszczysto-żwirowych (fig. 8, 9). Jej cechą charakterystyczną jest cykliczność struktur sedy-



**Fig. 8. Budowa wewnętrzna stożka glaciomarginalnego – Ludwików**

A – widok na północne stoki formy i urozmaiconą rzeźbę terenu, B – seria żwirowo-piaszczysta o charakterze rytmu miejscami przewarstwiona osadami mułkowatymi, C – widok na ścianę zachodnią odkrywki; pozostałe objaśnienia na figurze 9

#### Structure of the glaciomarginal fan – Ludwików

A – view on the northern slopes and varied landforms of the surrounding terrain, B – rhythmic gravely sand series with silty sediments, C – view of the western wall of the pit; for other explanation see Figure 9



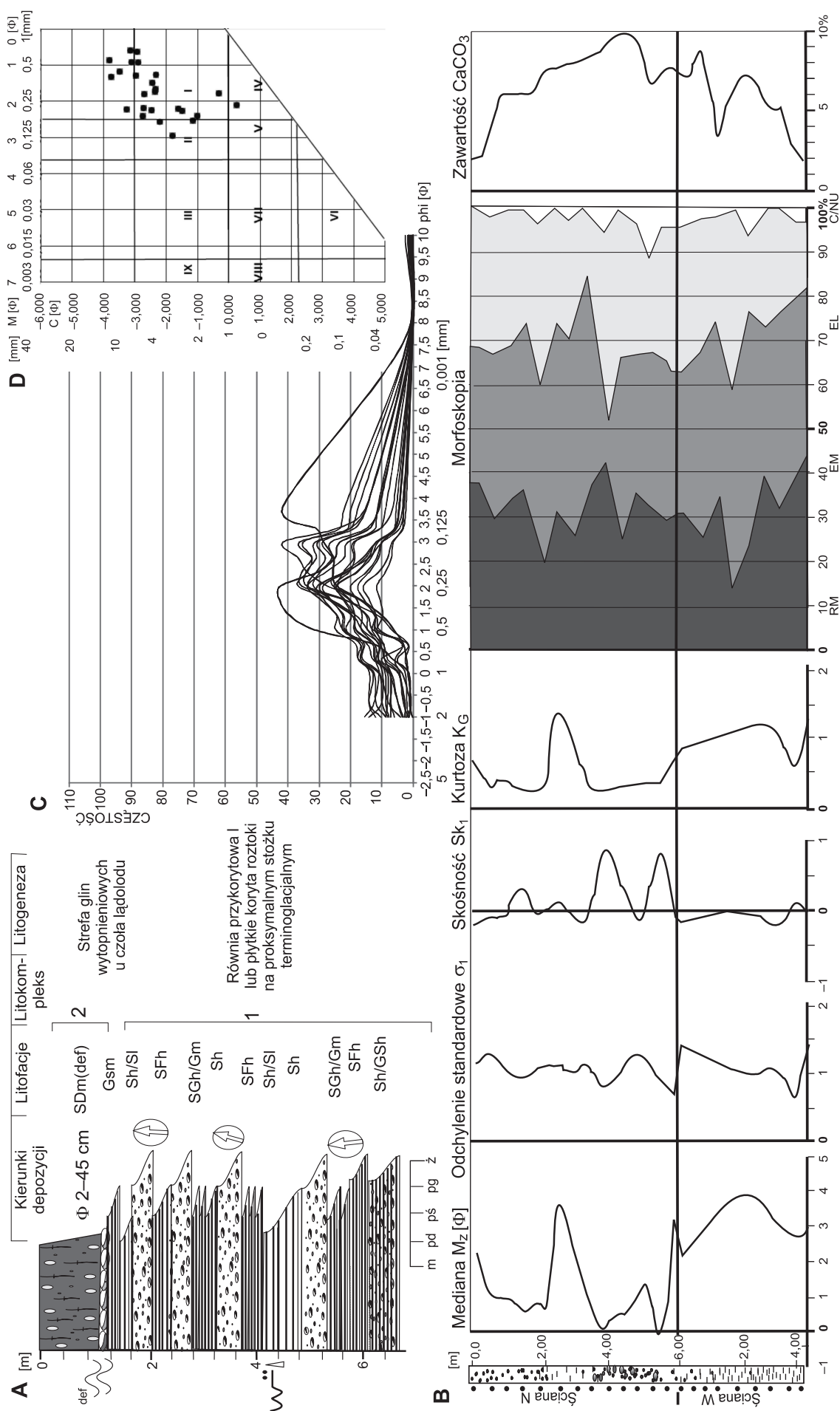


Fig. 9. Cechy osadów budujących pagórek moreny martwego lodu – Ludwików

A – cechy strukturalne, B – cechy teksturalne, C – krzywe częstotliwości, D – diagram C/M wg Passegi (1964); pozostałe objaśnienia na figurze 4

Properties of deposits of the dead-ice moraine hillock – Ludwików  
 A – structural properties, B – textural properties, C – frequency curves, D – C/M diagram after Passegi (1964); for other explanation see Figure 4



mentacyjnych. Litofacje osadów grubszych GSm, GSh, SGh, Gm są przedzielone litofacjami Sh, Sl, SFh w sekwencjach od 2 do 5 cm.

Ze względu na zmienną budowę formy próbki do analiz teksturalnych pobrano również w ścianie zachodniej odkrywki (fig. 9B). Gruboziarnisty piasek ( $M_z = 0-0,5$ ;  $\sigma_1 = 1,5$ ;  $Sk_1$  od  $-0,01$  do  $-0,14$ ;  $K_G \approx 0,6$ ) jest przeławicony drobn- i średnioziarnistym piaskiem ( $M_z = 1,5-2,5 \phi$ ;  $\sigma_1 = 1,3-1,4$ ;  $Sk_1$  od  $-0,55$  do  $-0,28$ ;  $K_G \approx 1-2,1$ ). Cykliczność ławic wskazuje, że sedymentacja miała charakter powtarzalny i pulsacyjny. Warstwy zapadają na północ ( $A 10^\circ/20^\circ$ ), przeciwnie do kierunku nasunięcia lądolodu.

W północnej części formy (fig. 9) w spągu ukazują się warstwy drobnych żwirów, głównie białych, lokalnych wapieni kredowych. Na diagramie C/M widać, że 85,71% próbek jest przypisane pierwszemu segmentowi (I), a drugiemu (II) zaledwie 14,29%. Tak ułożone punkty na diagramie wskazują, że transport odbywał się poprzez toczenie (grubszy materiał) i saltację (osady drobniejsze ze ściany zachodniej). Krzywe częstości są płaskie, polimodalne i wskazują na różne źródła materiału dostarczanego do środowiska, w którym zachodziła bardzo dynamiczna sedymentacja materiału różnoziarnistego w warunkach dużego przepływu i szybkiego opadania fali powodziowej. Dwie unimodalne krzywe częstości podkreślają istnienie epizodów stabilizacji przepływu i spokojnej dostawy materiału o jednorodnej genezie. Krzywe częstości mają podobny przebieg do krzywych w stanowisku Ochotnik.

W całym profilu zawartość  $CaCO_3$  jest wysoka i wynosi od 5,8 do 9,7%. Największa jest na głębokości 3,8 m, gdzie występuje piasek ze żwirem z klastami skał lokalnych (Wachecka-Kotkowska, Górska-Zabielska, 2011). Jedynie na głębokości 0,5 m występuje poziom wymycia węgla wapnia (2,1%).

W osadzie dominują ziarna pośrednie EM (30–48%). Frekwencja ziarn matowych okrągłych RM jest zróżnicowana, jak na osady glacialne. Ich zawartość w stropie oscyluje w granicach 19–37%, w spągu – 39–44%. Podobne wyniki uzyskano w stanowisku Ochotnik. Udział procentowy ziarn zaokrąglonych błyszczących EL wzrasta w górę profilu od 25 do 40%. Zaobserwowano do 6% ziarn pękniętych C, a w dwóch próbkach śladowe ilości – 2% ziarn świeżych, nieobrobionych NU.

Cechy strukturalne i teksturalne badanych osadów wskazują na obecność lokalnego stożka glacialnego, który znajdował się w bliskim sąsiedztwie lądolodu, gdzie odpływ odbywał się z południa na północ, zgodnie z ogólnym nachyleniem terenu między wzgórzami mezozoicznymi (fig. 2B) a krawędzią lądolodu, jednak przeciwnie do kierunku nasunięcia lądolodu w bardzo dynamicznych warunkach sedymentacyjnych, podzielonych krótkimi okresami stabilizacji przepływu.

Stożek ten został przykryty gliną wytopnieniową z bliskiego czoła lądolodu.

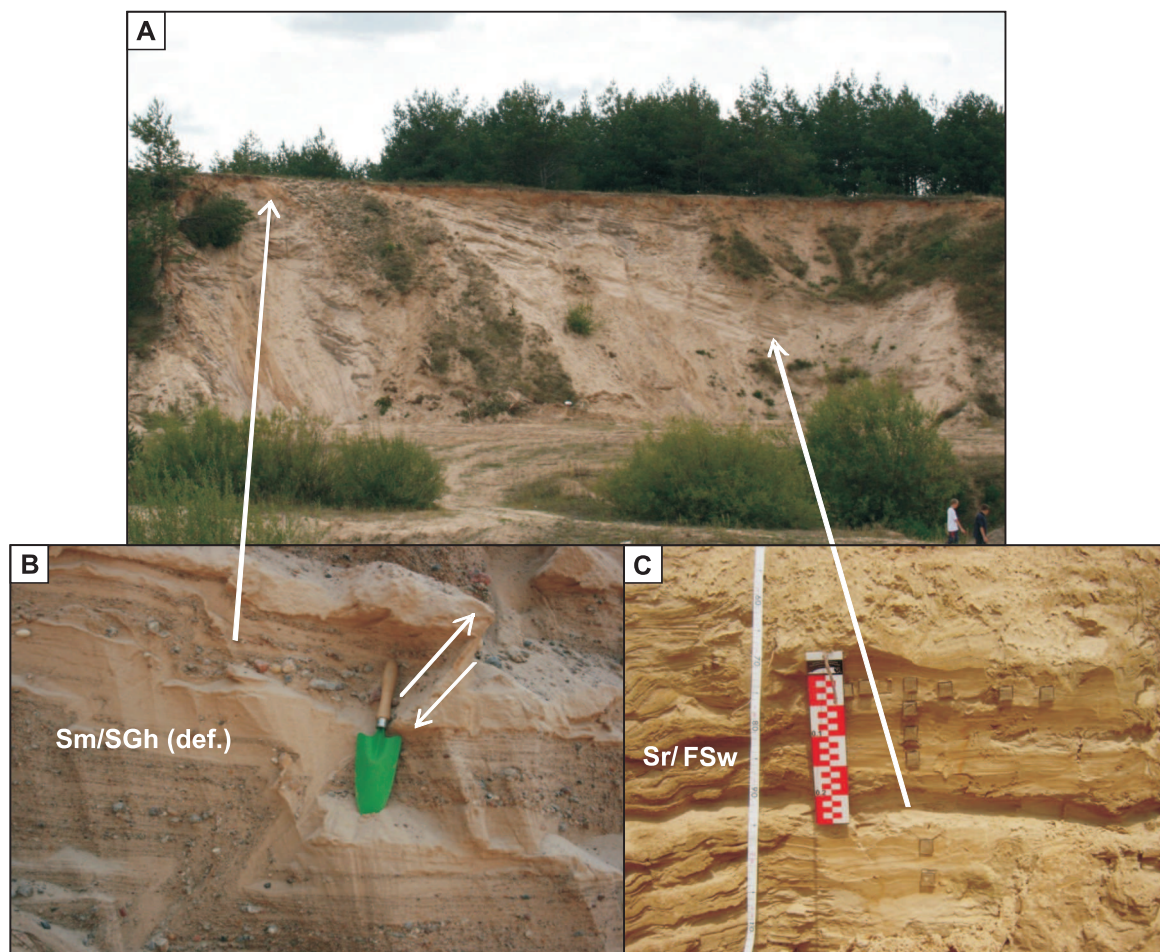
## STANOWISKO MIEJSKIE POŁA (228,8 m n.p.m.)

Na wzgórzu o wysokości względnej około 20 m występuje piaszownia, wypełniona częściowo wyeksploatowanymi osadami. W jej ścianach odsłaniają się głównie osady drobnopiaszczyste (fig. 11). Glinę i pojedyncze głązy można spotkać jedynie u podstawy pagórka. Osad grubszy, żwir piaszczysty GSm/GSh ( $M_z = 0,06 \phi$ ;  $\sigma_1 = 1,59$ ;  $Sk_1 = 0,08$ ;  $K_G \approx 0,47$ ), zalega w partiach szczytowych w obrębie uskózków normalnych. W centralnej części pagórka znajduje się jądro piaszczyste z zaburzeniami postsedymentacyjnymi Sm/SFm (def). Całą formę buduje olbrzymi kompleks osadów piaszczysto-mułkowych dokumentujący środowisko lokalnego stożka glacialnego (limnicznego) z litofacjami Sl→Sh→Sr→SFr→SFw→FSh→FSr→FSw. Odpływ wód odbywał się w kierunku południowo-zachodnim. Średnia średnica ziarn ( $M_z$ ) waha się w granicach 1,83–6,16  $\phi$ . Występuje tu cała gama osadów drobnoziarnistych, co może świadczyć o dużej i zróżnicowanej dynamice środowiska sedymentacji w warunkach słabego przepływu. Wniosek ten potwierdzają wskaźniki wysortowania ( $\sigma_1$ ) wynoszące od 0,7 do 2,25. Średnioziarnisty mułk oraz piasek drobnoziarnisty z domieszką średnioziarnistego są bardzo słabo wysortowane ( $\sigma_1 = 2,25$ ) i wzbogacone we frakcje drobniejsze ( $Sk_1 = 0,07-0,75$ ).

Na diagramie C/M widać, że I i V segment zawiera po 36,6% próbek, a segmenty – II, VI, VII po 9,09%. Wskazuje to na złożone procesy transportu klastów – toczenie i saltację osadów grubszych znajdujących się w stropie formy oraz unoszenie w zawieszynie osadów drobnoziarnistych budujących trzon pagórka. Przeważają unimodalne wykresy krzywych częstości charakteryzujące osady bardziej drobnoziarniste w spągu. Bimodalne układy pojawiają się sporadycznie i tylko w serii piaszczysto-żwirowej ( $M_z = 0 \phi$ ) na głębokości 3,2 m. Charakterystyczne jest występowanie unimodalnych krzywych zarówno dla osadów grubszych, jak i drobniejszych. Rozrzut unimodalnych krzywych na wykresie pokazuje dostawę różnoziarnistego materiału, głównie drobnego, z jednego źródła i wskazuje pośrednio na stabilizację warunków sedymentacji.

Zawartość  $CaCO_3$  jest zróżnicowana (0,5–7,2%). W spągu i w części centralnej występują strefy odwapnienia związane z działaniem wód roztopowych, natomiast w stropie występuje strefa działania wód gruntowych.

Ziarna pośrednie EM dominują w osadzie (34% w spągu, do 57% w stropie). Ziarna zaokrąglone, błyszczące EL są równie liczne (45% w spągu, 21% w stropie), natomiast ziarna zmatowione, okrągłe RM stanowią mniejszość (15–31%). Świadczyć to może o stabilnych warunkach sedymentacji w środowisku wód glacialnych, gdzie nie było dostawy z zewnątrz zeolizowanych klastów lub nie dochodziło do rozmywania starszego podłoża czwartorzędowego. W prób-



**Fig. 10. Cechy sedymentacyjne osadów – Miejskie Pola**

**A** – widok na wschodnią ścianę piaskowni, **B** – seria piaszczysto-żwirowa w stropie formy z fleksurami przyuskokowymi i zestawem uskoków normalnych, **C** – seria główna budująca pagórek – rytmicznie laminowane mułki piaszczyste i piaski mułkowate z riplemarkami oscylacyjnymi i wstępującymi; pozostałe objaśnienia na figurze 11

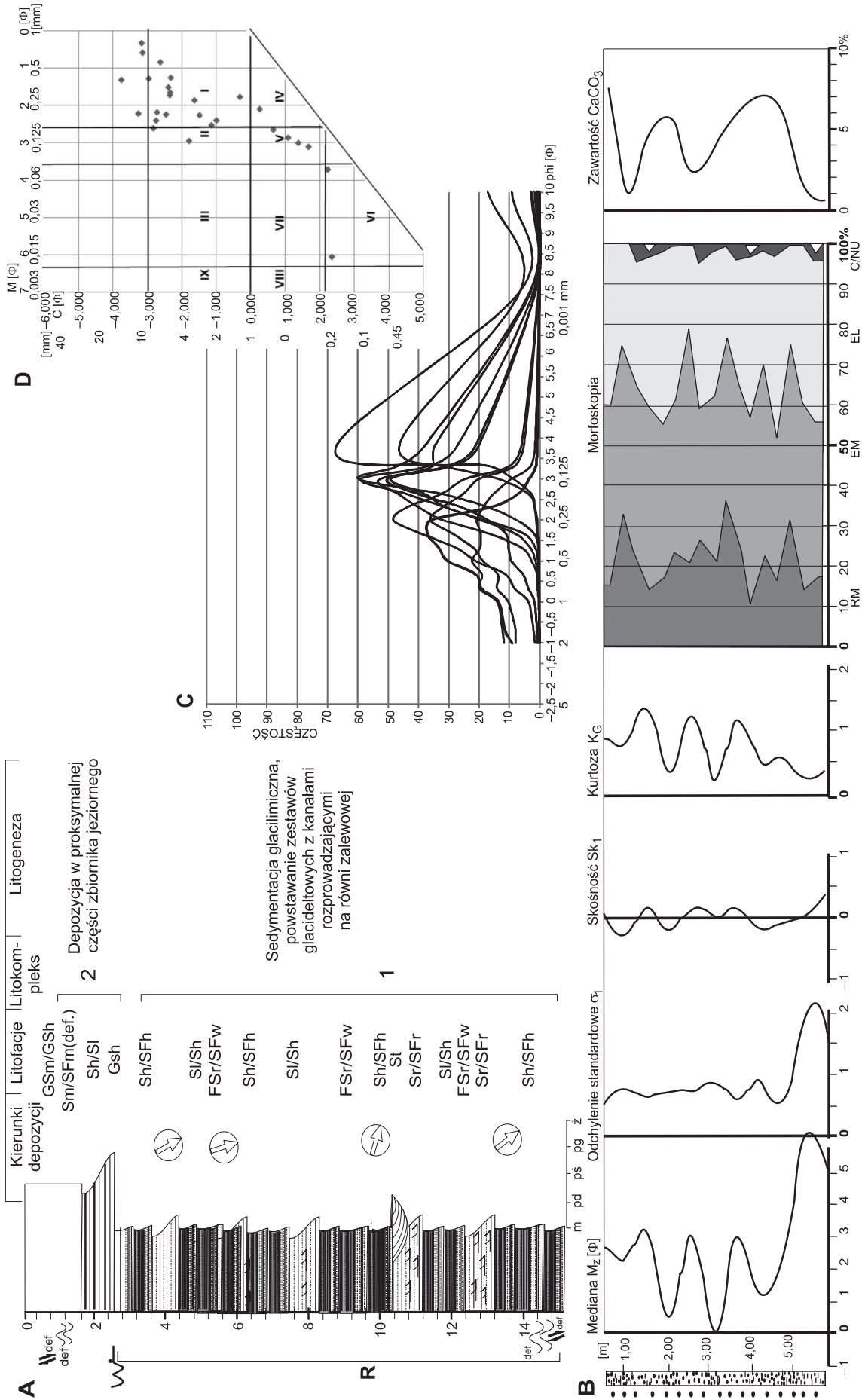
#### Sedimentological features of deposits – Miejskie Pola

**A** – view of the eastern wall of the sandy pit, **B** – sandy gravel series at the top of a landform with flexures and a set of normal faults, **C** – rhythmically laminated silts and sands with oscillatory and climbing ripples; for other explanation see Figure 11

kach występuje mało ziarn pękniętych C (0–3%) oraz pojedyncze ziarna nieobrobione NU (0–1,9%).

Za wzniesieniem morenowym przemawiają jedynie jego cechy morfometryczne, zwłaszcza wysokość dochodząca do 20 m. Wysokie położenie podłoża mezozoicznego na południu (fig. 2), lokalizacja formy w bliskim sąsiedztwie wzniesienia ostańcowego (245,8 m n.p.m.) w lokalnym zagłębieniu podłoża, rodzaj zaburzeń osadu w centrum formy oraz cechy

strukturalne wskazujące na spokojną i ustabilizowaną sedymentację glacialimiczną pozwalają natomiast wysnuć wniosek, że opisywana forma powstała w obrębie zamierającego płata lodu, który w wyniku nacisków statycznych spowodował deformacje w spągu i w stropie pagórka. Prawdopodobnie jest to kem glacialimiczny, w którego obrębie powstawał lokalny stożek glacialdeltowy.





## PODSUMOWANIE

1. Z badań wynika, że na obszarze Wyżyny Przedborskiej formy glacialne zlodowacenia warty są zbudowane co najmniej z dwóch części – dolnej żwirowo-piaszczystej (stanowiska: Masłowice, Ochotnik, Ludwików) lub mułkowo-piaszczystej (stanowisko Miejskie Pola) i z części górnej – gliniastej (stanowiska: Masłowice, Ochotnik, Ludwików) lub piaszczysto-żwirowej z deformacjami statycznymi (stanowisko Miejskie Pola). Formy te powstały podczas deglacjacji mieszanej. Dynamika deglacjacji była zróżnicowana i zależała od konfiguracji podłoża mezozoicznego. W obniżeniach podłoża lub pomiędzy wzgórzami ostańcowymi (stanowisko Miejskie Pola) zalegały przez dłuższy czas płyty martwego lodu, z których powstały formy przypominające kemy. Elewacje podłoża mezozoicznego wymuszały płynięcie mas lodowcowych pod górę, czasem lokalny postój łądolodu i szybkie topnienie, w którego wyniku powstawały stożki glacialne (stanowisko Ludwików).

2. Duża i zarazem zróżnicowana dynamika deglacjacji jest zapisana w cechach strukturalnych i teksturalnych osadów. Formy glacialne cechuje zróżnicowanie litofacyjne i litogenetyczne. Obecność diamictonów DSm, Dm oraz głązowisk wskazuje na bezpośredni kontakt z łądolodem niżej leżących osadów fluwioglacjalnych podczas deglacjacji. W Masłowicach występuje strefa glin wytopnieniowych, a w Ochotniku udokumentowano bazalną część łądolodu. W badanych stanowiskach bardzo rzadko występują litofacje St, Sp reprezentujące klasyczne osady korytowe. Dominującymi litofacjami są SGh, Sh i Sr. Wskazują one na depozycję osadów pozakorytowych na proksymalnym stożku terminoglacjalnym (stanowisko Ludwików) lub na sedymentację glacialimniczną (stanowisko Miejskie Pola). Litofacje SGh, Sh i Sr są indykatorami wysokoenergetycznych przepływów, zalewów warstwowych w warunkach górnego, płaskiego dna w stanowisku Ludwików oraz słabego przepływu lub jego zamierania w stanowisku Miejskie Pola. Najczęściej osady powstawały na równinie przykorytowej i zalewowej stożka terminoglacjalnego (stanowisko Masłowice) lub w płytkich korytach roztoki na proksymalnym stożku terminoglacjalnym (stanowisko Ochotnik).

3. Na badanym obszarze występuje cała gama osadów glacialnych (gliny zwałowe, głązy, żwiry i grubsze piaski ( $M_z$  mniejsze niż  $0 \phi$ )), a także fluwioglacjalnych (żwiry, różnoziarniste piaski i mułki piaszczyste ( $M_z$  większe niż  $0 \phi$ )). Dużą dynamikę sedymentacji podkreślają zróżnicowana

wartość skośności i słabe wysortowanie. Przeważający układ wielomodalnych, głównie trimodalnych wykresów krzywych częstości wskazuje na różne źródła osadów budujących formy glacialne (wyjątek – stanowisko Miejskie Pola). Wysoka zawartość węgla wapnia w osadach (4–10%) podkreśla znaczący udział materiału lokalnego w budowie wewnętrznej pagórków (Wachecka-Kotkowska, Górską-Zabielska, 2011). Większe wahanie zawartości  $\text{CaCO}_3$  pod gliną w stanowiskach Masłowice i Ochotnik może świadczyć o przemyciu osadów leżących poniżej przez wody lodowcowe (roztopowe), w odróżnieniu od wód lokalnych, zasilanych głównie przez wody powierzchniowe, silnie węglanowe, które akumulowały osady drobnoziarniste. Naturalnym zjawiskiem jest również poziom wymycia  $\text{CaCO}_3$  na niewielkiej głębokości.

Cechy morfoskopowe kształtu i powierzchni ziarn potwierdzają, że wszystkie osady powstawały głównie w środowisku wodnym lub lodowcowym (dominacja ziarn EM, mała liczba ziarn zmatowionych RM) i wskazują, że osady nie podlegały obróbce eolicznej. Większą frekwencję ziarn RM notuje się w spągu form, co może świadczyć o ostrzejszym klimacie, ich przewiewaniu i o dostarczaniu osadów z dobrą obróbką do środowiska fluwioglacjalnego lub inkorporacji starszych, lepiej obrobionych klastów.

Na diagramie C/M widać, że w stanowiskach Masłowice, Ochotnik i Ludwików osad zanim został zdeponowany, był toczony (w ok. 90%) i transportowany w wyniku saltacji (w ok. 10%). Bardziej złożony charakter transportu osadów można zaobserwować w stanowisku Miejskie Pola – toczenie i saltację oraz unoszenie w zawieszynie.

4. Przedstawione wyniki potwierdzają, że strefa marginalna w okolicach południowej części lobu Rawki, Pilicy i Luciąży nie składa się tylko z ciągu wzgórz morenowych, jak wynika z arkusza Przedbórz (Kwapisz, 1983) SMGP w skali 1:50 000, ale także z form fluwioglacjalnych o charakterze stożków glacialnych. Turkowska (2006) zalicza opisywane zespoły form o równoleżnikowym, lobo-watym przebiegu od Działoszyna po Przedbórz do strefy I głównych skupień form akumulacji glacialnej i/ lub wodnolodowcowej w regionie łódzkim.

*Wyniki badań zrealizowane w ramach grantu N N306 721140.*

## LITERATURA

BLOTT S.J., PYE K., 2001 — Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surf. Process. Landforms*, **26**: 1237–1248.  
 CZUBLA P., WACHECKA-KOTKOWSKA L., 2009 — Pozycja stratygraficzna glin lodowcowych w Masłowicach (Wyżyna Przedborska) w świetle badań petrograficznych. *W*: XVI Kon-

ferencja Stratygrafia Plejstocenu Polski pt. „Strefa marginalna zlodowacenia warty i pojezierza plejstocenijskie na południowym Podlasiu” (red. M. Żarski, S. Lisicki). *Zimna Woda k. Łukowa*, 31 sierpnia–4 września: 56–57. Państw. Inst. Geol., Warszawa.



- FOLK R.L., WARD W.C., 1957 — Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, **27**, 1: 3–26.
- GO DZIK J., 1995 — Wybrane metody analizy kształtu ziaren piasków dla celów paleogeograficznych i stratygraficznych. *W: Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacje wyników* (red. E. Mycielska-Dowgiałło): 115–132. WGiSG UW, Warszawa.
- GO DZIK J.S., 2001 — Stratygrafia i paleogeografia osadów czwartorzędowych w środkowo-zachodniej części kopalni Belchatów z wykorzystaniem morfoskopii ziarn kwarcowych. *W: Eolizacja jako wskaźnik stratygraficzny czwartorzędu* (red. E. Mycielska-Dowgiałło): 93–125. WSGiR UW, Warszawa.
- KWAPISZ B., 1983 — Objaśnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1:50 000, arkusz Przedbórz. Wyd. Geol., Warszawa.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., 1995 — Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna. *W: Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników* (red. E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski): 12–45. WSGiR UW, Warszawa.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E. (red.), 2001 — Eolizacja jako wskaźnik stratygraficzny czwartorzędu. WSGiR UW, Warszawa.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., 2007 — Metody badań cech teksturalnych osadów klastycznych i wartość interpretacyjna wyników. *W: Badania cech teksturalnych osadów czwartorzędowych i wybrane metody oznaczania ich wieku* (red. E. Mycielska-Dowgiałło, J. Rutkowski): 95–180. Wydaw. SWPR, Warszawa.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., LUDWIKOWSKA-KĘDZIA M., 2011 — Alternative interpretations of grain-size data from Quaternary deposits. *Geologos*, **17**, 4: 189–203.
- MYCIELSKA-DOWGIAŁŁO E., WORONKO B., 1998 — Analiza obtoczenia i zmatowienia ziarn kwarcowych frakcji piaszczystej i jej wartość interpretacyjna. *Prz. Geol.*, **12**, 46: 1275–1281.
- PASSEGA R., 1964 — Grain size representation by CM patterns as a geological tool. *Sediment. Petrol.*, **34**, 4: 830–847.
- POŻARYSKI W., 1971 — Tektonika elewacji radomskiej. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, **41**, 1: 169–179.
- STUPNICKA E., 1989 — Geologia regionalna Polski. Wyd. Geol., Warszawa.
- TURKOWSKA K., 2006 — Geomorfologia regionu łódzkiego. Wyd. UŁ, Łódź.
- TURKOWSKA K., WACHECKA-KOTKOWSKA L., 2010 — Nowe problemy badawcze w geomorfologii glacialnej regionu łódzkiego w świetle dyskusji na temat zasięgu i rangi transgresji warciańskiej. *W: Konferencja naukowa pt. „Badania interdyscyplinarne – przeszłość, teraźniejszość i przyszłość nauk przyrodniczych”* (red. M. Ludwikowska-Kędzia, A. Zieliński). Golejów k. Staszowa, 15–16 kwietnia: 115–118. Wydaw. Inst. Geogr. UJK, Kielce.
- WACHECKA-KOTKOWSKA L., 2004 — Ewolucja doliny Łuciąży – uwarunkowania klimatyczna a lokalne. *Acta Geogr. Lodz.*, **86**.
- WACHECKA-KOTKOWSKA L., GÓRSKA-ZABIELSKA M., 2010 — Cechy petrograficzne osadów glacialnych budujących powierzchnię Wysoczyzny Belchatowskiej, Równiny Piotrkowskiej i Wzgórz Radomszczańskich – wyniki wstępne. *W: XVII Konferencja Stratygrafia Plejstocenu Polski pt. „Dynamika zaniku lądolodu podczas fazy pomorskiej w północno-wschodniej części Mazur”* (red. L. Marks, K. Pochocka-Szwarc). Jeziorowskie, 6–10 września: 58–63. Państw. Inst. Geol. – PIB, Warszawa.
- WACHECKA-KOTKOWSKA, GÓRSKA-ZABIELSKA 2011 — Extent of the Middle Polish Glaciation (Saalian, MIS 6) in Central Poland in the light of the petrographic analysis. *W: IAG/AIG Regional Conference on Geomorphology 2011 “Geomorphology for Human Adaptation to Changing Tropical Environments”*, Addis Abeba, Ethiopia, 18–22 lutego: 161.
- WACHECKA-KOTKOWSKA L., KOTKOWSKI P., 2011 — Grain-size distribution analysis of Quaternary sediments from the southern part of the Łódz region in Poland: a computational-methods approach. *Geologos*, **17**, 4: 205–219.
- WACHECKA-KOTKOWSKA L., OLSZAK I., 2009 — Nowe wyniki datowań TL a wiek wysoczyzny glacialnej SE części regionu łódzkiego. *W: Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych. V Seminarium Geneza, Litologia i Stratygrafia Utworów Czwartorzędowych* (red. A. Kostrzewski, R. Paluszkiwicz). *Seria Geografia*, **88**: 577–588.
- ZIELIŃSKI T., 1995 — Kod litofacjalny i litogenetyczny – konstrukcja i zastosowanie. *W: Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacje wyników* (red. E. Mycielska-Dowgiałło): 220–235. WGiSG UW, Warszawa.

## SUMMARY

The article presents partial results of research of marginal landforms in the southern part of the Pilica, Rawka and Łuciąża Lobe (Turkowska, 2006; Turkowska, Wachecka-Kotkowska, 2010) (Fig. 1), located in the transverse Radomsko elevation (Pożaryski, 1971).

Sediments for analysis were selected from four different genetic forms, located at a distance of 3–6 km from Przedbórz: 1 – terminal moraine (Masłowice site) (Figs. 4, 5); 2 – surface of the moraine plateau (Ochotnik site) (Figs. 6, 7); 3 – dead-ice moraine of a terminoglacial fan (Ludwików site) (Fig. 8, 9); 4 – kame (Miejskie Pola site) (Figs. 10, 11).

Sedimentological analysis was performed using the lithofacial code after Rust and Miall modified by Zieliński (1995), textural analysis, grain size distribution analysis with

calculated indicators according to Folk and Ward (1957) using the Gradistat 8.0 program, and the morphoscopy analysis after Cailleux modified by Goździk (1995). Additionally, the calcium carbonate content was determined.

The studies seem to suggest that the dynamics of deglaciation was variable and it depended on the configuration of the Mesozoic substrate. In the surface depressions between Mesozoic hills (Miejskie Pola site – Fig. 11), patches of dead-ice persisted over a longer period, hence the resulting kames. The Mesozoic elevations forced an uphill flow of ice masses with temporary local ice standstills and fast melting of the ice-sheet, giving rise to terminoglacial fans (Ludwików site – Fig. 9).

The high dynamics of deglaciation is recorded in the structural and textural characteristics of the sediments. The glaciomarginal landforms are characterized by a lithofacies and lithogenetic diversity. The presence of diamictons DSm, Dm and boulders indicates a direct contact with the ice-sheet during the deglaciation. Lithofacies St, and Sp, representing typical channel deposits, are extremely rare in the studied sites. Lithofacies SGh, Sh and Sr are dominant, indicating the deposition of overbank deposits. They point to a high-energy flow (Ochotnik, Masłowice), sheet-floods under the plane-bed phase of the upper flow regime (Ludwików), or low flow, or its extinction (Miejskie Pola). The presence of glaciotectonic structures confirms the varied deglaciation in time and space.

The study area is covered by glacial deposits (boulder clay, boulders, gravels and coarse sands ( $M_z \leq 0 \phi$ )) and fluvioglacial sediments (gravels, sands and silts ( $M_z \geq 0 \phi$ )). Varied skewness and weak sorting underlines the high-energy deposition. The predominant system of bi- and trimodal chart indicates the frequency of different sources of

glaciomarginal landforms (except of the deposits at the Miejskie Pola site). The high content of calcium carbonate in the sediments (4–10%) proves the large proportion of local material in the inner structure of the hillocks.

However, the morphoscopic features of the shape and surface of grains confirm that the sediment was formed primarily in the aquatic or glacial environment (EM grains domination, a small number of RM grains – rounded and matted), and indicate that the sediment was not subject to aeolian transport.

The study results confirm that the marginal zone around the southern part of the Rawka, Pilica and Luciaża Lobe does not consist only of moraine hillocks, as is clear from the Detailed Geological Map of Poland, scale 1: 50 000, sheet Przedbórz (Kwapisz, 1983), but also of glaciofluvial and glaciomarginal fan landforms. Turkowska (2006) includes the above-described association of landforms of latitudinal lobate course between Działoszyn and Przedbórz, to the 1st zone of main clusters of glacial accumulation and/ or glaciofluvial landforms in the Łódź region.