

ANALIZA MINERAŁÓW CIĘŻKICH JAKO METODA OKREŚLANIA ŹRÓDŁA OSADÓW WODNOLODOWCOWYCH W OBSZARZE MIĘDZY PIOTRKOWEM TRYBUNALSKIM, RADOMSKIM A PRZEDBORZEM (ŚRODKOWA POLSKA)

ZARYS TREŚCI

Prezentowano wyniki analizy minerałów frakcji ciężkiej wyseparowane z 39 próbek osadów wodnolodowcowych pobranych w 19 stanowiskach między Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedborzem. Analiza wykazała duże zróżnicowanie udziału minerałów nieprzezroczystych (14–82,5%) i przezroczystych (17,5–86%). W nawiązaniu do badań lessowych w okolicach Przedborza, minerały przezroczyste podzielono na 5 grup, przyjmując jako główne kryterium odporność na czynniki wietrzeniowe. Do klasyfikacji dodano grupę 6 – węglany i fosforany ze skał podłoża. Wszystkie próbki wskazały na przewagę źródła skandynawskiego materiału detrytycznego, przy czym stwierdzono pewne powiązanie między odpornością minerałów a odległością i dynamiką transportu osadów oraz ich wiekiem. Obecność tylko w nielicznych próbkach minerałów z utworów lokalnego podłoża dowodzi niewielkiej roli egzaracji w obszarze pogranicza Nizy i Wyżyn. Dochodzący nawet do 40% udział łyszczaków w osadach wodnolodowcowych zinterpretowano jako synsedymacyjne domieszki eoliczne.

Słowa kluczowe: skład mineralogiczny, osady wodnolodowcowe, łądolód warty, region łódzki, środkowa Polska

WPROWADZENIE

Znaczenie wykonywania analiz mineralogicznych w rozwiązaniu zagadnień litostratigraficznych i paleogeograficznych, zwłaszcza w przypadku utworów niemych faunistycznie, jest od dawna podkreślane przez badaczy zajmujących się problematyką osadów czwartorzędowych (Raciniowski, Rzechowski 1969). Analiza mineralogiczna frakcji ciężkiej wyseparowanej z utworów klastycznych, chociaż jej wyniki nie zawsze są jednoznaczne, jest uważana za przydatną w rozważaniach na temat źródła materiału detrytycznego, kierunków i długości transportu tego materiału, a ponadto przy próbach dokonywania korelacji odległych profili osadowych. Dyskusję na ten temat przeprowadzili Barczuk i Mycielska-Dowgiałło (2001).

Studia mineralogiczne osadów czwartorzędowych, w tym prowadzone w ramach ba-

dań do Szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1:50 000, podsumowuje Raciniowski (2002, 2008, 2010). W osadach różnych grup genetycznych, na podstawie udziału poszczególnych minerałów badacz określa sekwencje minerałów wiodących (dominujących), wspomagających i uzupełniających. Stwierdza, że „...wszystkie osady glacialne i fluwioglacialne w Polsce charakteryzują się podobnym jakościowo i ilościowo składem minerałów przezroczystych” (Raciniowski 2010), ale jednocześnie wskazują na różnice wynikające ze stopnia przeróbki osadów akumulacji glacialnej przez procesy młodsze, np. eoliczne czy fluwialne. Odróżnienie spektrum mineralnego skał o lokalnej proveniencji od spektrum skał skandynawskich często może powodować trudności (jw.).

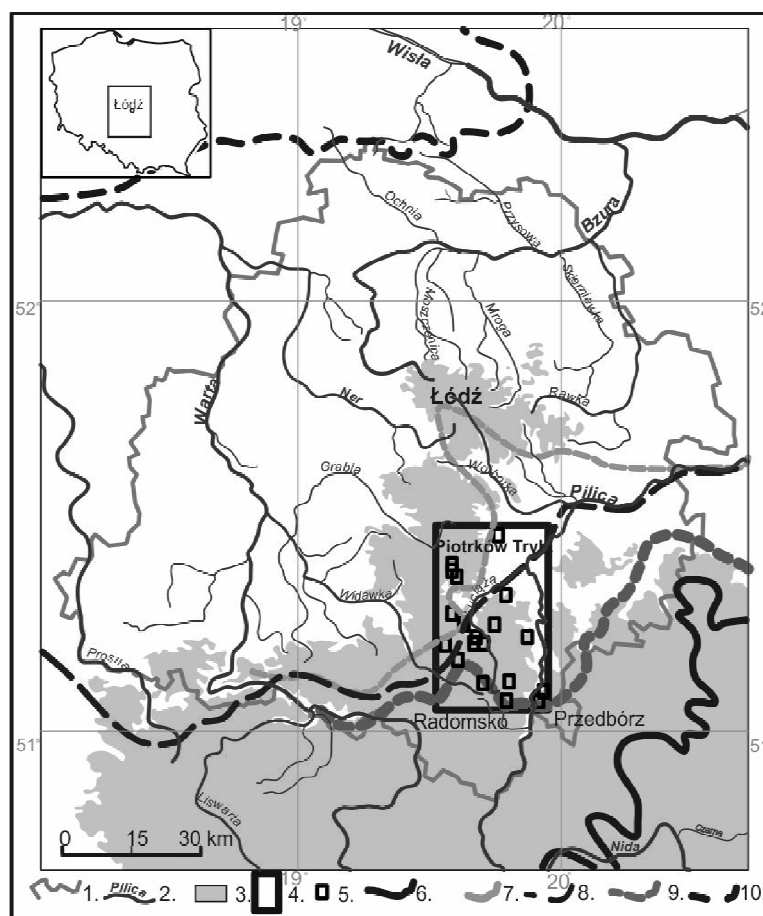
* Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Geochemii, Mineralogii i Petrologii, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa, e-mail: a.barczuk@uw.edu.pl

** Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Katedra Geomorfologii i Paleogeografii, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź, e-mail: lucyna.wachecka@geo.uni.lodz.pl

OBSZAR I CEL BADAŃ

Badania przeprowadzono w południowo-wschodniej części regionu łódzkiego między Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedbórzem (rys. 1), gdzie podłoże przykryte jest na ogół cienką pokrywą osadów kenozoicznych (wyjątek stanowi rów Kleszczowa), a na południu skały mezozoiczne często występują w postaci ostańców (Wachecka-Kotkowska 2004, 2015). Analiza mineralogiczna ma służyć określeniu proporcji skandynawskiego materiału

detrytycznego i materiału lokalnego w pokrywie czwartorzędowej w różnych częściach terenu, a w dalszej kolejności próbie wskazania źródeł alimentacji i pośrednio kierunku transportu materiału detrytycznego wchodzącego w skład najmłodszego poziomu osadów wodnolodowcowych budujących formy glacialne różnego typu (np. stożki glacialne, sandry, wysoczyznowe i dolinne poziomy fluwio-glacialne, pagóry limnoglacialne).



Rys. 1. Położenie terenu badań w regionie łódzkim na tle wybranych poglądów na zasięg lądolodu warty (por. załącznik na końcu tomu)

1 – granice województwa; 2 – rzeki; 3 – obszar powyżej 200 m n.p.m.; 4 – obszar badań; 5 – rozmieszczenie analizowanych próbek; zasięgi lądolodów: 6 – maksymalny odry według Różyckiego (1972), 7 – stadiału warty według Różyckiego (1972), 8 – zlodowacenia warty według Marksa i in. (2006), 9 – stadiału warty według Turkowskiej (2006); 10 – zlodowacenia wisty według Roman (2012)

Location of investigated area in the Łódź region against selected views of limit of the Wartanian ice-sheet (compare Annex)

1 – voivodship borders; 2 – rivers; 3 – area over 200 m a.s.l.; 4 – study area; 5 – sample sites; limit of glaciation: 6 – Odranian maximum stage according to Różycki (1972), 7 – Wartanian stage according to Różycki (1972), 8 – Wartanian glaciation according to Marks *et al.* (2006), 9 – Wartanian stadial according to Turkowska (2006); 10 – LGM according to Roman (2012)

METODYKA BADAŃ

Podstawy metody

Opis poszczególnych czynności związanych z poborem próbek, technikami separacji minerałów i wykonywania z nich preparatów mikroskopowych oraz metodami identyfikacji mineralogicznej frakcji ciężkiej, został szczegółowo przedstawiony w licznych publikacjach (m.in. Mycielska-Dowgiałło 1995; Racinowski 1995; Barczuk, Nejbort 2007; Marcinkowski, Mycielska-Dowgiałło 2013). Z zacytowanych prac wynika, że panuje duża dowolność w stosowanych podziałach granulometrycznych, przyjmowanych klasyfikacjach oraz sposobach prezentacji wyników badań minerałów ciężkich, co często powoduje ich nieporównywalność i brak szerszych możliwości interpretacji. Wielu autorów wyraża opinię o potrzebie standaryzacji metod (por. Racinowski 2010).

Wykorzystywany najczęściej w analizie mineralogicznej podział na cztery klasy (minerały nieprzezroczyste, agregaty i konkretje, łuszczyki – biotyt i chloryty, minerały przezroczyste) uznano za niewystarczający do charakterystyki badanych osadów wodnolodowcowych, przede wszystkim w zakresie minerałów przezroczystych. Do ich charakterystyki wykorzystano klasy-

fikację używaną w badaniach lessów na obszarze na wschód od Przedborza, w których w latach siedemdziesiątych współautor uczestniczył (Chlebowski, Lindner 1976, 1992, 2004; Chlebowski i in. 2002). Na podstawie cech takich jak odporność na czynniki wietrzeniowe i/lub pokrój wpływający na podatność na procesy eoliczne (wywiewanie i transport) przeprowadzono podział przezroczystych minerałów ciężkich na pięć grup. W niniejszej pracy do klasyfikacji dodano odrębną grupę węglanów i fosforanów. Powodem wyróżnienia szóstej grupy jest specyfika badanego regionu, a mianowicie obecność skał węglanowych na powierzchni w formie ostańców lub w płytko zalegającym podłożu mezozoicznym, a tym samym fakt, że skały te mogą być jednym z ważniejszych źródeł materiału detrytycznego dostarczanego do utworów glacialnych. Trzeba podkreślić, że minerały zaproponowanej grupy 6, chociaż nie są uznawane za reprezentantów minerałów ciężkich, spełniają ich kryteria w zakresie ciężaru właściwego, który dla węglanów wynosi 2,76–3,96 g/cm³ (dla czystego kalcytu 2,96 g/cm³), a dla fosforanów nawet 4–5 g/cm³ (tab. 1).

Tabela 1

Zestawienie grup minerałów ciężkich wykorzystanych w opracowaniu
(wg Chlebowskiego i in. 2002, zmienione)

Summary of groups of heavy minerals used in the article
(after Chlebowski *et al.* 2002, modified)

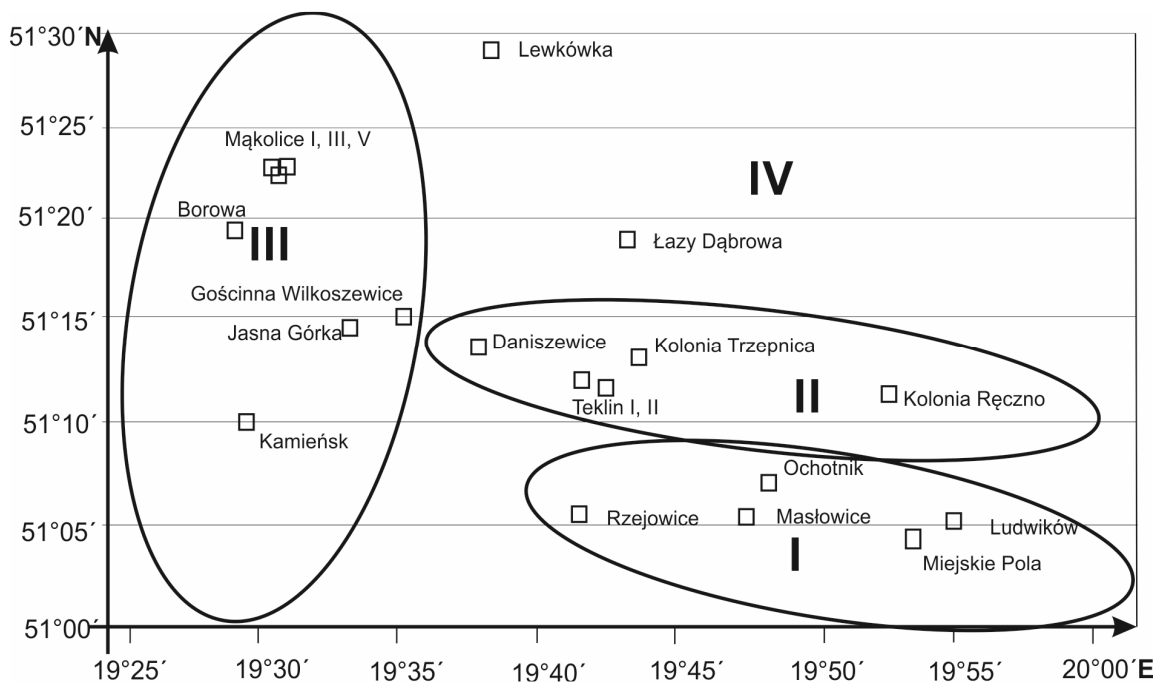
Numer grupy	Stopień odporności minerałów na czynniki wietrzeniowe	Minerały / związki chemiczne	Pochodzenie
1.	Minerały najbardziej odporne	anataz, andaluzyt, cyrkon, dysten, korund, monacyt, rutil, staurolit, turmaliny, topaz, tytanit	skandynawskie
2.	Minerały w mniejszym stopniu odporne niż minerały grupy 1	apatyt, epidoty, granaty, sillimanit	
3.	Minerały mało odporne (zwłaszcza na wietrzenie fizyczne), łatwo ulegające rozkruszaniu	amfibole, pirokseny	
4.	Minerały najmniej odporne na wietrzenie zarówno fizyczne, jak i chemiczne	glaukonit	lokalne
5.	Minerały o pokroju blaszkowym, wyjątkowo podatne na transport eoliczny	muskowit, biotyt i chloryty	eoliczne
6.	Minerały mało odporne na czynniki wietrzeniowe, zarówno chemiczne jak i fizyczne, różniące się od większości minerałów ciężkich genezą chemiczną lub organiczną	węglany i fosforany	lokalne

Do graficznego przedstawienia wyników badań w zakresie minerałów przezroczystych użyto strukturalnych wykresów kołowych z procentową zawartością poszczególnych grup minerałów oraz tzw. wykresów radarowych, opartych na osiach odpowiadających tym grupom. Konsekwentnie, także w interpretacji nawiązano do badań mineralogicznych w okolicach Przedborza (Chlebowski i in. 2002). Przyjęto, że osie 1 i 2 przedstawiają zawartości minerałów bardzo odpornych i odpornych, które pochodzą ze zwietrzelin skał magmowych, metamorficznych albo też ze zwietrzelin okrucowych skał starszych formacji geologicznych, także redeponowanych. Oś 3 prezentuje grupę minerałów mało odpornych na czynniki wietrzeniowe, które bardzo łatwo ulegają rozkruszaniu i rozdrabnianiu, a wobec tego wskazują na krótki transport. Z tego względu oś ta została nazwana wektorem „lokalności” materiału (Chlebowski i in. 2002). W przedstawianych badaniach, duży udział minerałów tej osi interpretowano jako wskazujący na „świeżość” zwietrzelin materiału skandynawskiego, stanowiących źródło skał magmowych i metamorficznych dla amfiboli i piroksenów. Natomiast określanie osi 4 (zawartość glaukonitu, tj. minerału najmniej odpornego na czynniki wietrzeniowe), jako wektora „lokalności” materiału jest jednoznaczne. Oś ta sugeruje bliskość obszaru źródłowego dla glaukonitu, występującego w składzie skał lokalnego podłoża. Oś 5 nazwano wektorem „eolicznym” z tego względu,

że za jej pomocą prezentowane są minerały o pokroju blaszkowym – łyszczyki i chloryty – a więc szczególnie podatne na działalność wiatru. Oś ta zawiera informacje dotyczące zarówno zawartości łyszczyków i chlorytów w skałach budujących obszary alimentacyjne, jak i kierunków transportu tych składników przez wiatry. Dodanie do graficznej prezentacji zawartości grup mineralnych osi 6 (udział węglanów i fosforanów), stanowi niejako trzeci (obok osi 3 i 4) wektor „lokalności”, który ma stworzyć możliwość oceny udziału podłoża mezozoicznego w składzie mineralnym analizowanych osadów.

Tok postępowania badawczego

Do analizy mineralogicznej wybrano losowo 39 próbek, głównie z piaszczystych osadów wodnolodowcowych pobranych w 19 stanowiskach terenowych (rys. 2, tab. 2). Osady luźne zostały poddane analizie uziarnienia, po czym z frakcji 0,1–0,05 mm wyodrębniono minerały ciężkie przy użyciu bromoformu o ciężarze właściwym $2,88 \text{ g/cm}^3$. Z wydzielonych minerałów sporządzono preparaty nasypowe (proszkowe), zatopione w balsamie kanadyjskim na szkiełkach podstawowych. Za próbkę statystycznie zgodną z wymogami metodycznymi, warunkującą wiarygodność badań, przyjęto liczbę 200–300 ziaren minerałów przezroczystych.



Rys. 2. Położenie stanowisk w strefach glacyogenicznych I-IV (por. załącznik do tomu)

Sites location in glacial zones (compare Annex)

Tabela 2

Lokalizacja stanowisk badawczych
Sites location according to research zones

Stanowisko	Geomorfologia	Lokalizacja		
		wysokość [m n.p.m.]	Δ [E]	Φ [N]
STREFA I – WZGÓRZA RADOMSZAŃSKIE i GRZBIET PRZEDBORSKI				
Rzejowice-Borki	sandr wysoczyzny	240,0	19° 41' 34''	51° 06' 58''
Masłowice PGR	poligeniczny pagór glacialny	230,0	19° 47' 56''	51° 06' 24''
Ochotnik	wysoczyzna morenowa	237,0	19° 48' 51''	51° 07' 35''
Ludwików	poligeniczny pagór glacialny	222,5	19° 55' 06''	51° 05' 45''
Miejskie Pola	ostaniec terasy kemowej	229,0	19° 54' 56''	51° 04' 49''
STREFA II – WZGÓRZA DOBRYSZYCKIE				
Gertrudów	sandr dolinny	230,5	19° 34' 31''	51° 10' 13''
Daniszewice	poligeniczny wał glacialny	220,4	19° 37' 46''	51° 13' 29''
Teklin II	ten sam wał glacialny	235,0	19° 41' 39''	51° 12' 56''
Teklin I	ten sam wał glacialny	233,0	19° 41' 52''	51° 12' 49''
Kolonia Trzepnica	ten sam wał glacialny	222,0	19° 43' 34''	51° 13' 17''
Kolonia Ręczno	pagór morenowy	200,0	19° 52' 57''	51° 10' 54''
STREFA III – WYSOCZYŻNA BĘŁCHATOWSKA				
Kamieńsk	poligeniczne wzgórze glacialne	232,0	19° 29' 54''	51° 10' 58''
Wola Niechcicka Stara	pagór kemowy	215,0	19° 34' 05''	51° 15' 28''
Gościnna-Wilkoszewice	poligeniczny pagór glacialny	218,7	19° 36' 55''	51° 15' 04''
Mąkolice I	poligeniczny pagór glacialny	230,0	19° 30' 06''	51° 23' 09''
Mąkolice III	ten sam pagór glacialny	235,0	19° 30' 48''	51° 23' 18''
Mąkolice V	ten sam pagór glacialny	233,4	19° 31' 52''	51° 22' 49''
STREFA IV – RÓWNIANA PIOTRKOWSKA				
Łazy Dąbrowa	poziom odpływu marginalnego	185,0	19° 43' 25''	51° 19' 14''
Lewkówka I	wysoczyzna morenowa/sandr Karlina	213,6	19° 38' 48''	51° 29' 10''

W analizie mineralogicznej dokonano podziału minerałów na nieprzezroczyste i przezroczyste (tab. 3), po czym w drugich wydzielono sześć grup minerałów (tab. 1). Na strukturalnych wykresach kołowych oraz wykresach radaro-

wych wyniki oraz ich interpretację przedstawiono łącznie dla stanowisk pogrupowanych w strefach form glacialnych I–IV, wyróżnionych w badanym terenie.

Tabela 3

Udział minerałów nieprzezroczystych i przezroczystych na tle litologii i głębokości poboru próbek
Opaque and transparent minerals against lithology and depth of sampling

Stanowisko	Litologia	Głębokość [m]	Numer próbki	Minerały nieprzezroczyste [%]	Minerały przezroczyste plus węglany [%]
Strefa I – Wzgórze Radomszańskie i Grzbiet Przedborski					
Rzejowice	Żwir piaszczysty	1,75	610	50,5	49,5
Masłowice	Żwir piaszczysty	3,0	447	38,6	61,4
Ochotnik	Piasek różnoziarnisty	4,0	386	38,80	61,2
Ludwików	Piasek różnoziarnisty	5,0	412	44,53	55,47

Stanowisko	Litologia	Głębokość [m]	Numer próbki	Minerały nieprzezroczyste [%]	Minerały przezroczyste plus węglany [%]
Miejskie Pola	Piasek różnoziarnisty	3,0	417	38,93	61,07
	Piasek drobnoziarnisty	6,0	430	58,48	41,52
	Piasek mułkowy	13,0	437	59,38	40,62
Strefa II – Wzgórze Dobryzyckie					
Daniszewice	Piasek różnoziarnisty	2,0	710	33,9	66,1
	Piasek różnoziarnisty	2,5	712	29,9	70,1
	Piasek różnoziarnisty	2,75	771	68,3	31,7
	Piasek drobnoziarnisty	5,0	774	65,3	34,7
	Piasek różnoziarnisty	3,0	dan4	29,9	70,1
Teklin I	Piasek gruboziarnisty /żwir	2,5	dan5	88,3	11,7
	Piasek różnoziarnisty/żwir	3,5	129	38,6	61,4
Teklin II	Piasek różnoziarnisty	5,5	141	58,1	41,9
	Żwir piaszczysty	5,0	699	40,6	59,4
Kolonia	Piasek różnoziarnisty	6,0	700	59,9	40,1
	Piasek gruboziarnisty/żwir	1,5	188	40,2	59,8
Trzepnica	Piasek różnoziarnisty	1,7	189	26,5	73,5
	Piasek drobnoziarnisty	2,3	193	29,6	70,4
Kolonia Ręczno	Żwir piaszczysty	1,8	465	57,5	42,5
	Piasek różnoziarnisty	2,6	468	63,7	36,3
	Mułek piaszczysty	2,8	472	73,5	26,5
Strefa III – Wysoczyzna Belchatowska					
Kamięnsk	Piasek różnoziarnisty	3,0	375	52,4	47,6
Gościnna-Wilkoszewice	Piasek różnoziarnisty	2,4	22	46,6	53,4
	Żwir piaszczysty	1,4	27	47,0	53,0
	Piasek drobnoziarnisty	2,0	172	36,0	64,0
Wola Niechcicka	Piasek drobnoziarnisty	4,0	104	50,0	5,00
Borowa III	Mułek piaszczysty	1,8	684	46,1	53,9
	Piasek gruboziarnisty	2,0	691	82,5	17,5
Mąkolice I	Piasek różnoziarnisty	2,0	61	41,5	58,5
Mąkolice IV	Żwir piaszczysty	6,0	663	54,3	45,7
Mąkolice V	Piasek średnioziarnisty	1,6	657	25,8	74,2
	Piasek różnoziarnisty	2,2	659	27,4	72,6
	Piasek gruboziarnisty	2,8	660	51,4	48,6
Strefa VI – Równina Piotrkowska					
Łazy Dąbrowa	Piasek różnoziarnisty	2,0	5	39,4	60,6
	Mułek piaszczysty	5,0	12	37,0	63,0
Lewkówka I	Piasek mułkowy	7,0	18	40,8	59,2
	Piasek drobnoziarnisty	10,0	572	35,5	64,5

WYNIKI I INTERPRETACJA

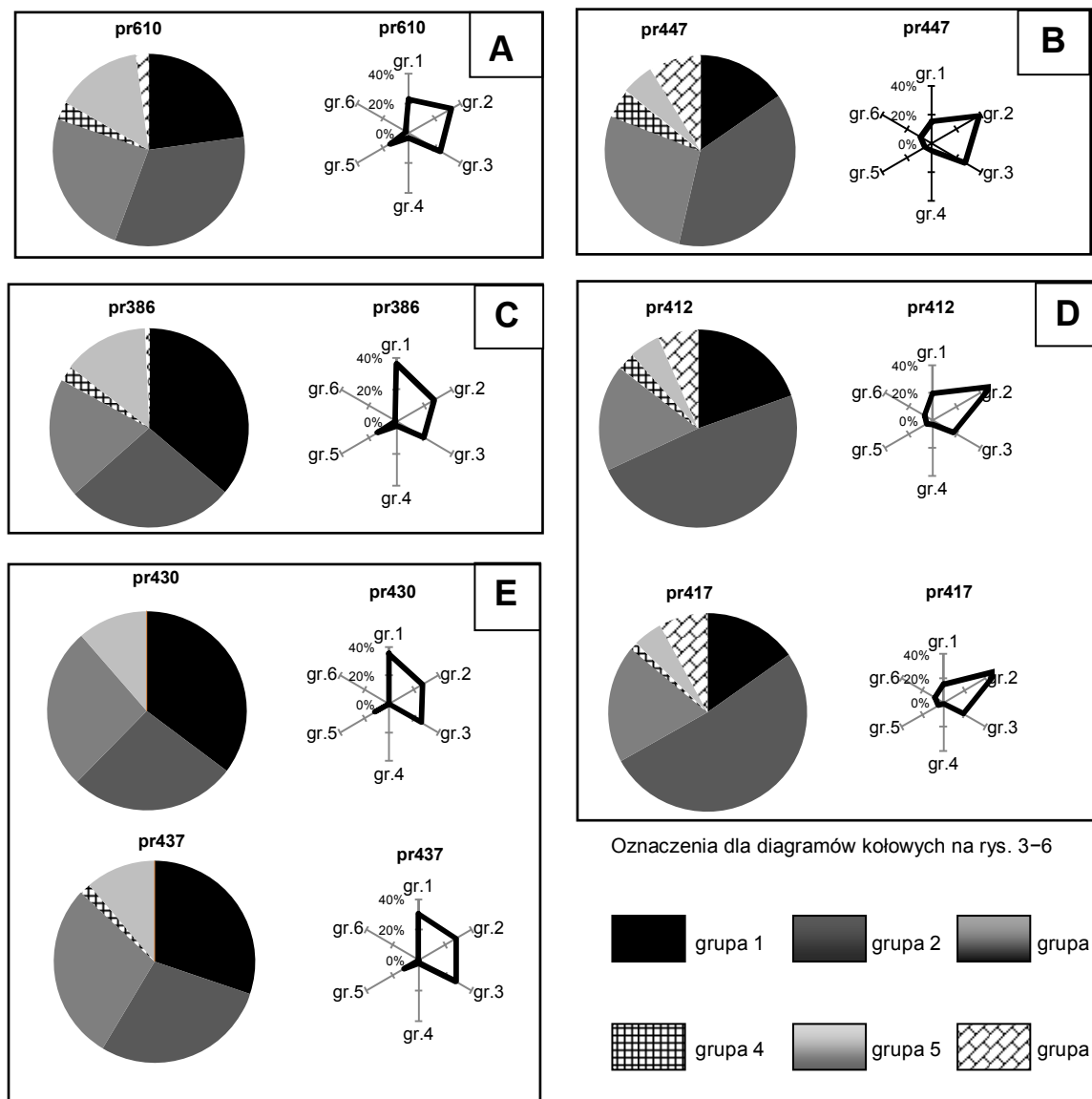
Strefa I – Wzgórza Radomszczańskie i Grzbiet Przedborski

W strefie I wykonano analizę w ośmiu próbkach pobranych w pięciu stanowiskach, tj. w Rzejowicach, Masłowicach, Ochotniku, Ludwikowie i Miejskich Polach (rys. 2). Udział minerałów nieprzezroczystych w różnych częściach strefy waha się od *ca* 30% do 60%, a minerałów przezroczystych od *ca* 40 do 70% (tab. 3). Skład minerałów przezroczystych jest bardzo różny w poszczególnych stanowiskach tej strefy (rys. 3 A–E). Oprócz Miejskich Pól, próbki zawierają wszystkie grupy minerałów, ale w różnych proporcjach. Udział minerałów z grup 1–3 w sumie sięga nawet 90%. Minerale z grupy 1, najbardziej odporne, stanowią średnio 20–25%, a są wiodące tylko w stanowisku Ochotnik (pod gliną zwałową) i w Miejskich Polach (*ca* 35%). Najczęściej najliczniejsze są ziarna z grupy 2 (m.in. epidoty, granaty), które w Ludwikowie stanowią nawet 50%, a w Masłowicach 40%. Udział mało odpornych minerałów z grupy 3 jest zbliżony we wszystkich próbkach i wynosi średnio 22%. Wyraźnie różni się w poszczególnych stanowiskach udział minerałów z grup 4–6, które generalnie mogą być określone jako uzupełniające. Udział glaukonitu (grupa 4) wynosi od 0 do 5%, obecne we wszystkich próbkach łyszczyki (grupa 5) osiągają od 4 do nawet 15%, a węglany (grupa 6) od 0 do 15%.

Specyfikę strefy I stanowi występowanie form ostańcowych zbudowanych ze skał mezozoicznych, bezpośrednio sąsiadujących z czwartorzędowymi formami rzeźby. Mimo to, jak pokazują przedstawione spektra, tylko w osadach budujących formy czołowomorenowe położone po obu stronach Pilicy i tworzące łuk stożków glaciomarginalnych w Masłowicach (rys. 3C) i Ludwikowie (rys. 3D) udział węglanów jest znaczący (14,7%). Temu wskaźnikowi skał lokalnych (grupa 6) towarzyszy kilkuprocentowy udział „lokalnych” minerałów z grupy 4 i bardzo stały minerałów „eolicznych” z grupy 5. W obydwu stanowiskach, wyróżniających się ze względu na wskaźniki skał lokalnych, zdecydowana jest dominacja minerałów z grupy 2 (np. granaty > 20%). Z grupy 3 najliczniejsze są amfibole (10–14%). Wśród odmian minerałów bardzo odpornych na czynniki niszczące z grupy 1 (< 20%) liczne są ziarna staurolitu i turmalinu (do 5%), zaś bardzo rzadkie cyrkonu i rutyłu (maks. 2%).

Na północnym skłonie Góry Chełmo, skład mineralny osadów sandru górnej Widawki w Rzejowicach-Borkach (rys. 3A), podobnie jak osadów z transgresji występujących pod gliną zwałową na stoku Bąkowej Góry w Ochotniku (rys. 3B) charakteryzuje zaledwie kilkuprocentowa obecność minerałów węglanowych (grupa 6). Udział podobny (*ca* 14%) w obu stanowiskach mają łyszczyki i chloryty (grupa 5), a śladowy (3%) glaukonit (grupa 4). Szczególnie bogato w próbce z Ochotnika (rys. 3B) reprezentowane są odmiany minerałów bardzo odpornych grupy 1 (m. in. cyrkon, rutil, staurolit, turmalin). Pod tym względem podobne spektrum przedstawia skład mineralogiczny z Miejskich Pól (rys. 3E), gdzie odsłaniają się osady piaszczysto-mułkowe tworzące pagór, prawdopodobnie ostaniec dawnej terasy kemowej. Udział minerałów przezroczystych jest tutaj najniższy w całej strefie I i niewiele przekracza 40% (tab. 2). Nie odnotowano obecności węglanów, mimo że obszar ze wszystkich stron otoczony jest ostańcowymi wzgórzami mezozoicznymi Grzbietu Przedborskiego. Niewiele mniejszy od wspomnianych z grupy 1 udział mają minerale średnio odporne z grupy 2 (m.in. epidot *ca* 7%) i z grupy 3 (m.in. amfibole 10,5%). W spektrum, jako uzupełniające (do 11%), występują minerale z grupy 5 „eolicznej” (łyszczyki i chloryty), a śladowo (0–1,8%) najmniej odporne (grupa 4).

Przedstawione cechy każą podkreślić zróżnicowanie składu mineralnego osadów różnych form marginalnych w strefie I. Szczególnie typowy wydaje się skład mineralny osadów limnoglacialnych (Miejskie Pola) i terasy sandrowej (Rzejowice). Ogólnie przedstawiony skład minerałów zinterpretowano jako świadczący o zdecydowanej przewadze jako źródła materiału skandynawskiego (zwietrzelin skał magmowych i metamorficznych), a tylko niewielkim wpływem podłoża i środowiska lokalnego. Niewątpliwie z bliskości skał podłoża wynika wysoki udział węglanów i fosforanów (grupa 6) w osadach stożków glaciomarginalnych w Ludwikowie i Masłowicach oraz niewielka, ale powszechna obecność glaukonitu (grupa 4). Charakterystyczna domieszka minerałów o pokroju blaszkowym (grupa 4), może mieć charakter synsedymentacyjny i wynikać z procesów eolicznych towarzyszących odpływowi lodowcowemu.



Rys. 3. Skład mineralogiczny osadów wodnolodowcowych w strefie I
 stanowiska: A – Rzejowice, B – Ochotnik, C – Masłowice, D – Ludwików, E – Miejskie Pola;
 zestawienie grup minerałów por. tab. 1

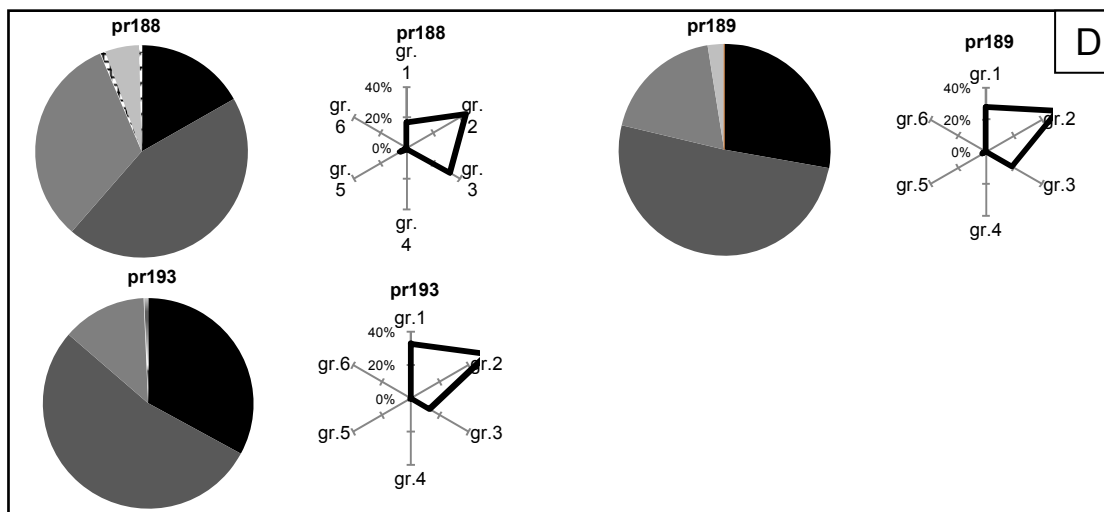
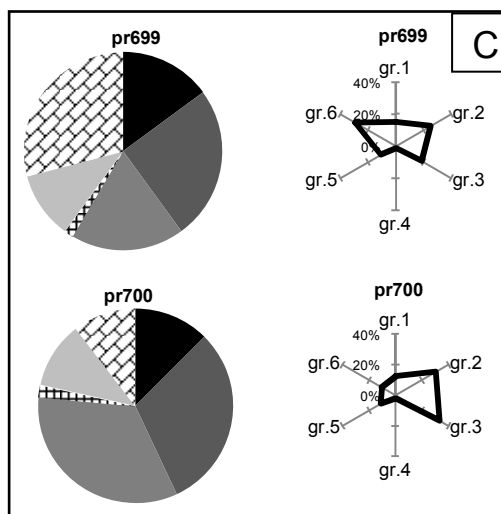
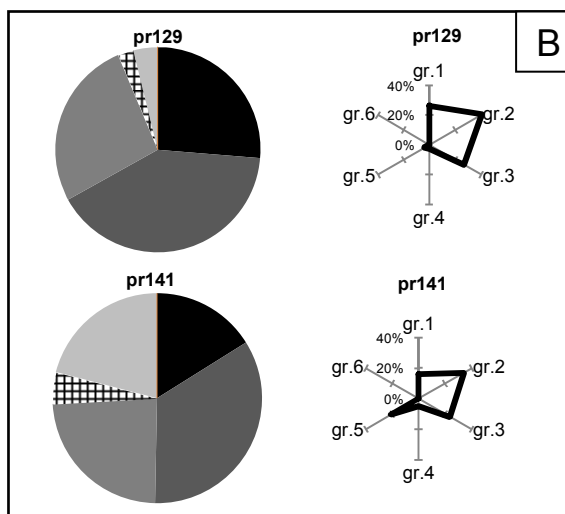
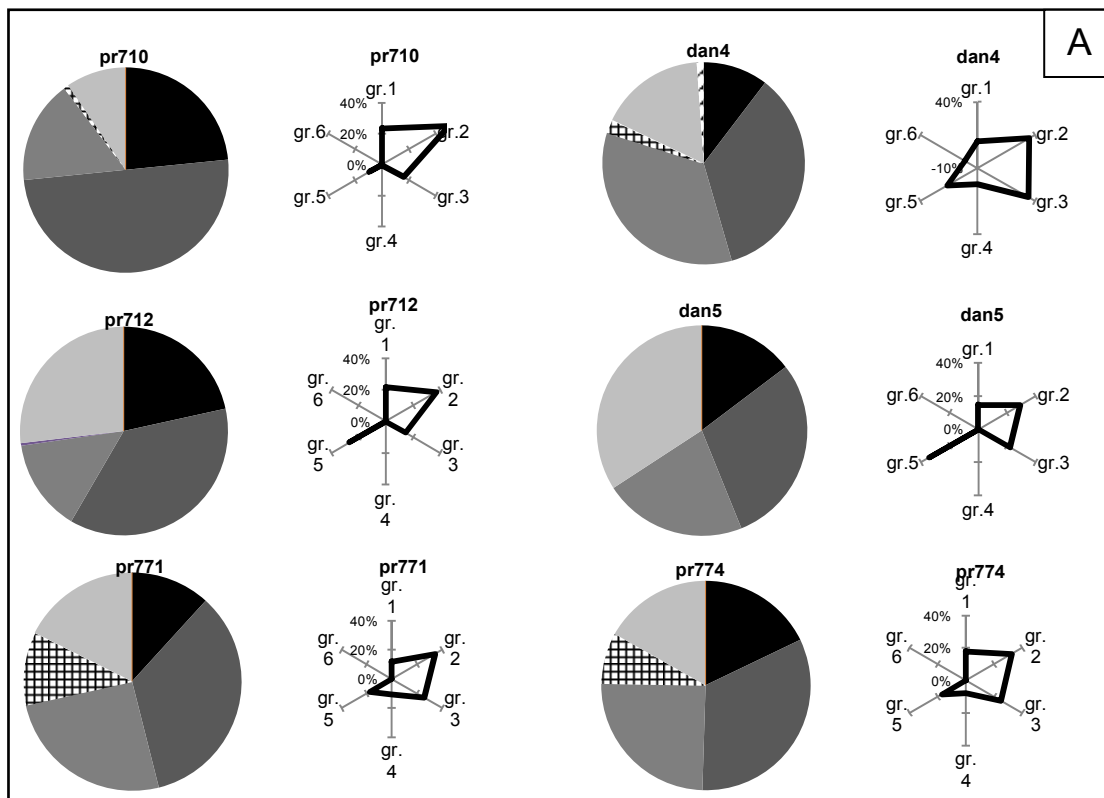
Mineralogical composition of glaciofluvial deposits in the zone I

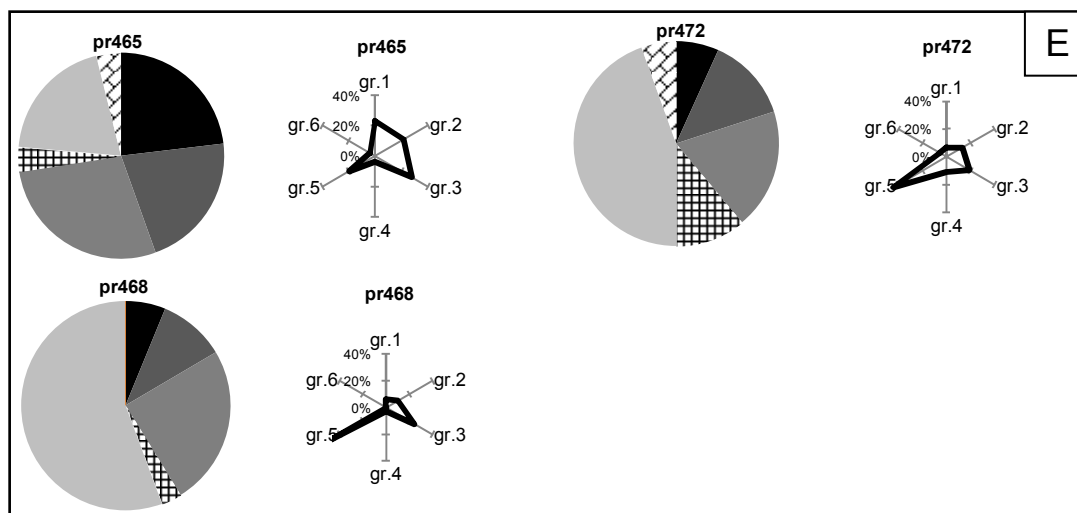
sites: A – Rzejowice, B – Ochotnik, C – Masłowice, D – Ludwików, E – Miejskie Pola;
 list of minerals groups see Table 1

Strefa II – Wzgórza Dobryszyckie

W strefie II wykonano badania mineralogiczne w pięciu stanowiskach: Daniszewicach, Teklinie I, Teklinie II, Kolonii Trzempnicy i Kolonii Ręczno (rys. 2, tab. 1), z których pierwsze trzy leżą w obrębie rowu Kleszczowa. Już wstępny podział minerałów ciężkich na przezroczyste (26,5–74,5%) i nieprzezroczyste (26–73,5%) pokazuje duże zróżnicowanie próbek (tab. 2). Najwięcej próbek pobrano w Daniszewicach, tak z osadów glacialnych i wodnolodowcowych (glin, piasków i żwirów), jak i postglacialnych. W kilku wypadkach są one złożone wyłącznie z trzech głównych (1–3) grup minerałów wyróżnionych w przyjętej klasyfikacji, przy czym dominują (do 55%) minerały z grupy 2. Powszechna jest sytuacja, że wspomniane grupy 1–3 stanowią skład podstawowy, tylko uzupełniony przez minerały z grup 4–6. Udział wszystkich występuje na przykład w trzech próbkach z Daniszewic (rys. 4A), w Kolonii Trzempnica (rys. 4C), w Kolonii Ręczno (rys. 4D) oraz w Teklinie II (rys. 4B). Spektrum w stanowisku Teklin II

dowcowych (glin, piasków i żwirów), jak i postglacialnych. W kilku wypadkach są one złożone wyłącznie z trzech głównych (1–3) grup minerałów wyróżnionych w przyjętej klasyfikacji, przy czym dominują (do 55%) minerały z grupy 2. Powszechna jest sytuacja, że wspomniane grupy 1–3 stanowią skład podstawowy, tylko uzupełniony przez minerały z grup 4–6. Udział wszystkich występuje na przykład w trzech próbkach z Daniszewic (rys. 4A), w Kolonii Trzempnica (rys. 4C), w Kolonii Ręczno (rys. 4D) oraz w Teklinie II (rys. 4B). Spektrum w stanowisku Teklin II





Rys. 4. Skład mineralogiczny osadów wodnolodowcowych w strefie II

Stanowiska: A – Daniszewice, B – Teklin I, C – Teklin II (nowa odkrywka), D – Kolonia Trzepnica, E – Kolonia Ręczno; pozostałe objaśnienia patrz rys. 3

Mineralogical composition of glaciofluvial deposits in the zone II

Sites: A – Daniszewice, B – Teklin I, C – Teklin II (nowa odkrywka), D – Kolonia Trzepnica, E – Kolonia Ręczno; other explanations on Fig. 3

wymaga podkreślenia ze względu na największy w całej strefie, sięgający 30% udział minerałów z grupy 6, w innych lokalizacjach nieobecnych lub występujących śladowo (np. w Kolonii Ręczno – 4%). Zdecydowanie większy udział we wszystkich stanowiskach strefy mają minerały grupy 5, które w Kolonii Ręczno osiągają 45–50%, a bardzo licznie występują również w próbkach z dwóch poziomów w Daniszewicach. W ostatnim stanowisku, a także w Teklinie i w Kolonii Ręczno występują również minerały z grupy 4, traktowane jak wiadomo jako wskaźnik lokalnego źródła minerałów¹.

Szczególnie wyraźnie różnice mineralogiczne między stanowiskami w strefie II pokazują wykresy wektorowe, zupełnie odmienne na przykład w Kolonii Trzepnica i Kolonii Ręczno, gdzie w głębszych poziomach udział minerałów grup 1–3 jest wyjątkowo niski, co prawdopodobnie wynika z przetrwałości cokołu formy. Przedstawione cechy składu w innych próbkach wskazują na główny udział jako źródła minerałów skał skandynewskich. Wyjątkowe spektrum z osadów w Teklinie II – udział węglanów do *ca* 30% – nie dziwi w sytuacji położenia formy w obrębie ciągu czołowomorenowego nałożonego na południowy zrab

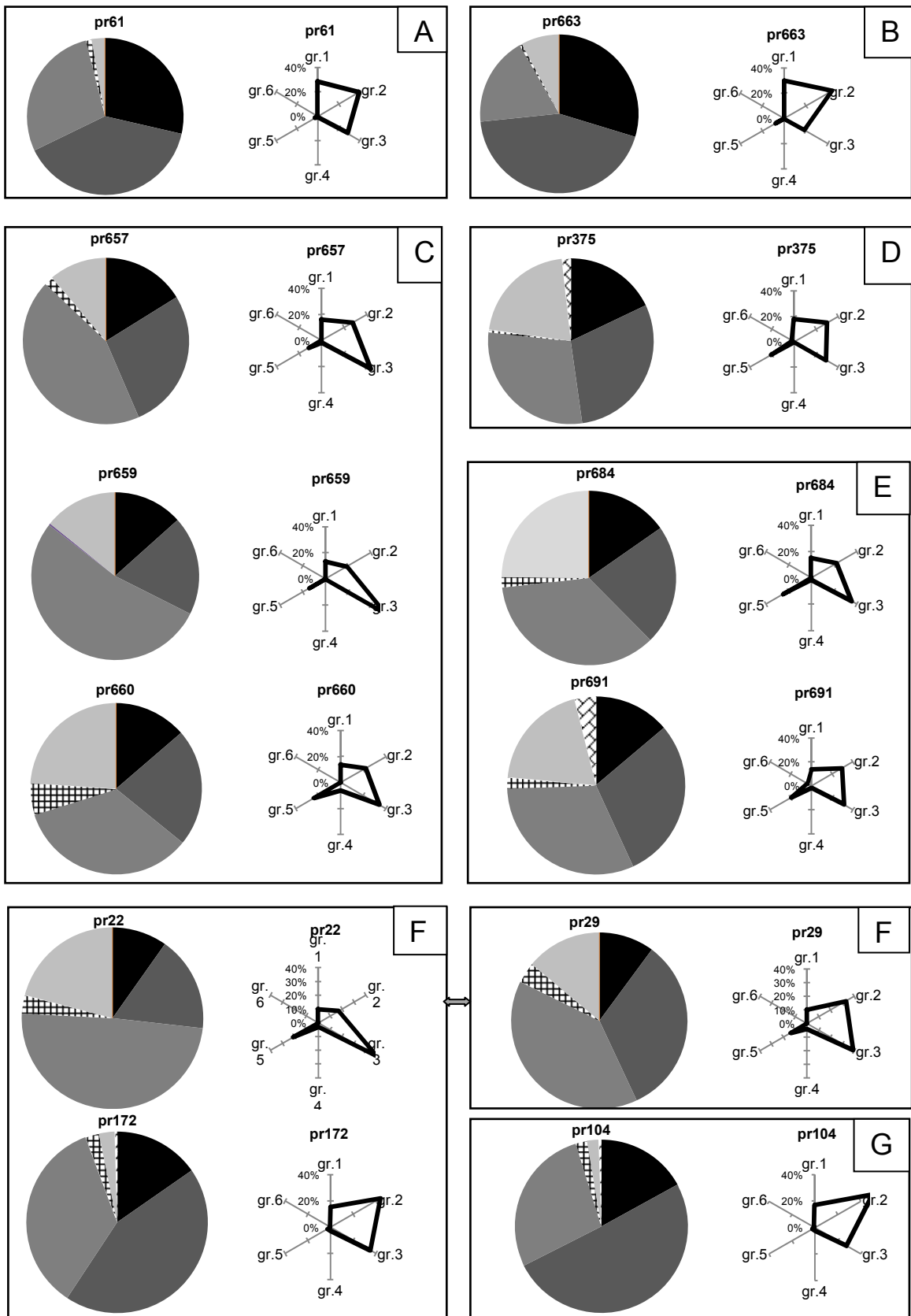
rowu Kleszczowa. Węglany pojawiają się również w stanowisku Kolonia Ręczno (*ca* 10%).

Strefa III – Wysoczyzna Bełchatowska

W strefie III przeprowadzono badania w pięciu stanowiskach: Kamieńsk, Gościnnia-Wilkoszewice, Wola Niechcicka, Stara Borowa III i Mąkolice I, III, V (rys. 2, tab. 2). W analizowanych stanowiskach, wśród minerałów ciężkich, na ogół nad minerałami nieprzezroczystymi przeważają minerały przezroczyste, których udział waha się od 46 do 86% (tab. 3). Wyjątek stanowią osady w Borowej III (17,5%). W spektrum minerałów przezroczystych w tym stanowisku (rys. 5) wyróżnia się również węglany (1,5%), stwierdzone jeszcze tylko w Gościnniej-Wilkoszewicach (0,3%). Z minerałów lokalnych w Mąkolicach V pojawia się znacząca (6%) ilość glaukonitu z grupy 4, w spektrach z innych stanowisk zaznaczających się tylko śladowo. We wszystkich próbkach zarejestrowano również łuszczyki i chloryty z grupy 5, stanowiące *ca* 10% ziaren, a w Borowej III dochodzące do 25%.

Fakt, że minerały z grup 1–3 stanowią od 65 do 95% składu minerałów przezroczystych w spektrach próbek ze strefy III nie pozostawia wątpliwości, że podstawowym źródłem minerałów budujących analizowane formy jest materiał skandynewski. Interesujące są wzajemne proporcje

¹Znane wychodnie piasków glaukonitowych występują w Górze Czartorii, 4 km na N od Kolonii Ręczno (Grzybowski, Kutek 1968).



Rys. 5. Skład mineralogiczny osadów wodnolodowcowych w strefie III

stanowiska: A – Mąkolice I, B – Mąkolice III, C – Mąkolice V, D – Kamieńsk, E – Borowa III,
F – Gościnnia-Wilkoszewice, G – Wola Niechcicka Stara;
pozostałe objaśnienia patrz rys. 3

Mineralogical composition of glaciofluvial deposits in the zone III

sites: A – Mąkolice I, B – Mąkolice III, C – Mąkolice V, D – Kamieńsk, E – Borowa III, F – Gościnnia-Wilkoszewice,
G – Wola Niechcicka Stara;
other explanations on Fig. 3

między grupami w kolejnych stanowiskach. Udział minerałów bardzo odpornych jest niewielki, waha się od kilku do 20% we wszystkich spektrach, oprócz Mąkolic I i III. W pierwszych, osiąga 32% (rys. 5A), a trzeba podkreślić, że liczne są ziarna turmalinu, rutyli i cyrkonu, obejmujące prawie całość grupy 1. Najliczniej, zamiennie, reprezentowana jest grupa 2 lub 3, co dobrze ilustrują wykresy wektorowe. Z grupy 2 liczne są epidoty i granaty (średnio 30%, od 17% w Gościnniej-Wilkoszewicach, do 54% w Woli Niechcickiej Starej), a z grupy 3 amfibole (średnio 20%, od 9% w Mąkolicach III, do 40% w Mąkolicach V).

Podkreślone cechy, a szczególnie bardzo wysoki udział minerałów nieodpornych (grupa 3), może być uznany za reper dla osadów warciańskich w badanym obszarze.

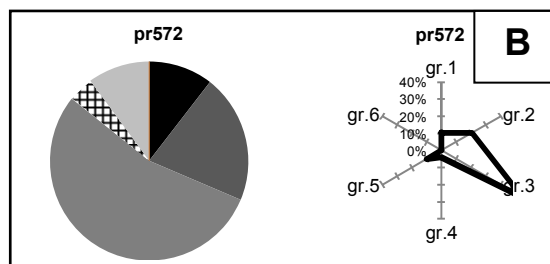
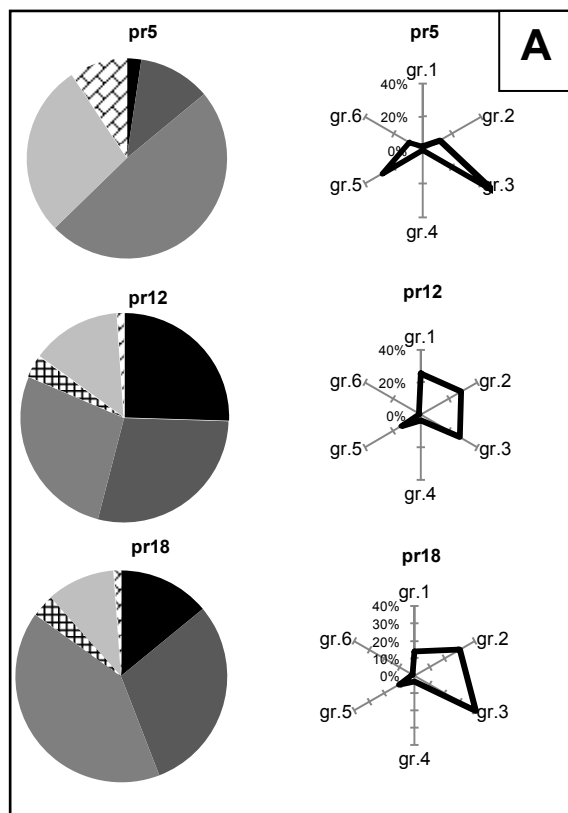
Strefa IV – Równina Piotrkowska

W strefie IV wykonano badania w dwóch stanowiskach (rys. 2, tab. 2): w Łazach Dąbrowie, na sandrze wysoczyznowym i dolinnym na szlaku odpływu marginalnego, w okresie postglacialnym wykorzystanym przez Luciążę oraz w Lewkówe, w kopalnym sandrze Karlina.

Skład przezroczystych minerałów ciężkich w Łazach Dąbrowie (rys. 6A), pobranych ze skraju wysoczyzny (próbka 5, głębokość 7 m), charakteryzuje się udziałem *ca* 60% minerałów przezroczystych (tab. 2). W zbiorze jest znikomy udział ziaren bardzo odpornych z grupy 1 (*ca* 2%), niewielki odpornych z grupy 2 (11,6%) i wyraźna dominacja minerałów bardzo mało odpornych z grupy 3 (49%). Udział fosforanów i wapieni wynosi powyżej 9%, co jest prawdopodobnie związane z sąsiedztwem krawędzi kopalnej doliny Niechcic (Wachecka-Kotkowska 2004). Udział łuszczyków w omawianej próbce 5 wynosi 28%.

Spektrum osadów z sandru dolinnego III, którego osady włożone są w wysoczyznę, jest wyraźnie odmienny od wyżej przedstawionego. Ze względu na poziom wietrzeniowy (próbka 10), za charakterystyczne dla poziomu mogą być uznane tylko spektra dwóch dolnych próbek (12, 18). Zawartość minerałów nieprzezroczystych wynosi w nich *ca* 60%. Minerale grupy 1–3 łącznie przekraczają 75%, przy czym w próbce 12 możemy mówić o równowadze między grupami (po około 25–28%), podczas gdy w próbce 18 dominują minerale bardzo mało odporne z grupy 3 (41%), przy wyraźnym minimum minerałów bardzo odpornych, z grupy 1 (14%). W obu spektrach pojawia się glaukonit (3,5%) i węglany (1,2%). Znaczący (*ca* 10%) jest udział minerałów „eolicznych” (grupa 5). Interesujące jest podobieństwo omawianego składu mineralnego osadów w Łazach (poziom wodnolodowcowy III w dolinie dolnej Luciąży – strefa IV) do spektrum próbki w Rzejowicach (poziom pradolinny górnej Widawki – strefa I).

W stanowisku Lewkówka I (rys. 6B) próbkę pobrano z piasku z dolnego poziomu kopalnego sandru o niepewnej sytuacji stratygraficznej. Minerale nieprzezroczyste stanowią 35,5% ziaren, a przezroczyste 64,5%. Największy udział mają minerale grupy 3 (w tym amfibole 33% i pirokseny 1,5%). W mniejszej ilości reprezentowane są minerale z grupy 2 (np. epidoty 10% i granaty 3%). Tylko 10% stanowią minerale grupy 1 (np. staurolit 3% i turmalin 2), łuszczyki i chloryty (grupa 5) około 6,5%, zaś pozostałe minerale odgrywają jeszcze mniejszą rolę (1–3%), na przykład najmniej odporny na wietrzenie zarówno fizyczne jak i chemiczne glaukonit (2,6%). Charakterystyczny jest brak węglanów. Przedstawiony skład mineralny stał się jedną z przesłanek przypisania badanych osadów do starszej części kompleksu środkowopolskiego.



Rys. 6. Skład mineralogiczny osadów wodnolodowcowych w strefie IV

stanowiska: A – Łazy Dąbrowa, B – Lewkówka I;
pozostałe objaśnienia patrz rys. 3

Mineralogical composition of glaciofluvial deposits
in the zone IV

sites: A – Łazy Dąbrowa, B – Lewkówka I;
other explanations on Fig. 3

PODSUMOWANIE

Przedstawiono wyniki analizy składu mineralnego 39 próbek w 19 stanowiskach położonych w strefach I–IV badanego terenu, których sytuacja geomorfologiczno-stratygraficzna wskazywała na powiązanie z najmłodszymi procesami glacialnymi w obszarze pomiędzy Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedborzem. Osady te występują w położeniu wysoczyznowym (bezpośrednio pod lub na najmłodszej glinie lodowcowej), budują formy typu limnoglacialnego oraz najwyższe poziomy w dolinach marginalnych (np. tzw. pradolina górnej Widawki) lub odprowadzających wody lodowcowe (np. dolina dolnej Luciąży). Wyjątek stanowi próbka z kopalnego sandru Karlina w Lewkowie I, która prawdopodobnie pokazuje spektrum starszej części cyklu kompleksu środkowopolskiego.

W analizie przestrzennej składu minerałów przezroczystych widoczne są pewne prawidłowości. Na południu, w strefie I minerały najbardziej odporne na wietrzenie odgrywają największą rolę w spektrach mineralogicznych. Tak jest w Ochotniku w osadach stożka marginalnego, częściowo przykrytych gliną bazalną (krótki

transport o dużej dynamice?) oraz w Miejskich Polach, gdzie w otoczonego przez wzniesienia Grzbietu Przedborskiego zbiorniku typu limnoglacialnego, osad ma spektrum bogate w najbardziej odporne minerały (m.in. staurolit i cyrkon). Ku północy, generalnie coraz większy jest udział minerałów bardziej podatnych na wietrzenie, średnio odpornych (takich jak na przykład epidoty i granaty) oraz słabo odpornych, zwłaszcza amfiboli nawet do 55% i piroksenów, które bardzo łatwo ulegają rozkruszaniu i rozdrabnianiu. Zinterpretowano je jako wskazujące na „świeżość” źródłowych zwietrzelin skandynawskich skał magmowych i metamorficznych, a pośrednio być może również na młodość materiału glacialnego.

W podsumowaniu udziału grup 1–3 można stwierdzić, że skład mineralny badanych osadów jest zdeterminowany przede wszystkim przez cechy materiału skandynawskiego. Rola podłoża mezozoicznego jest znacząca tylko wyjątkowo. Do głównych przykładów należą dwa stanowiska – Ludwików (wpływ ostańców i garbu podłoża?) i Teklin II (rola rowu Kleszczowa?).

Niewielki udział wapieni i fosforanów zaznacza się także w innych spektrach, np. w niektórych próbkach z Daniszewic, a także w Kamieńsku i Borowej III oraz w Łazach Dąbrowie, na wysoczyźnie. Podobnie, przyjęty za minerał „lokalny” glaukonit, którego potencjalnym źródłem są piaski glaukonitowe w Górze Czartorii, w ilości znaczącej stwierdzono tylko w Kolonii Ręčno i Daniszewicach, ale śladowo występuje także w spektrach osadów z innych stanowisk. Cechą charakterystyczną wszystkich analizowanych próbek osadów wodnolodowcowych jest znaczący, a czasami dominujący udział w spektrum minerałów przezroczystych – łyszczyków i chlorytów. Ich powszechna obecność dowodzi roli wiatrów towarzyszących procesom wodnolodowcowym i „wsypującym” te bardzo mało odporne minerały do zbiorników limnoglacialnych lub szlaków odpływu sandrowego.

Jak wynika z przedstawionych wniosków, twierdzenie o podobnym jakościowo i ilościowo składzie minerałów przezroczystych wszystkich osadów glacialnych i fluwioglacialnych w Polsce (Racinowski 2010) wymaga rewizji w wypad-

ku przedstawionych badań. Pokazały one, że spektra mineralne próbek w kolejnych stanowiskach są różne. Fakt, że zróżnicowanie to występuje często w osadach bardzo podobnych pod względem cech strukturalnych i teksturalnych, uzasadnia celowość badań mineralogicznych w obszarach zasypania czwartorzędowego. Badania mineralogiczne dostarczają często znaczących informacji na temat procesów, które brały udział w kształtowaniu osadów i rzeźby. Najwyraźniejszym dowodem jest tutaj wysoki udział minerałów „eolicznych” w spektrach osadów poziomów wodnolodowcowych.

Analizy mineralogiczne w badanym obszarze uzupełniły rezultaty innych badań przedstawionych w tomie. Dostarczono przesłanek do wniosku, że formy glacialne położone w strefach I, II i IV powstały podczas tego samego epizodu glacialnego co formy w strefie III, tj. w obrębie lobu Widawki. Tym samym potwierdzono hipotezę istnienia lobu Pilicy-Luciaży jako najbardziej marginalnej części lobu wschodniego (Rawki) lądolodu warty w SE części regionu łódzkiego.

Autorzy dziękują dr. Danielowi Okupnemu za wykonanie prac laboratoryjnych, w tym szczególnie za separację w cieczach ciężkich.

Prace badawcze zostały sfinansowane z grantu N N306 721140 „*Morfogeneza obszaru pomiędzy Radomskiem, Przedborzem i Piotrkowem Trybunalskim jako świadectwo uwarunkowań, przebiegu i roli najmłodszych zdarzeń glacialnych pogranicza Niżu i Wyżyn środkowej Polski*”.

Cyfrowy model terenu z wyróżnionymi strefami rzeźby glacialnej oraz zestawienie wszystkich omówionych stanowisk badawczych i ich lokalizację na tle interpretacji kierunków nasunięcia lobów przedstawiono w załączniku na końcu tomu.

LITERATURA

- Barczuk A., E. Mycielska-Dowgiałło. 2001. Znaczenie składu mineralnego osadów dla rozpoznawania obecności procesów eolicznych. W: *Eolizacja osadów jako wskaźnik stratygraficzny czwartorzędu*, 39-42. Warszawa: WGiSR UW.
- Barczuk A., K. Nejbort. 2007. Analiza minerałów nieprzezroczystych w badaniach skał okrucowych. W: *Badania cech teksturalnych osadów czwartorzędowych i wybrane metody oznaczania ich wieku*, 205-228. Warszawa: Wydawnictwo Szkoły Wyższej Przymierza Rodzin.
- Chlebowski R., L. Lindner. 1976. „Próba zastosowania analizy minerałów ciężkich w problematyce badawczej lessów na przykładzie lessów młodszych zachodniej części regionu świętokrzyskiego”. *Biuletyn Instytutu Geologicznego* 297, 18: 293-305.
- Chlebowski R., L. Lindner. 1992. „Źródła materiału i warunki akumulacji lessów młodszych Wyżyny Małopolskiej”. *Biuletyn Geologiczny Uniwersytetu Warszawskiego* 32: 13-50.
- Chlebowski R., L. Lindner. 2004. Aspekty mineralogiczne w metodyce badań lessów na przykładzie lessów polskich i ukraińskich. W *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, 17-36. Tom IV, seria Geografia 68. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.
- Chlebowski R., P.P. Gozik, L. Lindner. 2002. „Graficzna prezentacja składu minerałów ciężkich lessów na wybranych przykładach z obsza-

- ru Polski i Ukrainy”. *Przegląd Geologiczny* 50, 6: 526-531.
- Grzybowski K., J. Kutek. 1968. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000, arkusz Lubień (738). Warszawa: Inst. Geologiczny.
- Marcinkowski B., E. Mycielska-Dowgiałło. 2013. „Heavy-mineral analysis in Polish investigations of Quaternary deposits: a review”. *Geologos* 19, 4: 5-23.
- Marks L., A. Ber, W. Gogołek, K. Piotrowska. 2006. Mapa Geologiczna Polski w skali 1:500 000. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.
- Mycielska-Dowgiałło E. 1995. Wybrane cechy teksturalne osadów i ich wartość interpretacyjna. W *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*, 29-105. Warszawa: WGiSR UW.
- Racinowski R. 1995. Analiza minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych Polski. W *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*, 151-166. Warszawa: WGiSR UW.
- Racinowski R. 2002. „Badania minerałów ciężkich osadów pyłowych Naddniestrza halickiego”. *Studia Geologica Polonica* 119: 219-236.
- Racinowski R. 2008. „Znaczenie analizy minerałów ciężkich w badaniach osadów czwartorzędowych Polski”. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska B*, 63: 7-44.
- Racinowski R. 2010. „Główne przezroczyste minerały ciężkie w osadach czwartorzędowych Polski”. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 438: 99-106.
- Racinowski R., J. Rzechowski. 1969. „Minerały ciężkie w glinach zwałowych Polski środkowej”. *Kwartalnik Geologiczny* 13: 479-490.
- Roman M. 2012. Szczegółowa mapa geologiczna Polski w skali 1:50 000 ark. Gostynin (481). Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny-Państwowy Instytut Badawczy.
- Różycki S.Z. 1972. Plejstocen Polski Środkowej na tle przeszłości w górnym trzeciorzędzie. Warszawa: PWN.
- Turkowska K. 2006. Geomorfologia regionu łódzkiego. Łódź: Wydawnictwo UŁ.
- Wachecka-Kotkowska L. 2004. „Ewolucja doliny Luciąży – uwarunkowania klimatyczne a lokalne”. *Acta Geographica Lodziensia* 86.
- Wachecka-Kotkowska L. 2015. Rozwój rzeźby obszaru między Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedbórzem w czwartorzędzie. Łódź: Wydawnictwo UŁ.

ANALYSIS OF HEAVY MINERALS AS A METHOD FOR DETERMINING THE SOURCE OF THE GLACIOFLUVIAL SEDIMENTS IN THE PIOTRKÓW TRYBUNALSKI, RADOMSKO AND PRZEDBÓRZ AREA (CENTRAL POLAND)

SUMMARY

Abstract. The paper presents results of the heavy minerals analysis separated of 39 fluvio-glacial sediments samples collected at 19 sites in the Piotrków Trybunalski, Radomsko and Przedbórz area. A significant variability of transparent minerals (ca 14–82,5%) and opaque (ca 17,5–86%) have been shown in the set. Comparing to loess around Przedbórz area as to erosion resistance, transparent minerals were divided into five groups. Additionally, carbonates and phosphates as a local substratum index has been added to the classification of a group of 6. Spectra in all groups proved an advantage of Scandinavian detritic material, which was found some link between the resistance and the distance minerals and sediment transport dynamics and their age. Coming up to 40% of biotites and chlorites in glaciofluvial sediments interpreted as synsedimentary aeolian admixtures.

Key words: mineralogical composition, glaciofluvial deposits, Wartanian ice-sheet, Łódź Region, central Poland

The study was conducted in the area between Piotrków Trybunalski, Radomsko and Przedbórz (Fig. 1, Tab. 2), where the substrate is generally covered with a thin Cainozoic layer (except for Kleszczów Graben). In the south, Mesozoic rocks are often found as monadnock hills. During the mineralogical analyses minerals were divided into opaque and transparent ones (Tab. 3) and six groups of transparent minerals were selected (Tab. 1). Mineralogical analysis

was conducted to identify the proportion of Scandinavian detritus and local material in the Quaternary cover in different parts of the area, and to try to identify sources of feeding and indirectly the transport direction of detritus component of the youngest level glaciofluvial deposits that build different types of glacial forms. Spectra of 39 samples of glaciofluvial sediment (Fig. 2, Tab. 3) lying within the morainic plateau were taken into consideration. The results of the re-

maining 9 samples from the sediment being older or younger, and coming from the weathering levels were skipped in the discussion. In the spatial analysis of the transparent mineral composition some regularity is visible (Figs 3–6). In the south, in the zone I minerals most resistant to weathering play the biggest role in mineralogical spectra. The case is the Ochotnik site in the sediment of marginal cone, partly covered with basal till (short transport of high dynamics?) and in the Miejskie Pola, where the sediment surrounded by hills of the Przedbórz Range with glaciolacustrine sandy silt (redeposited?) has a spectrum rich in the most resistant minerals (including staurolite and zircon) (Fig. 3).

To the north, generally the percentage of minerals more susceptible to weathering, semi resistant (eg. epidotes and garnets) and non-resistant, especially amphibole (up to 55%) and pyroxene, which are easily crushed and grinded, is increasing. They were interpreted as indicators of the source of the Scandinavian weathering igneous and metamorphic rocks. The role of the Mesozoic substrate is significant only in exceptional cases. The main examples are two sites: Ludwików (on the slope of monadnocks and hump of the basement – Fig. 3) and Teklin II (role of the Kleszczów Graben – Fig. 4). A small

part of limestone and phosphate is noted in other spectra, eg. in some samples from Daniszewice, as well as Kamięnsk and Borowa III (Fig. 5), and in Łazy Dąbrowa, on the Piotrków Plain (Fig. 6). Likewise, “local” mineral, glauconite, was found in significant amount only at the Kolonia Ręczno and Daniszewice sites, but there are also traces in spectra of deposits from other positions.

A characteristic feature of all analyzed glaciofluvial sediment samples is significant and sometimes dominant share of transparent minerals – micas and chlorites. Their widespread presence proves the role of winds accompanying the glaciofluvial and “spilled” processes, which enabled last out of non-resistant minerals in the limnoglacial reservoirs or in the bottom of valleys. Mineralogical studies provided information on aeolian processes in shaping glaciofluvial levels. They also indicated that the glacial marginal forms located on the northern slopes of the highlands between Kamięnsk, Kodrąb and Przedbórz were created during the same glacial episode as the forms in the western lobe (Widawka). They contribute as well to the hypothesis of the existence of the Pilica and Luciąża lobe as the most marginal parts of the eastern lobe (Rawka) of the Warta stadial.