

MARIA GÓRSKA

NOWE PROBLEMY STOSOWANIA WSKAŹNIKÓW GŁAZOWYCH W BADANIACH PLEJSTOCENSKICH OSADÓW MORENOWYCH

ZARYS TREŚCI

Na podstawie prowadzonych przez 200 lat analiz erratyków skandynawskich w plejstocen-
skich osadach morenowych, przedstawiono główne kierunki badań. Szczególną uwagę zwrócono
na najnowszą problematykę wskaźników gładzowych i trudności związane z ich stosowaniem.

WPROWADZENIE

Systematyczne badania rozmieszczenia skał narzutowych i określanie ich
dokładnego pochodzenia zaczęto prowadzić pod koniec XIX w. Jednakże począw-
szy od lat 30 bieżącego stulecia, po pewnym okresie przerwy, zaznacza się powrót
zainteresowań narzutniakami, czego efektem było pojawienie się licznych publi-
kacji na temat ich petrografii (Hesemann, 1930, 1931, 1935; Milthersowie, 1932,
1934, 1938; Münnich, 1932, 1936; Gołąb, 1933; Błachowski, 1938; Jaroszewicz-
Kłyszewska vel Halicka, 1938, 1939). Przyjęte w tym okresie nowe założenia
metodologiczne pozwoliły przejść do bardziej zaawansowanych badań erratyków
krystalicznych.

POCZĄTKI ROZWINIĘTYCH BADAŃ ILOŚCIOWYCH

Badania zainspirowane jeszcze w XIX w. przez Madsena (1897, por. Nunberg,
1971), a mianowicie ilościowe analizy erratyków stały się głównym elementem
wszelkich badań kamieni narzutowych począwszy od lat 30 bieżącego stulecia.
Dostrzeżenie możliwości rozwiązania problemu przynależności poziomów more-
nowych do poszczególnych zlodowaceń spowodowało zwrócenie uwagi na
stosunki ilościowe, a nie jakościowe składu gładzowego.

W Polsce, z inicjatywy Państwowej Rady Ochrony Przyrody, rozpoczęto
planową i systematyczną rejestrację dużych gładzów zabytkowych oraz kamieni
narzutowych. W okresie tym rozpoczęto także opracowywanie szczegółowych
metod petrograficznych badań ilościowych (Gołąb, 1933, por. Jaroszewicz-Kły-

szyńska vel Halicka, 1938, 1939; Błachowski, 1938). Pierwsze badania ilościowe polegały na obliczeniu liczebności próbki, wielkości poszczególnych erratyków, a także na wyliczeniu wskaźników petrograficznych. Ze względu na duży wkład w rozwój badań gławowych prace Jaroszewicz-Kłyszyskiej vel Halickiej (1938, 1939) zasługują na szczególne podkreślenie. Autorka ta konsekwentnie stosowała analizę ilościową w badaniu osadów glacialnych do celów stratygraficznych. Prace podjęte w tym okresie są próbami metodycznymi wzorowanymi na zasadach opracowanych wcześniej przez Duński Instytut Geologiczny.

W zachodniej Europie badania nad narzutniakami były w latach 30 już bardziej zaawansowane. Liczba narzutniaków przewodnich była jednym z kryterium wydzielenia dwóch, rozwijających się tam, kierunków badań. Jeden z nich rozwinęli bracia Milthersowie (Milthers, 1909, por. Dudziak, 1974; 1932; por. Houmark-Nielsen, 1983; 1934, por. Dudziak, 1974; Milthersowie, 1938, por. Dudziak, 1974), biorący do badań 6-10 skał przewodnich reprezentujących trzy rejony:

- rejon Oslo:
 - a) porfiryt rombowy,
 - b) konglomerat porfiru rombowego,
- rejon Dalarna:
 - c) porfir Bredvad,
 - d) porfiryt Grönklitt,
- Morze Bałtyckie i Alandię:
 - e) czerwony porfir bałtycki,
 - f) brunatny porfir bałtycki, (tab. 1)

Tabela 1

Porównanie skał przewodnich i ich obszarów źródłowych analizowanych przez Milthersa (1909, 1932, 1934, 1938) i Hesemanna (1930, 1935; wg Nunberg, 1971)

Comparison of indicator boulders and their source regions analyzed by Milthers (1909, 1932, 1934, 1938) and Hesemann (1930, 1935; acc. to Nunberg, 1971)

V. Milthers	J. Hesemann
1. Rejon Oslo: – porfiryt rombowy – konglomerat porfiru rombowego	1. Finlandia i Alandia: – granit rapakivi, – alandzki porfir kwarcowy,
2. Dalarna: – porfir Bredvad – porfiryt Grönklitt	2. północna i środkowa Szwecja: – czerwony porfir bałtycki, – brunatny porfir bałtycki, – dalarnieńskie porfiry kwarcowe, – bałtyckie diabazy melafirowe,
3. Morze Bałtyckie i Alandia: – czerwony porfir bałtycki – brunatny porfir bałtycki	3. południowa Szwecja – porfir Paskallavik, – helleflinty, – granit bornholmski, – bazalty ze Skanii,
	4. Norwegia: – porfir rombowy z okolic Oslo

Pozostałe erratyki reprezentujące rejon południowej i zachodniej Szwecji, to jest porfir Paskallavik i diabaz Kinne, nie miały dla Milthersa znaczenia wskaźnikowego (Böse, 1989).

Odmiennego zdania w kwestii liczebności narzutniaków przewodnich byli Korn (1927) i Hesemann (1930, por. Schuddebeurs, 1981; 1935, por. Dudziak, 1974). Reprezentowali oni drugi kierunek w badaniach erratyków, uważając, że badania gwałowe należy opierać na możliwie największej liczbie typów skalnych. Hesemann (1935, por. Schuddebeurs, 1981; Schuddebeurs, Zandstra, 1983) oznaczał skład gwałowy próbek wykorzystując czterocyfrowy wskaźnik, w którym każda z cyfr informowała o procentowym udziale narzutniaków danego obszaru macierzystego w określonym miejscu (tab. 1). Stwierdził on, że każde złodowacenie cechuje inny zespół narzutniaków:

- złodowacenie elstery – głównie narzutniaki wschodnioskandynawskie,
- złodowacenie saali – głównie narzutniaki zachodnioskandynawskie,
- złodowacenie wisły – narzutniaki ze wszystkich obszarów macierzystych (Hesemann, 1935, por. Konieczny, 1956; Dudziak, 1970).

NIEPOWODZENIA STOSOWANIA WSKAŹNIKÓW GWAŁOWYCH Z POWODU NIEDOSTATKÓW METODOLOGICZNYCH

Stosowane coraz częściej tak zwane wskaźniki gwałowe, czyli stosunki ilościowe między poszczególnymi grupami erratyków, prowadziły nierzadko do błędnych wniosków. Błędy założeń metody Milthersa (1932, 1934) pozwoliły Hesemannowi (1935, por. Dudziak, 1974) wskazać przykłady zmienności jego wskaźników w obrębie moren należących do tych samych stadiów oraz podobieństw tych wskaźników w morenach różnych stadiów recesyjnych. Ponieważ Milthers nie uwzględniał pozycji stratygraficznej osadów, z których pobierał materiał narzutowy, wnioski jakie wyciągał były sprzeczne z rzeczywistością (Nunberg, 1971).

W okresie powojennym, zarówno za granicą, jak i w Polsce, kontynuowano poprzednie badania, do których wnoszono poprawki metodologiczne oraz tworzone nowe interpretacje. Nowatorstwo polegało głównie na kompleksowości badań analitycznych nie tylko erratyków, lecz także całej gliny morenowej. Zaklasyfikowanie narzutniaków skandynawskich do odpowiedniej grupy wśród 200 znanych (Dudziak, 1970) wymagało nabycia umiejętności rozpoznawania erratyków przewodnich (Eskola, 1933, por. Dudziak, 1970). Poza tym tylko około 10% wszystkich erratyków udawało się oznaczyć (Hesemann, 1931, por. Dudziak, 1974; Schuddebeurs, Zandstra, 1983). Stąd zapewne częściowo zrezygnowano z dotychczasowej segregacji materiału skandynawskiego i rozpoczęto rozdzielać go na grupy petrograficzne. Analizując petrografię erratyków skandynawskich uwzględnia się cały inwentarz skalny moren. W równej więc mierze charakteryzuje się skały krystaliczne i osadowe. W rezultacie, znając geologię północnej Europy, łatwiej skorelować materiał erratyczny glin morenowych występujących na Niziu Europejskim z ich obszarami źródłowymi w Skandynawii. Tę nową

zasadę propagował już Münnich (1936) oraz wspomniani wcześniej Jaroszewicz-Kłyszyńska (1938), Błachowski (1938) i Krygowski (1948, 1955, 1956, 1967). Ten ostatni badając materiał erratyczny w Polsce północno-zachodniej, podzielił go na cztery grupy petrograficzne: kwarcy, krystalinicy, osadowcy i krzemienie. Po obliczeniu zależności między wydzielonymi grupami (wskaźniki gwałowe) wykazał różnicę ich wartości w przypadku poszczególnych zlodowaceń. Wartości wskaźników wahają się od 1,6 do 2,9, z tym, że najniższą wartość osiągają one w morenach zlodowacenia północnopolskiego, a najwyższą w morenach zlodowacenia południowopolskiego. Na to samo zwrócili później uwagę między innymi Racinowski, Rzechowski (1960) oraz Mojski, Rzechowski (1967). Wprowadzona przez Krygowskiego (1967) metoda uproszczonego składu petrograficznego glin zwałowych uwzględniająca analizę statystyczną umożliwiła ustalenie stratygrafii osadów plejstoceńskich. Badania te obejmowały większą liczbę próbek niż proponowali Gołąb (1933) i Błachowski (1938, 1939).

Poza zwiększeniem liczby próbek poddanych analizie petrograficznej, zwiększono w kolejnych badaniach liczebność pojedynczej próbki do 500 kamieni narzutowych (Bartkowski, 1950; Konieczny, 1956; Lamparski, 1965, por. Nunberg, 1971). Bartkowski (1950), wydzielając w nich dwie grupy, wyliczył wskaźnik będący stosunkiem krystalinicy do osadowców. Jego wartość zmienia się w zależności od środowiska, w jakim powstał, a nie w zależności od wieku, na co zwrócił uwagę Krygowski (1948). Konieczny (1956) podzielił 500 erratyków krystalicznych modyfikując metodę Milthersa (1934, por. Dudziak, 1974). Metoda ta prowadziła do przedstawienia procentowego udziału narzutniaków każdego obszaru macierzystego określonego przez Milthersa (1934, por. Dudziak, 1974) oraz obszaru fińskiego (reprezentowanego przez rapakivi i granit plamisty z okolicy Nystad) w stosunku do ilości wszystkich rozpoznanych narzutniaków przewodnich. W badanej populacji erratyków krystalicznych dwóch ostatnich zlodowaceń w Polsce zachodniej, Konieczny (1956) nie stwierdził różnic jakościowych i ilościowych. Podobnie Gaigalas (1959, 1960, 1963, 1964, 1965, por. Nunberg, 1971), który badał erratyki na Litwie, nie zaobserwował różnic ilościowych między zespołem skał narzutowych występujących w obrębie glin zwałowych fazy leszczyńskiej oraz poznańskiej ostatniego zlodowacenia. Również Lamparski (1961, por. Dudziak, 1970) stwierdził, że opieranie wniosku dotyczącego stratygrafii osadów na zróżnicowanych wskaźnikach gwałowych jest niewłaściwe. Erratyki krystaliczne transportowane z odległych miejsc są bowiem wymieszane z materiałem lokalnym, który zaburza zespół narzutniaków skandynewskich i nie w pełni oddaje jego cechy ilościowe i jakościowe.

Trudności jakie napotymano przy porównaniach wskaźników gwałowych otrzymywanych w wyniku stosowanych do tej pory różnych metod, skłoniły Trembaczewskiego (1961, 1967) do ujednoczenia wielkości populacji próby i jej frakcji, jaką poddawano analizie petrograficznej. Po próbnym obliczeniu zaproponował on wykonywanie analizy narzutniaków we frakcji 4,0-10,0 mm uzyskanej z próbki gliny zwałowej o objętości nie mniejszej niż 0,015 m³. Trembaczewski (1961) uważał, że ta ilość i jakość żwirów, które stosowali też już wcześniej Błachowski (1939), Bartkowski (1950), Krygowski (1955), Cepek (1961, por. Nunberg, 1971),

wystarczy do określenia charakterystyki petrograficznej moreny i wyciągnięcia wniosków dotyczących stratygrafii (np. Mojski, Rzechowski, 1967). Stosowanie frakcji mniejszej, np. 2-3 mm (P. Gołąb, 1933; P. Bartkowski 1950; 1956, por. Trembaczewski, 1967) prowadzi do powstania pewnych niezgodności. We frakcji tej nie są reprezentowane drobne fragmenty skał, a tylko jej elementy składowe, jak pojedyncze minerały. Trembaczewski (1961) kontynuuje koncepcję analizy petrograficznej wprowadzoną w Polsce przez Jaroszewicz-Kłyszyńską (1938) i Błachowskiego (1938). Traktując próbki 10% HCl wydzielił on następujące 10 grup w materiale skalnym glin zwałowych:

- 1) skały krystaliczne (magmaowe i metamorficzne),
- 2) krzemienie,
- 3) piaskowce zwięzłe,
- 4) kongrecje żelaziste,
- 5) kongrecje pirytu,
- 6) węgiel kamienny,
- 7) fosforyty,
- 8) piaskowce małowięzłe, wapienne i iłolupki,
- 9) wapienie paleozoiczne,
- 10) dolomity.

Z uzyskanych wartości udziału poszczególnych grup petrograficznych w glinie, obliczył zachodzące między nimi relacje, to jest:

- O/K – stosunek skał osadowych (O) do krystalicznych (K),
- K/W – stosunek skał krystalicznych (K) do wapieni paleozoicznych (W),
- K/W' – stosunek skał krystalicznych (K) do wapieni paleozoicznych, dolomitów, piaskowców małowięzłych, wapnistych i iłolupków (W'),
- S/W – stosunek wszystkich żwirów (S) do wapieni paleozoicznych (W),
- A/B – stosunek skał małoodpornych na niszczenie (A) (W oraz fosforyty, kongrecje pirytu i węgiel brunatny) do odpornych i bardzo odpornych (B) (skały krystaliczne, piaskowce zwięzłe i krzemienie),
- W/P – stosunek wapieni paleozoicznych (W) do piaskowców zwięzłych (P).

Trembaczewski (1961) wskazał, że wskaźniki głazowe zaproponowane przez niego, z wyjątkiem W/P, można uznać za reprezentatywne dla plejstocenijskich osadów morenowych.

PROBLEM REKONSTRUKCJI KIERUNKU RUCHU MAS LODOWYCH NA PODSTAWIE ERRATYKÓW

Prawie jednocześnie z podjęciem badań petrograficznych zwrócono uwagę na możliwość wyznaczenia kierunku transportu materiału skalnego przez lądolód (Richter, 1932, por. Nunberg, 1971; Milthers, 1913, 1934, 1938 por. Dudziak, 1974; Hesemann, 1930, 1932, 1935, por. Dudziak, 1974; Jaroszewicz-Kłyszyńska, 1939). Nie zawsze jednak wnioski dotyczące tego problemu były poprawne. Na przykład Konieczny (1956), interpretując wskaźniki, które nie odzwierciedlały prawidłowo całego składu narzutniaków, wyraził pogląd o kierunku nasuwania się

mas lodowych z Finlandii. Nunberg (1971), opracowując wskaźniki Koniecznego (1956) metodą matematyczno-statystyczną wykazała, że kierunek ruchu lądolodu różni się o 90 stopni od wyznaczonego wcześniej.

Przy wyznaczaniu kierunku ruchu lądolodu korzystano często z analizy orientacji dłuższych osi gładzików należących do zespołu kamieni narzutowych (m. in. Richter, 1932, por. Dudziak, 1974; Dylikowa, 1952; Karczewski, 1963, 1967; Krüger, 1970; Niewiarowski, 1971; Nielsen, Houmark-Nielsen, 1983; Kasprzak, Kozarski, 1984).

Szukając najbardziej wszechstronnej metody badań gładzowych Lüttig wprowadził w 1958 r. (por. Dudziak, 1970; Meyer, 1978, Schlüter, 1978) termin „teoretycznego ośrodka gładzowego” (das theoretisches Geschiebezentrum TGZ). Na podstawie rozprzestrzeniania się magmowych i osadowych kamieni narzutowych, obliczył odpowiednie wartości wskazujące pola teoretycznych centrów gładzowych:

- norweskiego,
- szwedzkiego,
- bałtyckiego,

co z kolei posłużyło do ustalenia kierunków transgresji mas lodowych (Ehlers, Grube, 1978; Meyer, 1983).

W latach 60 Różycki (1965, 1966, 1967, por. Nunberg, 1971) zajmował się, poprzez analizę skał narzutowych, ustalaniem kierunku nasuwania się mas lodowych i odtwarzaniem przebiegu ich transgresji. Lokalizacja erratyków przewodnich była podstawą wyznaczenia kierunku ruchu lądolodu środkowopolskiego w czasie stadiałów radomki, warty i wkry. Podobną procedurę zastosowali badacze radzieccy (Jakovlev, 1939; Jakovleva, 1961, Nunberg, 1971), którzy podali kierunki nasunięć lądolodów rozprzestrzeniających się z Nowej Ziemi i Skandynawii.

Nie zawsze można jasno wskazać na kierunki transportu detrytusu skalnego w masie lodowca. Donner (1986), badając erratyki przewodnie na obszarze Hyvinkää w południowej Finlandii, wskazał, że nawet podczas jednego zlodowacenia vistulianu istniały różne kierunki transportu erratyków, które utrudniają poznanie ich pochodzenia.

Rzechowski (1966, 1971, 1974, 1979, 1980, 1988) zwrócił głównie uwagę na wpływ materiału lokalnego na zmienność cech litologicznych glin morenowych. Stwierdził wyższą, podobnie jak K. Rywocka-Kenig (1969), zawartość procentową skał lokalnych w zespole erratycznym glin starszych niż w glinach młodszych zlodowaceń. Odmienny regionalizm litologiczny, jak określa Rzechowski (1979) wpływ lokalnego podłoża, oraz zróżnicowanie skał skandynawskich w obrębie prawie każdego poziomu glin morenowych w Polsce środkowej, oznacza według niego związek z odmiennymi kierunkami nasuwania się kolejnych lądolodów, albo z odmienną budową geologiczną powierzchni, na którą wkraczały kolejne lądolody. Możliwe, że z obu przyczynami naraz. W poszczególnych poziomach litostratygraficznych regionalizm geologiczny, będący efektem tych dwóch czynników jest różny. Zaprzeczając tezie Lamparskiego (1961, por. Dudziak, 1970),

Rzechowski (1966, 1979) nadaje tej cesze duże znaczenie, gdyż umożliwia ona dokładne rozpozniomowanie stratygraficzne.

NISZCZENIE ERRATYKÓW W PROCESIE TRANSPORTU

Wraz z ustaleniami pochodzenia kamieni narzutowych zastanawiano się, w jakim stopniu długość drogi transportu wpływa na rozmiar narzutniaków. Linden (1975) skorelował długość drogi z wielkością ziarna osadu dla rejonu środkowo-południowej Szwecji. Doszedł on do wniosku, że im materiał drobniejszy tym większy jest jego udział w transporcie na odległość dłuższą niż 3,5 km. Dudziak (1979) stwierdził, że nie zawsze zniszczenie kamienia świadczy o dalekim transporcie. W przypadku, gdy przebył on drogę ze Skandynawii na Niż Europejski zakotwiczony w masie lodu powyżej strefy ślizgu, jego obróbka może być mniejsza niż kamienia, który nie zmieniał swej lokalizacji, ale przez cały czas był poddawany wietrzeniu. Nie w pełni więc potwierdził pogląd Lindena (1975), jakoby zniszczenie narzutniaków było proporcjonalne do długości ich transportu.

Virkkala (1969, por. Linden, 1975; Donner, 1986) zauważył, że dla większości okruchów o średnicy powyżej 20 mm, wielkość transportu glacialnego była mniejsza niż 5 km. Dłuższy transport (powyżej 6 km) był charakterystyczny tylko dla 10% materiału z frakcji mniejszej, 5,6-20 mm. Tym samym wyjaśnił znaczną dominację skał lokalnych we frakcji powyżej 20 mm.

Na problem zniszczenia erratyków krystalicznych można też spojrzeć z nieco innej strony. Prędkość, z jaką się one przemieszczały, była czynnikiem przyspieszającym obróbkę lub konserwującym kształt ziarna. Donner (1989) obliczył, że tempo przesuwania się lądolodu było zmienne. Maksymalne prędkości charakteryzowały strefy marginalne oddalone od działu lodowego o 900-950 km, gdzie prędkość wynosiła około 90-135 km/1000 lat. Minimalną prędkość to jest około 3 km/1000 lat określił Donner (1989) dla lodu znajdującego się 100 km od działu lodowego. Wynika stąd, że kamienie przemieszczające się z dużą prędkością w strefie czołowej ulegały zniszczeniu o wiele szybciej niż materiał egzarowany przez lądolód z podłoża w centrum Skandynawii.

WSPÓŁCZESNE METODY MATEMATYCZNO-STATYSTYCZNE I TECHNIKI KOMPUTEROWE W BADANIACH ERRATYKÓW

W ostatnich latach coraz częściej skały narzutowe badane są z wykorzystaniem analizy matematyczno-statystycznej oraz technik komputerowych. W Polsce na konieczność korzystania z obliczeń matematycznych wskazał już Krygowski (1967). W podobny sposób Rywocka-Kenig (1969) zajęła się badaniem składu petrograficznego w glinach zwałowych na terenie całej Polski. Stwierdziła, że wśród skał narzutowych najczęściej występują wapienie paleozoliczne, których ilość maleje z północy na południe. Ze wszystkich pozostałych grup skalnych najbardziej równomiernie rozłożone w poszczególnych poziomach glin są skały kredy. Próba opracowania statystycznej metody badań gwałowych zajęła się

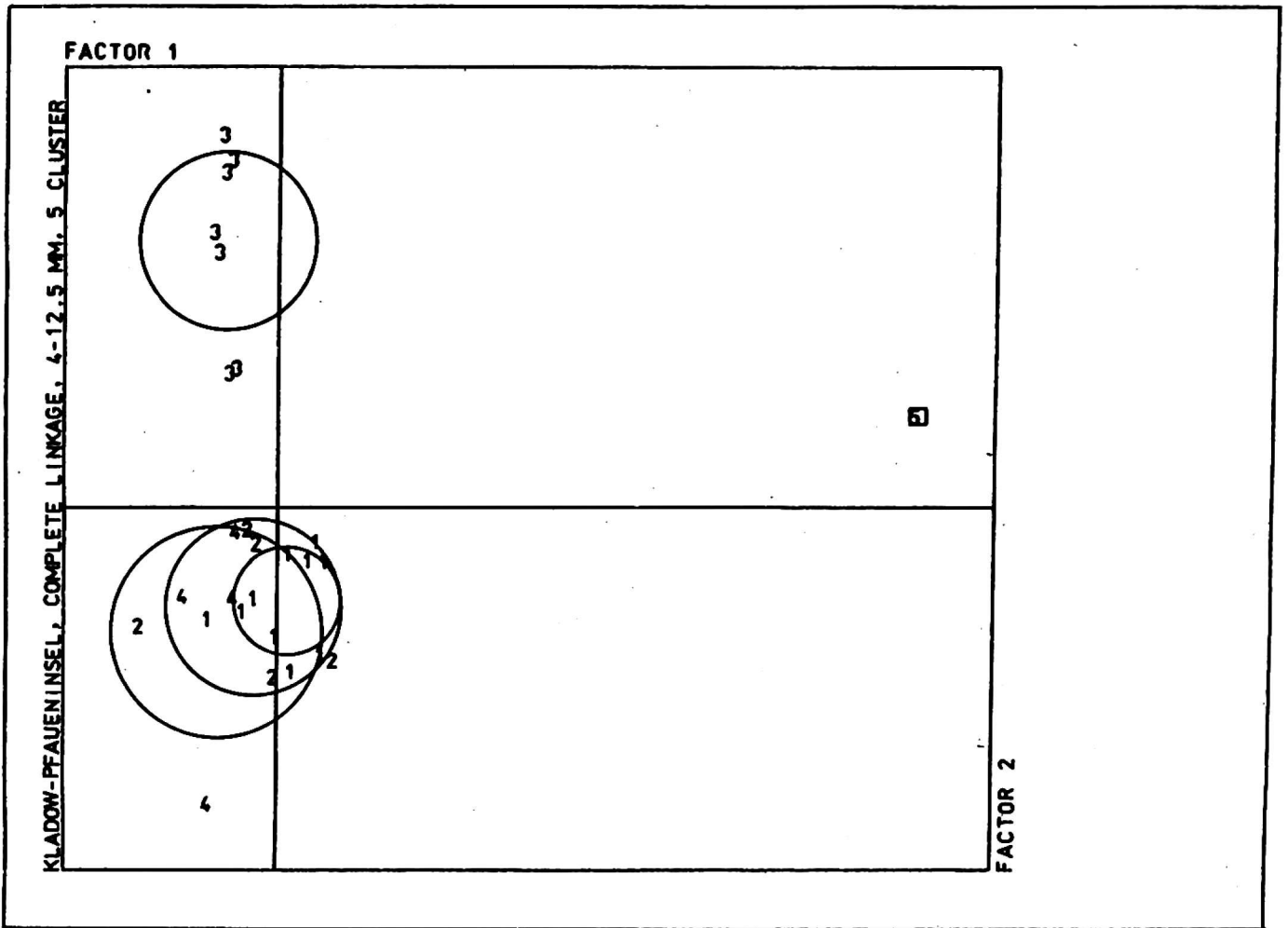
Nunberg (1971). Wyliczając wskaźnik selekcji a/z , to jest stosunek skał kwaśnych, alandzkich do zasadowych, uzyskała informację dotyczącą zmian ilościowych, które zaszły w materiale głazowym wskutek selektywnej działalności wody. Wskaźnik ten, mimo że samodzielnie nie wskazuje na różnowiekowość osadów plejstocénskich, może być wskazówką przy odtwarzaniu zasięgu lądolodów.

Z testów statystycznych korzystał Rzechowski (1979) sprawdzając istotność podobieństw i różnic między zespołami minerałów ciężkich w różnych poziomach stratygraficznych glin morenowych starszych zlodowaceń w Polsce środkowej. Stosując parametry statystyczne dla osadów północno-wschodniej Rugii, Panzig (1989, 1991; Böse, 1989) wprowadził dodatkowe informacje o średniej średnicy ziarna i o stopniu wysortowania poszczególnych grup petrograficznych materiału glacialnego pobranych z frakcji 4-10 mm. Na ich podstawie oraz wykształceniu osadów w terenie, scharakteryzował środowisko sedymentacyjne, jakie istniało w plejstocenie w południowo-wschodnim Bałtyku.

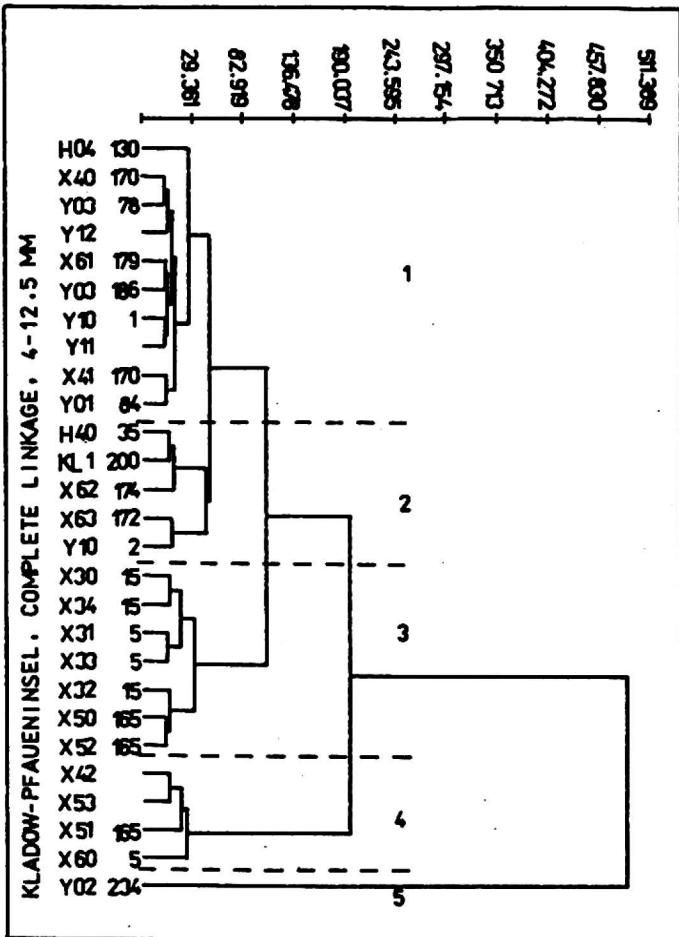
Techniki komputerowe, ułatwiające i przyspieszające obliczanie i porównywanie wskaźników głazowych, dały możliwości nowych rozwiązań i interpretacji począwszy od lat 80. Böse (1989) przedstawiła w swej pracy opracowane graficznie techniką komputerową parametry osadów plejstocénskich z okolicy Berlina. Materiał glacialny frakcji 4-12,5 mm posegregowała w grupy petrograficzne:

- K – krystalińce,
- Qzt+S – kwarcyty i piaskowce,
- PS – łupki paleozoliczne,
- PK – wapienie paleozoiczne,
- KK – skały kredy,
- D – dolomity,
- F – krzemienie,
- Q – kwarcy,
- WQ – kwarcy mleczne,
- L – lidyty.

Wskazując podobieństwa i różnice w tym materiale Böse zastosowała kilka metod analizy skupień (cluster analysis), to jest metod hierarchicznych (najbliższego sąsiedztwa – Simple Linkage, średniej grupowej – Complete Linkage, środka ciężkości – Average Linkage oraz metody Warda – ESS) oraz jednej metody niehierarchicznej McQuitti'ego (por. Parysek, 1980, 1982). Parametry osadów każdej z grup prób wprowadziła do dendrogramu i diagramu kołowego (rys. 1, 2), by w dwojaki sposób połączyć próbki o wysokich wskaźnikach podobieństwa i na tej podstawie przedstawić stratygrafię okolic Berlina (1989, 1990). Rezultatem wykorzystania analizy matematyczno-statystycznej było rozpozniowanie przez Böse (1989, 1990) osadów morenowych, występujących w okolicach Berlina. Wyróżniła w nich glinę S I starszego zlodowacenia saale, glinę S II środkowego zlodowacenia saale, glinę S III młodszego zlodowacenia saale oraz glinę vistulianu. Zarówno rodzaj erratyków, jak i wskaźnik Hesemanna, dokumentują krótką dostawę materiału wschodniobałtyckiego. Ten bardzo krótkotrwały epizod został, w okresie fazy poznańskiej, zdominowany przez ruch



Rys. 1. Diagram kołowy analizy zbioru, metoda „complete linkage”
 Fig. 1. Scatter diagram of the cluster analysis, „complete linkage” procedure



Rys. 2. Dendrogram analizy zbioru, metoda „complete linkage”
 Fig. 2. Dendrogram of the cluster analysis, „complete linkage” procedure

ładolodu z kierunku północno-wschodniego. Böse (1989, 1990) zwróciła uwagę, że łądolód mógł być wzbogacony w materiał erratyczny dostarczony przez lodowce przemieszczające się z różnych kierunków w stronę głównego strumienia lodowego. Podobnie więc, jak Donner (1986) wskazała na bardziej dynamiczny ruch lodu niż się generalnie przyjmuje. Porównując metody graficzne, dendrogram i diagram kołowy, Böse (1989) wyżej ocenia dendrogram, który przejrzysto i jasno pozwala interpretować wyniki. Ważne jest to tym bardziej, że badania Böse (1989) obejmują dużą liczbę próbek.

Kabel (1982; Kabel, Schröder, 1984) przedstawiła wyniki badań erratyków krystalicznych z północno-zachodniej części Niemiec inną metodą graficzną. Udział wybranych grup petrograficznych z frakcji 4,0-6,3 mm wpisała w trójkąt, co z kolei pozwoliło jej na porównanie i przypisanie próbkom materiału skandynawskiego odpowiedniego poziomu stratygraficznego. W podłożu dolnej Saksonii wyróżniła osady pre-elstery, stadiów drenthe (1) i (2), stadiu warty i saale. Vistulian reprezentowany jest według Kabel (1982) przez materiał skandynawski, lokalny i osady rzek pogórza środkowej Europy.

WNIOSKI

W ciągu całego okresu badań erratyków krystalicznych, to jest od połowy XVIII w. do dnia dzisiejszego, zauważyć można kilka faz wzmożonego zainteresowania tą problematyką. Po wczesnym okresie pobieżnych badań narzutniaków, zaczęto studiować je systematycznie z uwzględnieniem analizy ilościowej. Metodę tę zaczęto częściej stosować, gdy zauważono w niej możliwości korelacji poszczególnych warstw osadów z odpowiednimi zlodowaceniami. Wielokrotnie zmieniana i ulepszana metodologia badań narzutniaków skandynawskich doprowadziła do stosowania analiz niejednakowych frakcji materiału erratycznego uzyskanego z różnych objętościowo prób gliny morenowej. Podobnie, opieranie wniosków na zróżnicowanych wskaźnikach gładzowych nie ułatwia porównania składu petrograficznego różnych składowisk depozycji glacialnej. Dlatego wydaje się, że propozycje Trembaczewskiego (1961) i Meyera (1983) należy jak najszybciej przyjąć i stosować w badaniach erratyków plejstoceńskich osadów morenowych. Porównywanie facji glacialnych warto byłoby prowadzić systematycznie w formie zespołu profili N-S, w krajach położonych na południe od Bałtyku. Tego typu analizy stałyby się przedmiotem studiów porównawczych składu erratycznego glin, jego zmian w zależności od zróżnicowanej dostawy glin morenowych z odmiennych części Skandynawii.

LITERATURA

- Bartkowski T., 1950: Z badań nad Jeziorem Krępa. *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.* t. II, z. 3
 Błachowski R., 1938: Wskaźnik gładzowy dla moren dennych Pomorza i Mazowsza. *Sprawozdania PTPN 31*, Poznań.
 Błachowski R., 1939: Próba stratygrafii utworów dyluwialnych na prawym brzegu Wisły między Toruniem a Modlinem. *Prace Inst. Geogr. Uniw. Pozn., Bad. Geogr.*, z. 20.

- Böse M., 1989: Methodisch-stratigraphische Studien und paläomorphologische Untersuchungen zum Pleistozän südlich der Ostsee. Berliner Geogr. Abh., Heft 51.
- Böse M., 1990: Reconstruction of ice flow directions south of the Baltic Sea during the Saalian and Weichselian glaciations. *Boreas*, vol. 19.
- Donner J., 1986: Weichselian indicator erratics in the Hyvinkää area, southern Finland. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae, series A, III Geologica-Geographica*, Helsinki.
- Donner J., 1989: Transport distances of Finnish crystalline erratics during the Weichselian glaciation. Geological Survey of Finland, Special Paper 7.
- Dudziałk J., 1970: Studia nad kierunkiem transgresji lądolodu plejstocenijskiego. *Prace geologiczne* 66.
- Dudziałk J., 1974a: Zależność składu głazowego od frakcji w osadach glacialnych zlodowacenia południowopolskiego. *Rocz. Pol. Tow. Geol.* t. 44, z. 4.
- Dudziałk J., 1974b: W sprawie metodyki badań składu głazowego moren. *Przeł. Geolog.*, nr 1.
- Dudziałk J., 1974c: Rysy lodowcowe i ich znaczenie dla określania kierunku ruchu lądolodu. *Wszechświat*, z. 1.
- Dudziałk J., 1979: Rozmiar głazów narzutowych a długość drogi ich transportu. *Wszechświat*, nr 5.
- Dylińska A., 1952: O metodzie badań strukturalnych w morfologii glacialnej. *Acta Geogr. Univ. Lodz.*, Wydz. III, nr 3.
- Ehlers J., Grube F.: 1978: *Der Geschiebe Sammler*. Heft 2-3, Hamburg.
- Gołąb J., 1933: Badania nad wskaźnikiem głazowym utworów morenowych Wielkopolski. *Pamiętnik XIV Zjazdu Lekarzy i Przyrodników w Poznaniu*.
- Houmark-Nielsen M., 1983: The compositional features of Danish glacial deposits. W: Ehlers J.: *Glacial deposits in North-West Europe*, A. A. Balkema, Rotterdam.
- Jaroszewicz-Kłyszowska A., 1938a: O utworach morenowych Łysej Góry pod Wilnem. *PAU, Starunia* 15, Kraków.
- Jaroszewicz-Kłyszowska A., 1938b: Wyniki próbnych badań kilku moren Polski środkowej i północnej. *PAU, Starunia* 15, Kraków.
- Jaroszewicz-Kłyszowska A., 1938c: Kamienie narzutowe, ich znaczenie naukowe i historia badań. *Wiadomości Muzeum Ziemi*, nr 4.
- Jaroszewicz-Kłyszowska A., 1939a: Rola głazów narzutowych w geologii. *Wszechświat*, nr 1.
- Jaroszewicz-Kłyszowska A., 1939b: Kryteria petrograficzne w zastosowaniu do stratygrafii moren. *Wiadomości Muzeum Ziemi*, t. 3.
- Kabel C., 1982: *Geschiebestratigraphische Untersuchungen im Pleistozän Schleswig – Holsteins und angrenzender Gebiete*. Diss. zur Erlang. des Doktorgr. der Mathem.-Naturwiss. Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Kabel C., Schröder P., 1984: *Geschiebe- und Gerollstratigraphische Untersuchungen im Landkreis Luchow – Dannenberg (Niedersachsen)*. *Verh. naturwiss. Ver. Hamburg*, (NF) 27.
- Kasprzak L., Kozarski S., 1984: Analiza facjalna osadów strefy marginalnej fazy poznańskiej ostatniego zlodowacenia w środkowej Wielkopolsce. *Seria Geografia*, nr 29.
- Karczewski A., 1963: Morfologia, struktura i tekstura moreny dennej na obszarze Polski Zachodniej. *PTPN*, t. IV.
- Karczewski A., 1967: Zmienność struktury i tekstury glin morenowych na wybranych przykładach obszaru najmłodszego zlodowacenia. *Sprawozd. PTPN za I i II kwartał 1966 r.*, Poznań.
- Konieczny S., 1956: Z badań nad rozmieszczeniem erratyków krystalicznych zlodowacenia plejstocenijskiego w zachodniej Polsce. *PTPN* t. 2, z. 1, *Prace Kom. Geogr.-Geolog.*
- Korn J., 1927: *Die wichtigsten Leitgeschiebe der nordischen kristallinen Gesteine im norddeutschen Flachlande*. *Preu. geol. Landesanstalt*, Berlin, nr 4.
- Krüger J., 1970: Till fabric in relation to direction of ice movement. A study from the Fakse Banke, Denmark. *Geogr. Tidsskrift*, nr 69.
- Krygowski B., 1948: Z badań nad narzutniakami ziem zachodnich. *Bad. Fizjogr. nad Polską Zach.*, nr 1.

- Krygowski B., 1955: Granulometria w badaniach utworów czwartorzędowych w Polsce. Biul. Inst. Geol., Z badań czwartorzędu w Polsce, t. 70.
- Krygowski B., 1956: Z badań granulometrycznych nad utworami plejstoceniowymi w Polsce zachodniej. Biul. Inst. Geol., nr 100, Z badań czwartorzędu w Polsce, t. 7.
- Krygowski B., 1967: Zmienność glin morenowych w zakresie uproszczonego składu petrograficznego. Zesz. Nauk., Geografia 7.
- Linden A., 1975: Till petrographical studies in an archean bedrock area in southern central Sweden. Soc. Uppsaliensis pro Geologia Quaternaria, vol. 1.
- Lüttig G., 1958: Methodische Fragen der Geschiebeforschung. Geol. Jb. 75, Hannover.
- Meyer K.-D., 1978: Diskussion, w: Der Geschiebe Sammler, z. 2-3, rocz. 12, Hamburg.
- Meyer K.-D., 1983: Indicator pebbles and stone count methods. W: Ehlers J.: Glacial deposits in North-West Europe, A. A. Balkema, Rotterdam.
- Milthers V., Milthers K., 1938: Rozmieszczenie niektórych ważnych skandynawskich narzutniaków na Niżu Polskim. Biul. Państw. Inst. Geolog., nr 5.
- Mojski J. E., Rzechowski J., 1967: Niektóre wyniki badań petrograficzno-litologicznych nad utworami czwartorzędowymi Polski wschodniej i środkowej. Zesz. Nauk. UAM, Geografia 7.
- Münnich G., 1932: Quantitative Geschiebeforschung in Rügen und Vorpommern. Ztschr. f. Geschiebef.
- Münnich G., 1936: Quantitative Geschiebepprofile aus Dänemark und Norddeutschland mit besonderer Berücksichtigung Vorpommerns. Abh. aus d. geol.-paleont. Institut d. Universität Greifswald.
- Nielsen P. E., Houmark-Nielsen M., 1983: Till fabric. W: Ehlers J.: Glacial deposits in North-West Europe, A. A. Balkema, Rotterdam.
- Niewiarowski W., 1971: Ułożenie kamieni w utworach morenowych ostatniego lądolodu na terenie dolnego Powiśla. Zesz. Nauk. UMK, z. 26, Geografia VIII.
- Nunberg J., 1971: Próba zastosowania metod statystycznych do badań zespołu głazów fennoskandyjskich występujących w utworach glacialnych północno-wschodniej Polski. Studia Geolog. Pol., vol. XXXVII.
- Nunberg J., 1979: Erratics selection index as a value determining the origin of marginal forms and glacial sediments. Quatern. Studies in Poland, nr 1.
- Panzig W.-A., 1989: Das geschiebestatistische Normalprofil des Till-Inventor von NE-Rügen. Wiss. Z. Ernst-Moritz-Arndt-Univ. Greifswald, Math.-nat. wiss. Reihe.
- Panzig W.-A., 1991: The gravel compositorial standard-profile of the till inventory of NE Rügen, southwestern Baltic GDR. Quaest. Geogr., Special Iss. 3.
- Parysiek J., 1980: Analiza skupień jako metoda klasyfikacji w geografii. W: Chojnacki Z.: Metody taksonomiczne w geografii, Geografia V.
- Parysiek J., 1982: Modele klasyfikacji w geografii. Geografia 31, UAM.
- Raciniowski R., Rzechowski J., 1960: Z badań nad granulometrią osadów plejstoceniowych okolic Chełmna Lubelskiego. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sec. B, vol. XIV, 2 (1959).
- Rywocka-Kenig K., 1969: Próba zastosowania statystyki matematycznej przy określaniu składu petrograficznego glin zwałowych. LXIII Sesja Naukowa Instytutu Geologicznego pt.: „Litostratygraficzne badania czwartorzędu w Polsce wschodniej i środkowej”, Warszawa.
- Rzechowski J., 1966: Problematyka badań litologicznych nad osadami czwartorzędu. Przegl. Geol., nr 5.
- Rzechowski J., 1971: Granulometryczno-petrograficzne własności glin zwałowych w dorzeczu środkowej Widawki. Biul. Państw.
- Rzechowski J., 1974: O litotypach glin zwałowych dolnego i środkowego plejstocenu na Niżu Polskim. Geografia, nr 10.
- Rzechowski J., 1979: Wpływ materiału lokalnego na zmienność cech litologicznych glin morenowych starszych zlodowaceń w Polsce Środkowej. (maszynopis), Poznań.
- Rzechowski J., 1980: An attempt of lithostratigraphical subdivision of the vistulian glaciation till in Poland. Quatern. Studies in Poland, nr 2.

- Rzechowski J., 1988: Pleistocene till stratigraphy in Poland. Quaternary Glaciation in the northern hemisphere, Pergamon Press.
- Trembaczewski J., 1961: Przyczynki do metodyki badań granulometryczno-petrograficznych utworów morenowych. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sec. B, vol. XVI, 3 (1960).
- Trembaczewski J., 1967: Granulometryczno-petrograficzna charakterystyka glin zwałowych Wysoczyzny Gnieźnieńskiej. Prace Inst. Geolog., t. XLVIII.
- Schuddebeurs A. P., 1981: Results of counts of Fennoscandinavian erratics in the Netherlands. Meded. Rijks Geol. Dienst 34. 3.
- Schuddebeurs A. P., Zandstra J. G., 1983: Indicator pebble counts in the Netherland. W: Ehlers J.: Glacial deposits in North-West Europe, A. A. Balkema, Rotterdam.
- Schlüter G., 1978: Geschiebezählungen im Altmoränengebiet von Schleswig-Holstein. Der Geschiebesammler, z. 2-3, rocz. 12, Hamburg.

NEW PROBLEMS OF ERRATIC INDICATOR APPLICATION IN STUDIES OF PLEISTOCENE MORAINIC DEPOSITS

Summary

The beginning of systematical research of Scandinavian erratics dates back to the end of 19C. However they have become more advanced since the thirties this century (Hesemann, 1930, 1931, 1935; Milthers, 1932, 1934, 1938; Münnich, 1932, 1936; Gołąb, 1933; Błachowski, 1938; Jaroszewicz-Kłyszynska vel Halicka, 1938, 1939).

There have been developed two orientations of research in the western Europe, differentiating the number of indicator boulders. K. and V. Milthers (Milthers, 1909, s. Dudziak, 1974; 1932, s. Houmark-Nielsen, 1983, 19934, s. Dudziak, 1974; Milthers, 1938, s. Dudziak, 1974) have based their studies on analyses of six indicator boulders coming from Oslo region (rhombic porphyrite, rhombic porphyrite conglomerate), from Dalarna region (Bredvad porphyrite, Grönklitt porphyrite) and from Baltic and Alandia region (red and brown Baltic porphyrites). Korn (1927) and Hesemann (1930, s. Schuddebeurs, 1981; 1935, s. Dudziak, 1974) have suggested, that erratics research should be conducted with the greatest number of rock types. J. Hesemann (1935, s. Konieczny, 1956; Dudziak, 1970) has also stated, that each glaciation is characterized by different boulder composition:

- Elster glaciation – mainly east-scandinavian boulders,
- Saale glaciation – mainly west-scandinavian boulders,
- Wisła glaciation – boulders from all source regions.

So called pebble indicators, used more and more often, or the quality relations between each erratic groups based on differentiated size of analyzed sediments, often generated to wrong interpretations. Numerous failures of erratic indicator application have caused Trembaczewski (1961, 1967) to present, a proposal to standardize the sample population size and its fraction, which is used in petrographic analysis. He has ascertained, that pebble analyses for 4,0-10,0 mm fraction, which allow to extract from boulder clay a sample of min. 0.015 m³ volume, are sufficient to describe the moraine petrographic characteristics and to get significant conclusions concerning stratigraphy (Trembaczewski, 1961, 1967).

Difficulties connected with classification of Scandinavian erratics into appropriate groups among about 200 known ones (Dudziak, 1970) required the knowledge of distinguishing indicator erratics (Eskola, 1933, s. Dudziak, 1970). Besides, because of the fact, that only 10% of all erratics might be recognized (Hesemann, 1931, s. Dudziak, 1974; Schuddebeurs, Zandstra, 1983), the selection of Scandinavian material, used until that time, has been given up and a new procedure has been started to divide pebbles into petrographical groups. For instance Trembaczewski (1961) has separated following 10 groups in till erratic material:

- 1) crystalline rock (igneous and metamorphic),
- 2) flint,
- 3) compact sandstone,
- 4) iron concretion,

- 5) pyrite,
- 6) black coal,
- 7) phosphorite,
- 8) incoherent sandstone, calcareous sandstone and clay-slates,
- 9) paleozoic limestone,
- 10) dolomite.

For a long time the erratic material has provided opportunities to determine general ice-flow direction (Richter, 1932, s. Nunberg, 1971; Milthers, 1913, 1934, 1938, s. Dudziak, 1974; Hesemann, 1930, 1932, 1935, s. Dudziak, 1974; Jaroszewicz-Kłyszynska, 1939). In details, ice-flow direction was based on till-fabric studies (i. e. Richter, 1932, s. Dudziak, 1974; Dylkowa, 1952; Karczewski, 1963, 1967; Krüger, 1970; Niewiarowski, 1971; Nielsen, Houmark-Nielsen, 1983; Ehlers, 1983; Kasprzak, Kozarski, 1984).

The direction of erratics transport could not be always reconstructed easily, because the ice sheet movement has been sometimes more dynamic as it has been assumed (Donner, 1986; Böse, 1989, 1990).

The participation of local material in till examined by Rywocka-Kenig (1969) and Rzechowski (1979) can also spoil the primary Scandinavian erratics composition. Rzechowski (1966, 1979) has paid attention for a geological regionalism, that is an effect of different direction of advancing subsequent ice sheets and differentiated bedrock geology on which the ice moved. This so described geological regionalism gives the possibilities for exact stratigraphical interpretation.

Studying Scandinavian rock material, attention has been paid to analysis concerning the size of destruction of erratics during the transport process (Linden, 1975; Donner, 1986, 1989). Virkkala (1969, s. Linden, 1975; Donner, 1986) has stated, that the erratics bigger than 20.0 mm have moved mostly up to 5.0 km. Longer transport was typical only for about 5% of the smaller size erratics up to 5.6-20.0 mm.

Not always the boulder destruction informs about the distance of transport. As the bulder was above the limits of slide-zone, its reworking was smaller than in case when the boulder had been outside the ice mass and had been weathered all the time long.

In the past two decades erratics have been studied more and more often by means of mathematic-statistical analyses and computer techniques (Krygowski, 1967; Rywocka-Kenig, 1969, Rzechowski, 1979; Panzig, 1989; Böse, 1989, 1990). Nunberg (1971, 1979) has dealt with a test of scientific description of statistical method of erratic research. The aim of her method was the study quantitative changes which have appeared in pebble material due to water selection. Böse (1989, 1990) has taken advantages of modern counting techniques, that have given her the possibilities of new solution and interpretation of processes which took part in the glacial deposition environment in Berlin area. Using the dendrogram and cluster diagram (Fig. 1, 2), she has obtained results which allowed to discriminate the morainic sediments into tills of three Saale glaciations and one till of younger Vistulian.

The systematical investigation of petrographical till composition, based on Trebmaczewski (1961) and Meyer's (1983) proposals belongs to the main question which concerns Scandinavian erratics analysis. The results can help to compare lithofacies of the glacial material, south of the Baltic Sea.