

## ANALIZA ZESPOŁÓW ERATYKÓW W GLINACH LODOWCOWYCH I ICH ZNACZENIE W REKONSTRUKCJI ZASIĘGU ŁĄDOŁODU WARCIAŃSKIEGO W OBSZARZE MIĘDZY PIOTRKOWEM TRYBUNALSKIM, RADOMSKIEM A PRZEDBORZEM (ŚRODKOWA POLSKA)

### ZARYS TREŚCI

Badania petrograficzne eratyków przewodnich wykazały istnienie co najmniej dwóch litotypów glin (S i O/W), różniących się obszarem alimentacji materiału morenowego. Starszy z nich (S), reprezentowany przez glinę z Mąkolic, został odłożony przez ostatni na tym obszarze awans łądolodu południowopolskiego. Młodszy litotyp (O/W) stanowią osady glacialne kompleksu środkowopolskiego. Wśród nich możliwe jest wyróżnienie dwóch odmian (sublitotypów), odłożonych prawdopodobnie przez odrębne masy lodu (potoki lodowe). Powyższe sublitotypy są czytelne tylko w południowej części obszaru badań. Ich wzajemne usytuowanie w przestrzeni oraz cechy petrograficzne potwierdzają słuszność wniosków opartych na analizie rzeźby, z których wynika, że określony w tytule obszar był zajęty przez łądolód warciański, który nasuwał się z dwóch kierunków.

**Słowa kluczowe:** eratyki przewodnie, badania petrograficzne, gliny lodowcowe, stratygrafia czwartorzędu, łądolód warciański, region łódzki, środkowa Polska

### WPROWADZENIE

Badania petrograficzne zespołów eratyków frakcji grubożwirowej w glinach stanowią ważne narzędzie korelacji osadów glacialnych (por. m.in. Górską 2000; Czubla 2001, 2006, 2015; Gałązka 2004; Czubla i in. 2010, 2013a, b). Umożliwiają one określenie regionalnych kierunków napływu lodu oraz ich zmienności przestrzennej i czasowej. Porównanie wyników analiz eratyków w przebadanych glinach lodowcowych z danymi pozyskanymi w stanowiskach o ustalonej pozycji stratygraficznej pozwala pośrednio określić ich wiek. Na obszarze Polski Środkowej warunki ku temu są szczególnie sprzyjające ze względu na istnienie olbrzymiego odsłonięcia, jakim jest odkrywka KWB „Bełchatów”, w której udało się wyróżnić co najmniej siedem poziomów glin lodowcowych (np. Czubla 2001).

Analizy petrograficzne dostarczają też cennych przesłanek dla rekonstrukcji dynamiki łądolodów i ich roli w kształtowaniu rzeźby badanego obszaru. Przy ich zastosowaniu można odtworzyć układ potencjalnych lobów lodowcowych oraz zidentyfikować ślady funkcjonowania hipotetycznych strumieni lodowych lub potoków lodowych (*sensu* Czubla 2015). W przypadku braku jednoznacznych dowodów szybkiego ruchu lodu, zróżnicowanie petrograficzne glin należy interpretować jako rezultat napływu niezależnych potoków lodowych, mających różne obszary zasilania w materiał skalny. Badania petrograficzne pozwalają również na uściślenie wieku i genezy form rzeźby (np. Wachecka-Kotkowska i in. 2012).

### OBSZAR I CEL BADAŃ

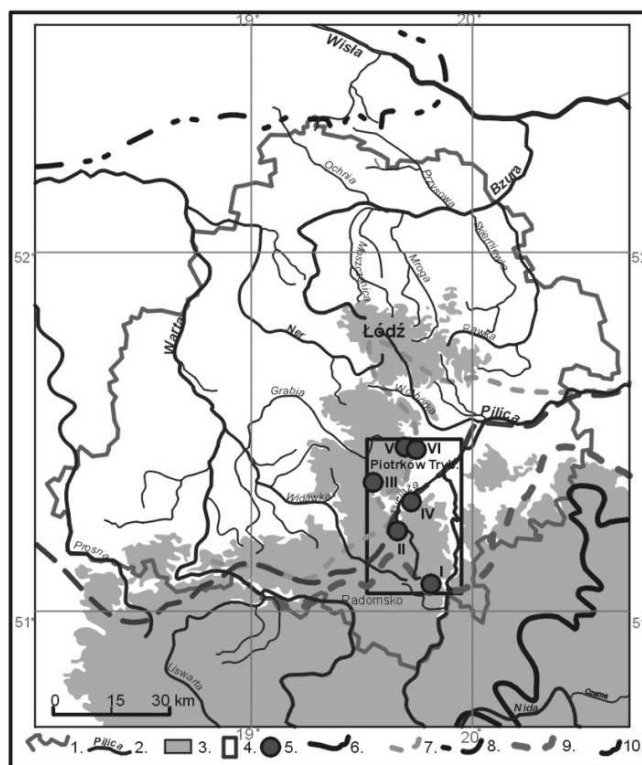
Na mapie (rys. 1) przedstawiono położenie terenu badań na tle wybranych poglądów na zasięg łądolodów w regionie łódzkim. Badania petrograficzne frakcji grubożwirowej w osadach

glacialnych przeprowadzono w sześciu stanowiskach. Opróbowane zostały wszystkie cztery strefy wyróżnione między Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedborzem przez

\* Uniwersytet Łódzki, Wydział Nauk Geograficznych, Pracownia Geologii, ul. Narutowicza 88, 90-139 Łódź, e-mail: piotr.czubla@geo.uni.lodz.pl.

Wachecką-Kotkowską (2015). Na Wzgórzach Radomszczańskich (strefa I) zlokalizowane było stanowisko Masłowice, Wzgórze Dobryzyskie (strefa II) reprezentowało odsłonięcie w Daniszewicach, zaś osady glacialne Wysoczyzny Bełchatowskiej (strefa III) zostały rozpoznane w oparciu o próbkę ze stanowi-

ska Mąkolice III. Najlepsze warunki do badań petrograficznych frakcji grubożwirowej w glinach występują na Równinie Piotrkowskiej (strefa IV), gdzie opróbowano trzy stanowiska: Lewkówka III, Moszczenica i Łazy Duże (Dąbrowa nad Luciążą).



Rys. 1. Położenie terenu badań w regionie łódzkim i miejsca poboru próbek do analiz petrograficznych frakcji grubożwirowej na tle wybranych poglądów na zasięg lądolodu warty

1 – granice województwa; 2 – rzeki; 3 – obszar powyżej 200 m n.p.m.; 4 – obszar badań; 5 – miejsce poboru próbek; zasięgi lądolodów: 6 – maksymalny odry według Różyckiego (1972), 7 – stadiału warty według Różyckiego (1972), 8 – lądolodu warty według Marksa i in. (2006), 9 – warty według Turkowskiej (2006); 10 – lądolodu wisły według Roman (2012); miejsca poboru eratyków z osadów glacialnych: I – Masłowice, II – Daniszewice, III – Mąkolice III, IV – Łazy Duże (Dąbrowa), V – Lewkówka III, VI – Moszczenica

Location of investigated area in the Łódź region and places of collecting samples for petrographical analysis of coarse gravel fraction in glacial tills against selected views of limit of the Wartanian ice-sheet

1 – voivodship borders; 2 – rivers; 3 – area over 200 m a.s.l.; 4 – study area; 5 – sample sites; limits of ice-sheet: 6 – Odranian maximum stage according to Różycki (1972), 7 – Wartanian stage according to Różycki (1972), 8 – Wartanian ice-sheet according to Marks *et al.* (2006), 9 – Wartanian according to Turkowska (2006); 10 – LGM according to Roman (2012); sampling sites of erratics in glacial deposits: I – Masłowice, II – Daniszewice, III – Mąkolice III, IV – Łazy Duże (Dąbrowa), V – Lewkówka III, VI – Moszczenica

Badania petrograficzne zespołów eratyków w glinach miały na celu ustalenie stratygrafii osadów w oparciu o korelację z innymi stanowiskami z Polski Środkowej oraz rekonstrukcję dynamiki lądolodu środkowopolskiego i jej roli w kształtowaniu rzeźby badanego obszaru. Istotnym aspektem badań była próba ustalenia kierunków napływu lodu, co pozwoliłoby odtworzyć układ poten-

cjalnych lobów lodowcowych oraz zidentyfikować ślady funkcjonowania hipotetycznych strumieni lodowych lub potoków lodowych (*sensu* Czubla 2015). Dodatkowym celem badań było określenie wpływu stopnia zaawansowania procesów wietrzeniowych glin lodowcowych na możliwości ich korelacji metodami petrograficznymi.

## METODYKA

### Kryteria doboru stanowisk badawczych

Analizy eratyków przewodnich w glinach lodowcowych wykonane zostały w oparciu o założenia metodyczne opracowane przez Lüttiga (1958) i następnie zmodyfikowane przez Smeda (1993), Vinxa i in. (1997) oraz autora (Czubła 2001). Próbki pobierano z glin wyłącznie w sztucznych odsłonięciach bezpośrednio ze ściany. Luźno leżące eratyki, bez względu na profil geologiczny stanowiska, uznawane były za nieprzydatne do badań. Ze względów bezpieczeństwa oraz z uwagi na bardzo ograniczony dostęp do świeżo odsłoniętych osadów glacialnych i przewagę osadów zwietrzałych, widocznych w głębokich wykopach wykonywanych w ramach rozbudowy sieci wodociągowej i kanalizacyjnej, odstąpiono od poboru materiału w takich stanowiskach. W naturalnych odsłonięciach gliny były na ogół skrajnie zwietrzałe, co negatywnie wpływa na reprezentatywność analizowanej frakcji. Poza tym olbrzymia czasochłonność i pracochłonność poboru próbek w osadach glacialnych wymuszała wybór dużych stanowisk, w których jednocześnie mogło pracować kilka osób. Nawet w rozległych żwirowniach, gdzie analizowane osady dostępne było (najczęściej w ścianie – skarpie) na powierzchni co najmniej kilkunastu metrów kwadratowych, pobór jednej odpowiednio licznej próbki zajmował pięciu osobom prawie cały dzień. Wynikało to przede wszystkim ze znikomego udziału materiału grubożwirowego w osadach glacialnych Polski (w glinach w Bełchatowie ziarna o średnicy > 5 mm stanowią zaledwie 0,6 do 4,3% wagowych – Baraniecka i in. 1995), zaś udział gładzików o rozmiarach ponad 20 mm jest jeszcze znacząco niższy.

Pobór próbek do badań eratyków okazał się być możliwy tylko w części wstępnie wytypowanych w tym celu odsłonięć. Wspomniana już bardzo duża pracochłonność zarówno prac terenowych, jak i późniejszego opracowania laboratoryjnego wymuszały ograniczenie się do stanowisk kluczowych pod względem merytorycznym, a jednocześnie umożliwiających dostęp do analizowanej warstwy glin na stosunkowo dużym odcinku. Takie warunki spełniały wyrobiska kopalni surowców drogowych i ceramicznych. Próbki zostały pobrane w Mąkolicach, Lewkówe, Łazach Dużych i w Daniszewicach (rys. 1). Dodatkowo wykorzystane zostały zebrane i przeanalizowane

już wcześniej próbki ze stanowisk Masłowice i Moszczenica (Czubła 2001; Czubła, Wachecka-Kotkowska 2009).

### Technika poboru próbek

Przed rozpoczęciem poboru eratyków z gliny konieczne było dokładne oczyszczenie jej powierzchni z produktów wietrzenia oraz materiału deluwialnego. Dopiero wtedy można było zebrać wszystkie gładziki wystające z wyznaczonego fragmentu ściany, po czym zdejmowane były cienkie warstewki gliny (1–2 cm), co pozwalało pozyskać wszystkie ziarna o pożądanym rozmiarach, tj. ponad 20 mm. W wielu stanowiskach nie było bezpiecznego dostępu do wody, a ziarna – zwłaszcza wybrane z glin o dużym udziale frakcji pelitowej – były oblepione drobniejszym osadem. W związku z tym końcową selekcję wielkościową ziaren przeprowadzano dopiero po dokładnym ich oczyszczeniu, już na etapie prac laboratoryjnych.

### Typ litogenetyczny osadu

Badaniami objęto głównie gliny bazalne, w których wpływ procesów postdepozycyjnych na skład frakcji grubożwirowej zaznacza się najslabiej (m.in. Puranen 1990; Czubła 2001). Nawet jednak w glinach bazalnych unikano poboru eratyków z najniższej części pokładu, gdzie udział materiału lokalnego i inkorporowanego ze starszych osadów glacialnych i fluwioglacjalnych mógł być potencjalnie najwyższy (por. m.in. Virkkala 1974; Saarnisto 1990). Dyskusja poglądów na temat wyboru typu litogenetycznego osadów do badań petrograficznych była już wielokrotnie prezentowana w literaturze (m.in. Nunberg 1971; Puranen 1990; Górska 2000; Czubła 2001, 2015; Górska-Zabielska 2008).

### Liczebność próbek

Przyjmuje się, że reprezentatywna próbka powinna zawierać minimum 50 zidentyfikowanych eratyków przewodnich (m.in. Meyer 1983; Smed 1993, 1994; Czubła 2001). Osiągnięcie tak licznych zespołów zidentyfikowanych eratyków wymagało poboru nie mniej niż 1000 gładzików z każdego analizowanego pokładu i w ten

sposób wpływało na wspomniane już duże nakłady czasu i pracy już na etapie poboru materiału do badań. Oznaczało to konieczność wybrania eratyków z co najmniej kilku m<sup>3</sup> gliny. Analiza próbek o mniejszej ostatecznej liczbie eratyków skał przewodnych wpłynęłaby na obniżenie wiarygodności badań, a pobór większych próbek nie wniósłby już wielu nowych informacji. Wydaje się zatem, że próbka licząca około 50–60 eratyków przewodnych (czyli w sumie 1000 do 1500 głazików frakcji > 20 mm) stanowi uzasadniony kompromis pomiędzy nakładami pracy i możliwościami do osiągnięcia wynikami.

Eksperymenty przeprowadzone na próbkach, z których wyeliminowano część rzadziej występujących i trudniej rozpoznawalnych skał przewodnych, a tym samym obniżono sumaryczną liczbę eratyków przewodnych wykorzystanych w obliczeniach, wykazały wyraźny wzrost rozproszenia wyników. Próba uproszczenia w ten sposób procedury badawczej (zmniejszenie liczby typów skał północnych – zwłaszcza trudnych do makroskopowej identyfikacji) okazała się chybiona (Czubla 2015). Można byłoby temu zapobiec przez wzrost liczebności pobieranej próbki do np. 2000–2500 głazików, ale to nieproporcjonalnie zwiększyłoby niezbędne nakłady pracy terenowej, a w czynnych kopalniach (np. w KWB „Bełchatów”), czas przeznaczony na badania jest na ogół ściśle limitowany.

#### Badana frakcja

Zgodnie z wynikami wcześniejszych analiz (m.in. Czubla 2001), do badań pobierano wszystkie ziarna o rozmiarach przekraczających 20 mm. Jest to procedura stosowana tylko przez nielicznych geologów (Schuddebeurs 1980/1981; Vinx i in. 1997; Czubla 2001, 2015; Gałązka 2004). Większość badaczy eratyków (np. Meyer 1983; Górska 2000; Górska-Zabielska 2008; Lipka 2011) z niejasnych powodów rezygnuje z największych głazików (o średnicy powyżej 60 lub 64 mm) i w ten sposób eliminuje z badań skały grubokrystaliczne, które w drobniejszych ziarnach są zwykle nierozpoznawalne. Duże eratyki o rozmiarach pięści i większe były rozbijane już w terenie, aby uzyskać świeży przełam oraz zmniejszyć ciężar próbki zabieranej do laboratorium.

#### Opracowanie laboratoryjne

W laboratorium próbki poddawano namoczeniu w wodzie przez co najmniej kilka godzin,

co pozwalało na dokładne oczyszczenie głazików z przylepionego ilastego osadu. Po oczyszczeniu odrzucane były klasty o rozmiarach mniejszych od 20 mm. Selekcja wielkościowa prowadzona była przy użyciu specjalnie w tym celu wykonanego sita o okrągłych oczkach średnicy 20 mm. Z wysortowanego materiału wyodrębnione zostały skały wskaźnikowe (przewodnie i pomocnicze), zaś pozostałe były dzielone na prawie 40 grup petrograficznych.

Oznaczenia przeprowadzono metodami makroskopowymi, tzn. bez sporządzania szlifów cienkich, przeznaczonych do analiz przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego. Badania mikroskopowe są bardzo kosztowne i czasochłonne, a ich potencjalny efekt w przypadku analiz eratyków prowadzonych dla potrzeb geologii czwartorzędu byłby nieproporcjonalnie mały w stosunku do poniesionych nakładów. Badania makroskopowe przebiegają zdecydowanie sprawniej. Analiza jednej próbki zajmuje od jednego do dwóch dni pracy. Większość klastów była rozbijana w celu uzyskania świeżej powierzchni, na której łatwiej było zidentyfikować składniki skały oraz określić jej budowę wewnętrzną. Część cech (np. barwa, zabarwienie, granice pomiędzy ziarnami minerałów) określano na powierzchni nawilżonej, co zwiększało ich czytelność.

Identyfikacja eratyków wskaźnikowych prowadzona była w oparciu o kolekcję wzorcową skał przewodnych i pomocniczych, zebraną w trakcie kilkukrotnych wyjazdów do Skandynawii, uzupełnioną o okazy znalezione już jako eratyki na obszarze Polski i krajów ościennych. Istotną rolę odegrały również atlasy skał i inne opracowania poświęcone eratykom wskaźnikowym. Wśród nich warto wymienić przede wszystkim: Smed (1994, 2002); Zandstra (1999); Schulz (2003); Czubla i in. (2006); Rudolph (2008a, b). Bardzo dobre wprowadzenie do makroskopowego rozpoznawania skał, szczególnie przydatne osobom bez przygotowania mineralogicznego i petrograficznego, stanowi wyczerpująca praca Vinxa (2015 i wcześniejsze wydania z 2005, 2008 i 2011 roku).

#### Obliczenia teoretycznych ośrodków głazowych

W oparciu o zidentyfikowane eratyki przewodnie wyliczono teoretyczne ośrodki (centra) głazowe (TCG) – Lüttig (1958). W obliczeniach uwzględniono modyfikacje metodyczne zaproponowane m.in. przez Vinxa i in. (1997) i Czublę (2001). Współrzędne geograficzne

centralnych punktów wychodni eratyków przewodnich i pomocniczych, wykorzystywane w obliczeniach teoretycznych ośrodków gładzowych, zostały zaczerpnięte z publikacji Lüttiga (1958), a w pojedynczych przypadkach uzupełniono je w oparciu o mapy Smeda (1993, 1994, 2002). Obliczenia wykonano w wielu wariantach, mających na celu ustalenie metodyki pozwalającej w możliwie najpewniejszy sposób rozróżnić różnowiekowe osady glacialne Polski Środkowej. Położenie teoretycznych ośrodków gładzowych zestawiono z analogicznymi danymi zebranymi we wschodniej Wielkopolsce, na Kujawach i w wielu stanowiskach Polski Środkowej, a następnie przeprowadzono ich korelację, zmierzającą do ustalenia stratygrafii badanych osadów.

#### Graficzna prezentacja wyników

Wyniki analiz eratyków wskaźnikowych (przewodnych i pomocniczych) zostały przedstawione na kartodiagramach (mapach kołowych) zgodnie z propozycją Smeda (1993). W tym celu przygotowano specjalny podkład kartograficzny w odwzorowaniu możliwie bliskim wiernopowierzchniowemu (odmienny niż w przywoływanym artykule Smeda), na którym naniesio-

no centralne punkty wychodni eratyków wskaźnikowych. Punkty te traktowane były przy kreśleniu map jako środki kół, których powierzchnia odpowiadała procentowemu udziałowi eratyków z danego obszaru źródłowego. W celu uniknięcia zdominowania obrazu czytelny na mapie przez pospolite pomocnicze skały osadowe, zredukowano ich liczbę dziesięciokrotnie (zgodnie z metodą zaproponowaną przez Vinxa i in. 1997). Numery na mapach oznaczają wychodnie i udziały poszczególnych skał wskaźnikowych w prezentowanej próbce. Na mapach nie zaznaczano teoretycznych ośrodków gładzowych, ponieważ stanowią one jedynie wskaźniki obliczone w oparciu o liczbę zidentyfikowanych eratyków przewodnich oraz o współrzędne geograficzne ich wychodni. Nie są one równoznaczne z centrum egzarowanego przez lód obszaru i stwierdzenie, że któryś położony jest, np. w Smålandzie lub Upplandzie i tak nie wniosłoby żadnej istotnej informacji. Mapy kołowe oraz wyliczone teoretyczne ośrodki gładzowe zostały zinterpretowane w oparciu o dostępne mapy geologiczne i istniejące publikacje na temat budowy geologicznej odpowiednich regionów.

## WYNIKI BADAŃ

### Strefa I – Wzgórza Radomszczańskie

#### Stanowisko Masłowice

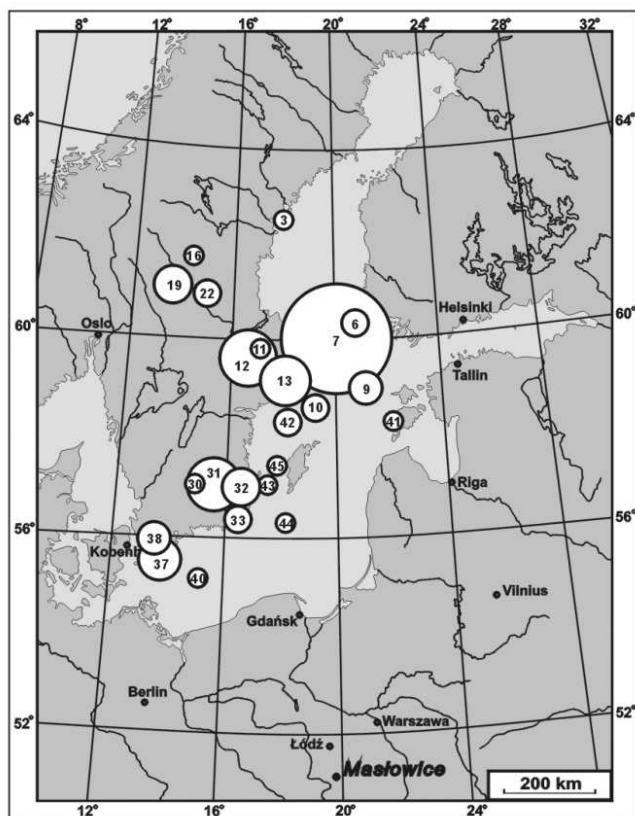
Gлина w Masłowicach buduje pagórek moreny czołowej i odsłania się tuż pod powierzchnią – bezpośrednio pod warstwą gleby. Pobrana z niej próbka eratyków charakteryzuje się dość wysokim stopniem zwiętrzenia, wyrażonym zaawansowanym etapem rozpadu skał bogatych w biotyt, głównie łupków krystalicznych i gnejsów, ale także i niektórych granitoidów. Znaczna część wapieni cechuje się wyraźnie nadwietrzalą, porowatą powierzchnią, co w dużym stopniu utrudnia odróżnienie wapieni paleozoicznych od mezozoicznych. Eratykom towarzyszą występujące w podobnej frakcji konkrecje węglanowe, które zostały jednak wyeliminowane z obliczeń jako twory powstałe postsedymentacyjnie.

Skały fennoskandzkie stanowią 99,14% ogólnej liczby gładzików w próbce, ale należy zauważyć, że część skał bliskiego transportu jest tak podobna do zwiętrzałych, paleozoicznych skał osadowych, że mogła zostać błędnie rozpoznana jako materiał fennoskandzki. Wśród eratyków

fennoskandzkich dominują skały krystaliczne (54,19%), co – w znacznej części – związane jest z usunięciem przez wietrzenie części podatniejszych na ten proces skał osadowych. Na skały osadowe (45,81%) składają się głównie wapień 36,35% i piaskowce 9,16%. Udział dolomitów ma charakter śladowy, co wymaga wyjaśnienia w kontekście wysokiego udziału typowo wschodniofennoskandzkich skał alandzkich. Znikoma rola dolomitów przy stosunkowo wysokim udziale wapieni, pochodzących z bezpośrednio sąsiadujących wychodni, pozostaje w sprzeczności z powszechnie przyjmowanym poglądem o wyższej odporności dolomitów niż wapieni na wietrzenie. Gdyby był on prawdziwy, to w nadwietrzonych zespołach gładzowych powinno dochodzić do podwyższenia udziału dolomitów w stosunku do pozostałych skał węglanowych, a w rzeczywistości jest odwrotnie. Powyższa obserwacja znajduje potwierdzenie również w innych stanowiskach, gdzie zanotowano szybszą eliminację z osadów glacialnych dolomitów aniżeli wapieni (Czubla 2001, 2015).

Spośród 562 głazików skał krystalicznych udało się zidentyfikować 80 eratyków przewodnich, czyli aż 14,23%. Całkowita liczba skał przewodnich i pomocniczych (osadowe zdieściatkowane zgodnie z procedurą Vinxa i in. 1997) wyniosła 96 ziaren, czyli 9,24% ogółu skał fennoskandzkich. Na mapie eratyków prze-

wodnich i pomocniczych (rys. 2) zaznacza się olbrzymia dominacja zespołu alandzkiego przy dość wysokim udziale skał ze Smålandu. Współwystępowanie tych skał jest powszechne, ale zazwyczaj jeden z tych obszarów wyraźnie dominuje.



Rys. 2. Eratyki przewodnie i pomocnicze rozpoznane w próbce z Masłowic; powierzchnia koła odpowiada procentowemu udziałowi danych eratyków w grupie skał przewodnich i pomocniczych (metoda prezentacji według Smeda 1993, zmodyfikowana)

1 – granitognejs Ångermanland, 2 – porfiry i granity Ragunda, 3 – granit rapakiwi Rödö, 4 – granity Revsund i Björna, 5 – porfiry botnickie, 6 – pyterlit alandzki lub Nystad, 7 – granit alandzki, Haga, rapakiwi i granitoporfir alandzki, porfir alandzki, granit aplitowy alandzki, 8 – porfir Hogland, 9 – porfir bałtycki czerwony, 10 – porfir bałtycki brunatny, 11 – granit Uppsala, Vänge, Arnö, 12 – granit Sala, 13 – granit sztokholmski, 14 – porfir Glöte, 15 – porfir i tinguaite Särna, 16 – porfir szary z Dalarna i czerwony Grönklitt, diabaz Åsby, 17 – porfir Åsen, Bredvad, Kåtilla, granit Garberg, 18 – porfir Blyberg, porfir i ignimbryt Klittberg, ignimbryty Rännäs, Blyberg, Orrlok, inne porfiry i ignimbryty z Dalarna, 19 – diabaz i melafir Öje, piaskowiec Dala, piaskowiec i zlepniec Digeberga, 20 – porfir Heden, 21 – porfir Venjan, 22 – granit Järna, 23 – granit Siljan, rapakiwi Siljan, porfir Månsta, 24 – granit Graversfors brunatny i czerwony, granity Östgöta, 25 – granit Kinda, 26 – kwarcyt Västervik, 27 – granit

Uthammar, 28 – Granit Flivik, Virbo, porfir Paskallavik i Sjögelö, 29 – granit Marianelund, porfir Emarp, Nymåla, Fagerhult, Lönneberga, 30 – granit Växjö różowy i szary, 31 – granity Småland czerwone i Vislanda, porfiry Småland, 32 – granit Vånevik, 33 – piaskowce Kalmarsund i Tessini, 34 – granity Kristinehamn i Filipstad (południowa odmiana), 35 – diabaz Kinne, 36 – granity Karlshamn i Spinkamåla (Halen), 37 – piaskowiec skolitusowy i Hardeberga, 38 – bazalty ze Skanii, 39 – granit Bohuslän, 40 – granity Hammer i Vang, gnejsy bornholmskie, 41 – dolomity, 42 – czerwone piaskowce kambryjskie, 43 – czerwone wapienie ordowickie, 44 – wapienie beyrichiowe, 45 – wapienie paleoporellowe; sumaryczna liczba uwzględnionych na mapie eratyków wskaźnikowych (liczba skał pomocniczych zredukowana zgodnie z procedurą Vinxa i in. 1997) – 96

Indicator erratics (including auxiliary rocks) in glacial deposits of Masłowice outcrop; the circle's area corresponds with the percentage of erratics in an analysed stone sample (according to Smed 1993, modified)

1 – Ångermanland granite-gneiss, 2 – Ragunda porphyries and granites, 3 – Rödö rapakivi, 4 – Revsund and Björna granites, 5 – Bothnian porphyries, 6 – Åland and/or Nystad pyterlite, 7 – Åland granite, Haga granite, Åland rapakivi, Åland aplite granite, Åland granite porphyry, 8 – Hogland porphyry, 9 – red Baltic quartz porphyry, 10 – brown Baltic quartz porphyry, 11 – Uppsala, Vänge and Arnö granites, 12 – Sala granite, 13 – Stockholm granite, 14 – Glöte porphyry, 15 – Särna porphyry and tinguaite, 16 – Grönklitt and grey Dalarna porphyries, Åsby diabase, 17 – Åsen, Bredvad and Kåtilla porphyries, Garberg granite, 18 – Blyberg porphyry, Klittberg ignimbrite and porphyry, Rännäs, Blyberg, Orrlok and other Dalarna ignimbrites and porphyries, 19 – Öje diabase and melaphyre, Dala sandstone, Digerberg sandstone and conglomerate, 20 – Heden porphyry, 21 – Venjan porphyry, 22 – Järna granite, 23 – Siljan granite, Siljan rapakivi, Månsta porphyry, 24 – brown and red Graversfors granites, Östgöta granites, 25 – Kinda granite, 26 – Västervik quartzite, 27 – Uthammar granite, 28 – Flivik and Virbo granites, Paskallavik and Sjögelö porphyries, 29 – Mariannelund granite, Emarp, Nymåla, Fagerhult and Lönneberga porphyries, 30 – red and grey Växjö granite, 31 – red Småland granites, Vislanda granite, Småland porphyries, 32 – Vånevik granite, 33 – Kalmarsund and Tessini sandstones, 34 – Kristinehamn granite, Filipstad granite (southern variant), 35 – Kinne diabase, 36 – Karlshamn and Spinkamåla (Halen) granites, 37 – Scolithos and Hardeberga sandstones, 38 – Skåne basalt, 39 – Bohuslän granite, 40 – Hammer and Vang granites, Bornholm gneisses, 41 – dolomites, 42 – red Cambrian sandstones, 43 – red Ordovician limestones, 44 – Beyrichia limestone, 45 – Palaeoporella limestone; total number of indicator erratics in the sample (number of auxiliary erratics reduced according to Vinx *et al.* 1997) – 96

W analizowanej próbce przeważają skały alandzkie, podobnie jak w większości próbek z osadów zlodowaceń środkowopolskich (odrzańskich/warciańskich<sup>1</sup>). Typowe gliny południowopolskie mają natomiast znikomą ilość skał alandzkich przy bardzo wyraźnej dominacji Smålandu i znaczącej roli Dalarny. Skały środkowoszwedzkie (Uppland i okolice Sztokholmu) reprezentowane są w umiarkowanej liczbie w różnowiekowych glinach. Stosunkowo niski udział skał węglanowych, a zwłaszcza dolomitów, które prawie zawsze są stowarzyszone ze skałami alandzkimi, należy traktować jako efekt wietrzenia. Przeanalizowana próbka wykazywała wyraźne ślady zaawansowania tego procesu. Stosunkowo licznie reprezentowane są porfiry bałtyckie, które w większości próbek występują w postaci pojedynczych głazików, a w glinach T4 (Czerwotka, Krzyszkowski 1990, 1992) w odkrywce bełchatowskiej nie było ich zupełnie (Czubła 2001). Nadreprezentacja tych skał w zestawieniu z szacowanymi niewielkimi rozmiarami ich wychodni na dnie Bałtyku podkreśla wschodnią drogę strumienia lodowego, odpowiedzialnego za odłożenie analizowanych glin, ale jest także wynikiem selekcji wietrzeniowej, której odporne porfiry łatwo nie ulegają. W zespołach południowopolskich (interpretowanych w oparciu o ówczesny stan wiedzy jako odrzańskie – glina T4), jakie zostały opisane przez autora w Bełchatowie (Czubła 2001) udział skał alandzkich jest znikomą, a dominują skały smålandzkie i dalarnańskie. Tych ostatnich w przebadanej próbce z Masłowic jest nadzwyczaj mało. Nie ma nawet pospolitych i występujących w niemal wszystkich glinach porfirów Bredvad. Jest to o tyle dziwne, że wśród skał dalarnańskich podstawowe znaczenie ma nie tylko wspomniany wyżej Bredvad, ale i inne łatwo rozpoznawalne, a jednocześnie odporne na wietrzenie porfiry. Stąd można tylko wysnuć wniosek, że i przed wietrzeniem udział skał dalarnańskich był niewielki. A to z kolei – w powiązaniu z innymi cechami analizowanego zespołu gładzowego – wyklucza „południowopolski” skład eratyków w próbce.

Teoretyczny ośrodek gładzowy wyznaczony dla gliny w Masłowicach ma współrzędne geograficzne 59,03° N i 17,64° E, czyli jest położony daleko na południe od większości TCG glin

<sup>1</sup> Jako gliny odrzańskie/warciańskie (lub odry/warty) opisywane są w niniejszej pracy osady odłożone w MIS 6, które w świetle starszych poglądów na stratyografię plejstocenu Polski (np. Lindner 1992) opisywane były jako osady zlodowacenia warta.

kompleksu środkowopolskiego (*sensu* Ber i in. 2007) odkrywki bełchatowskiej i innych stanowisk Polski Środkowej. Jest to jednak lokalizacja odległa również od TCG glin kompleksu południowopolskiego z Bełchatowa, które położone są o 1° do 2° dalej na zachód. Uwzględnienie w obliczeniach teoretycznych ośrodków gładzowych pomocniczych skał osadowych zmienia powyższy obraz. Po powyższej modyfikacji TCG gliny z Masłowic jest położone blisko analogicznego wskaźnika wyliczonego dla próbki B-1, pobranej z gliny T2 w odkrywce w Bełchatowie (Czubła 2001). Zastrzec jednak należy, że próbka B-1 ma najbardziej wschodnie spektrum gładzowe wśród nie tylko próbek z gliny T2, ale w całej grupie przebadanych w środkowej Polsce osadów gładzowych kompleksu południowopolskiego. Nie można jej w tej sytuacji traktować jako typowej dla glin południowopolskich. Nieco bardziej przesunięte na północ są teoretyczne ośrodki gładzowe osadów gładzowych lądolodu odry/warty (MIS 6) z odkrywek w Moszczenicy k. Piotrkowa Trybunalskiego i w Brzezinach k. Łodzi.

## Strefa II – Wzgórza Dobryszyckie

### Stanowisko Daniszewice

Glina w Daniszewicach tworzy rozległy pokład o zmiennej miąższości, sięgającej miejscami nawet około 2,5–3 m. Odsłania się ona tuż pod glebą w kulminacji niewielkiego pagórka moreny czołowej, rozciętego w centralnej części przez żwirownię. Podobnie, jak w większości stanowisk osadów gładzowych w rejonie Piotrkowa Trybunalskiego, glina była mocno zwietrzała. Niektóre skały krystaliczne wykazywały wyraźne ślady oddziaływania procesów wietrzeniowych, wapienie były bardzo nieliczne, a te które przetrwały miały najczęściej mocno zmienioną, porowatą i jasną powierzchnię, która bardzo utrudniała ich jednoznaczne zaklasyfikowanie do konkretnej grupy.

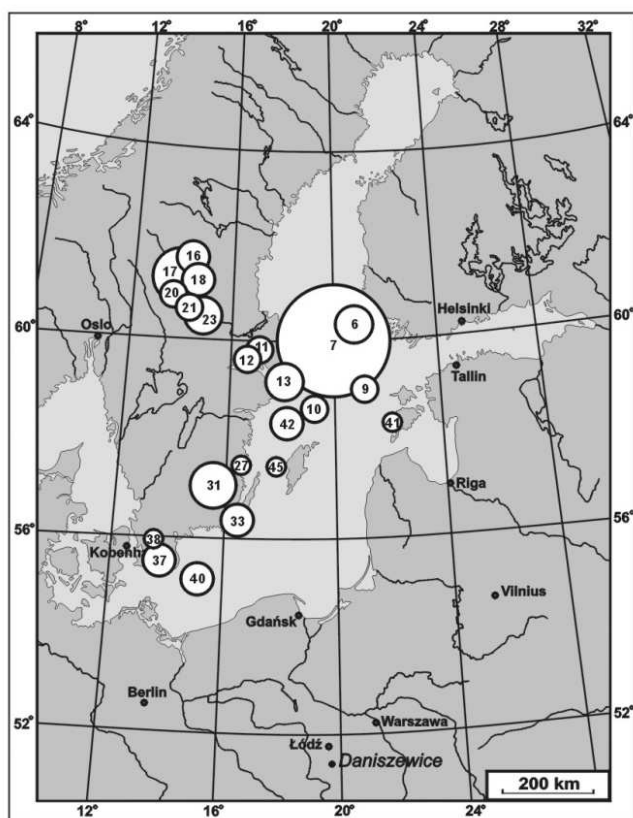
Skały fennoskandzkie stanowią 92,46% całkowitej liczby eratyków w przeanalizowanej próbce. Nie można jednak wykluczyć, że niektóre eratyki bliskiego transportu są makroskopowo tak podobne do zwietrzałych, paleozoicznych skał osadowych, że mogły zostać błędnie zakwalifikowane jako skały fennoskandzkie. Podobnie do próbki z Lewkówek (strefa IV), wśród skał lokalnych występowały prawie wyłącznie krzemienie i czerty. Tym razem jednak udział czertów był już dość istotny, ponieważ stanowiły około 1/4 ogólnej liczby skał bliskiego transportu. Wśród eratyków

fennoskandzkich dominują skały krystaliczne (73,45%), co z pewnością związane jest z wyeliminowaniem przez wietrzenie podatniejszych skał osadowych. Na skały osadowe (26,55%) składają się głównie piaskowce i inne skały okrucowe 20,21%, zaś wapienie stanowią jedynie 6,09%. Udział dolomitów ma charakter śladowy (pojedynczy eratyk), co potwierdza wspomnianą już wcześniej opinię na temat podwyższonej, w stosunku do wapieni, podatności tej skały na wietrzenie.

Wśród 567 gładzików skał krystalicznych rozpoznano ogółem 87 przewodnich eratyków krystalicznych, czyli aż 15,34%. Całkowita liczba skał przewodnich i pomocniczych (te ostatnie przeliczone metodą Vinxa i in. 1997) wyniosła 98 ziaren, czyli 12,69% ogółu skał fennoskandzkich. Na mapie eratyków wskaźnikowych (rys. 3) zaznacza się przewaga zespołu alandzkiego przy dość wysokim udziale skał z Dalarny. Skały z Wysp Alandzkich reprezentowane są najliczniej przez granity rapakiwi i granity aplitowe, zaś wśród skał z Dalarny największy udział mają typowe porfiry Bredvad i Grönklitt. Eratyki z pozostałych obszarów Fennoskandii (Uppland, Småland, Blekinge, Skania i Bornholm) występują w niewielkiej liczbie. Wschodni charakter analizowanego zespołu potwierdzają porfiry bałtyckie

i zachowane tylko w szczątkowej liczbie skały węglanowe. Taki skład zespołu eratyków jest typowy dla osadów warciańskich Polski Środkowej (Czubla 2001). W niezwiertzonych osadach glacialnych kompleksu środkowopolskiego (*sensu* Ber i in. 2007) w Polsce Centralnej, z eratykami alandzkimi stowarzyszone są liczne wapienie i dolomity. Zaznaczający się w analizowanym przykładzie wpływ wietrzenia na obraz czytelny na mapie stawia pod znakiem zapytania celowość uwzględniania skał węglanowych i innych skał podatnych na selekcję wietrzeniową w prezentacji tego typu. Wnioskowanie o kierunkach napływu lodu na podstawie map kołowych, sporządzonych w oparciu o w różnym stopniu zwiertzałe zespoły gładzowe, może bowiem prowadzić do mylnych wniosków.

Teoretyczny ośrodek gładzowy wyznaczony dla gliny w Daniszewicach ma współrzędne geograficzne 59,53° N i 17,48° E. Niemal identyczne wartości zostały wyliczone dla glin w Łaznowskiej Woli i Chociwii koło Łodzi. Powyższe współrzędne są typowe dla glin warciańskich w Polsce Środkowej (Czubla 2001). W nawiązaniu do wspomnianych stanowisk odrzański/warciański wiek gliny w Daniszewicach nie budzi wątpliwości.



Rys. 3. Eratyki przewodnie i pomocnicze rozpoznane w próbce z Daniszewice

sumaryczna liczba uwzględnionych eratyków – 98;  
pozostałe objaśnienia patrz rys. 2

Indicator erratics (including auxiliary rocks) in  
glacial deposits of Daniszewice outcrop

total number of indicator erratics in the sample – 98;  
for further explanations see Fig. 2



### Strefa III – Wysoczyzna Bełchatowska

#### Stanowisko Mąkolice III

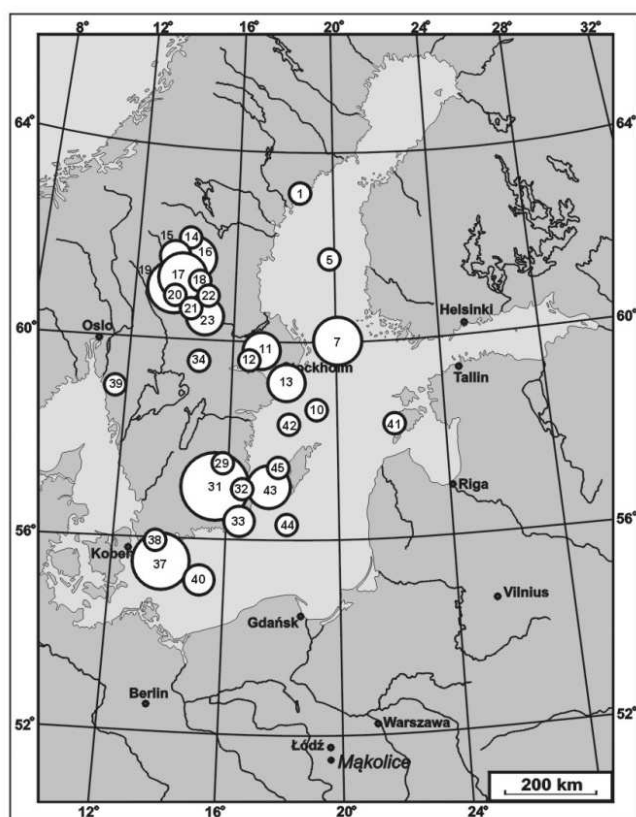
Stanowisko Mąkolice III zlokalizowane jest w obrębie moreny martwego lodu. Próbka eratyków pobrana z zalegającej tuż pod glebą gliny charakteryzuje się – w przeciwieństwie do wcześniej zaprezentowanych stanowisk – stosunkowo niskim stopniem zwietrzenia, dzięki czemu nie doszło w niej do redukcji udziału skał węglanowych oraz krystalicznych bogatych w biotyt. Odzwierciedla ona zatem proporcje eratyków zbliżone do występujących w świeżo złożonym osadzie.

Skały fennoskandzkie stanowią 87,70% ogólnej liczby głazików. Wśród nich przeważają skały krystaliczne (58,67% ogółu skał fennoskandzkich) – ze względu na niewielki stopień zwietrzenia gliny wskaźnik ten wydaje się być bliski pierwotnemu. Na skały osadowe (41,33%) składają się głównie wapień 28,66% i piaskowce 12,05%. Udział dolomitów ma charakter śladowy, co podkreśla zachodniofennoskandzki charakter próbki, wyrażony także dużym udziałem skał krystalicznych.

Na skały lokalne pozostaje 12,30% całkowitej liczby ziaren. Najliczniejszą grupę stanowią krzemienie i czerty (około 11% całej próbki, tj. prawie 90% eratyków lokalnych), ale zaznaczyć

należy, że mogą one w jakiejś części pochodzić również z bardziej odległych wychodni, np. zlokalizowanych na dnie Bałtyku. Na pozostałe skały lokalne przypada niewiele ponad 1% głazików w próbce.

Spośród 477 głazików skał krystalicznych udało się zidentyfikować 52 eratyki przewodnie, czyli 10,90%. Całkowita liczba skał przewodnich i pomocniczych (liczba skał osadowych zmodyfikowana zgodnie z ideą Vinxa i in. 1997) wyniosła 75 ziaren, czyli 9,23% całkowitej liczby skał fennoskandzkich. Na mapie eratyków wskaźnikowych (rys. 4) zaznacza się dominacja zespołu dalarneńskiego przy dość wysokim udziale skał ze Smålandu. Skały alandzkie występują w nieznacznej liczbie w przeciwieństwie do typowych zespołów odrzańskich/warciańskich Polski Środkowej, gdzie zawsze stanowią one najważniejszy identyfikowalny składnik frakcji gruboziarowej w glinach. Stosunkowo niski jest również udział skał bałtyckich i środkowoszwedzkich (Uppland). Takie spektrum gładowe było dotychczas uznawane za typowe dla glin odrzańskich (korelowanych wówczas z MIS 8) Polski Środkowej na podstawie badań w odkrywce KWB „Bełchatów” (Czubla 2001). W świetle nowych badań pozycja stratygraficzna glin formacji Ławki z Bełchatowa, uważanych dotychczas za odrzańskie,



Rys. 4. Eratyki przewodnie i pomocnicze rozpoznane w próbce z Mąkolice III  
 sumaryczna liczba uwzględnionych eratyków – 75;  
 pozostałe objaśnienia patrz rys. 2  
 Indicator erratics (including auxiliary rocks)  
 in glacial deposits of Mąkolice III outcrop  
 total number of indicator erratics in the sample – 75;  
 for further explanations see Fig. 2

stała jednak pod dużym znakiem zapytania (Balwierz i in. 2006, 2008). Najprawdopodobniej są one starsze od interglacjalnego Mazowsze i należałyby je przypisać do kompleksu południowopolskiego (san 2?). Wprowadzenie zmian w stratygrafii i nazewnictwie kompleksu środkowopolskiego (Lindner 2005; Ber i in. 2007; Lindner, Marks 2012) również skłania do rewizji dotychczasowych poglądów. W odniesieniu do nich większość glin dotychczas opisywanych w Polsce Środkowej jako warciańskie winna być określana jako odrzańskie (*sensu* Ber i in. 2007), zaś osady określane dotychczas jako odrzańskie należałyby, przynajmniej w niektórych przypadkach, przypisać do starszych nasunięć glacialnych.

Bardzo wysoki udział skał dalarnańskich (zwłaszcza odpornych wulkanitów) w próbce nie da się wytłumaczyć eliminacją bardziej podatnych na wietrzenie skał z innych regionów, ponieważ stopień zwietrzenia analizowanej gliny jest stosunkowo mały. W niezbyt odległych Masłowicach skał dalarnańskich prawie nie ma – nie znaleziono tam nawet pospolitych na ogół i łatwo rozpoznawalnych porfirów Bredvad, mimo dość znaczącego zwietrzenia tamtejszych glin, co powinno wpłynąć na wyeksponowanie odpornych skał z Dalarny.

Teoretyczny ośrodek gładowy wyznaczony dla gliny w Mąkolicach ma współrzędne geograficzne 59,12° N i 15,37° E, czyli jest położony na zachód od TCG glin odrzańskich/warciańskich odkrywki bełchatowskiej i innych stanowisk Polski Środkowej. Jest to lokalizacja zbliżona do TCG najmłodszego pokładu glin (T4 – formacja Ławki), leżących poniżej osadów formacji Chojny w odkrywce KWB Bełchatów (Czubla 2001). W świetle cytowanych wcześniej opracowań i konieczności modyfikacji stratygrafii osadów plejstoceńskich, należy przypuszczać, że gliny te reprezentują zlodowacenie san 2 kompleksu południowopolskiego. Nawet jednak w stosunku do wspomnianych glin T4 z Bełchatowa, TCG osadów glacialnych z Mąkolic przesunięte jest o ponad 0,5° dalej na zachód.

Pozycja gliny w odkrywce Mąkolice III w stosunku do powierzchni erozyjnej i poziomu wietrzeniowego oraz pokładu gliny w Mąkolicach I (Wachecka-Kotkowska i in. 2012) potwierdza wniosek o starszym niż odrzański/warciański wieku tego osadu. Występowanie gliny południowopolskiej w dolnej części pagórka, którego ostateczna forma ukształtowana została głównie w wyniku sedymentacji odrzańsko-warciańskiej (*sensu* Ber i in. 2007) i póź-

niejszych procesów erozyjnych, dowodzi różnicowania wiekowego tej formy i jej złożonej genezy.

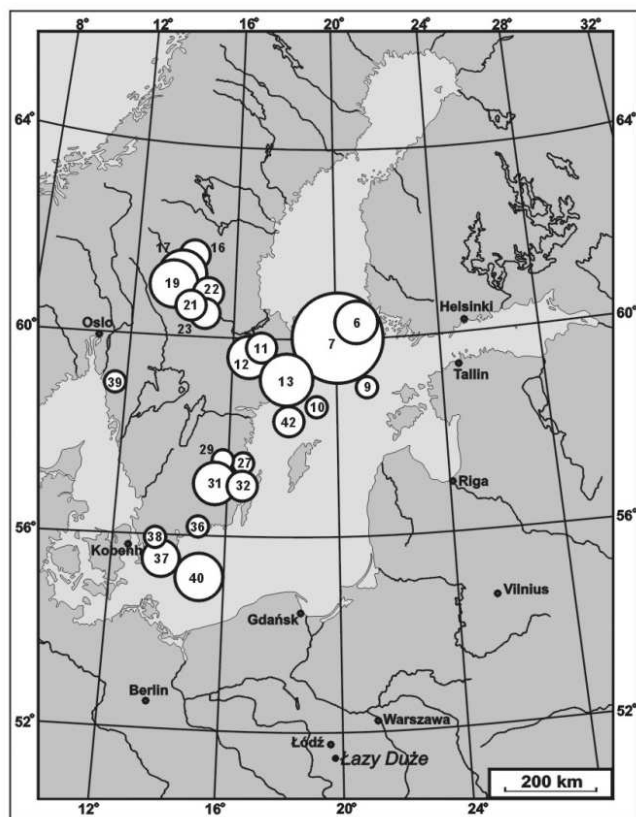
#### Strefa IV – Równina Piotrkowska

##### Stanowisko Łazy Duże

Zwirownia w Łazach Dużych położona jest w obrębie wysoczyzny morenowej płaskiej. Próbkę eratyków pobrana z cienkiej warstwy przemytej gliny (właściwie z bruku rezydualnego pozostałego po rozmytej glinie), zalegającej przy wjeździe do zwirowni, charakteryzuje się bardzo wysokim stopniem zwietrzenia skał. Potwierdza to zaawansowany etap rozpadu skał bogatych w biotyt – głównie łupków krystalicznych i gnejsów, ale także i niektórych granitoidów. Część z nich rozsypuje się w rękach na pojedyncze ziarna. Skały węglanowe zostały całkowicie wyeliminowane z osadu.

Skały fennoskandzkie stanowią 97,20% ogólnej liczby gładików. Wśród eratyków fennoskandzkich skały krystaliczne (77,24%) ponad trzykrotnie przeważają nad osadowymi (22,76%), co wynika z selektywnej eliminacji tych ostatnich przez wietrzenie. W grupie skał osadowych występują niemal wyłącznie piaskowce (22,31%). W pierwotnym składzie gliny skały węglanowe niewątpliwie musiały jednak mieć stosunkowo wysoki udział, na co wskazuje znacząca rola wschodniofennoskandzkich skał krystalicznych (głównie alandzkich) w analizowanym zespole gładowym. Pochodzą one z obszaru bezpośrednio przylegającego do wielkich wychodni skał osadowych starszego paleozoiku, a zatem musiały być transportowane w jednej masie lodu razem z wyeliminowanymi później wapieniami i dolomitami.

Spośród 509 gładików skał krystalicznych udało się zidentyfikować 66 eratyków przewodnich, czyli 12,97%. Całkowita liczba skał przewodnich i pomocniczych (osadowe zdziesiątkowane zgodnie z procedurą Vinxa i in. 1997) wyniosła 75 ziaren, czyli 11,38% ogółu skał fennoskandzkich. Na mapie eratyków przewodnich i pomocniczych zaznacza się dość wyraźnie dominacja zespołu alandzkiego przy znaczącym udziale skał dalarnańskich (rys. 5). Taki skład zbliżony jest do występującego w osadach odrzańskich (*sensu* Ber i in. 2007), a wschodnie pochodzenie podkreślone zwykle bywa wysokim udziałem skał węglanowych ze wschodniej części depresji bałtyckiej. W analizowanym przypadku skał węglanowych zupełnie zabrakło, zaś podwyższenie udziału odpornych na wietrzenie porfirów



Rys. 5. Eratyki przewodnie i pomocnicze rozpoznane w próbce z Łaz Dużych

sumaryczna liczba uwzględnionych eratyków – 75;  
pozostałe objaśnienia patrz rys. 2

Indicator erratics (including auxiliary rocks)  
in glacial deposits of Łazy Duże outcrop

total number of indicator erratics in the sample – 75;  
for further explanations see Fig. 2

dalarnieńskich przesunęło teoretyczny ośrodek gładowy na zachód w strefę typową raczej dla starszych glin Polski Środkowej. Gliny zlodowaceń kompleksu południowopolskiego (*sensu* Ber i in. 2007) cechują się jednak zdecydowanie wyższym udziałem eratyków z południowej Szwecji przy utrzymującej się istotnej roli skał z Dalarny. Skały alandzkie w glinach południowopolskich stanowią tylko niewielki odsetek. Przesunięcie teoretycznego ośrodka gładowego na południowy zachód, nietypowe przy niskiej zawartości skał ze Smålandu, nastąpiło głównie dzięki nieoczekiwanie licznym skałom bornholmskim. Skały środkowoszwedzkie (Uppland i okolice Sztokholmu) reprezentowane są w umiarkowanej liczbie w różnowiekowych glinach. W opisywanym zespole ich ranga została dodatkowo obniżona w efekcie wietrzenia, na które te dość bogate w biotyt skały są stosunkowo podatne (por. m.in. Marciniński 1968; Czubała 2001). W sprzeczności z tezą o raczej wschodnim pochodzeniu analizowanego zespołu pozostaje niewielka liczba porfirów bałtyckich (po jednym czerwonym i brunatnym), które powinny w tym przypadku zostać nawet wyeksponowane w próbce dzięki swojej wysokiej odporności. Wśród skał dalarnieńskich najliczniej występują porfiry Bredvad. W pewnym stopniu mogło to być uwarunkowane ich szczególnie wysoką odpornością na wietrzenie i łatwą rozpozna-

walnością nawet w silnie przekształconych przez ten proces zespołach gładowych. Dość liczne są i inne typy skał wulkanicznych ze środkowej Szwecji, natomiast znacznie rzadsze są granitoidy z tamtego regionu. Dość trudny do wyjaśnienia jest spory udział skał bornholmskich (granitoidów). Towarzyszą im w analizowanej próbce piaskowce arkozowe ze zlepieńcowatymi wkładkami, które mogą być utożsamiane z bornholmskimi piaskowcami Nexö. Te ostatnie nie mają jednak żadnych swoistych cech pozwalających na odróżnienie od również kambryjnych piaskowców, występujących na dnie zachodniego i północnego Bałtyku (Schuddebeurs 1980/1981).

Teoretyczny ośrodek gładowy wyznaczony dla rezydium gliny w Łazach Dużych ma współrzędne geograficzne 59,17° N i 16,76° E, czyli jest położony na południowy zachód od większości TCG glin odrzańskich/warciańskich odkrywką bełchatowskiej i innych stanowisk Polski Środkowej. Jest to lokalizacja niemal identyczna ze wskaźnikami obliczonymi dla południowopolskich glin T2 z Bełchatowa (Czubała 2001) oraz dla zwietrzałej „południowopolskiej” gliny z Tumu k. Łęczycy (Czubała, Forysiak 2013). Bardzo wysoki stopień zwietrzenia analizowanego osadu doprowadził do względnego podwyższenia zawartości porfirów dalarnieńskich i w efekcie do wtórnego przesunięcia TCG na

zachód. Należy zatem, w oparciu o udziały skał z poszczególnych regionów Fennoskandii, interpretować opisaną glinę jako odłożoną przez łądolód środkowopolski.

### Stanowisko Lewkówka III

Próbka eratyków pobrana została z zalegającej tuż pod glebą gliny w dużej żwirowni w Lewkowie na północ od Piotrkowa Trybunalskiego, położonej w obrębie wysoczyzny morenowej płaskiej. Gлина tworzy tam cienki pokład odsłaniający się wzdłuż wschodniej ściany odkrywki na odcinku ponad 100 metrów. Maksymalna miąższość gliny wynosi około 1,5 metra i maleje w kierunku północnym. Płytkie zaleganie pokładu przyczyniło się do znacznego zaawansowania procesów wietrzeniowych. Jest to szczególnie widoczne w przypadku eratyków węglanowych oraz skał krystalicznych bogatych w biotyt. Wszystkie dolomity i większość wapieni uległy całkowitemu zniszczeniu.

Skały fennoskandzkie stanowią 94,67% ogólnej liczby głazików. Wśród pozostałych 5,33% skał lokalnych zachowały się niemal wyłącznie krzemienie i czerty, ale i one mogą w znacznej części pochodzić z rejonu Bałtyku, na co zdaje się wskazywać obecność prawie samych krzemieni. Są one znacznie odporniejsze na wietrzenie od czertów i łatwiej znoszą daleki transport. W lokalnych osadach mezozoiku i paleogenu dość licznie występują natomiast czerty, których jednak w przebadanej próbce prawie nie było. Innym hipotetycznym wyjaśnieniem proporcji pomiędzy krzemieniami i czertami może być pobranie lokalnego materiału, ale takiego, w którym doszło już do wtórnego wzbogacenia w krzemienie na skutek usunięcia większości bardziej podatnych czertów w następstwie długotrwałego wietrzenia.

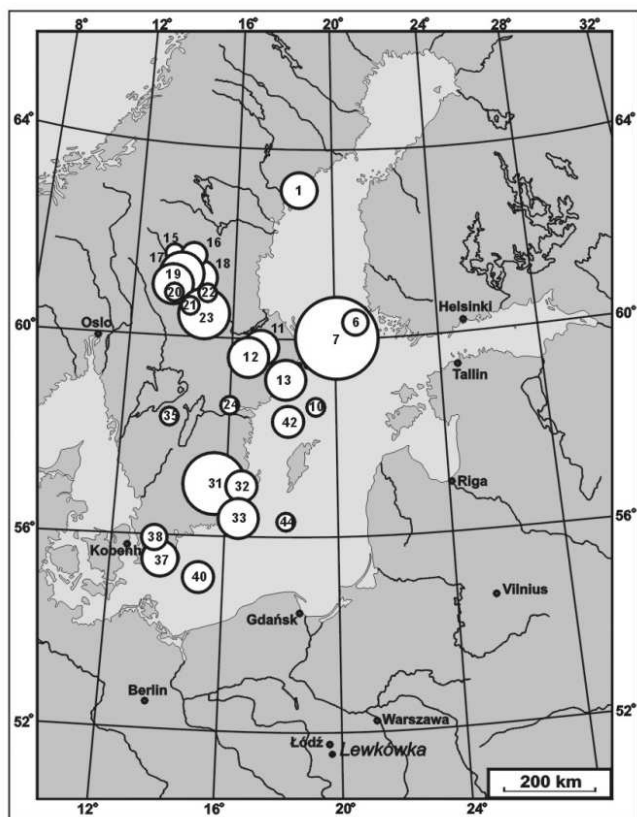
Wśród skał fennoskandzkich dominują krystaliczne (72,25%), co niewątpliwie wynika z eliminacji znaczącej części skał węglanowych w procesach wietrzeniowych. Na skały osadowe (27,75%) składają się głównie skały okrucowe (piaskowce) – 20,97% i w niewielkiej części zwietrzałe wapienie – 6,09%.

Spośród 565 głazików skał krystalicznych udało się zidentyfikować 90 eratyków przewodnich, czyli aż 15,93%. Całkowita liczba skał przewodnich i pomocniczych (osadowe zdzięsiatkowane zgodnie z procedurą Vinxa i in. 1997) wyniosła 108 klastów, czyli 13,81% ogółu skał fennoskandzkich. Na mapie eratyków wskaźnikowych można dostrzec niewielką przewagę liczbową eratyków z Dalarny nad ska-

łami z Wysp Alandzkich (rys. 6). Udział skał alandzkich w przebadanym zespole z Lewkówki jest znacznie mniejszy niż w typowych glinach odrzańskich/warciańskich Polski Środkowej. Nie można jednak wykluczyć, że zakłócenie proporcji pomiędzy skałami pochodzącymi z tych dwóch obszarów alimentacyjnych w stosunku do typowych osadów glacialnych regionu jest wynikiem względnego wzrostu roli odpornych wulkanitów dalarnieńskich kosztem mniej odpornych grubokrystalicznych skał z Wysp Alandzkich. Selekcja skał osadowych, jaka nastąpiła w trakcie wietrzenia nie pozwala na weryfikację powyższego przypuszczenia ani na potwierdzenie zachodniego charakteru zespołu eratyków w oparciu o proporcje pomiędzy skałami osadowymi z różnych regionów Fennoskandii. Na pierwotny charakter przewagi skał z Dalarny zdaje się jednak wskazywać duże zróżnicowanie skał z tamtego regionu stwierdzone w analizowanej próbce. Obok najpospolitszego porfiru Bredvad, występują w nim liczne inne typy skał wulkanicznych, i nawet liczniejsze od wspomnianego porfiru granity Siljan. Te ostatnie powinny dość szybko ulec wietrzeniu, a jednak tak się nie stało.

Skały południowoszwedzkie i wywodzące się z Upplandu odgrywają zdecydowanie mniejszą rolę. O ile niska ranga granitów sztokholmskich i skał z Upplandu nie pozwala na próby korelacji z osadami glacialnymi w innych stanowiskach, to niewielka zawartość skał południowoszwedzkich wyklucza powiązanie analizowanych glin z ostatnim zlodowaczeniem kompleksu południowopolskiego. W zespołach eratyków z osadów glacialnych tego wieku, opisywanych przez autora pierwotnie jako odrzańskie (głina T4 w odkrywce bełchatowskiej) – Czubla (2001), udział skał alandzkich był znikomy, a dominowały skały smålandzkie i dalarnieńskie. Zespół eratyków w glinie z Lewkówki jest bardzo podobny do zaobserwowanego w położonych około 25 km dalej na południe Łazach Dużych.

Teoretyczny ośrodek głazowy wyznaczony dla gliny w Lewkowie ma współrzędne geograficzne 59,34° N i 16,49° E, czyli jest położony na południowy zachód od wskaźników obliczonych dla glin odrzańskich/warciańskich odkrywki bełchatowskiej i innych stanowisk Polski Środkowej. Bardzo podobne teoretyczne centrum głazowe posiadają również glina w Łazach Dużych, zwietrzała glina w Besiekierzu k. Łodzi (Czubla i in. 2013) oraz odrzańskie/warciańskie gliny w Brzezinach, Moszczenicy (Czubla 2001) i Łodzi.



Rys. 6. Eratyki przewodnie i pomocnicze rozpoznane w próbce z Lewkówki III

sumaryczna liczba uwzględnionych eratyków – 108; pozostałe objaśnienia patrz rys. 2

Indicator erratics (including auxiliary rocks) in glacial deposits of Lewkówka III outcrop

total number of indicator erratics in the sample – 108; for further explanations see Fig. 2

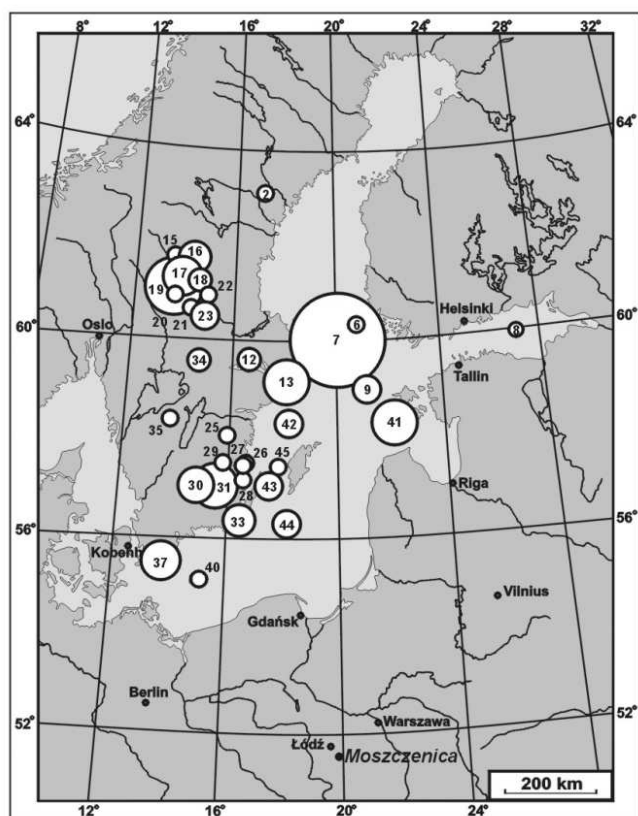
#### Stanowisko Moszczenica

Próbka eratyków oznaczona jako Moszczenica pobrana została z mającej miąższość około 5 metrów brunatnej gliny morenowej, zalegającej tuż pod glebą w wyrobisku cegielnianym zlokalizowanym na południe od miejscowości o tej nazwie. Stanowisko zlokalizowane jest w obrębie wysoczyzny morenowej płaskiej. W stropie glina wykazuje oznaki zwiertzenia, ale zaznaczone tylko spadkiem stopnia zwięzłości gliny oraz zmniejszeniem liczby węglanowych klastów. Skąły krystaliczne nie wykazują oznak zwiertzenia. Tę nadwietrzałą górną część profilu glin pominięto przy poborze eratyków do badań.

Skąły fennoskandzkie stanowią 94,88% ogólnej liczby głązików. Na pozostałe 5,12% (skąły lokalne) składają się w przeważającej części mezozoiczne wapienie oraz krzemienie i czerty, których przynależność do tej grupy może być jednak dyskusyjna. Inne skąły lokalne, np. mułowce i węgiel brunatny odgrywają rolę marginalną. Wśród skąły fennoskandzkich przeważają skąły osadowe (57,45%). Najliczniej reprezentowane są wapienie paleozoiczne, które pozostają w niemal idealnej równowadze ze skąły krystalicznymi – odpowiednio 42,12% i 42,55%. Piaskowce stanowią 10,55% liczby eratyków fennoskandzkich w próbce. Wysoki jest również udział dolomitów –

4,67%, wskazujący wraz z wapieniami na wschodnią proveniencję zespołu głązowego.

Spośród 702 eratyków krystalicznych udało się zidentyfikować 93 klasty skąły przewodnich, czyli 13,25%. Całkowita liczba skąły wskaźnikowych (osadowe dziesiętkowane zgodnie z procedurą Vinxa i in. 1997) wyniosła 134 ziarna, tj. 8,12% ogółu skąły fennoskandzkich. Na mapie eratyków wskaźnikowych zaznacza się dominacja zespołu alandzkiego przy dość wysokim udziale skąły z Dalarny. Z Moszczenicy pochodzi również jedyny znaleziony przez autora w Polsce okaz porfiru Hogland (Czubla 2001), odsłaniającego się pierwotnie na niewielkiej wyspie w Zatoce Fińskiej. Skąły ze Smålandu występują dość licznie, ale znacznie ustępują wymienionym wcześniej eratykom fińsko-alandzkim i dalarnieńskim (rys. 7). Skąły środkowoszwedzkie (Uppland i okolice Sztokholmu) reprezentowane są w umiarkowanej liczbie w różnowiekowych glinach. Próbka z Moszczenicy nie odbiega pod tym względem od innych prób z opisywanego regionu. Skania reprezentowana jest jedynie przez piaskowce Hardeberga, ale ich znaczenie wskaźnikowe jest mocno dyskusyjne (Schuddebeurs 1980/1981). Powyższy skład próbki eratyków wyraźnie wskazuje na wschodnie pochodzenie gliny w Moszczenicy. Umożliwia to korelację z innymi próbkami o podobnym składzie opisanymi w Polsce



Rys. 7. Eratyki przewodnie i pomocnicze rozpoznane w próbie z Moszczenicy

sumaryczna liczba uwzględnionych eratyków – 134; pozostałe objaśnienia patrz rys. 2

Indicator erratics (including auxiliary rocks) in glacial deposits of Moszczenica outcrop

total number of indicator erratics in the sample – 134; for further explanations see Fig. 2

Środkowej i zinterpretowanymi jako gliny warciańskie. Niewielki udział skał południowoszwedzkich w glinie wyklucza przypisanie jej do złodowaceń kompleksu południowopolskiego.

Teoretyczny ośrodek gładzowy wyznaczony dla gliny w Moszczenicy ma współrzędne geo-

graficzne  $59,41^{\circ}$  N i  $16,96^{\circ}$  E, czyli jest położony w strefie typowej dla większości TCG glin odrzańskich/warciańskich odkrywki bełchatowskiej i innych stanowisk Polski Środkowej – niemal identyczny z TCG gliny w Brzezinach (Czubla 2001) i w Łodzi (ul. Zjazdowa).

## PODSUMOWANIE

Badania frakcji gruboziarowej w osadach glacialnych wykazały wyraźne zróżnicowanie przestrzenne ich składu petrograficznego. Najbardziej czytelne okazały się analizy teoretycznych ośrodków gładzowych (TCG), obliczonych w oparciu o krystaliczne eratyki przewodnie. Ich rozmieszczenie przeanalizowano w odniesieniu do licznych danych z Polski Środkowej (Czubla 2001, 2006). Na przebadanym obszarze możliwe jest wyróżnienie w osadach glacialnych dwóch głównych litotypów (S i O/W), wyraźnie różniących się proporcjami liczbowymi pomiędzy eratykami wywodzącymi się z różnych regionów Fennoskandii.

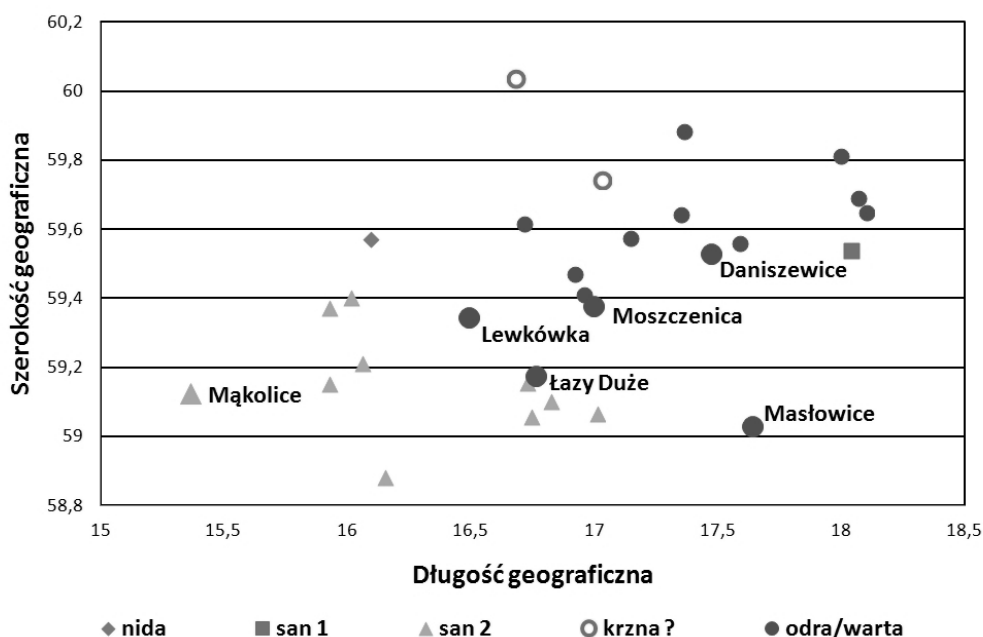
Pierwszy z litotypów (S) został rozpoznany w glinie ze stanowiska Mąkolice III. Charakteryzuje się on zrównoważonym i wysokim udziałem eratyków wywodzących się ze środkowej (Dalarna) i południowej (Småland, Skania, Ble-

kinge) Szwecji. Bardzo nieliczne są natomiast w tym litotypie eratyki alandzkie, bałtyckie i upplandzkie (rys. 4). Opisany skład zespołu eratyków jest skrajnie odmienny od stwierdzonego we wszystkich pozostałych przebadanych próbkach. Konsekwencją takiego składu jest lokalizacja teoretycznego ośrodka gładzowego gliny z Mąkolic. Jest on wysunięty daleko na zachód nie tylko wobec pozostałych próbek z opisywanego obszaru, ale także w stosunku do wszystkich innych osadów glacialnych plejstocenu środkowej Polski (rys. 8) – dalej nawet od mającej skrajnie zachodnie położenie strefy, typowej dla gliny T4 z Bełchatowa, która w świetle ostatnich badań (Balwierz i in. 2006, 2008) powinna być korelowana z kompleksem południowopolskim (*sensu* Ber i in. 2007) – Pawłowska i in. (2014). Wydaje się, zatem, że uzasadnione będzie powiązanie gliny z Mąkolic

z ostatnim (?) na tym obszarze awansem lądolodu zlodowaceń południowopolskich. Analogiczne zestawienie, ale bazujące na ośrodkach gładzowych wyliczonych w oparciu wyłącznie o krystaliczne skały przewodnie, wskazuje na dużą zbieżność składu petrograficznego osadów glacialnych z Mąkolice z gliną T4 z Bełchatowa i potwierdza powyższy wniosek. Przytoczone porównanie współrzędnych ośrodków gładzowych obliczanych z uwzględnieniem piaskowców lub bez nich skłania raczej do rezygnacji z wykorzystywania w obliczeniach nawet tych pozornie najbardziej miarodajnych skał osadowych, ponieważ ich włączenie do analiz wpływa na większy rozrzut uzyskanych wyników.

W pozostałych przebadanych stanowiskach występują gliny drugiego litotypu (O/W). Charakteryzuje się on przede wszystkim wysokim udziałem skał alandzkich oraz niewielką rolą eratyków południowszwedzkich (rys. 2, 3, 5, 6, 7). Udział skał z Dalarny jest w tym litotypie zmienny. Trudny do jednoznacznej interpretacji wynik dała analiza gliny w Masłowicach. Jej teoretyczny ośrodek gładzowy zlokalizowany jest dość daleko na południu (rys. 8), co przynajmniej częściowo wynika ze znikomego udziału eratyków

dalarnieńskich. Jest to położenie niezbyt odległe od zespołów gładzowych z gliny T2 z Bełchatowa (Czubła 2001). Należy jednak zastrzec, że wysoki udział skał alandzkich w zespole z Masłowic nie pozwala na przypisanie tej gliny do osadów innych niż odrzańskie/warciańskie (rys. 2). Wpływ wietrzenia na skład gładzowy zaznaczył się chyba tylko niewielką redukcją udziału skał węglanowych i rozpadem ziarnistym najbogatszych w biotyt skał krystalicznych. Wietrzenie miało natomiast bardzo ograniczony wpływ na położenie teoretycznego ośrodka gładzowego i na pewno nie można interpretować próbki z Masłowic jako gliny południowopolskiej, o ośrodku gładzowym „przesuniętym na wschód” w wyniku selekcji wietrzeniowej eratyków przewodnich. Wpływ długotrwałego wietrzenia wyrażałby się ewentualnym przesunięciem teoretycznego ośrodka gładzowego w przeciwnym kierunku, tj. na zachód, co związane jest ze względny wzrostem udziału odpornych na wietrzenie wulkanitów dalarnieńskich. W wariancie metodycznym wykorzystującym skały osadowe, np. dolomity, to przesunięcie jest jeszcze bardziej czytelne, ponieważ równoległe ze wzrostem udziału odpornych na wietrzenie skał szwedzkich następuje spadek znaczenia podatnych



Rys. 8. Teoretyczne ośrodki gładzowe osadów glacialnych z przebadanych stanowisk na tle wyników badań w Polsce Środkowej

w obliczeniach uwzględniono skały krystaliczne i wybrane skały osadowe okrucowe

Theoretical boulder centers calculated for glacial deposits in studied sites against research results in other outcrops in Middle Poland

in TBC calculations numbers of crystalline (igneous and metamorphic) and chosen sedimentary (clastic) rocks were used

na ten proces skał węglanowych, wywodzących się głównie ze środkowej i wschodniej części basenu bałtyckiego. Pozostałe zespoły głazowe (próbki Daniszewice, Moszczenica, Łazy Duże i Lewkówka) posiadają teoretyczne ośrodki głazowe typowe dla osadów odrzańskich/warciańskich Polski Środkowej (por. Czubla 2001, 2006). Zaznacza się jednak wśród nich zróżnicowanie wynikające ze stopnia zwietrzenia. Dla osadów mocno zwietrzalnych, co podkreślone jest łatwo zauważalną redukcją udziału skał węglanowych, a w skrajnym przypadku (Łazy Duże) ich zupełnym wyeliminowaniem, charakterystyczne jest wyraźne przesunięcie ośrodka głazowego na zachód (rys. 5, 6). Pozostałe zlokalizowane są na wschodzie w sektorze jednoznacznie interpretowanym jako charakterystyczny dla glin tego wieku (Czubla 2001; Czubla i in. 2010, 2013). Zespoły eratyków w Lewkowie, Łazach Dużych i w Moszczenicy są – pomijając niewielki wpływ zwietrzenia – bardzo podobne (rys. 5, 6, 7). Oznacza to, że osady glacialne w wymienionych stanowiskach zostały odłożone przez tę samą masę lodu (prąd lub potok lodowy – *sensu* Czubla 2015). Nie jest to niczym zaskakującym w kontekście sąsiedniej lokalizacji i jednakowej pozycji stratygraficznej. Powyższe przypuszczenie potwierdza również analiza rzeźby (Wachecka-Kotkowska 2015) oraz położenie stanowisk w układzie zbliżonym do południowego, czyli zgodnym z uogólnionym kierunkiem napływu lodu na badany obszar.

Osady glacialne w Daniszewicach i w Masłowicach posiadają teoretyczne ośrodki głazowe zlokalizowane dość daleko na wschodzie (rys. 8). Przyczyniła się do tego przede wszystkim wysoka zawartość skał alandzkich. Różnią się one jednak zawartością eratyków ze środko-

wej i południowej Fennoskandii. Glina w Daniszewicach jest dość uboga w skały południowo-szwedzkie, a stosunkowo licznie występują w niej skały z Dalarna – sublitotyp O/W<sub>1</sub> (rys. 3). W Masłowicach proporcje pomiędzy tymi dwiema grupami eratyków przewodnich są odwrotne – sublitotyp O/W<sub>2</sub> (rys. 2). Można zatem przypuszczać, że gliny w tych dwóch stanowiskach zostały odłożone przez różne masy lodu – odrębne potoki lodowe (nie były to strumienie lodowe, ponieważ żadnych świadectw przyspieszonego ruchu lodu nie zaobserwowano). Może też na to także wskazywać ich wzajemne położenie: Masłowice na południowym wschodzie, a Daniszewice na zachodzie (rys. 1), czyli prawie poprzeczne w stosunku do zgeneralizowanego kierunku transgresji lądolodu. Do podobnych wniosków prowadzi analiza rzeźby w najbliższym sąsiedztwie obydwu stanowisk. Potwierdzenie powyższego przypuszczenia wymaga jednak weryfikacji przy użyciu innych metod badawczych i – przede wszystkim – uzupełnienia analiz o kolejne stanowiska we wschodniej i zachodniej części obszaru badań. Z już przeprowadzonych badań petrograficznych rysuje się jednak obraz dwukierunkowego napływu mas lodowych lądolodu Warty na ten obszar, postulowany m.in. przez Turkowską (2006) i Wachecką-Kotkowską (2015).

Dodatkowym aspektem przeprowadzonych badań petrograficznych osadów glacialnych było skorelowanie glin budujących dolną część północnego skłonu pagórka w Mąkolicach z osadami glacialnymi zlodowacenia san 2. Wnioski stratygraficzne przyczyniły się do stwierdzenia złożonej genezy tej formy i wyjaśnienia etapów jej kształtowania się (Wachecka-Kotkowska i in. 2012).

Autor serdecznie dziękuje Lucynie Wacheckiej-Kotkowskiej za wspólne badania terenowe oraz liczne dyskusje, które miały istotny wpływ na treść prezentowanego artykułu.

Prace badawcze zostały sfinansowane z grantu N N306 721140 „*Morfogeneza obszaru pomiędzy Radomskiem, Przedborzem i Piotrkowem Trybunalskim jako świadectwo uwarunkowań, przebiegu i roli najmlodszych zdarzeń glacialnych pogranicza Niżu i Wyżyn środkowej Polski*” oraz ze środków na działalność statutową Pracowni Geologii Wydziału Nauk Geograficznych UŁ.

## LITERATURA

- Balwierz Z., J. Goździk, B. Marciniak. 2006. „Palinologiczne i diatomologiczne badania osadów interglacjału mazowieckiego z odsłonięcia w kopalni Bełchatów”. *Przegląd Geologiczny* 54 (1): 61-67.
- Balwierz Z., J. Goździk, B. Marciniak. 2008. „Geneza masy jeziornej i warunki środowiskowe akumulacji limniczno-bagiennej w interglaciale mazowieckim w rowie Kleszczowa



- (środkowa Polska)”. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 428: 3-22.
- Baraniecka M.D., J. Goździk, J. Ziomek. 1995. „Lithologic, mineralogic and petrographic composition of tills from the vicinity of Bełchatów”. *Acta Geographica Lodziensia* 68: 29-46.
- Ber A., L. Lindner, L. Marks. 2007. „Propozycja podziału stratygraficznego czwartorzędu Polski”. *Przegląd Geologiczny* 55 (2): 115-118.
- Czerwinka J.A., D. Krzyszkowski. 1990. „Salian tills in the Bełchatów outcrop, central Poland”. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Earth Sciences* 38: 63-75.
- Czerwinka J.A., D. Krzyszkowski. 1992. „Till characteristics and stratigraphy in the Kleszczów Graben (Central Poland)”. *Quaternary Studies in Poland* 11: 43-64.
- Czubla P. 2001. Eratyki fennoskandzkie w utworach czwartorzędowych Polski Środkowej i ich znaczenie stratygraficzne. *Acta Geographica Lodziensia* 80.
- Czubla P. 2006. „The stratigraphic significance of Indicator Erratics Counts from Glacial Deposits – An Example from Eastern Wielkopolska (Great Poland Lowland)”. *Archiv für Geschichtsbekunde [Festband Gerd Lüttig]* 5 (1-5): 177-190.
- Czubla P. 2015. Eratyki fennoskandzkie w osadach glacialnych Polski i ich znaczenie badawcze. Łódź: Wydawnictwo UŁ.
- Czubla P., J. Forysiak. 2013. Na czym stoi grodzisko w Tumie koło Łęczycy? – rezultaty badań petrograficznych na tle stratygrafii regionu. W: *Plejstocen przedpola Sudetów Środkowych*. XX Konferencja „Stratygrafia Plejstocenu Polski”. Lasocin 2–6 września 2013, 41-45.
- Czubla P., J. Forysiak, J. Petera-Zganiacz. 2010. „Lithological and petrographic features of tills in the Koźmin region and their value for stratigraphical interpretation of glacial Lake Koźmin deposits, Central Poland”. *Geologija* 52 (1/4): 1-8.
- Czubla P., J. Forysiak, J. Petera-Zganiacz, M. Grajoszek, M. Wiśniewska. 2013a. „Charakterystyka litologiczno-petrograficzna osadów czwartorzędowych w dolinie Warty (stanowisko Koźmin Północ)”. *Przegląd Geologiczny* 61 (2): 120-126.
- Czubla P., J. Forysiak, J. Twardy. 2013b. „Diamicton in Besiekierz (Central Poland) – how to avoid misinterpretation of superposition in Quaternary geology”. *Geological Quarterly* 57 (4): 629–636.
- Czubla P., D. Gałązka, M. Górską. 2006. „Eratyki przewodnie w glinach morenowych Polski”. *Przegląd Geologiczny* 54 (4): 352-362.
- Czubla P., L. Wachecka-Kotkowska. 2009. Pozycja stratygraficzna glin lodowcowych w Masłowicach (Wyżyna Przedborska) w świetle badań petrograficznych. W *Strefa marginalna lądolodu zlodowacenia warty i pojezierza plejstocenijskie na południowym Podlasiu*. XVI Konferencja „Stratygrafia Plejstocenu Polski”. Zimna Woda k. Łukowa 31 sierpnia–4 września 2009, 56-57.
- 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. 2000. „Wybrane właściwości petrograficzne vistuliańskich moren dennych środkowej i zachodniej Wielkopolski oraz ich znaczenia dla oceny dynamiki ostatniego lądolodu”. *Prace Poznańskiego Towarzystwa Przyjaciół Nauk* 26: 1-145.
- Górska-Zabielska M. 2008. Fennoskandzkie obszary alimentacyjne osadów akumulacji glacialnej i glaciofluwialnej lobu Odry. Poznań: Wydawnictwo Naukowe UAM. Geografia 78.
- Lindner L. 1992. Stratygrafia (klimatostratygrafia) czwartorzędu. W *Czwartorzęd: osady, metody badań, stratygrafia*, 441-633. Warszawa: PAE.
- Lindner L. 2005. „Nowe spojrzenie na liczbę, wiek i zasięgi zlodowaceń środkowopolskich w południowej części środkowowschodniej Polski”. *Przegląd Geologiczny* 53 (2): 145-150.
- Lindner L., L. Marks. 2012. „O podziale klimatostratygraficznym kompleksu środkowopolskiego w plejstocenie Polski”. *Przegląd Geologiczny* 60 (1): 36-45.
- Lipka E. 2011. Zróżnicowanie cech petrograficznych osadów polodowcowych na Wysoczyźnie Lubuskiej. Maszynopis pracy doktorskiej. Poznań: Repozytorium Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.
- Lüttig G. 1958. „Methodische Fragen der Geschichtsbeforschung”. *Geologisches Jahrbuch* 75: 361-418.
- Marczinski R. 1968. „Zur Häufigkeit und Verteilung von Geschieben in verschiedenen Korngrößen-Bereichen saaleglazialer Ablagerungen Norddeutschlands”. *Mitteilungen aus dem Geologischen Institut der Technischen Universität Hannover* 8: 74-86.
- 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 pebbles and stone count methods. W: *Glacial Deposits in North-West Europe*, 275-287. Rotterdam: Balkema.
- Nunberg J. 1971. „Próba zastosowania metod statystycznych do badań zespołu głazów fennoskandyjskich występujących w utworach glacialnych północno-wschodniej Polski”. *Studia Geologica Polonica* 37: 1-103.

- Pawłowska K., H. Greenfield, P. Czubla. 2014. „'Steppe' mammoth (*Mammuthus trogontherii*) remains in their geological and cultural context from Bełchatów (Poland): A consideration of human exploitation in the Middle Pleistocene”. *Quaternary International* 326-327: 448-468.
- Puranen R. 1990. Modelling of glacial transport of tills. W *Glacial Indicator Tracing*, 15-34. Rotterdam: Balkema.
- 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. 2008a. Noch mehr Strandsteine; Sammeln und Bestimmen von Steinen an der Nord- und Ostseeküste. Neumünster (Wachholtz).
- Rudolph F. 2008b. Strandsteine; Sammeln und Bestimmen von Steinen an der Ostseeküste 8. Aufl. Neumünster (Wachholtz).
- Saarnisto M. 1990. An outline of glacial indicator tracing. W *Glacial Indicator Tracing*, 1-13. Rotterdam/Brookfield: Balkema.
- Schuddebeurs A.P. 1980/1981. „Die Geschiebe im Pleistozän der Niederlande”. *Der Geschiebesammler* 13: 163-178, 14: 33-40, 91-118, 147-198, 15: 73-90, 137-157, 181-187.
- Schulz W. 2003. Geologischer Führer für den norddeutschen Geschiebesammler, 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. 1994, 2002 (2. wyd.). Steine aus dem Norden: Geschiebe als Zeugen der Eiszeit in Norddeutschland. Berlin–Stuttgart: Gebrüder Borntraeger.
- Turkowska K. 2006. Geomorfologia regionu łódzkiego. Łódź: Wydawnictwo UŁ.
- Vinx R. 2015 (4. wyd.; poprzednie w 2005, 2008, 2011). Gesteinsbestimmung im Gelände. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Vinx R., A. Grube, F. Grube. 1997. „Vergleichende Lithologie, Geschiebeführung und Geochemie eines Prä-Elster-I-Tills von Lieth bei Elmshorn”. *Leipziger Geowissenschaften* 5: 83-103.
- Virkkala K. 1974. On the Würmian till deposits in Finland. *Zeszyty Naukowe UAM, Geografia* 10: 59-80.
- Wachecka-Kotkowska L. 2015. Rozwój rzeźby obszaru pomiędzy Piotrkowem Trybunalskim, Radomskiem a Przedbórzem w czwartorzędzie. Łódź: Wydawnictwo UŁ.
- Wachecka-Kotkowska L., P. Czubla, M. Górską-Zabielska, E. Król. 2012. „Poligeneza pagóra w okolicach Mąkolice na wododziale Wisły i Odry na Wysoczyźnie Bełchatowskiej, region łódzki”. *Acta Geographica Lodziensia* 100: 161-178.
- Zandstra J.G. 1999. Platenatlas van noordelijke kristallijne gidsgesteenten, Foto's in kleur met toelichting van gesteentetypen van Fennoscandiavië. Leiden: Backhuys.

## INDICATOR ERRATICS ANALYSES IN GLACIAL TILLS AND THEIR SIGNIFICANCE FOR THE RECONSTRUCTION OF ICE-SHEET DYNAMICS OF THE AREA BETWEEN PIOTRKÓW TRYBUNALSKI, RADOMSKO AND PRZEDBÓRZ (CENTRAL POLAND)

### SUMMARY

**Abstract.** Petrographic studies of indicator erratics in glacial sediments revealed the existence of at least two lithotypes of glacial tills (marked S and O/W), differing in source area of moraine material. The older one (S), represented by glacial till in Mąkolice, was deposited by the last advance of South Polish Glaciation in the area. The younger lithotype (O/W) includes glacial sediments of Middle Polish Complex. Among them, two varieties (sublithotypes), probably deposited by separate ice masses (but not ice streams), can be distinguished. These sublithotypes are clearly recognizable only in the southern part of the area under research. Their relative spatial distribution and petrographic features confirm the validity of the conclusions based on the analysis of the relief, which suggests that the ice-sheet during the Middle Polish Glaciation (Odranian/Wartanian) entered the Piotrków region from two directions.

**Key words:** indicator erratics, petrographic analyses, glacial deposits, Quaternary stratigraphy, Wartanian ice-sheet, Łódź Region, Central Poland

Petrographic research of coarse gravel fraction in glacial sediments showed distinct spatial diversity of their petrographic composition. The

best results were achieved with an analysis of theoretical boulder centers (TBC), calculated on the basis of crystalline indicator erratics. Their

spatial distribution was analyzed together with a number of data from Central Poland (Czubla 2001, 2006). In the area under research, in glacial sediments it is possible to recognize two main lithotypes (S and O/W), distinctly different in proportions between indicator erratics derived in various regions of Fennoscandia.

The first of lithotypes (S) is characterized by sustainable, high proportions of erratic originating from the middle Sweden (Dalarna) and southern Sweden (Småland, Skåne, Blekinge). There are very few Åland, Baltic and Uppland erratics in this lithotype (Fig. 4). The theoretical boulder center for the till of this lithotype (Mąkolice) is extended far to the west (Fig. 8). It seems, therefore, that it could be reasonable to correlate Mąkolice till with the last (?) advance of South Polish ice-sheet.

In the other study sites tills of the second lithotype (O/W) are present. This lithotype (O/W) is characterized primarily by high proportion of Åland rocks and a low percentage of south-swedish erratics (Figs 2, 3, 5, 6, 7). A share of Dalarna rocks in this lithotype is very varied. Glacial till in Masłowice outcrop is extremely poor in Dalarna erratics. Its theoretical boulder center is located rather far to the south (Fig. 8). It is a location not too far from the TBC of erratics assemblage calculated for the till T2 in Bełchatów opencast mine, which is interpreted as belonging to the South Polish Glaciation (Czubla 2001). It should be noted that a high proportion of Åland erratics in the Masłowice till does not allow to assign it to deposits other than Odranian/Wartanian ones (Fig. 2).

Other erratics assemblages (Daniszewice, Moszczenica, Łazy Duże and Lewkówka samples) have theoretical boulder centers located in sector typical for Odranian/Wartanian (Middle Polish Complex) glacial deposits (see Czubla 2001, 2006). It is noted, however, that amongst them the diversity resulting from the varying stage of weathering exists. For heavily weathered sediments distinctive is a significant shift of their TBCs into the west (Figs 5, 6). Erratics assemblages in Lewkówka, Łazy Duże and

Moszczenica are – apart from a minor influence of weathering – very similar (Figs 5, 6, 7). This means that the glacial tills in these sites were deposited by the same mass of ice (ice current – *sensu* Czubla 2015). This assumption is also confirmed by analysis of the relief (Wachecka-Kotkowska 2015) and by the location of sites in the approximately meridional layout, which is consistent with generalized direction of ice-sheet advance in the study area.

Glacial sediments in Daniszewice and Masłowice have theoretical boulder centers located quite far to the east (Fig. 8). It results mainly from high percentage of Åland erratics. However, they vary in the contents of erratics originating from central and southern Fennoscandia. Daniszewice till is rather poor in south-swedish rocks and relatively rich in Dalarna erratics – sublithotype O/W<sub>1</sub> (Fig. 3). In Masłowice, the proportions between these two groups of indicator erratics are reversed – sublithotype O/W<sub>2</sub> (Fig. 2). It can therefore be assumed that the tills in these two sites were deposited by different ice masses – distinct ice currents (they were not ice streams, because no evidence of accelerated ice movement was observed). Analysis of relief in the immediate vicinity of both exposures leads to similar conclusions. Confirmation of this assumption requires verification using other research methods and – most of all – supplementation of the analysis with several sites in the eastern and western parts of the study area. The petrographic research already carried has shown bi-directional inflow of ice masses during the Odranian/Wartanian Glaciation (MIS 6) on Piotrków area, as it was suggested among others by Turkowska (2006) and Wachecka-Kotkowska (2015).

Another aspect of petrographic studies of glacial deposits was stratigraphic correlation of tills building lower part of the northern slope of the hill in Mąkolice with glacial sediments of Sanian 2 age (South Polish Complex). Stratigraphic conclusions helped to establish polygenic nature of this form and to identify the stages of its formation (Wachecka-Kotkowska *et al.* 2012).