AGL 103
ISSN 0065-1249

Maria Górska-Zabielska, Lucyna Wachecka-Kotkowska***

PETROGRAFIA ŻWIRÓW I ERATYKI PRZEWODNIE W OSADACH WODNOLODOWCOWYCH JAKO PRZESŁANKI WNIOSKOWANIA NA TEMAT ŹRÓDEŁ I KIERUNKÓW TRANSPORTU MATERIAŁU W OBSZARZE MIĘDZY PIOTRKOWEM TRYBUNALSKIM, RADOMSKIEM A PRZEDBORZEM (ŚRODKOWA POLSKA)

ZARYS TREŚCI

W artykule przedstawiono cechy petrograficzne średnioziarnistych żwirów (4–10 mm) dla 64 próbek w 28 stanowiskach terenowych oraz gruboziarnistych (20–60 mm) w połączeniu ze wskaźnikiem TGZ dla 7 stanowisk. Stwierdzono, że w całym badanym obszarze skład petrograficzny w osadach wodnolodowcowych jest generalnie podobny. Wskazano, że w drobniejszej frakcji żwiru rzadziej obecne są wapienie dolnopaleozoiczne, natomiast więcej jest skał krystalicznych i krzemieni. Analiza petrograficzna frakcji grubszej żwiru dowodzi, że zanim lądolód dotarł do północnych stoków wyżyn musiał przemieszczać się (= egzarował) po wychodniach skał w SE Szwecji oraz dnie Bałtyku. Wyliczone centrum głazowe badanych osadów lokuje się w strefie ograniczonej koordynatami geograficznymi: 16,4–17,0°E oraz 57,5–58,7°N.
Słowa kluczowe: petrografia żwirów, wskaźnik TGZ, osady wodnolodowcowe, lądolód warty, region łódzki, środkowa Polska

WPROWADZENIE

Ilościowe studia nad identyfikacją petrograficzną frakcji żwirowych wskazują skład procentowy oraz dynamikę zmian udziału poszczególnych grup petrograficznych w osadach akumulacji lodowcowej i glacifluwialnej. W oparciu o wyniki analiz petrograficznych buduje się od lat schematy litostratygraficzne (np. Cepek 1962, 1973, 1975, 1981; Rühberg, Krienke 1977; Böse 1979, 1983, 1989; Kenig 1991, 1998a, b; Meyer 1994, 1998, 2000; Czerwonka, Krzyszkowski 1994; Krzyszkowski, Czerwonka 1994; Lisicki 1996, 1998a, b, c, 2000, 2001, 2003; Zabielski 1996, 1999, 2003, 2005; Czerwonka 1998; Lüttig 1999; Rühberg 1999; Czubla 2001; Krienke 2003; Gałązka 2004). Rezultaty analiz petrograficznych osadów, znajdujących się w porównywalnej superpozycji, służą korelacji litostratygraficznej (np. Krzyszkowski, Czerwonka 1994; Zabielski 2005), a w przypadku osadów jednej chronozony – regionalnej korelacji litostratygraficznej.

Analiza petrograficzna poszerzona o identyfikację narzutniaków skandynawskich prowadzi do wskazania skandynawskich obszarów alimentacyjnych oraz sugeruje prawdopodobny tor wędrówki lądolodu lub zindywidualizowanych stref ruchu lodu podczas jego awansu.

Znaczenie analiz petrograficznych, zarówno frakcji średnio- jak i grubożwirowej, jest duże, gdyż rozbudowują analizę litofacjalną stosowaną przez Kasprzaka i Kozarskiego (1984) w badaniach osadów czwartorzędowych. Potwierdzają, znaną z literatury (m.in. Kozarski 1965, 1988, 1991, 1995; Kasprzak 1988, 1997, 2003; Böse 1989; Böse, Górska 1995; Pettersson 1997, 2002; Czubla 2001; Wysota 2002), tezę o zróżnicowaniu przewodnich i pośrednich poziomów litostratygraficznych.

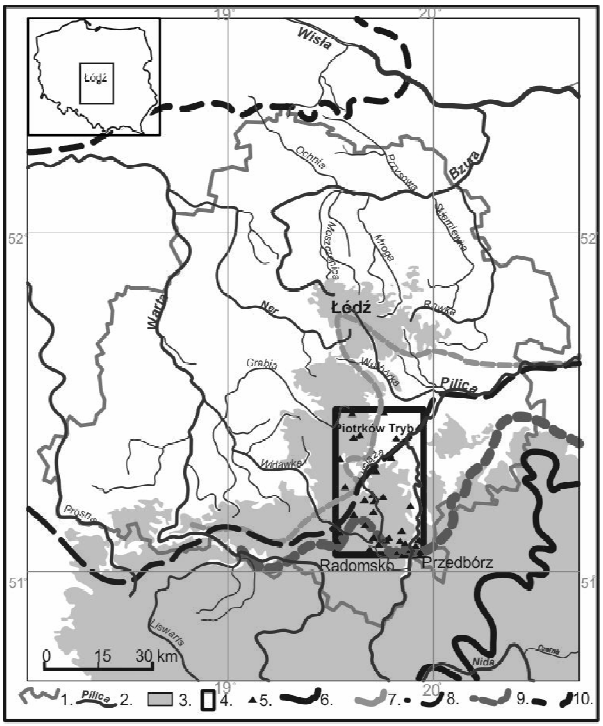
* Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Instytut Geografii, ul. Świętokrzyska 15, 25-406 Kielce, e-mail: maria.gorska-zabielska@ujk.edu.pl

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

CEL I METODY BADAŃ

Głównym celem przeprowadzonego postępowania badawczego było zweryfikowanie hipotezy (Turkowska 2006) podważającej istnienie interlobalnej strefy ekstraglacjalnej lądolodu warty na południowy wschód od Łodzi (rys. 1). Aby osiągnąć to zamierzenie, zastosowano po raz pierwszy w regionie między Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedborzem zestaw kompleksowych analiz petrograficznych, którymi objęto osady fluwioglacjalne budujące formy glacjomarginalne ostatniego lądolodu w środkowej Polsce.

Osady akumulacji fluwioglacjalnej występujące na wyżej wymienionym obszarze przebadano pod kątem składu petrograficznego frakcji średnio- i grubożwirowej oraz przeprowadzono w nich identyfikację narzutniaków przewodnich (i innych skał wskaźnikowych). Wyniki badań były kilkakrotnie anonsowane w literaturze (Górska-Zabielska, Wachecka-Kotkowska 2010, 2014; Wachecka-Kotkowska, Górska-Zabielska 2011; Wachecka-Kotkowska i in. 2012a, b, c), a ostatnio zostały wykorzystane w monografii dającej kompleksowy obraz czwartorzędowej morfogenezy wskazanego obszaru (Wachecka-Kotkowska 2015). Zespół badawczy oczekuje, że przyjęta procedura badawcza, skupiająca szerokie spektrum metod badawczych (w tym analizy petrograficzne osadów wodnolodowcowych), da możliwie dokładne sprecyzowanie stanu wiedzy na temat zasięgu i cech strefy czołowomorenowej lądolodu warty w środkowej Polsce i pozwoli go porównać ze stopniem rozpoznania tej strefy we wschodniej Polsce.



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 lądolodu: 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 wisły według Roman (2012)

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

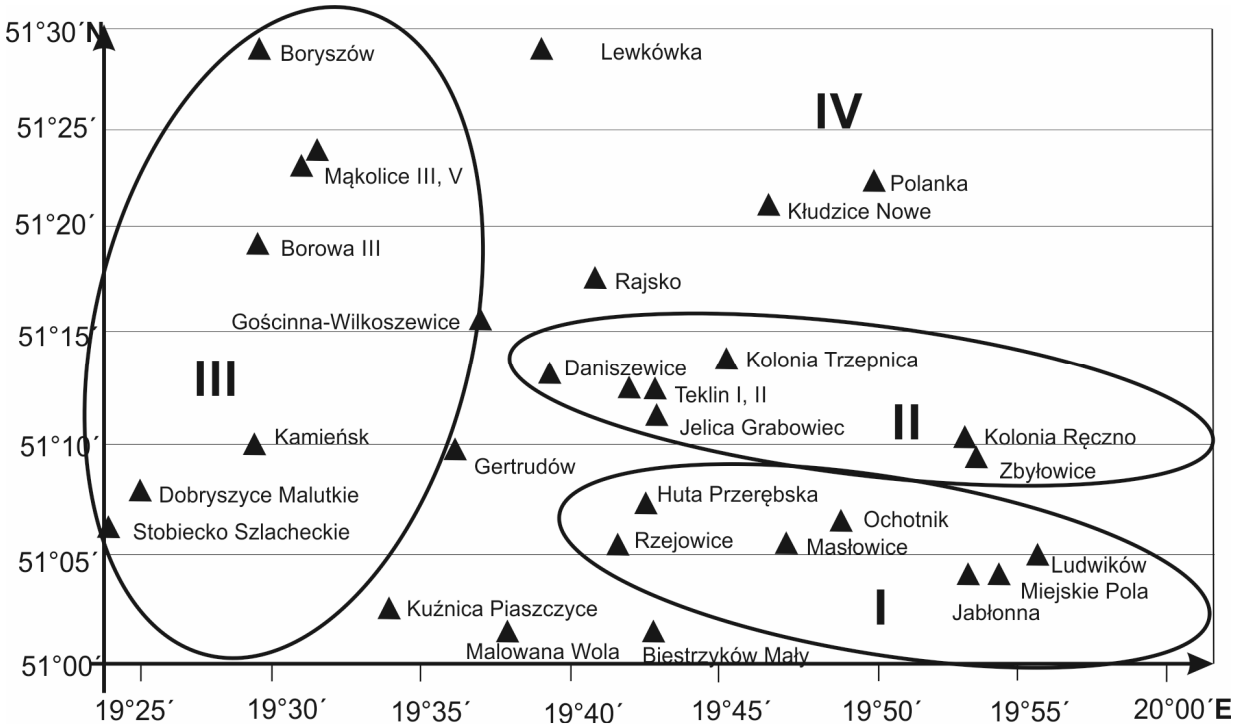
1 – voivodship borders; 2 – rivers; 3 – area over 200 m a.s.l.; 4 – study area; 5 – sample sites; limit of glaciation: 6 – Odranian maximum stage according to Różycki (1972), 7 – Wartanian stage according to Różycki (1972), 8 – Wartanian glaciation according to Marks et al. (2006), 9 – Wartanian stadial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

Lokalizację 28 stanowisk terenowych zaprezentowano na rysunku 2 i w tabeli 1, z uwzględnieniem czterech stref skupień form marginalnych obszaru badań oraz liczby i rodzaju próbek. Opis poszczególnych czynności związanych z poborem oraz metodami segregacji i identyfikacji petrograficznej frakcji średniożwirowej (4–10 mm) i grubożwirowej (20–60 mm) został szczegółowo przedstawiony w licznych publikacjach współautorki (m.in. Górska 2000a, b, 2003a, 2006; Górska-Zabielska, Zabielski 2010, 2011). Poniżej przedstawione zostaną jedynie główne zasady, którymi kierowano się podczas kolejnych etapów postępowania badawczego.

W badaniach terenowych w szczególny sposób prześledzono obecność eratyków przewodnich (Lüttig 1958) i innych skał wskaźnikowych (Smed 1993) w 7 próbkach żwirów gruboziarnistych. Segregacji poddawano każdorazowo statystycznie reprezentatywną próbkę.

Przyjmując zasady statystyki (Stanisz 2001) poprawne wnioski uzyskać można już na podstawie 30-elementowej próbki. Uwzględniając jednak doświadczenia metodyczne związane bezpośrednio z analizą petrograficzną eratyków przewodnich, w niniejszym projekcie ustalono populację próbki zgodnie z zaleceniami metodycznymi Smeda (1993). Według niego, poprawne wnioski uzyskuje się po analizie 50 oznaczonych eratyków przewodnich frakcji 20–60 mm. Biorąc pod uwagę, że zaledwie 10% badanych narzutniaków spełnia wymogi eratyku przewodniego (Meyer 1983), starano się, by próbka była dostatecznie reprezentatywna. Taka próbka powinna obejmować, łącznie z piaskowcami, krzemieniami i skałami węglanowymi, co najmniej 500 okazów. Podczas poboru próbek narzutniaków frakcji grubożwirowej kierowano się również własnymi doświadczeniami (Böse, Górska 1995; Górska 2000a, c, 2001, 2002a, b, 2003a, b, 2006; Górska-Zabielska 2010).

Uwzględniając zarówno zalety jak i wady analiz petrograficznych (Górska 1998, 1999), pobór materiału przeznaczonego do badań poszerzono o frakcję średniożwirową (4–10 mm). Nierzadko, z uwagi na brak frakcji grubożwirowej, ograniczono pobór próbek przeznaczonych do dalszej analizy tylko do materiału dostępnego w stanowisku badawczym, czyli wykonywano wyłącznie analizę petrograficzną frakcji średniożwirowej.



Rys. 2. Położenie stanowisk w strefach glacigenicznych I–IV (por. załącznik do tomu)

Sites location in glacigenic zones I–IV (compare Annex)

Tabela 1

Położenie stanowisk oraz liczba pobranych próbek żwiru średnioziarnistego (4–10 mm) i gruboziarnistego (20–60 mm) osadów fluwioglacjalnych

Zones (I–IV) of the study area with sampling sites and number of samples of the medium (4–10 mm) and coarse (20–60 mm) fractions from the fluvioglacial gravel

Stanowisko	Geomorfologia	Lokalizacja			Petrografia żwirów [liczba próbek]	
		wysokość [m n.p.m.]	Λ [E]	Φ [N]	frakcja 4-10 mm	frakcja 10-20 mm
STREFA I – WZGÓRZA RADOMSZCZAŃSKIE i GRZBIET PRZEDBORSKI						
Kuźnica Piaszczyce	poziom odpływu marginalnego	226,3	19° 33’ 51’’	51° 07’ 24’’	2	0
Malowana Wola	sandr	248,0	19° 37’ 37’’	51° 03’ 41’’	1	0
Biestrzyków Mały	sandr	237,5	19° 42’ 07’’	51° 03’ 19’’	1	0
Rzejowice-Borki	sandr	240,0	19° 41’ 34’’	51° 06’ 58’’	1	0
Huta Przerębska	pagór wodnolodowcowy	231,3	19° 43’ 11’’	51° 07’ 40’’	1	0
Masłowice PGR	poligeniczny pagór glacjalny	230,0	19° 47’ 56’’	51° 06’ 24’’	2	0
Ochotnik	wysoczyzna morenowa	237,0	19° 48’ 51’’	51° 07’ 35’’	2	0
Ludwików	poligeniczny pagór glacjalny	222,5	19° 55’ 06’’	51° 05’ 45’’	1	1
Miejskie Pola	ostaniec terasy kemowej	229,0	19° 54’ 56’’	51° 04’ 49’’	1	0
Jabłonna	sandr dolinny	213,0	19° 53’ 26’’	51° 04’ 36’’	1	1
STREFA II – WZGÓRZA DOBRYSZYCKIE						
Gertrudów	sandr	230,5	19° 34’ 31’’	51° 10’ 13’’	1	0
Daniszewice	poligeniczny wał glacjalny	220,4	19° 37’ 46’’	51° 13’ 29’’	4	0
Teklin I	ten sam wał	233,0	19° 41’ 52’’	51° 12’ 49’’	5	1
Jelica-Grabowiec	ten sam wał	221,0	19° 41’ 46’’	51° 11’ 42’’	1	0
Kolonia Trzepnica	ten sam wał	222,0	19° 43’ 34’’	51° 13’ 17’’	1	1
Kolonia Ręczno	pagór morenowy	200,0	19° 52’ 57’’	51° 10’ 54’’	1	0
Zbyłowice	poziom odpływu marginalnego	199,0	19° 52’ 21’’	51° 09’ 21’’	1	0
STREFA III – WYSOCZYZNA BEŁCHATOWSKA						
Stobiecko Szlacheckie	poligeniczne wzgórze glacjalne	239,6	19° 24’ 06’’	51° 06’ 26’’	3	0
Dobryszyce Malutkie	poligeniczne wzgórze glacjalne	237,6	19° 25’ 54’’	51° 07’ 19’’	3	1
Kamieńsk	morena martwego lodu	232,0	19° 29’ 54’’	51° 10’ 58’’	3	0
Gościnna-Wilkoszewice	morena martwego lodu	218,7	19° 36’ 55’’	51° 15’ 04’’	2	0
Borowa III, Moników	wzgórze kemowe	221,0	19° 30’ 16’’	51° 19’ 45’’	3	1
Mąkolice III	poligeniczny pagór glacjalny	230,0	19° 30’ 06’’	51° 23’ 18’’	2	0
Mąkolice V	ten sam pagór	233,4	19° 31’ 52’’	51° 22’ 49’’	3	1
Boryszów	pagór kemowy	225,2	19° 29’ 37’’	51° 28’ 36’’	1	0
STREFA IV – RÓWNINA PIOTRKOWSKA						
Rajsko	poziom	194,0	19° 40’ 10’’	51° 17’ 10’’	1	0
Kłudzice Nowe	odpływu	176,0	19° 46’ 42’’	51° 21’ 06’’	1	0
Polanka	marginalnego	174,0	19° 50’ 33’’	51° 22’ 28’’	1	0
Lewkówka I	sandr Karlina	213,6	19° 38’ 48’’	51° 29’ 10’’	6	0

Prace terenowe objęły pobór osadów lodowcowych w sposób punktowy lub bruzdowy w profilu pionowym z oczyszczonej ściany odsłonięcia, poniżej poziomu glebowego. Opróbowanie warstw osadów lodowcowych uzależnione było od ich zmienności litofacjalnej. Objętość próbek do analizy petrograficznej frakcji średniożwirowej i grubożwirowej ustalano zgodnie z zaleceniami metodycznymi Trembaczowskiego (1961, 1967) i Rutkowskiego (1995a, b), zależnie od udziału procentowego tych frakcji w analizowanym osadzie.

Z uwagi na specyfikę analiz petrograficznych narzutniaków fennoskandzkich, wstępna segregacja żwirów gruboziarnistych była wykonywana w terenie, w miejscu poboru próbki. Po wyselekcjonowaniu frakcji 20–60 mm, wszystkie narzutniaki zostały rozbite, w celu uzyskania świeżego

przełamu. Tak przygotowana próbka podlegała wstępnej klasyfikacji, podczas której wydzielano skały węglanowe (wapienie paleozoiczne i mezozoiczne, dolomity) oraz krzemienie. Pozostała część próbki, która stanowiła około 50% objętości próbki wyjściowej, charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem grup petrograficznych magmowych skał wylewnych i głębinowych oraz pozostałych skał osadowych. W związku z tym wymagała dalszej szczegółowej analizy petrograficznej w laboratorium.

Pracami laboratoryjnymi objęto segregację petrograficzną materiału narzutowego pochodzącego z próbek osadów nieokazujących makroskopowych cech zwietrzenia, w których nie stwierdzono zmian postdepozycyjnych. Skład petrograficzny 64 próbek żwirów średnioziarnistych (4–10 mm) analizowano mając na uwadze badania petrograficzne prowadzone w Polsce (np. Górska 2000a, b, 2002a, b, 2003a, b; Lipka 2011; badania standardowe PIG-PIB) i wynikającą z tego możliwość przeprowadzenia z nimi analiz porównawczych.

Analiza przeprowadzona została zgodnie z zaleceniami Trembaczowskiego (1961, 1967), Cepka (1969), Böse (1989) i Rutkowskiego (1995a). Z otrzymanej statystycznie reprezentatywnej populacji żwirów (co najmniej 300 sztuk) wydzielono 10 grup petrograficznych (tab. 2). Przy ich oznaczaniu, podczas którego zastosowano znane kryteria (tab. 2.4, str. 31 w: Górska 2000a) korzystano z lupy geologicznej, 10% HCl i wskaźnika Magneson I (Cepek 1969). W przypadku, kiedy po szlamowaniu próbki osadów lodowcowych uzyskano zbyt liczną populację komponentów petrograficznych, zastosowano metodę kwartowania (Rutkowski 1995b). Udział poszczególnych grup petrograficznych prezentowany na rysunkach i w tabelach podany jest każdorazowo w procentach.

Tabela 2

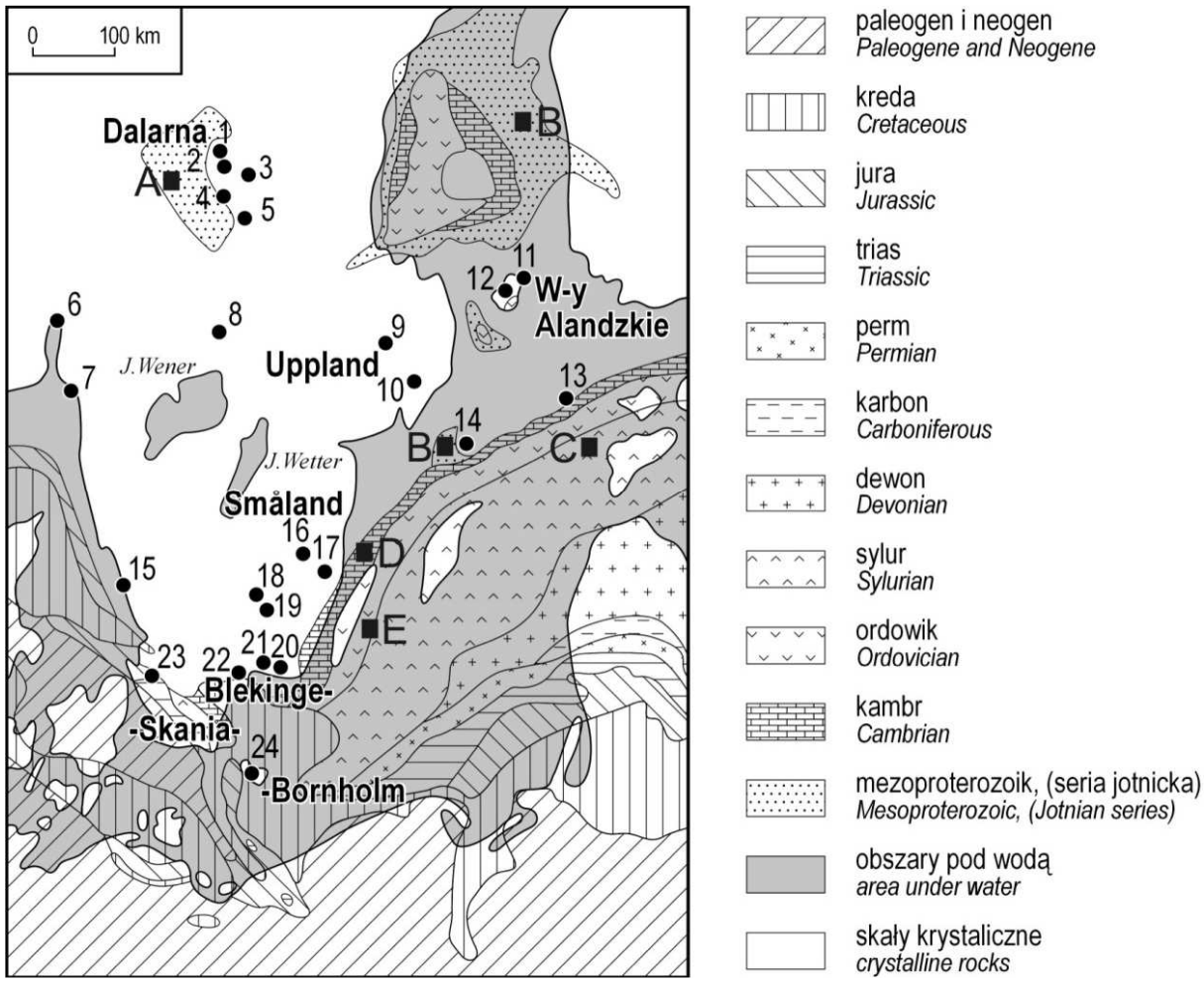
Typy petrograficzne skał oznaczane w analizach petrograficznych żwirów średnioziarnistych i gruboziarnistych osadów glacifluwialnych

Petrographical types of rock distinguished in the present study and their symbols

Symbol	Typ petrograficzny skał
Kr	skały krystaliczne
Wp_1	szare wapienie dolnopaleozoiczne
Wp_2	czerwone wapienie dolnopaleozoiczne
Wk	wapienie kredowe (mezozoiczne)
D	dolomity
Pp	piaskowce
Łp	łupki paleozoiczne
Krz	krzemienie
Q	kwarce
Qml	kwarce mleczne

Analiza petrograficzna frakcji grubożwirowej (20–60 mm) została wykonana dla 7 próbek osadów glacifluwialnych (tab. 1). Objęła ona segregację narzutniaków na 10 grup petrograficznych (tab. 2) oraz identyfikację fennoskandzkich eratyków przewodnich i wskaźnikowych (rys. 3). Po wstępnej segregacji petrograficznej narzutniaków w terenie, w laboratorium kontynuowano analizę, obejmującą całe spektrum skał fennoskandzkich. Przy oznaczaniu eratyków przewodnich postępowano zgodnie z zaleceniami metodycznymi Lüttiga (1958), Meyera (1983, 1985), Smeda (1993), Zandstry (1999) i Smeda, Ehlersa (2002). Podczas analizy posługiwano się atlasami skandynawskich eratyków przewodnich (Korn 1927; Hesemann 1975; Zandstra 1999; Smed, Ehlers 2002; Schulz 2003; Rudolph 2005; Svenson 2005). Korzystano z kolekcji skał porównawczych znajdujących się w Instytucie Geoekologii i Geoinformacji Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Na rysunku 3 przedstawiono lokalizację centralnych punktów wychodni najpowszechniejszych skał przewodnich. Te punkty oznaczono cyframi i liczbami 1–24. Na mapie, sygnaturą szrafu, ukazano również zasięg występowania wychodni najpowszechniejszych osadowych skał wskaźnikowych wraz z symbolicznym zaznaczeniem centrum obszarów macierzystych wybranych eratyków wskaźnikowych (litery A–E). Na podstawie badań fracji grubszej wyznaczono również TGZ – teoretyczne centrum głazowe.



Rys. 3. Lokalizacja wychodni eratyków przewodnich (●) i symboliczna lokalizacja wychodni eratyków wskaźnikowych (■), obecnych w osadach obszaru badań, na tle zasięgu występowania obszarów źródłowych skał osadowych

Eratyki przewodnie ●: 1 – porfir Bredvad, 2 – granit Garberg, 3 – porfiryt Grönklitt, 4 – porfir Dalarna, 5 – granit Siljan, 6 – porfir Oslo, 7 – granit Bohus, 8 – granit Filipstad, 9 – granit Uppsala, 10 – granit Stockholm, 11 – granit Åland i granit rapakivi Åland, 12 – porfir kwarcowy Åland, 13 – czerwony porfir bałtycki, 14 – brązowy porfir bałtycki, 15 – czarnokit, 16 – granit Småland, 17 – porfir Påskallavik, 18 – szary granit Växjö, 19 – czerwony granit Växjö, 20 – granit Karlshamn, 21 – granit Halen, 22 – granit Vånga, 23 – bazalt ze Skanii, 24 – granity i gnejsy z Bornholmu
Eratyki wskaźnikowe ■: A – piaskowiec Dalarna, B – piaskowiec jotnicki, C – wapień wschodnio-bałtycki, D – wapień *Paleoporella*, E – czerwony wapień ordowicki

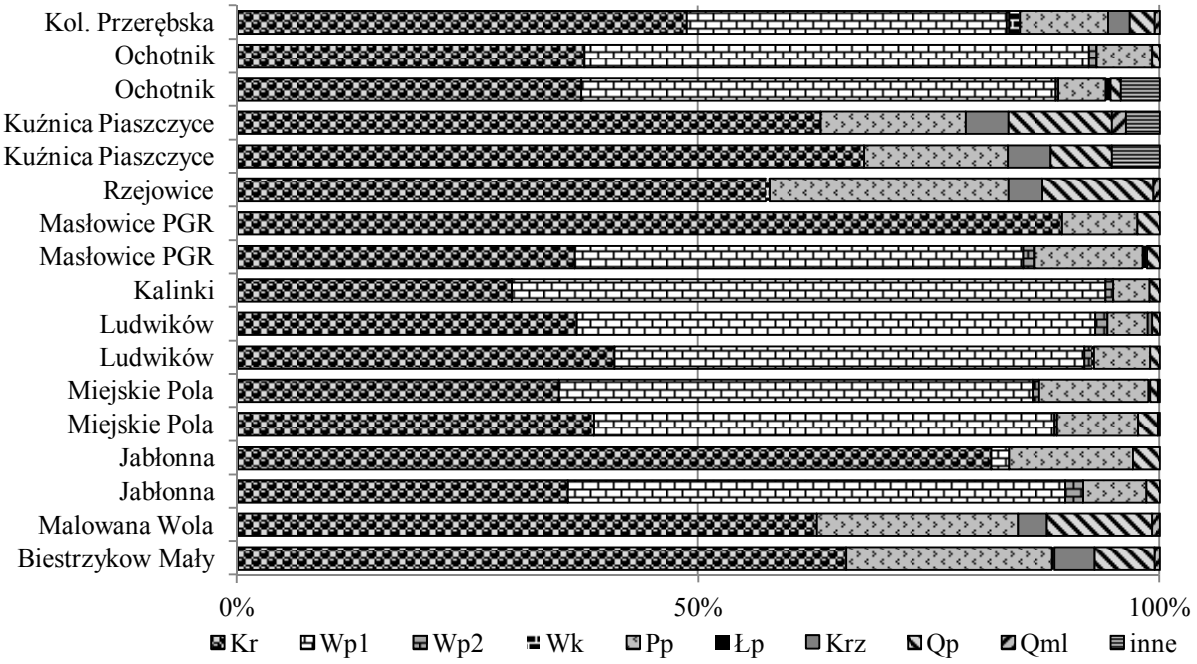
Location of the source areas of the indicator erratics (●) and symbolic location of the source areas of the statistical erratics (■), analysed in sediments of the study area, against the limits of sedimentary deposits outcrops

Indicator erratics ●: 1 – Bredvad porphyry, 2 – Garberg granite, 3 – Grönklitt porphyrite, 4 – Dalarna porphyry, 5 – Siljan granite, 6 – Oslo porphyry, 7 – Bohus granite, 8 – Filipstad granite, 9 – Uppsala granite, 10 – Stockholm granite, 11 – Åland granite and Åland rapakivi granite, 12 – Åland quartz porphyry, 13 – red Baltic porphyry, 14 – brown Baltic porphyry, 15 – charnockite, 16 – Småland granite, 17 – Påskallavik porphyry, 18 – grey Växjö granite, 19 – red Växjö granite, 20 – Karlshamn granite, 21 – Halen granite, 22 – Vånga granite, 23 – Scania basalt, 24 – granites and gneisses from Bornholm
Statistical erratics ■: A – Dalarna sandstone, B – Jotnian sandstone, C – east-Baltic limestone, D – *Palaeoporella* limestone, E – red Ordovician limestone

WYNIKI ANALIZY PETROGRAFICZNEJ FRAKCJI ŚREDNIOZIARNISTEJ

Strefa I – Wzgórza Radomszczańskie i Grzbiet Przedborski

Żwiry średnioziarniste, zbadane w siedemnastu próbkach pobranych w jedenastu stanowiskach strefy I (rys. 2, tab. 1), różnią się między sobą przede wszystkim obecnością wapieni dolnopaleozoicznych i krzemieni (rys. 4). W zachodniej części strefy (stanowiska Kuźnica Piaszczyce, Rzejowice, Malowana Woda i Biestrzyków Mały) osady tej frakcji pozbawione są wapieni dolnopaleozoicznych. W zamian znajdują się tam krzemienie (3,1–4,6%). Szarym sylurskim wapieniom towarzyszą czerwone wapienie ordowickie; zostały one zidentyfikowane w osadach północno-wschodniej części strefy (stanowiska Jabłonna, Miejskie Pola, Ludwików, Kalinki, Masłowice, Ochotnik, Huta Przerębska). Piaskowce, podobnie jak kwarce, występują w osadach wszystkich analizowanych stanowiskach. Udział procentowy tych dwóch grup pozornie zwiększa się w próbkach pozbawionych wapieni dolnopaleozoicznych – obraz większej ich liczebności jest wyłącznie efektem matematycznych obliczeń.



Rys. 4. Udział procentowy grup petrograficznych żwirów średnioziarnistych osadów fluwioglacjalnych; I strefa obszaru badań

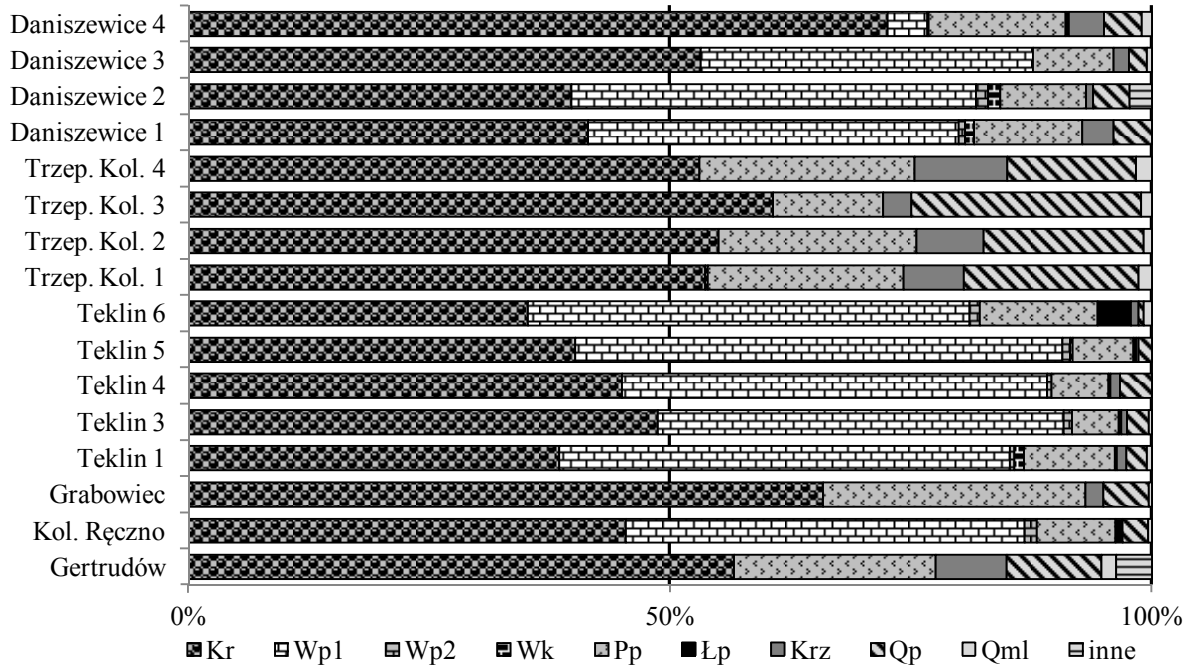
objaśnienia symboli petrograficznych w tab. 2

Percentages of the petrographical groups of the fluvioglacial gravel; zone I of search area

explanation of petrographic symbols see Tab. 2

Strefa II – Wzgórza Dobryszyckie

W strefie II pobrano 16 próbek w sześciu stanowiskach (rys. 2, tab. 1). W trzech z nich żwiry średnioziarniste pozbawione są wapieni dolnopaleozoicznych. Są to: Kolonia Trzepnica, Grabowiec i Gertrudów (rys. 5). Stanowiska znajdują się w różnych częściach omawianej strefy (rys. 2), stąd można przypuszczać, że analizowane próbki pochodzą z odwapnionej stropowej części ściany odsłonięcia. W żwirach tych próbek notuje się bardzo wysoki procentowy udział ziaren kwarcu, któremu towarzyszą ziarna kwarcu mlecznego. Na uwagę zasługują krzemienie, które obecne są we wszystkich próbkach osadów tej strefy. Ich udział jest dodatkowo statystycznie zwiększony w próbkach odwapnionych. Szarym wapieniom sylurskim zawsze towarzyszą czerwone wapienie ordowickie.



Rys. 5. Udział procentowy grup petrograficznych żwirów średnioziarnistych osadów fluwioglacjalnych; II strefa obszaru badań

objaśnienia symboli petrograficznych w tab. 2

Percentages of the petrographical groups of the fluvioglacial gravel; zone II of research area

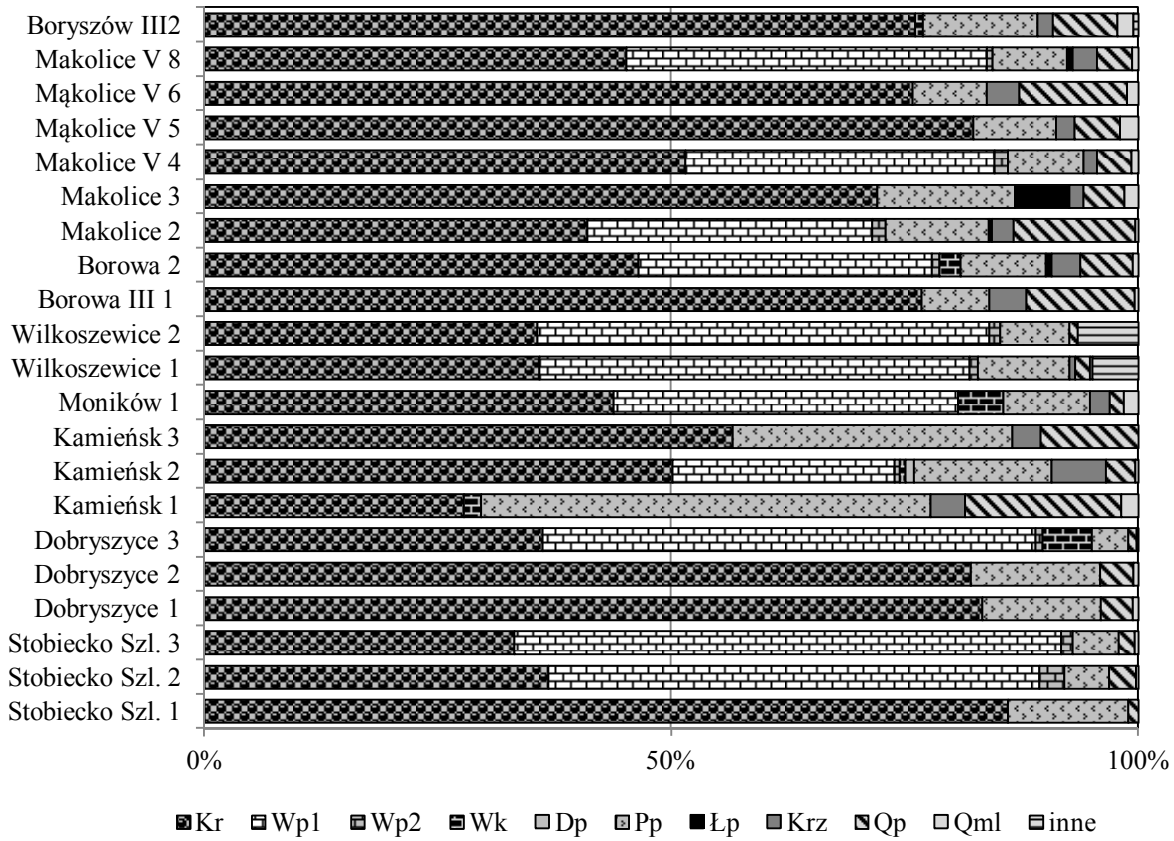
explanation of petrographic symbols see Tab. 2

Strefa III – Wysoczyzna Bełchatowska

Na Wysoczyźnie Bełchatowskiej zlokalizowano osiem stanowisk, w których pobrano 21 próbek żwirów średnioziarnistych. Na pierwszy rzut oka, w wyniku przeprowadzonych badań uzyskano dość chaotyczny obraz udziału grup petrograficznych w tych osadach. Głębsza analiza pozwala jednak wskazać pewne prawidłowości. Okazuje się bowiem, że południkowo zorientowana III strefa obszaru badań, w całym zespole skał cechuje się stopniowym, z północy na południe, zanikiem udziału krzemieni i kwarcu (rys. 6). Wśród próbek zawierających wapienie dolnopaleozoiczne, z północy na południe wzrasta nieznacznie, ale stabilnie, udział procentowy tej grupy petrograficznej. Warto odnotować fakt, że w grupie skał węglanowych zawsze obecne są czerwone wapienie ordowickie. Bardzo zróżnicowany obraz składu petrograficznego rysuje się po analizie żwirów Mąkolic. Przebadano bowiem próbki, w których zidentyfikowano wapienie paleozoiczne, ale także takie, w których nie znaleziono ani jednego okazu tej grupy petrograficznej (por. Wachecka-Kotkowska i in. 2012b, c).

Piaskowce, poza dwiema próbkami z Kamieńska, występują w stałej proporcji 10–15%, niezależnie, czy w próbce są wapienie, czy nie. Żwiry z Kamieńska są pod tym względem wyjątkowe, bo zawierają aż 48,14% piaskowców. Obraz jest na pewno nieco mylący, bo wynika z matematycznych przeliczeń, ale warto odnotować fakt, że w próbce tej zidentyfikowano najwięcej piaskowców spośród wszystkich 59 próbek badanego obszaru.

Podczas analizy zwrócono także uwagę na obecność kruchych wapieni kredowych w trzech, centralnie położonych w III strefie stanowiskach: Borowa, Kamieńsk i Dobryszyce. Dla porządku należy dodać, że wapienie kredowe były identyfikowane też w pozostałych strefach, jednak bardzo sporadycznie i w ilościach nieprzekraczających lub wahających się wokół 1%. Krzemienie zidentyfikowano przede wszystkim w osadach Kamieńska, Borowej i Mąkolic. Ten typ petrograficzny obecny był we wszystkich pobranych tam do analizy próbkach.



Rys. 6. Udział procentowy grup petrograficznych żwirów średnioziarnistych osadów fluwioglacjalnych; III strefa obszaru badań

objaśnienia symboli petrograficznych w tab. 2

Percentages of the petrographical groups of the fluvioglacial gravel; zone III of research area

explanation of petrographic symbols see Tab. 2

Strefa IV – Równina Piotrkowska

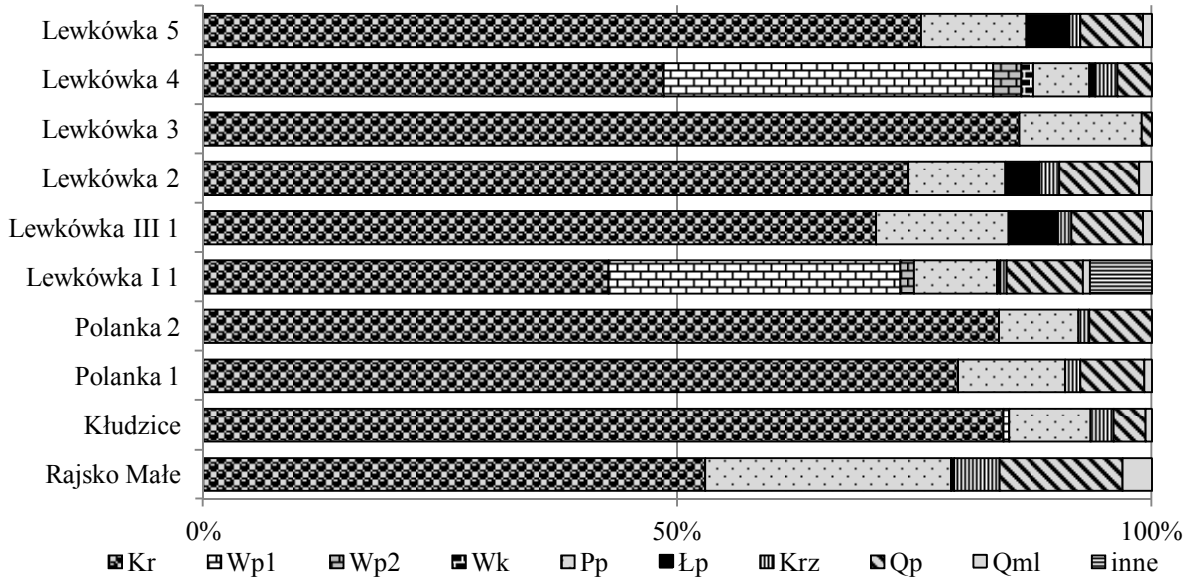
Zbadane w dziesięciu próbkach z czterech stanowisk żwiry średnioziarniste Równiny Piotrkowskiej (rys. 2, tab. 1), charakteryzują się w zasadzie brakiem skał węglanowych, poza dwiema próbkami z Lewkówki (rys. 7). Żwiry w Lewkówce są wyjątkowe jeszcze z innego powodu – w pięciu na sześć próbek znaleziono łupki paleozoiczne (0,4–5,2%).

Dominującą grupą petrograficzną osadów IV strefy, identyfikowaną w żwirach średnioziarnistych, są skały krystaliczne. Udział procentowy piaskowców mieści się w przedziale 6–25%. Liczną grupę stanowią też ziarna kwarcu, obecne we wszystkich przeanalizowanych próbkach osadu. Na uwagę zasługuje obecność krzemieni w 9 z 10 próbek.

Przeprowadzone badania wykazały różniący się w niewielkim stopniu udział procentowy typów petrograficznych fluwioglacjalnych żwirów średnioziarnistych w poszczególnych strefach. Głównymi typami petrograficznymi są skały krystaliczne oraz, jeśli próbka reprezentuje osad niezwietrzały, wapienie dolnopaleozoiczne.

Szarym wapieniom sylurskim, o wychodniach w dnie środkowego Bałtyku, z reguły towarzyszą czerwone wapienie ordowickie, pochodzące z zachodniej części akwenu morskiego, tj. z dna morskiego w okolicach Wyspy Olandii (rys. 3).

Udział piaskowców w 62 próbkach żwirów średnioziarnistych jest stabilny. Jedynie w Kamieńsku (strefa III) zanotowano ponadprzeciętny, bo sięgający 48,1% udział tych skał. Ta wartość jest z pewnością sztucznie zawyżona z racji matematycznych obliczeń procentowego udziału żwirów pozbawionych wapieni dolnopaleozoicznych. Niemniej, próbek odwapnionych przeanalizowano więcej i w żadnej tego typu nie stwierdzono tak wyraźnie odbiegającego od normy udziału piaskowców.



Rys. 7. Udział procentowy grup petrograficznych żwirów średnioziarnistych osadów fluwioglacjalnych; IV strefa obszaru badań

objaśnienia symboli petrograficznych w tab. 2

Percentages of the petrographical groups of the fluvioglacial gravel; zone IV of research area

explanation of petrographic symbols see Tab. 2

Spośród skał, których przeciętnych udział nie przekracza 5%, na uwagę zasługują krzemienie i łupki paleozoiczne (tab. 3). Najwięcej krzemieni zidentyfikowano w żwirach strefy II (Wzgórza Dobryszyckie), tj. ok. 2,99%. W pozostałych strefach, przeciętnych procentowy udział tych skał oscylował między 1,36% a 1,78%. Inaczej rozkłada się przeciętnych udział procentowy łupków paleozoicznych. Najwięcej (1,46%) stwierdzono ich w próbkach żwirów IV strefy (Równina Piotrkowska). Żwiry II i III strefy są pod względem udziału procentowego tych skał bardzo do siebie podobne (0,34–0,35%). Udział procentowy łupków paleozoicznych w żwirach średnioziarnistych I strefy form glacigenicznych to zaledwie 0,09%.

Tabela 3

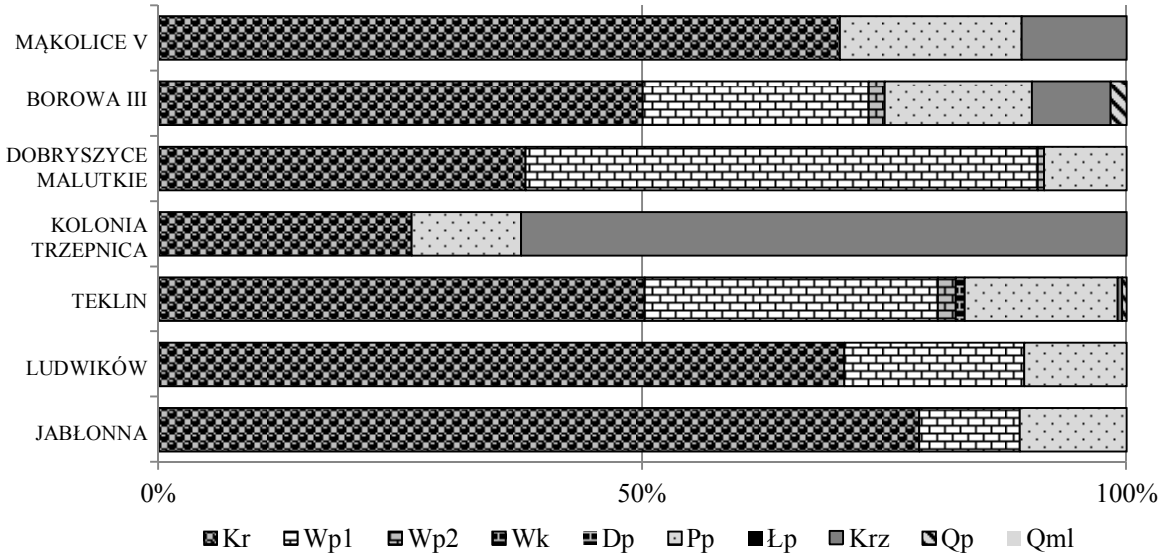
Przeciętny procentowy udział małoliczebnych krzemieni i łupków paleozoicznych w żwirach średnioziarnistych 5–10 mm obszaru badań (objaśnienia w tab. 2)

Average percentages of less numerous flints and Paleozoic slates in medium coarse gravels from the study area (for explanation see Tab. 2)

Strefa	Zawartość	
	Krzemienie średnia [%]	Łupki paleozoiczne średnia [%]
I	1,36	0,09
II	2,99	0,34
III	1,77	0,35
IV	1,78	1,46

WYNIKI ANALIZY PETROGRAFICZNEJ FRAKCJI GRUBOZIARNISTEJ

Wyniki analizy petrograficznej frakcji grubożwirowej (20–60 mm) przedstawiono dla trzech stref glacigenicznych I–III na rysunku 8.



Rys. 8. Udział procentowy grup petrograficznych żwirów gruboziarnistych osadów fluwioglacjalnych stadiału warty obszaru badań

I strefa – Jabłonna, Ludwików, II strefa – Teklin, Kolonia Trzepnica, III strefa – Dobryszyce, Borowa, Mąkolice; objaśnienia symboli petrograficznych w tab. 2

Percentages of the petrographical groups of the fluvioglacial gravel in study area

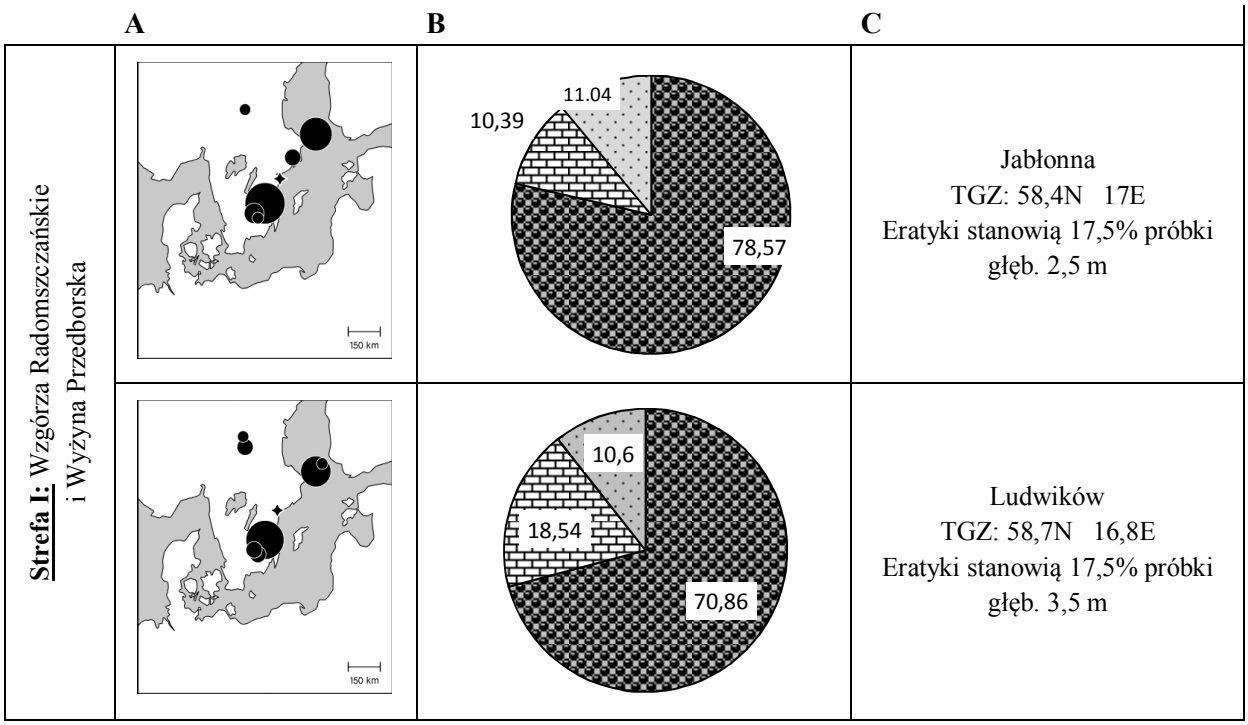
zone I – Jabłonna, Ludwików, zone II – Teklin, Kolonia Trzepnica, zone III – Dobryszyce, Borowa, Mąkolice; explanation of petrographic symbols see Tab. 2

Strefa I – Wzgórza Radomszczańskie i Grzbiet Przedborski

Żwiry strefy I, w Ludwikowie (w stożku glacimarginalnym) i Jabłonnie (w sandrze), cechuje bardzo podobny skład i udział procentowy typów petrograficznych (rys. 8, 9). Ponad 70% próbki stanowią skały krystaliczne, udział wapieni dolnopaleozoicznych mieści się w przedziale ok. 10–18%; najmniejszą, ale w obu próbkach prawie identyczną, ilość zajmują piaskowce (ok. 11%).

W grupie eratyków przewodnich, które stanowią aż 17,5% całej próbki żwirów gruboziarnistych, dominują skały ze Småland (rys. 8, 9). Są to granity Småland oraz szare i czerwone granity Växjö. Z wychodni na Wyspach Alandzkich pochodzą liczne alandzkie porfiry kwarcowe. Kilka skał pochodzi z Dalarny. W próbce w Jabłonnej udało się także zidentyfikować dwa egzemplarze granitu Stockholm z Uppland. Teoretyczne centra głazowe obu próbek mieszczą się w bardzo bliskim sąsiedztwie (rys. 9): TGZ Jabłonna: 58,4° N i 17° E, TGZ Ludwików: 58,7° N i 16,8° E.

Jeśli uwzględnić bardzo duży udział skał krystalicznych i niewielki skał węglanowych w próbkach żwirów I strefy, to można przypuszczać, że masa lodu, jaka dotarła po południowy skraj obszaru badań, musiała przemieszczać się głównie po wychodniach tarczy bałtyckiej, tj. po południowo-wschodniej części dzisiejszej Szwecji. Obecne w próbce wapienie i piaskowce to skały, które mogły zostać inkorporowane przez lądolód z dna zachodniej części środkowego Bałtyku, w okolicach wysp Olandii i Gotlandii. Lądolód ominął wychodnie Skanii, Blekinge i Bornholmu, względnie nie miał tam zdolności inkorporacyjnych.



Rys. 9. Wyniki poszerzonej analizy petrograficznej żwirów gruboziarnistych I strefy

A – pochodzenie eratyków przewodnich z zaznaczoną lokalizacją TGZ, B – udział procentowy typów petrograficznych żwirów gruboziarnistych (por. rys. 8), C – informacje dodatkowe

Extended petrographical analysis of the coarse gravel from zone I

A – source areas of the indicator erratics with locations of the TGZ=TSC (theoretical stone centre), B – percentages of the various petrographical types of the coarse (20–60 mm) gravel (compare Fig. 8), C – additional information

Strefa II – Wzgórza Dobryszyckie

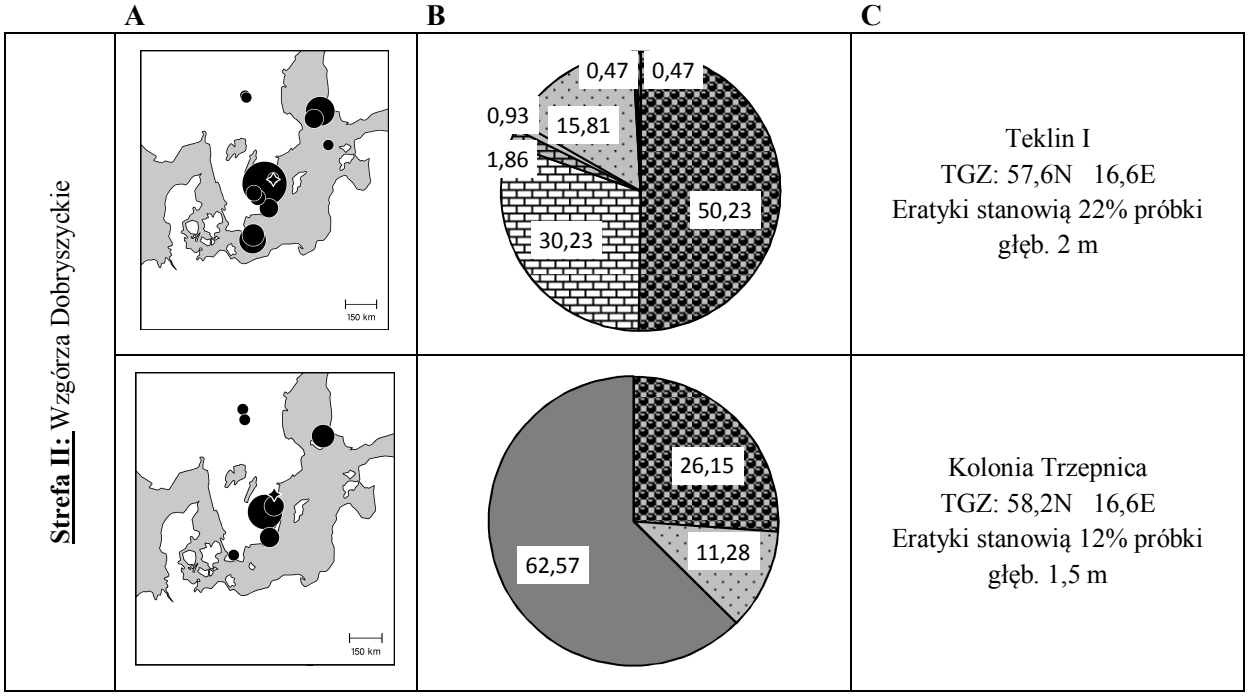
Skład petrograficzny żwirów gruboziarnistych II strefy jest zróżnicowany (rys. 8, 10). Podczas gdy w osadach z Teklina stwierdzono typowy skład i udział procentowy typów petrograficznych, to w nieodległej Kolonii Trzepnica osady pod względem składu petrograficznego odbiegają wyraźnie od normy. Przede wszystkim wśród żwirów tej ostatniej nie zidentyfikowano ani jednego egzemplarza skały węglanowej. Ponieważ nie stwierdzono tych skał również we frakcji średniożwirowej, należy sądzić, że materiał do analizy pobrano ze strefy odwapnionej. Być może pochodzi ona z podłoża paleogeńskiego, zbudowanego z rumoszu skalnego i zwietrzałych glin (por. Wachecka-Kotkowska 2004). Główny udział w próbce mają krzemienie (ok. 63%). Ponadto stwierdzono nieco powyżej 26% skał krystalicznych oraz ok. 11% piaskowców. W przypadku próbki z Teklina, połowę żwirów gruboziarnistych stanowią skały krystaliczne, 30% jest wapieni dolnopaleozoicznych, a 16% – piaskowców. Warto odnotować fakt, że w próbce znaleziono śladowe ilości: czerwonych wapieni ordowickich, kruchych i niezwykle rzadko identyfikowanych w tej frakcji wapieni kredowych oraz krzemieni i kwarcu.

Podsumowując należy stwierdzić, że te dwa sąsiadujące ze sobą stanowiska różni ilościowo udział krzemieni. Biorąc pod uwagę fakt, że krzemienie występują we frakcji żwirów średnioziarnistych w ponadprzeciętnej ilości, należy domniemywać, że osady w Kolonii Trzepnica zostały wzbogacone w te skały lokalną wychodnią głębszego podłoża. Być może wspomniane wcześniej zwietrzałe podłoże paleogeńskie, pozbawione skał węglanowych, jest wzbogacone w odporne na niszczenie krzemienie.

W obu próbkach zidentyfikowano przede wszystkim eratyki z wychodni w południowowschodniej Szwecji: krystaliczne granity Småland i Växjö oraz osadowe kwarcyty Västervik oraz piaskowce Tessini i Kalmarsund. Wśród żwirów są także narzutniaki z Wysp Alandzkich oraz kilka egzemplarzy eratyków z Dalarna w środkowej Szwecji. W próbkach stwierdzono także obecność eratyków krystalicznych i osa-

dowych ze Skanii i Bornholmu, a więc z południowych wychodni skandynawskich.

Teoretyczne centra głazowe obu próbek leżą na tej samej długości geograficznej, tj. 16,6° E (rys. 10). Różnica w szerokości geograficznej obu TGZ to zaledwie 0,6 stopnia: φ Teklin I: 57,6° N, φ Kolonia Trzepnica 58,2° N (rys. 10). Eratyki przewodnie stanowią 12% (Kolonia Trzepnica) i 22% (Teklin I) wszystkich badanych żwirów 20–60 mm. Wydaje się, że masa lodu, która dotarła do Teklina, musiała przemieszczać się rynną Bałtyku i wschodnim skrajem dzisiejszej Szwecji – wskazują na to eratyki, których wychodnie tam się właśnie znajdują.



Rys. 10. Wyniki poszerzonej analizy petrograficznej żwirów gruboziarnistych II strefy

A – pochodzenie eratyków przewodnich z zaznaczoną lokalizacją TGZ, B – udział procentowy typów petrograficznych żwirów gruboziarnistych (porównaj rys. 8), C – informacje dodatkowe

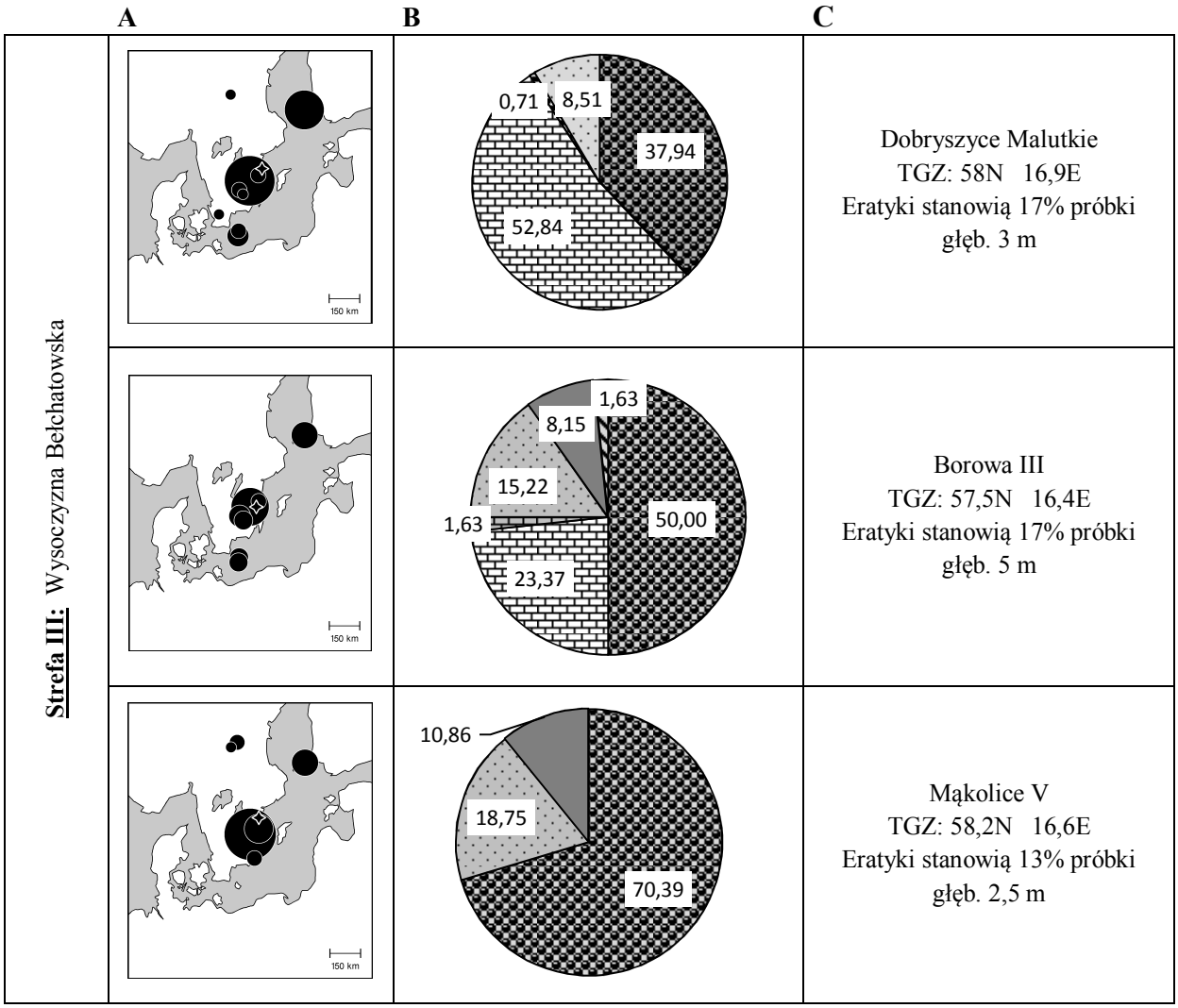
Extended petrographical analysis of the coarse gravel from zone II

A – source areas of the indicator erratics with locations of the TGZ=TSC (theoretical stone centre), B – percentages of the various petrographical types of the coarse (20–60 mm) gravel (compare Fig. 8), C – additional information

Osad, z którego pochodzi analizowana próbka z Kolonii Trzepnica, został wzbogacony w krzemienne skały lokalne. Brak wapieni wskazywać może na pobór materiału do analiz ze strefy zwietrzałej, względnie dowodzić, że zindywidualizowany strumień lodowy nie przemieszczał się po dnie ówczesnego Bałtyku, a wyłącznie po wychodniach krystalicznych tarczy bałtyckiej.

Strefa III – Wysoczyzna Bełchatowska

Badania wykonano w obębie pagóra moreny czołowej (Dobryszyce Malutkie), kemu (Borowa III) oraz moreny martwego lodu (Mąkolice V). Analiza petrograficzna żwirów gruboziarnistych wykazała, że trzy próbki różnią się miedzy sobą obecnością wapieni dolnopaleozoicznych i krzemieni (rys. 8, 11). W próbce z Dobryszyc dominują łącznie, z ponad 50% udziałem, szare wapienie sylurskie i czerwone wapienie ordowickie. Około 38% stanowią skały krystaliczne, a resztę, tj. 8,5% – piaskowce. W Borowej reprezentowane są również inne grupy petrograficzne. Obok skał krystalicznych (50%), wapieni dolnopaleozoicznych (25%, w tym czerwonych ordowickich) i piaskowców (15%), w próbce stwierdzono obecność krzemieni i kwarcu. Natomiast w próbce z Mąkolic zidentyfikowano tylko trzy typy petrograficzne: skały krystaliczne (ponad 70%), piaskowce (ok. 19%) i krzemienie (ok. 11%).



Rys. 11. Wyniki poszerzonej analizy petrograficznej żwirów gruboziarnistych III strefy

A – pochodzenie eratyków przewodnich z zaznaczoną lokalizacją TGZ, B – udział procentowy typów petrograficznych żwirów gruboziarnistych (porównaj rys. 8), C – informacje dodatkowe

Extended petrographical analysis of the coarse gravel from zone III

A – source areas of the indicator erratics with locations of the TGZ=TSC (theoretical stone centre), B – percentages of the various petrographical types of the coarse (20–60 mm) gravel (compare Fig. 8), C – additional information

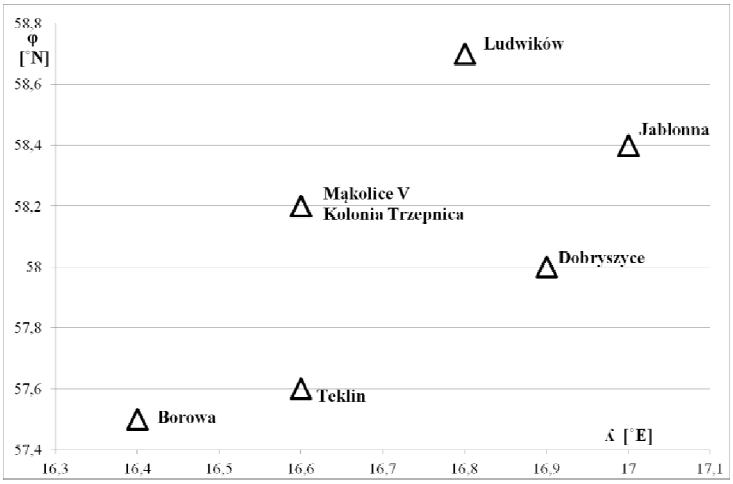
Na podstawie wyników analizy petrograficznej żwirów gruboziarnistych, można pokusić się o wskazanie pewnej tendencji: w miarę przesuwania się z południa na północ maleje w ich składzie udział procentowy wapieni dolnopaleozoicznych, a wzrasta skał krystalicznych i krzemieni.

We wszystkich trzech próbkach stwierdzono, że najbardziej reprezentowane są wychodnie południowo-wschodniej Szwecji. Z tamtego regionu pochodzą bowiem skały krystaliczne: granity Småland i Växjö oraz skały osadowe: kwarcyty Västervik i piaskowce Tessini. W każdej z próbek zidentyfikowano narzutniaki z Wysp Alandzkich. Były to główne granity, ale także rapakivi alandzkie. W Dobryszycach i Borowej, gdzie stwierdzono obecność wapieni dolnopaleozoicznych, znaleziono pojedyncze skały z Bornholmu, a w Dobryszycach i Mąkolicach – z Dararny.

Współrzędne geograficzne teoretycznych centrów głazowych różnią się: TGZ Dobryszyce Małe: 58 N i 16,9 E; TGZ Borowa Góra: 57,5° N i 16,4° E; TGZ Mąkolice V: 58,2° N i 16,6° E (rys. 11, 12). Udział eratyków przewodnich w próbkach

żwirów gruboziarnistych wahał się między 13% a 17%.

Masa lodu, jaka dotarła do dzisiejszych stanowisk Dobryszyce i Borowa, musiała przemieszczać się po wychodniach Bałtyku. Jeden egzemplarz porfiru Dalarna wśród żwirów w Dobryszycach nie wnosi żadnej istotnej informacji w tej kwestii. Z kolei, z jednej strony brak wapieni dolnopaleozoicznych i granitów bornholmskich, a z drugiej – obecność krzemieni i narzutniaków z Dararna może sugerować wędrówkę docierającego do Mąkolic lądolodu po wychodniach magmowych dzisiejszej Szwecji.



Stanowisko	dług. geogr. (°E)	szer. geogr. (°N)
Jabłonna	17	58,4
Ludwików	16,8	58,7
Teklin	16,6	57,6
Kol. Trzepnica	16,6	58,2
Dobryszyce	16,9	58
Borowa III	16,4	57,5
Mąkolice V	16,6	58,2

Rys. 12. Współrzędne geograficzne i położenie teoretycznych centrów głazowych (TZG) próbek żwirów gruboziarnistych obszaru badań

Geographical co-ordinates and location of the theoretical erratic centres (TSC) of the samples of the coarse (20–60 mm) gravel from the study area

PODSUMOWANIE

Na obrzeżeniu Niżu i Wyżyn Polskich, przebadano osady fluwioglacjalne pod kątem cech petrograficznych frakcji średniożwirowej (4–10 mm; 63 próbek) i grubożwirowej (20–60 mm; 7 próbek). Analizę petrograficzną 7 próbek żwirów gruboziarnistych poszerzono o identyfikację eratyków przewodnich i statystycznych.

Przeprowadzone badania wykazały, że formy marginalne występujące na obszarze badań są zbudowane z osadów o podobnych cechach petrograficznych. Istniejące między nimi zróżnicowanie, wyrażane w różnym procentowym udziale tych samych typów petrograficznych między próbkami, wiąże się z badaną frakcją oraz miejscem poboru próbek.

Dwiema podstawowymi grupami petrograficznymi identyfikowanymi w grupie żwirów średnioziarnistych są wapienie dolnopaleozoiczne i skały krystaliczne. Jeśli w próbce są reprezentowane wapienie, to ich udział procentowy zasadniczo przewyższa udział procentowy skał krystalicznych. Wyjątkiem są osady w Mąkolicach i Lewkówce. Jeśli natomiast próbkę pobrano w strefie wymycia/zwietrzałej, to wapienie w próbce są nieobecne.

We frakcji grubożwirowej w stosunku do średniożwirowej, podobnie jak wykazały inne badania autorki (Górska 2000a), ilość wapieni zmniejsza się, a skał krystalicznych wzrasta. Ta typowa tendencja jest efektem cech fizycznych skał.

Trzecią pod względem liczebności grupą petrograficzną są piaskowce. Są one obecne w każdej próbce obu frakcji. Ich ilość na wykresach wydaje się być różna.

Kolejną grupą petrograficzną stwierdzoną w badanych próbkach osadów wolnolodowcowych są kwarce. Powszechna obecność kwarcu w tego typu osadach nie dziwi – typowy fluwioglacjał jest bowiem wzbogacony w te „twarde" komponenty petrograficzne (Haldorsen 1982; Böse 1989; Górska 2000a). Udział procentowy kwarcu zmniejsza się wyraźnie, a nawet zanika wśród żwirów gruboziarnistych, co jest typowe dla tej grupy petrograficznej (np. Schulz 1973).

Haldorsen (1982) i Böse (1989) twierdziły dodatkowo, że także obecność krzemieni jest cechą charakterystyczną dla osadów wodnolodowcowych. Krzemienie są obecne w osadach wszystkich stref obszaru badań, przy czym największy ich odsetek (przeciętnie ok. 3%) stwierdzono w strefie II – Wzgórzach Dobryszyckich. W pozostałych strefach udział krzemieni waha się między 1,4% a 1,8%. Krzemienie są obecne także w czterech próbkach żwirów gruboziarnistych. Ponadprzeciętna ilość tej grupy petrograficznej w osadzie z Kolonii Trzepnica moglaby być następstwem wzbogacenia w ten komponent w jakiejś niedalekiej, lokalnej wychodni.

W żwirach średnioziarnistych wszystkich czterech stref znajdują się miękkie i kruche łupki paleozoiczne. Ich przeciętny udział jest różny, wielokrotnie większy na północy (strefa IV – Równina Piotrkowska) niż na południu obszaru badań (strefa I – Wzgórza Radomszczańskie i Grzbiet Przedborski) (tab. 3). Może to być wyjaśnione przez fakt, że obecność łupków w materiale wodnolodowcowym na pograniczu Nizin i Wyżyn Polskich raczej trudno wiązać ze skandynawskim źródłem. Miękkie łupki paleozoiczne ulegają całkowitemu roztarciu w kilka-, kilkanaście kilometrów od źródła pochodzenia (np. Lilliesköld 1990). Erozję tych skał przyspiesza także wysokoenergetyczne środowisko wód lodowcowych. Skoro więc łupki są w badanym osadzie, musi być inne źródło ich pochodzenia. Mogłaby nim być lokalna wychodnia w niedalekiej odległości od obszaru badań. Być może znajdowała się ona w bezpośrednim sąsiedztwie strefy IV – Równiny Piotrkowskiej, w osadach której zidentyfikowano największą przeciętną ilość tych skał. Łupków paleozoicznych nie zidentyfikowano w grupie żwirów gruboziarnistych.

Rozpatrując wyniki analizy eratyków przewodnich i wskaźnikowych można zauważyć, że główny strumień lądolodu warciańskiego, który odłożył osad w południowej części obszaru badań, musiał przemieszczać się zarówno po zachodniej części dna Bałtyku, począwszy od wychodni w okolicy Wysp Alandzkich, jak i wzdłuż wschodniego wybrzeża dzisiejszej południowej Szwecji.

Osady Wzgórz Dobryszyckich zostały przywleczone przez ten sam strumień glacjalny; świadczą o tym eratyki przewodnie z Teklina, głównie skały pochodzące z dna Bałtyku, takie jak: czerwony porfir bałtycki, granity z Bornholmu, piaskowce Tessini, a także eratyki wskaźnikowe: bałtyckie piaskowce jotnickie, wapienie sylurskie i ordowickie.

Lądolód, który zdeponował osady w strefie III musiał przemieszczać się po bałtyckich wychodniach wapieni dolnopaleozoicznych i wychodniach skał krystalicznych wschodniej części południowej Szwecji. Zbliżając się do miejsca depozycji w Borowej i Mąkolicach, strumień glacjalny poruszał się po lokalnych wychodniach krzemieni, bo żwiry tych stanowisk są wzbogacone w te skały. Dodatkowo osady w Mąkolicach reprezentują wysoki stan zwietrzenia, ponieważ nie stwierdzono w próbkach skał węglanowych.

Należy podkreślić, że po raz pierwszy na pograniczu Niżu i Wyżyn Środkowopolskich zastosowano w badaniach osadów fluwioglacjalnych analizy mające na celu identyfikację skał skandynawskich. Były to analizy petrograficzne frakcji średniożwirowej (4–10 mm) i frakcji grubożwirowej (20–60 mm). Frakcja grubożwirowa została z kolei poddana analizie identyfikacji przewodnich i wskaźnikowych eratyków skandynawskich. Wyniki analizy eratyków przewodnich posłużyły wyliczeniu teoretycznego centrum głazowego. W efekcie otrzymano szczegółowy obraz osadów strefy marginalnej ostatniego lądolodu w środkowej Polsce w kontekście ich cech petrograficznych. Jest to największy walor przeprowadzonych badań.

W świetle przeprowadzonych kompleksowych analiz skład petrograficzny wskazuje na duże podobieństwo badanych osadów w obu frakcjach (4–10 mm i 20–60 mm) we wszystkich czterech strefach obszaru badań między Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedborzem. Potwierdza to także TZG, które lokuje się w wąskim przedziale, określonym współrzędnymi geograficznymi: 16,4–17,0° E oraz 57,5–58,7° N. Na tej podstawie istnieją przesłanki do stwierdzenia, że badany obszar znalazł się w zasięgu tego samego strumienia glacjalnego, zasilanego materiałem petrograficznym, który miał wychodnie na terenie dzisiejszej południowowschodniej Szwecji oraz zachodniej części środkowego Bałtyku. Tym samym można przyjąć, że w całym badanym obszarze były to osady związane z lądolodem warty. Jest to dowód istnienia lobu Pilicy-Luciąży, co przeczy istnieniu strefy interlobalnej, ekstraglacjalnej lądolodu warty między lobem zachodnim Widawki i wschodnim – Rawki.

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 glacjalnych pogranicza Niżu i Wyżyn środkowej Polski*”.

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

LITERATURA

Böse M. 1979. „Die geomorphologische Entwicklung im westlichen Berlin nach neueren stratigraphischen Untersuchungen“. *Berliner Geographische Abhandlungen* 28: 1-43.

Böse M. 1983. „Zum Aufbau der Sedimente im Berliner Urstromtal nach Kiesanalysen von Geschiebemergeln“. *Zeitschrift für Geomorphologie* NF 27 (2): 139-145.

Böse M. 1989. „Methodisch-stratigraphische Studien und paläomorphologische Untersuchungen zum Pleistozän südlich der Ostsee“. *Berliner Geographische Abhandlungen* 51: 1-114.

Böse M., M. Górska. 1995. „Lithostratigraphical studies in the outcrop at Ujście, Toruń-Eberswalde Pradolina, western Poland”. *Eiszeitalter und Gegenwart* 45: 1-14.

Cepek G. 1962. „Zur Grundmoränenstratigraphie in Brandenburg”. *Berichte der Deutschen Gesellschaft für Geologische Wissenschaften*, Serie B, 7 (2): 275-278.

Cepek A.G. 1969. „Zur Bestimmung und stratigraphischen Bedeutung der Dolomitgeschiebe in den Grundmoränen im Nordteil der DDR”. *Geologie* 18 (6): 657-673.

Cepek A.G. 1973. „Zur stratigraphischen Interpretation des Quartärs der Stoltera bei Warnemünde nach neuen Geschiebeanalysen”. *Zeitschrift für Geologische Wissenschaften*, 1 (9): 1155-1171.

Cepek A.G., 1975. „Zur Stratigraphie des Quartärs in den Kliffprofilen nördlich Saßnitz/Rügen”. *Wiss. Zeitschr. d. Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald* 24 (3/4): 171-174.

Cepek A.G. 1981. „Drei Interglaziale in einer mittelbis jungpleistozänen Schichtenfolge östlich von Berlin”. *Zeitschrift für Angewandte Geologie* 27 (9): 397-405.

Czerwonka J.A. 1998. „Litostratygrafia glin lodowcowych: uwagi metodyczne”. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 385: 113-126.

Czerwonka J.A., D. Krzyszkowski. 1994. „Pleistocene stratigraphy and till petrography of the central Great Poland Lowland”. *Folia Quaternaria* 65: 7-71.

Czubla P. 2001. Eratyki fennoskandzkie w Polsce Środkowej i ich znaczenie stratygraficzne. *Acta Geographica Lodziensia* 80.

Gałązka D. 2004. Zastosowanie makroskopowych badań eratyków do określenia stratygrafii glin lodowcowych środkowej i północnej Polski. Maszynopis pracy doktorskiej. Warszawa: Archiwum Wydziału Geologii UW.

Górska M. 1998. „Zalety i wady analiz petrograficznych osadów lodowcowych”. *Główne kierunki badań geomorfologicznych w Polsce - stan aktualny i perspektywy. Referaty i komunikaty.* IV Zjazd Geomorfologów Polskich. Lublin 3-6 czerwca 1998: 275-289.

Górska M. 1999. „Advantages and disadvantages of petrographical analyses of glacial sediments”. *Kwartalnik Geologiczny* 43 (2): 241-250.

Górska M. 2000a. „Wybrane właściwości petrograficzne vistuliańskich moren dennych środkowej i zachodniej Wielkopolski oraz ich znaczenia dla oceny dynamiki ostatniego lądolodu”. *Prace PTPN* 26: 1-145.

Górska M. 2000b. „Petrografia osadów lodowcowych w południowej Wielkopolsce (Włoszakowice)”. *Przegląd Geologiczny* 48(4): 364-367.

Górska M. 2000c. „Narzutniaki skandynawskie – metodyka badań i interpretacja. Analiza eratyków ze stanowiska w Koczerach koło Drohiczyna”. *Warsztaty terenowe „Osady, struktury deformacyjne i formy warciańskiej strefy glacjomarginalnej na Nizinie Podlaskiej.”* Lublin - Mielnik, 25-29.09.2000: 67-72.

Górska M. 2001. „Petrografia glin morenowych w Wielkopolsce”. Poznań: Wydawnictwo UAM, seria *Geografia* 64: 149-173.

Górska M. 2002a. „Petrographie von uckermärkischen Geschieben”. *Geologische Brandenburgische Beiträge* 3: 35-47.

Górska M. 2002b. „Petrografia osadów akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej Pojezierza Drawskiego”. *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią,* Seria A, 53: 29-42.

Górska M. 2003a. „Analiza petrograficzna narzutniaków skandynawskich”. W *Analizy sedymentologiczne osadów glacigenicznych,* Lublin: 23-31.Wydawnictwo UMCS.

Górska M. 2003b. „Nowe znalezisko porfiru rombowego z Oslo na terenie północno-zachodniej Polski". *Przegląd Geologiczny* 51 (7): 580-585.

Górska M. 2006. „Narzutniaki przewodnie z Sobolewa (sandr suwalsko-augustowski)". *Prace Komisji Paleogeografii Czwartorzędu PAU* 3 (2005): 209-212.

Górska-Zabielska M. 2010. „Analiza petrograficzna osadów glacjalnych – zarys problematyki". *Landform Analysis* 12: 48-69.

Górska-Zabielska M., L. Wachecka-Kotkowska. 2010. Cechy petrograficzne osadów glacigenicznych budujących powierzchnię Wysoczyzny Bełchatowskiej, Równiny Piotrkowskiej i Wzgórz Radomszczańskich - wyniki wstępne. W *Dynamika zaniku lądolodu podczas fazy pomorskiej w NE części Mazur*. XVII Konferencja „Stratygrafia Plejstocenu Polski", Jeziorowskie, 6-10.09.2010, 58-63. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy.

Górska-Zabielska M., L. Wachecka-Kotkowska. 2014. „Petrographical analysis of Warthian fluvioglacial gravels as a tool to trace the source area – a case study from central Poland". *Geologos* 20, 3: 183-199.

Górska-Zabielska M., Zabielski R. 2010. „Petrographic analysis and indicator erratics of gravels of the Odra Lobe". *Studia Quaternaria* 27: 17–25

Górska-Zabielska M., R. Zabielski. 2011. „Kleinkieszählung und Leitgeschiebe des Oder Lobus". *Zeitschrift für Geomorphologie* 55 (4): 493-513.

Haldorsen S. 1982. „The enrichment of quartz in tills". W *Till and Related Deposits*. Proceedings of the INQUA-Symposia on the Genesis and Lithology of Quaternary Deposits (USA 1981, Argentina 1982): 141-150.

Hesemann J. 1975. „Kristalline Geschiebe der nordischen Vereisungen". Krefeld: Geologisches Landesamt Nordrhein-Westphalen.

Kasprzak L. 1988. „Dyferencjacja mechanizmów formowania stref marginalnych faz leszczyńskiej i poznańskiej ostatniego zlodowacenia na Nizinie Wielkopolskiej". *Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN* 5–6: 1-159.

Kasprzak L. 1997. „Main lithofacial complexes of the Sława Śląska ice lobe (Vistulian glaciation, Great Poland Lowland)". *Quaternary Studies in Poland* 14: 17-39.

Kasprzak L. 2003. Model sedymentacji lądolodu vistuliańskiego na Nizinie Wielkopolskiej. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM.

Kasprzak L., S. Kozarski. 1984. Analiza facjalna osadów strefy marginalnej fazy poznańskiej ostatniego zlodowacenia w środkowej Wielkopolsce. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM, seria *Geografia* 29.

Kenig K. 1991. Litostratygrafia poziomów glin morenowych w profilach wiertniczych Pojezierza Suwalskiego. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM, seria *Geografia* 50.

Kenig K. 1998a. „Petrograficzne podstawy stratygrafii glin morenowych Polski północno-wschodniej". *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 380: 1-99.

Kenig K. 1998b. Nowe ujęcie petrograficznych podstaw stratygrafii glin morenowych w Polsce północno-wschodniej. W *Nowe jednostki stratygraficzne Pojezierza Mazurskiego*. V Konferencja „Stratygrafia Plejstocenu Polski". Iznota, 1-4.09.1998: 10-11.

Korn J. 1927. „Die wichtigste Leitgeschiebe der nordischen kristallinen Gesteine im norddeutschen Flachlande. Berlin: *Preussische Geologische Landesanstalt*: 1-64.

Kozarski S. 1965. „Zagadnienie drogi odpływu wód pradolinnych z zachodniej części Pradoliny Noteci-Warty". *Prace Komisji Geograficzno-Geologicznej PTPN* 5 (1): 1-97.

Kozarski S. 1988. „Time and dynamics of the Last Scandinavian Ice-Sheet retreat from northwestern Poland". *Geographia Polonica* 55: 91-101.

Kozarski S. 1991. Litostratygrafia górnego plenivistulianu Niziny Wielkopolskiej w granicach ostatniego zlodowacenia: nowe dane i interpretacje. Wydawnictwo Naukowe UAM, seria *Geografia* 50: 471-496.

Kozarski S. 1995. „Deglacjacja północno-zachodniej Polski: warunki i transformacja geosystemu (~20 ka → 10 ka BP)". *Dokumentacja Geograficzna IGiPZ PAN* 1: 1-82.

Krienke K. 2003. „Südostrügen im Weichsel-Hochglazial – Lithostratigraphische, lithofazielle, strukturgeologische und landschaftsgenetische Studien zur jüngsten Vergletscherung im Küstenraum Vorpommerns (NE Deutschland)". *Greifswalder Geowissenschaftliche Beiträge* 12: 1-147.

Krzyszkowski D., J.A. Czerwonka. 1994. „Korelacja litostratygraficzna osadów czwartorzędowych z obszaru na południe od Szczecina". *Acta Universitatis Wratislaviensis, Prace Instytutu Geologicznego* 7: 37-61.

Lilliesköld M. 1990. Lithology and transport distance of glaciofluvial material. W *Glacial indicator tracing*, 151–164. Rotterdam: Balkema.

Lipka E. 2011. Zróżnicowanie cech petrograficznych osadów polodowcowych na Wysoczyźnie Lubuskiej. Maszynopis rozprawy doktorskiej. Poznań: Archiwum WNGiG UAM.

Lisicki S. 1996. Stratygrafia plejstocenu centralnej części Pojezierza Mazurskiego. W Konferencja „Stratygrafia plejstocenu Polski", Grabanów, 18-20.09.1996: 55-58.

Lisicki S. 1998a. „Attempt of lithostratigraphic correlation of tills in north-eastern Poland and southern Lithhuania". *Geological Quarterly* 42 (2): 161-172.

Lisicki S. 1998b. „Interpretacja wyników analizy petrograficznej frakcji żwirowej glin zwałowych w nawiązaniu do ich genezy". *Przegląd Geologiczny* 46 (5): 410-416.

Lisicki S. 1998c. „Paleogeograficzny aspekt litostratygrafii glin zwałowych na przykładzie południowo-zachodnich Mazur". *Przegląd Geologiczny* 46 (7): 599-602.

Lisicki S. 2000. „Kryteria stosowania litotypów stratygraficznych glin lodowcowych w badaniach czwartorzędu". *Przegląd Geologiczny* 48 (4): 368-370.

Lisicki S. 2001. Korelacja litostratygraficzna wybranych profilów osadów czwartorzędowych dorzecza środkowej i dolnej Wisły. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM, seria *Geografia* 64: 251-259.

Lisicki S. 2003. „Litotypy i litostratygrafia glin lodowcowych plejstocenu dorzecza Wisły". *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego* 177: 1-105.

Lüttig G. 1958. „Metodische Fragen der Geschiebeforschung". *Geologische Jahrbuch* 75: 361-418.

Lüttig G. 1999. „Geschiebestatistische Anmerkungen zur Quartärstratigraphie des nordischen Vereisungsgebietes". *Eiszeitalter und Gegenwart – Quaternary Science Journal (E&G)* 49: 144-163.

Marks L., A. Ber, W. Gogołek, K. Piotrowska. 2006. Mapa Geologiczna Polski w skali 1:500 000. Warszawa: Państwowy Instytut Geologiczny.

Meyer K.-D. 1983. Indicator pebble and stone count methods. W *Glacial deposits in North-West Europe*, 275-287. Rotterdam: Balkema.

Meyer K.-D. 1985. „Zur Methodik und über den Wert von Geschiebezählungen". *Der Geschiebesammler* 19 (2/3): 75-83.

Meyer K.-D. 1994. „Exkursionsführer zur Quartärgeologie des nordöstlichen Niedersachsen". *Geschiebekunde Aktuell* 4: 1-36.

Meyer K.-D. 1998. „Geschiebekundlich-stratigraphische Untersuchungen in der südlichen Lüneburger Heide". *Mitt. Geol. Inst. Univ. Hannover* 38: 178-188.

Meyer K.-D. 2000. „Geschiebekundlich-stratigraphische Untersuchungen im Hannoverschen Wendland (Niedersachsen)". *Brandenburgische Geowiss. Beitr.* 7 (1/2): 115-125.

Pettersson G. 1997. „Unexpected ice movement directions during the last deglaciation in Ujście, NW Poland - stratigraphical investigations". *Quaternary Studies in Poland* 14: 85-94.

Pettersson G. 2002. „Weichselian glaciation in the middle Noteć River region, northwest Poland". *LUNDQUA Thesis* 47: 1-19.

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.

Rudolph F. 2005. Strandsteine. Sammeln und Bestimmen von Steinen an der Ostseeküste, Kiel: Gesamtverzeichnis Wachholtz Verlag.

Rühberg N. 1999. „Über den Wert der Kleingeschiebezählungen (KGZ)". *Geschiebekunde Aktuell* 15 (3): 87-100.

Rühberg N., H.-D. Krienke. 1977. „Zur Geschiebeführung der Weichselgrundmoräne im westlichen Odermündungsgebiet". *Zeitschrift für die Geologische Wissenschaft* 5 (6): 805-813.

Rutkowski J. 1995a. Badania petrograficzne żwirów. W *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników,* 133-150. Warszawa: WGiSR UW.

Rutkowski J. 1995b. Badania uziarnienia osadów bardzo gruboziarnistych. W *Badania osadów czwartorzędowych. Wybrane metody i interpretacja wyników*, 106-114. Warszawa: WGiSR UW.

Schulz W. 1973. „Rhombenporphyr-Geschiebe und deren östliche Verbreitungsgrenze im nordeuropäischen Vereisungsgebiet". *Zeitschrift für die Geologische Wissenschaft* 9: 1141-1154.

Schulz W. 2003. Geologischer Führer für den norddeutschen Geschiebesammler. Berlin: CW Verlagsgruppe Schwerin.

Smed P. 1993. „Indicator studies: a critical review and a new data – presentation method". *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 40: 332-340.

Smed P., J. Ehlers. 2002. Steine aus dem Norden. Geschiebe als Zeugen der Eiszeit in Norddeutschland. Berlin, Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.

Stanisz A. 2001. Przystępny kurs statystyki w oparciu o program STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Kraków: StatSoftPolska.

Svenson C.H. 2005. „Geschützte Findlinge der Insel Rügen". *Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommern*, Güstrow: 1-28.

Trembaczowski J. 1961. „Przyczynki do metodyki badań granulometryczno-petrograficznych utworów morenowych". *Annales Univ. M. Curie-Skłodowska*, sec. B 16 (3): 63-95.

Trembaczowski J. 1967. „Granulometryczno-petrograficzna charakterystyka glin zwałowych Wysoczyzny Konińskiej". *Prace Instytutu Geologicznego* 48: 147-162.

Turkowska K. 2006. Geomorfologia regionu łódzkiego. Łódź: Wydawnictwo UŁ.

Wachecka-Kotkowska L. 2004. Ewolucja doliny Luciąży – uwarunkowania klimatyczne i lokalne. *Acta Geographica Lodziensia* 86.

Wachecka-Kotkowska L. 2015. Rozwój rzeźby obszaru między Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedborzem w czwartorzędzie. Łódź: Wydawnictwo UŁ.

Wachecka-Kotkowska L., M. Górska-Zabielska. 2011. Extent of the Middle Polish Glaciation (Saalian, MIS 6) in Central Poland in the light of the petrographic analysis. W *Geomorphology for Human Adaptation to Changing Tropical Environments*. IAG/AIG Regional Conference on Geomorphology 2011 Addis Ababa, Ethiopia – February 18-22, 2011: 161.

Wachecka-Kotkowska L., P. Czubla, M. Górska-Zabielska. 2012a. Petrografia osadów kompleksu środkowopolskiego w okolicach Piotrkowa. W *Korelacja osadów plejstocenu na pograniczu polsko-niemieckim w dolinie dolnej Odry*. XIX Konferencja „Stratygrafia Plejstocenu Polski", Cedynia, 3-7.09.2012: 110-113.

Wachecka-Kotkowska L., P. Czubla, M. Górska-Zabielska, E. Król. 2012b. „Poligeneza pagóra w okolicach Mąkolic na wododziale Wisły i Odry na Wysoczyźnie Bełchatowskiej, region łódzki". *Acta Geographica Lodziensia* 100: 161-178.

Wachecka-Kotkowska L., P. Czubla, M. Górska-Zabielska, E. Król. 2012c. Stanowisko 5. Mąkolice. Pagór na wododziale Wisły i Odry jako przykład rzeźby poligenicznej. *Czynniki różnicowania rzeźby Niżu Polskiego*. Konferencja Jubileuszowa Profesor Krystyny Turkowskiej, Uniejów 13-15.06. 2012: 131-139.

Wysota W. 2002. Stratygrafia i chronologia sedymentacji zlodowacenia wisły w południowej części Dolnego Powiśla. Toruń: Wydawnictwo UMK.

Zabielski R. 1996. „Application of a petrographic method of the till floes". *Geological Quarterly* 40 (2): 283-298.

Zabielski R. 1999. „Jednorodność składu petrograficznego frakcji żwirowej w glinach lodowcowych jako podstawa ich korelacji". *Posiedzenia Naukowe PIG* 55 (7): 57-59.

Zabielski R. 2003. Jakie cechy składu petrograficznego glin lodowcowych mogą być przydatne w litostratygrafii? W *Cechy litologiczne plejstoceńskich glin morenowych źródłem informacji stratygraficznych i paleogeograficznych*. Konferencja PIG, 21-22.11.2003: 39-40.

Zabielski R. 2005. Korelacja glin lodowcowych rejonu Konina z zastosowaniem analizy statystycznej. Maszynopis rozprawy doktorskiej Warszawa: Centralne Archiwum Geologiczne PIG.

Zandstra J.G. 1999. Platenatlas van noordelijke kristalijne gidsgesteenten. Leiden: Backhuys Publishers.

GRAVEL PETROGRAPHY AND ERRATICS OF THE GLACIOFLUVIAL SEDIMENTS AS BASE OF CHARACTERISTICS OF THE SOURCE AND TRANSPORT DIRECTION IN THE PIOTRKÓW TRYBUNALSKI, RADOMSKO AND PRZEDBÓRZ AREA (CENTRAL POLAND)

SUMMARY

Abstract. The article presents petrographic features of medium (4–10 mm) and coarse (20–60 mm) gravels for 64 samples from 28 sites together with TGZ (Theoretical Gravel Centre) index for 7 sites. It have been found that in the investigated area in glaciofluvial sediments petrography is generally similar. Also pointed was, that in the finer gravel fraction the Lower Palaeozoic limestones are rare, however crystalline and flint rocks are more evident. Petrography of the coarse gravel fraction proves that before the ice-sheet reached the Northern Polish Upland slopes, it must have moved along outcrops in the South-East Sweden and the Baltic floor. The connected TGZ index of the sediments investigated lies within 16,4–17,0°E and 57,5–58,7°N coordinates.

Key words: gravel petrography, TGZ index, glaciofluvial deposits, Wartanian ice-sheet, Łódź Region, central Poland

The main aim of the study was to verify the hypothesis (Turkowska 2006) questioning the existence of interlobal extraglacial zone of the Wartanian ice sheet in the SE Łódź Region (Fig. 1). The study included fluvioglacial sediments from 28 sites, building glaciomarginal forms from the last ice sheet in central Poland (Fig. 2, Tab. 1). Investigation of fluvioglacial deposits in the area between Piotrków Trybunalski, Radomsko and Przedbórz (Fig. 1), on the border of Central Polish Lowlands and Uplands, was for the first time applied to identify Scandina-

vian rocks – petrographic analysis of gravel in the medium (4–10 mm) and the coarse (20–60 mm) fractions. The coarse one was analyzed to identify maternity area (theoretical center of boulders, TGZ) and erratic Scandinavian indicators (Fig. 3).

The study showed that marginal forms are composed of sediments of similar petrographic characteristics (Figs 4–12). Their variation, expressed in different percentage of the same types among samples, is associated with the fraction tested and the place of sampling. Two basic petrographic groups identifiable of medium gravel are Lower Palaeozoic limestones and crystalline rocks. If limestones are represented in the sample, their percentage substantially exceeds the percentage of crystalline rocks. Deposits at the Mąkolice and Lewkówka sites are the exceptions. If the sample was taken in the area of elution/weathering, the limestones are absent.

This is typical phenomenon resulting from the physical characteristics of rocks. The third and largest petrographic group in this fraction are sandstones. They are present in each sample of both fractions. Quartz is another petrographic group encountered in all tested samples in the 4–10 mm fraction for fluvioglacial sediments. The universal presence of quartz in this type of sediment is not surprising – the typical fluvioglacial is in fact enriched by those "hard" petrographic components. The percentage of quartz is markedly reduced or even disappearing in coarse gravel, which is typical for this petrography. Flints are present in the sediments of all zones of the study area, but those found in zone II – Dobryszyckie Hills showed the highest average of approx. 3%. In the remaining zones flint varies between 1.4% and 1.8%. Flints are also present in the four samples of coarse gravel. An above-average amount of flint at the Kolonia Trzepnica site could be the result of enrichment in some distant, local outcrop.

Soft and brittle Palaeozoic shales are visible in the medium gravel of all four zones. Their average share varies (Tab. 3): the smallest share of shale was found in the Radomsko Hills and Przedbórz Range (zone I), while the largest on Piotrków Plain (zone IV). The presence of those rocks on the border between the Polish Lowlands and Uplands is rather difficult to bind with the Scandinavian source. The source of their origin could be a local outcrop in the vicinity of the study area. Palaeozoic shales have been identified in a group of coarse gravel.

Considering the results of the analysis of guiding and indicating erratics it can be seen that the main stream of the Wartanian ice-sheet, which put down deposits in the southern part of the study, had to move to either the western part of the Baltic seabed, ranging from outcrop in the vicinity of the Åland Islands, and along the east coast of the present-day southern Sweden. Sediments of the Dobryszyce Hills were brought by the same glacial stream, which was testified by the guiding erratic at Teklin; mostly rocks from the bottom of the Baltic Sea, such as red Baltic porphyry, Bornholm granites, Tessini sandstones, as well as erratic indicators: Baltic Jotnian sandstones, red Silurian and Ordovician limestones. The glacier that deposited sediments in zone III had to move around the Baltic Lower Palaeozoic limestone outcrops and outcrops of crystalline rocks in the eastern part of southern Sweden. Approaching the place of deposition at the Borowa and Mąkolice sites glacial stream had to move through the local outcrops of flint, as gravels are enriched in these rocks.

Basing on petrographic analyzes of sediments obtained was a detailed picture of the last continental marginal zone in central Poland. This is also confirmed the theoretical center of boulders (TGZ) located in a narrow range, defined by geographical coordinates: 16.4–17.0° E and 57.5–58.7° N. On this basis, there is evidence to conclude that the area was within the same glacial stream, fed by petrographic material, which had outcrops in what is now south-eastern Sweden, and the western part of the central Baltic Sea.