

Roman RACIŃOWSKI

Morfometria żwirów¹ z glin zwałowych Polski wschodniej

WSTĘP

W polskiej literaturze naukowej istnieje już pokaźna ilość prac omawiających morfometrię żwirów. Autorzy tych prac analizują głównie materiał uformowany w środowisku rzeczonym (W. Bobrowski, G. Kocińska-Musiał, 1959; B. Kosmowska-Ceranowicz, 1960; K. Nawara, 1960; Z. Poprawski, 1963; R. Unrug, 1957) lub w środowisku morskim (K. Birkenmajer, S. M. Gąsiorowski, T. Wieser, 1960; M. Jahn, 1962; K. Łydka, 1963; J. Morawski, 1961; T. Wieser, 1954). O wiele mniej mamy opracowań dotyczących żwirów uformowanych w środowisku lodowcowym, dysponujemy bowiem tylko dwiema publikacjami.

J. Tokarski (1948) w oparciu o pomiary obwodów żwirów i głazików odróżnia w Tatrach materiał lodowcowy od fluwioglacjalnego. J. Trembaczowski (1955) charakteryzuje żwiry glacialne w oparciu o współczynnik spłaszczenia $\frac{c}{a+b}$, oraz o średnią wielkość żwirów $\frac{a+b+c}{3}$ (a — długość, b — szerokość, c — grubość żwiru); poza tym obserwuje obtoczenie żwirów w przedziałach 1÷2 cm i 2÷5 cm, wykorzystując otrzymane wyniki jako uzupełnienie badań petrograficznych w korelacji osadów czwartorzędowych w okolicy Puław.

Ta stosunkowo słaba znajomość cech morfometrycznych żwirów uformowanych w środowisku glacialnym na terenie Polski, skłoniła mnie do bliższego zajęcia się tym zagadnieniem. Badaniom poddałem żwiry z glin zwałowych, a więc osadu najbardziej typowego dla środowiska lodowcowego. W pracy tej obok podania charakterystyki morfometrycznej żwirów starałem się uchwycić ewentualne zmiany kształtu tych składników w związku z długością transportu lodowcowego.

¹ Autor używa terminu „żwir” dla określenia poszczególnych ziarn, a nie w znaczeniu skały, jak powszechnie przyjmuje się w petrografii.

PRZEDMIOT BADAŃ ORAZ UWAGI O TRANSPORCIE MATERIAŁU SKALNEGO PRZEZ ŁODOWCE

Chcąc prawidłowo zrealizować założenia poruszone na wstępie pracy, materiał żwirowy powinno się zbierać z glin zwałowych zlodowacenia o maksymalnym zasięgu, a więc dla terenu Polski wschodniej — z glin zlodowacenia południowopolskiego. Ponieważ jednak na przeważającej części terenu gliny zwałowe tego zlodowacenia występują pod przykryciem osadów młodszych, a nie dysponowałem materiałem pochodzącym z wierceń, żwiry do analiz pobierałem z glin zwałowych występujących powierzchniowo, zarówno zlodowacenia południowopolskiego, jak i środkowo- i północnopolskiego. W związku z tym przyjąłem założenie, że żwiry w glinach zwałowych, niezależnie od ich wieku, charakteryzują cechy nabyte w wyniku transportu lodowcowego. Główne zastrzeżenia odnoszące się do tego zagadnienia leżą przede wszystkim w tym, że:

1) w młodszych glinach zwałowych można spotkać przemieszany materiał żwirowy świeżo egzarowanego przedczwartorzędowego podłoża ze żwirami redeponowanymi ze starszych glacialnych lub fluwioglacialnych osadów plejstocenijskich;

2) żwiry w glinach zwałowych starszych (występujących powierzchniowo) mogły ulec przemodelowaniu w wyniku wietrzenia mechanicznego (głównie mrozowego) i chemicznego.

Odnośnie pierwszego zastrzeżenia warto powołać się na obserwacje J. Tricarta i R. Schaeffer (1960, str. 154), którzy stwierdzają, że żwiry uformowane w innym środowisku dostając się do wnętrza lodowca ulegają silnemu przemodelowaniu, polegającemu na rozkruszeniu i rozłamywaniu. A więc obcy materiał (dotyczy to obtoczonych żwirów z osadów fluwioglacialnych) nabiera cech właściwych dla żwirów formowanych od początku pod wpływem dynamiki lodowca.

Odnośnie do drugiego zastrzeżenia można się również powołać na obserwacje J. Tricarta (1960, str. 210—213), który stwierdza w osadach mułkowych małą intensywność wietrzenia mrozowego materiału kamiennego. W przeciwieństwie do wietrzenia mechanicznego większą rolę odgrywa wietrzenie chemiczne. Świadczą o tym przytoczone nieco dalej wyniki badania składu petrograficznego żwirów z glin zwałowych Polski wschodniej, na podstawie których stwierdzić można, że występujące na powierzchni najstarsze gliny zwałowe, wystawione najdłużej na oddziaływanie czynników atmosferycznych i biochemicznych, zawierają małe ilości składników nie odpornych na wietrzenie chemiczne.

Odrębnym zagadnieniem jest problem, w jaki sposób transport lodowcowy wpływa na modelowanie materiału żwirowego. W oparciu o obserwacje Ch. K. Wentwortha (1936a, 1936b), J. Tricarta i R. Schaeffer (1960), A. Cailleux i J. Tricarta (1959) oraz S. A. Jewtiejewa (1960), stwierdzić można, że żwiry transportowane w zawieszeniu, wewnątrz lodowców nie zmieniają zasadniczo swojego kształtu. Niemniej jednak obserwuje się silny proces rozdrabniania i rozłamywania transportowanego materiału skalnego w wyniku różnej szybkości poszczególnych pasm lodu (wewnątrz lodowca) lub też zróżnicowania ich ruchu mającego niekiedy tendencje do skręcania. Stąd w osadach glacialnych spotyka się żwiry ostro-

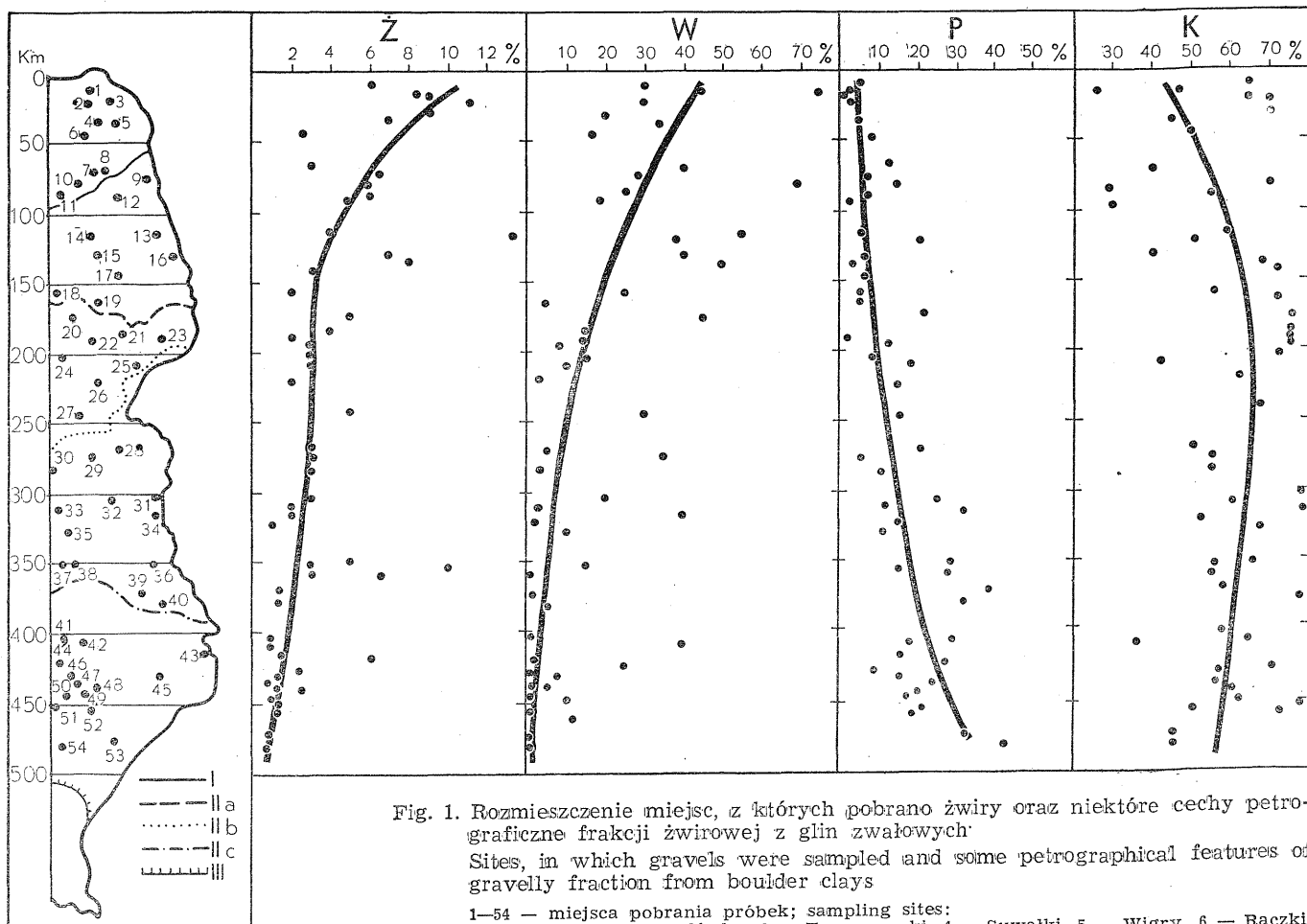


Fig. 1. Rozmieszczenie miejsc, z których pobrano żwiry oraz niektóre cechy petrograficzne frakcji żwirowej z glin zwałowych
 Sites, in which gravels were sampled and some petrographical features of gravelly fraction from boulder clays

1—54 — miejsca pobrania próbek; sampling sites:

1 — Kruszk, 2 — Pawłówka, 3 — Tauruszyski, 4 — Suwałki, 5 — Wigry, 6 — Raczk, 7 — Białobrzegi, 8 — Osowy Gród, 9 — Lipsk, 10 — Rajgród, 11 — Grajewo, 12 — Głęboczyszczyna, 13 — Sokółka, 14 — Mońki, 15 — Krzyszyn, 16 — Krynki, 17 — Białystok-Starosielce, 18 — Kołaki, 19 — Łapy, 20 — Szepietowo, 21 — Bielsk Podlaski, 22 — Brańsk, 23 — Hajnówka, 24 — Ciechanowiec, 25 — Kleszczele, 26 — Siemiatycze, 27 — Niemojki, 28 — Biała Podlaska, 29 — Międzyrzec, 30 — Łuków, 31 — Sławatycze, 32 — Jabłoń, 33 — Kock, 34 — Różanka, 35 — Wincentów, 36 — Łowcza, 37 — Jakubowice Koń., 38 — Ciecierzyn, 39 — Pawłów, 40 — Sielec, 41 — Batorz, 42 — Tokary, 43 — Cichobórz, 44 — Janów Lub., 45 — Czartowczyk, 46 — Bukowa, 47 — Sól, 48 — Smółsko, 49 — Markowice, 50 — Bidaczów, 51 — Krzeszów, 52 — Łuchów, 53 — Oleszyce, 54 — Grodzisko Dolne; I — zasięg zlodowacenia północnopolskiego; IIa—c — zasięg zlodowacenia środkowopolskiego (IIa — stadium północnomazowieckie, IIb — mazowiecko-podlaskie, IIc — maksymalne); III — zasięg zlodowacenia południowopolskiego; Z — frakcja żwirowa powyżej 2 mm; W — żwiry wapieni paleozoicznych we frakcji 1÷5 cm; P — żwiry piaskowców kwarcytowych we frakcji 1÷5 cm; K — żwiry skał krystalicznych we frakcji 1÷5 cm (liniami ciągłymi oznaczono środkowe rozrzutu wartości procentowych)

I — extent of North Polish Glaciation; IIa—c — extent of Middle Polish Glaciation (IIa — North Mazovian Stage, IIb — Mazovian Podlasie Stage, IIc — Maximum Stage); III — extent of South Polish Glaciation; Z — gravel fraction above 2 mm; W — gravels of Palaeozoic limestones of 1–5 cm fraction; P — gravels of quartzite sandstones of 1÷5 cm fraction; K — gravels of crystalline rocks of 1÷5 cm fraction (by means of solid lines are shown the medians of scattering of percentage values)

krawędziste lub porożlamywane otoczaki, zazwyczaj o zarysie pentagonalnym. Żwirzy obtoczone uformowane są przez wody wewnątrz- lub podlodowcowe. Żwirzy wygładzone mogą też tworzyć się w wyniku tarcia żwiru o podłoże, po którym przesuwają się lodowce, jednak i przy tych procesach zachodzić może rozlamywanie żwirów; należy zaznaczyć, że materiał skalny niesiony w zawieszeniu również może ulegać pewnemu wygładzaniu poprzez ocieranie się o inne składniki mineralne wmarznięte we wnętrzu lodowca.

Z powyższych wywodów wynika, że kształt żwirów występujących w osadach glacialnych jest wypadkową trzech nakładających się na siebie procesów: konserwującej roli lodowców (1), rozkruszania i rozlamywania w wyniku naprężeń zachodzących wewnątrz lodowca (2), oraz wygładzania (ścierania) zachodzącego szczególnie silnie pod wpływem obróbki w wodach wewnątrzlodowcowych (3).

UWAGI O SKŁADZIE PETROGRAFICZNYM GLIN ZWAŁOWYCH POLSKI WSCHODNIEJ

Gliny zwałowe Polski wschodniej występujące na powierzchni zawierają średnio 3% (skrajnie 1÷13%) frakcji żwirowej (powyżej 2 mm). Udział frakcji żwirowej dość wyraźnie zmniejsza się w kierunku południowym. I tak w północnej części terenu frakcja żwirowa występuje w glinie zwałowej w ilości nawet powyżej 6%, a w południowej części omawianego obszaru w ilości około 2% (fig. 1).

Wśród żwirów o średnicy 10÷40 mm, najliczniej występują skały krystaliczne² (średnio 59%, skrajnie 24÷84%). W grupie tej około 2/3 materiału przypada na skały głębinowe (granity łącznie z granitoporfirami i granitognejsami oraz pojedynczymi okazami innych skał głębinowych), pozostała część — to prawie w połowie skały wylewne i metamorficzne. Skały te pochodzą głównie z obszaru wysp Alandzkich i dna Bałtyku (61% skał przewodnich), oraz południowo-zachodniej Finlandii (24% skał przewodnich); skały z obszaru Szwecji są stosunkowo nieznaczne (15% skał przewodnich). Poza skałami krystalicznymi w większych ilościach występują we frakcji żwirowej wapienie paleozoiczne (średnio 22%, skrajnie 0÷73%), oraz piaskowce kwarcytowe (kambryjskie i starsze) średnio 15% (skrajnie 1÷44%). Na żwirzy innych skał (dolomity, wapienie mezozoiczne, krzemienie itp.) przypada średnio 4%.

W glinach zwałowych Polski wschodniej można zaobserwować pewną zmienność w zawartości żwirów skał różnych genetycznie (fig. 1). W kierunku południowym zmniejsza się mianowicie ilość żwirów wapieni paleozoicznych, a wzrasta udział piaskowców. Również nieznacznie zwiększa się ku południowi zawartość skał krystalicznych, jednak najwyższa zawartość tych skał znajduje się w glinach zwałowych występujących w obrębie glin stadium mazowiecko-podlaskiego zlodowacenia środkowopolskiego.

² Autor nie uwzględnił lokalnego materiału kredowego i trzeciorzędowego w glinach zwałowych z południowej części terenu.

SPOSÓB ZBIERANIA I OPRACOWYWANIA MATERIAŁU

Materiał zebrałem z 54 odsłoneń gliny zwalowej w Polsce wschodniej. Ze ściany odkrywki (w poziomie około 2 m od stropu gliny) wybierałem żwirny o średnicy 1÷5 cm. Powierzchnia, z jakiej wybierano materiał wynosiła 4÷8 m², a ilość zebranych żwirów wahała się od 200 do 400.

Zebrany materiał segregowałem na trzy grupy: 1) skały krystaliczne (bez łupków krystalicznych i silnie zwiertzałych gnejsów); 2) kambryjskie i prekambryjskie piaskowce kwarcytowe; 3) wapienie paleozoiczne.

Badania morfometryczne przeprowadziłem oddzielnie dla trzech wyróżnionych grup żwirów. Zawartość żwirów w danej grupie petrograficznej w jednej próbce wynosiła 40÷100 żwirów. Zebrany i posegregowany materiał żwirowy poddałem badaniom morfometryczno-wizualnym.

Formę żwirów określiłem w oparciu o proporcje zachodzące między trzema osiami żwiru (długością — a, szerokością — b, grubością c)³, stosowane przez T. Zingga (1935). Jednak w celu dokładniejszego umiejscowienia rozrzutu poszczególnych form dostosowałem się do podziału Payene (S. G. Sarkisjan, Ł. T. Klimowa, 1955, str. 62), wyróżniając następujące formy⁴:

b/a	c/b	nazwa formy
>2/3	<1/3	plaskodyskoidalna
>2/3	1/3÷2/3	dyskoidalna
>2/3	>2/3	sferoidalna
1/3÷2/3	<1/3	plaskoelipsoidalna
1/3÷2/3	1/3÷2/3	elipsoidalna
1/3÷2/3	>2/3	wrzecionowata

Sferyczność żwirów określiłem według nomogramu W. C. Krumbeina (1941)⁵, spłaszczenie zaś według wzoru Wentwortha $\frac{a+b}{2c}$.

Charakter próbki przeanalizowałem za pomocą trzech metod:

1. Z wzoru Cailleux $\frac{2000 r_1}{L}$ (L — długość żwiru, r_1 — najmniejszy promień koła dający się wpisać w kontur żwiru) określiłem współczynnik zaokrąglenia.

2. W oparciu o wzorzec obtoczenia żwirów określiłem wizualnie stopień obtoczenia (W. C. Krumbein, 1941).

³ Krytyczne uwagi o stosunkach wskaźników morfometrycznych opartych na stosunkach między osiami a, b, c podaje M. Blenk (1960) oraz J. Morawski (1961, str. 19, 20).

⁴ Ponieważ nie stwierdzono form o stosunku b/a < 1/3, nie przeprowadzono pełnego podziału.

⁵ T. Wieser (1954) uzupełnia nomogram W. C. Krumbeina (1941) tak, że w oparciu o stosunki zachodzące między osiami żwiru b/a i c/b odczytuje się nie tylko formę i sferyczność, ale równocześnie i spłaszczenie.

3. Na podstawie skali ułożonej przez Dal Vesco (T. J. Wojno, Z. Pentlakowa, 1956, str. 36, 37) określiłem charakter konturu żwirów. Skalę tę nieco uprościłem, gdyż obok sześciu podstawowych klas (I — kontur żwiru skrajnie kanciasty, II — kanciasty, III — częściowo obtoczony, IV — słabo obtoczony, V — dobrze obtoczony, VI — bardzo dobrze obtoczony) wydzieliłem jeszcze tylko jedną — VII klasę — charakteryzującą rozłamane otoczaki typu IV, V, VI, gdy tymczasem we wzorcu Dal Vesco rozłamane otoczaki tych klas stanowią odrębne grupy.

Zastosowanie trzech różnych kryteriów dla przedstawienia obtoczenia żwirów wynikało z niemożliwości udchwycenia udziału przełamanych żwirów obtoczonych. Przy metodzie Cailleux żwirów te sztucznie zwiększają udział żwirów kanciastych (o współczynniku zaokrąglenia poniżej 100), przy wizualnej ocenie obtoczenia według skali Krumbaina zwiększa się udział klasy 0,3÷0,5. Tymczasem według wzorca Dal Vesco można było stosunkowo najprościej wyodrębnić tę grupę żwirów, poza tym proste założenia tej metody pozwalają na dość szybkie i względnie jednoznaczne⁶ zaliczanie żwirów do danej klasy.

Otrzymane wyniki wykazywały dość duży rozrzut poszczególnych wskaźników morfometrycznych na stosunkowo niedługich odcinkach drogi lądolodu, dlatego też w interpretacji posłużyłem się wartościami średnimi dla próbek pobranych w strefach co 50 km. Za zero w badanym terenie przyjąłem północną granicę Polski. Tego rodzaju ujęcie niwelowo miejscowe odchylenia wskaźników morfometrycznych, powstałe w wyniku lokalnych zmian dynamiki wewnątrzlodowcowej i pozwalało na jaśniejsze ujęcie tendencji zmiany kształtu żwirów w miarę wzrostu długości transportu. Wyróżnione strefy (50 km) pokrywają się z grubszą z powierzchniowym występowaniem glin zwałowych odrębnego wieku (fig. 1). Strefy 0÷100 km charakteryzują więc zasadniczo gliny zwałowe zlodowacenia północnopolskiego; 100÷400 km pokrywają się z próbkami pobranymi z glin zwałowych zlodowacenia środkowopolskiego (100÷150 km ze stadium północno-mazowieckiego, 150÷200 km — ze stadium mazowiecko-podlaskiego, 250÷400 km ze stadium maksymalnego), wreszcie 400÷500 km z powierzchniowo występującymi glinami zlodowacenia południowopolskiego.

WYNIKI MORFOMETRYCZNO-WIZUALNYCH BADAŃ ŻWIRÓW Z GLIN ZWAŁOWYCH

ŻWIRY SKAŁ KRYSTALICZNYCH

Żwirów skał krystalicznych reprezentowane są w około 50% przez formy sferoidalne, około 28% przez dyskoidalne oraz 17% przez wrzecionowate. Na formy płaskodiskoidalne, płaskoelipsoidalne i elipsoidalne przypada łącznie około 7% żwirów. Sferyczność tych żwirów charakteryzuje się dość wysokimi współczynnikami, z przewagą żwirów o sferyczności 0,7, wspieranymi przez materiał o sferyczności 0,6 i 0,8.

⁶ Wadą przy oznaczaniu obtoczenia żwirów w oparciu o wzorce jest znaczna ilość klas, wśród których występują niekiedy wizualnie nieznaczne różnice. Zwraca na to między innymi uwagę J. Morawski (1961), proponując stosowanie czterostopniowej zmodyfikowanej skali Dal Vesco.

Tabela 1

Wskaźniki morfometryczne żwirów skał krystalicznych we frakcji 1÷5 cm.
(wartości liczbowe w %%)

Odległość od N graniczy Polski w km	0÷ ÷50	50÷ ÷100	100÷ ÷150	150÷ ÷200	200÷ ÷250	250÷ ÷300	300÷ ÷350	350÷ ÷400	400÷ ÷450	450÷ ÷500
Liczba analiz	6	6	5	6	4	3	5	5	10	4
Forma										
sferoidalna	42	45	44	49	50	51	50	50	53	55
dyskoidalna	30	27	30	29	26	30	29	26	26	26
wrzecionowata	17	20	19	18	16	13	15	18	13	12
inne	11	8	7	4	8	6	6	6	8	7
Sferyczność										
< 0,5	7	5	8	8	10	4	4	4	5	5
0,6	27	29	28	20	25	19	23	20	18	17
0,7	40	40	37	43	38	40	41	38	37	39
≥ 0,8	26	26	27	29	27	37	32	38	40	39
Splaszczanie										
1,0÷1,5	32	35	34	38	36	37	32	36	36	39
1,5÷2,0	46	44	45	47	48	50	54	53	50	49
2,0÷2,5	15	13	14	10	12	10	10	10	11	10
> 2,5	7	8	7	5	4	3	4	1	3	2
Zaokrąglenie										
0÷100	53	49	51	45	44	45	43	43	42	43
100÷200	28	26	24	30	26	30	30	27	28	26
200÷300	13	15	15	15	16	12	15	17	16	17
> 300	6	10	10	10	14	13	12	13	14	14
Obtroczenie										
< 0,2	14	13	10	9	16	14	16	18	16	17
0,3	15	14	15	16	18	14	13	16	23	20
0,4	18	20	19	19	19	20	22	27	25	25
0,5	44	47	49	47	38	43	41	33	31	34
0,6	6	4	6	7	8	8	7	5	4	3
≥ 0,7	3	2	1	2	1	1	1	1	1	1
Kontur										
I+II	31	32	35	33	35	35	36	37	36	37
III	27	24	25	27	28	27	28	30	29	29
IV	9	10	10	8	7	9	9	8	8	9
V+VI	5	7	5	8	5	5	5	4	5	5
VII	28	27	25	24	25	24	22	21	22	20

W świetle przedstawionych wyników zrozumiałe jest, że spłaszczenie żwirów skał krystalicznych musi być słabe. Średni współczynnik spłaszczenia dla tych żwirów wynosi 1,70 (skrajnie 1,51÷1,88). Więcej niż połowa żwirów charakteryzuje się współczynnikiem spłaszczenia zawartym między 1,25 a 1,75 (fig. 2). Współczynnik zaokrąglenia wyliczony według wzoru Cailleux charakteryzujący żwiry skał krystalicznych jest niski i wynosi średnio 129 (skrajnie 96÷168). Największa ilość żwirów posiada zaokrąglenie 0÷150, średnio 65%.

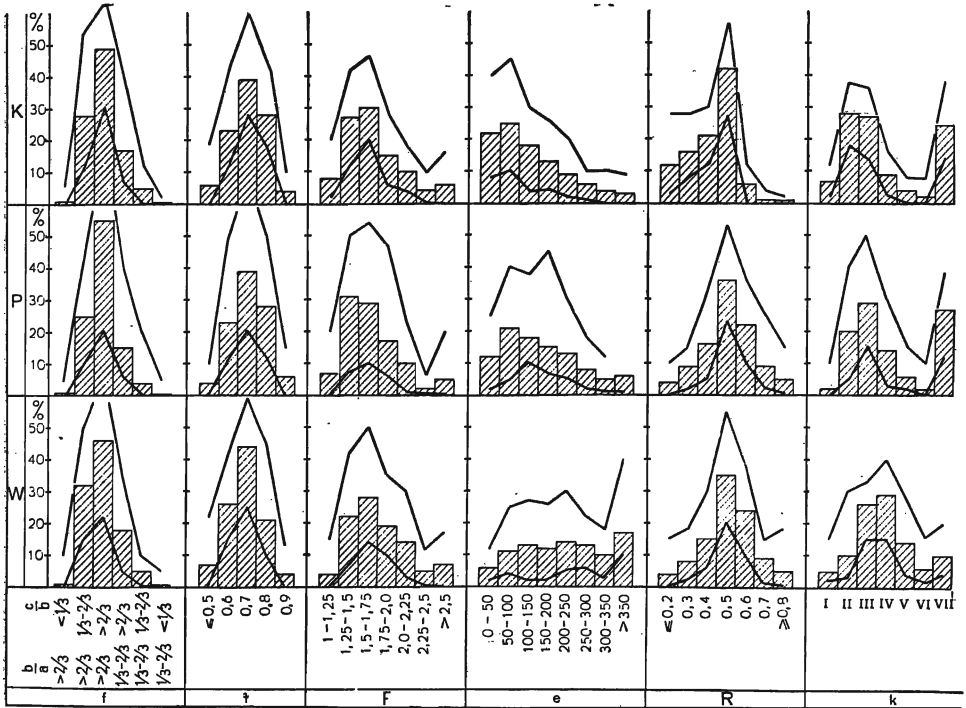


Fig. 2. Histogramy głównych wskaźników morfometrycznych żwirów glin zwałowych Polski wschodniej (histogramy przedstawiają wartości średnie, linie ciągłe — wartości skrajne)

Histograms of main morphometric indices of gravels from boulder clays of the eastern area of Poland (histograms present mean values, solid lines mean extreme values)

K — żwiry skał krystalicznych; P — żwiry piaskowców kwarcytowych, W — żwiry wapieni paleozoicznych; f — forma; ψ — sferyczność; F — współczynnik spłaszczenia; e — współczynnik zaokrąglenia; R — obtoczenie; k — kontur

K — gravels of crystalline rocks; P — gravels of quartzite sandstones; W — gravels of Palaeozoic limestones; f — form; ψ — sphericity; F — flattening coefficient; e — rounding coefficient; R — roundness; k — contour

Oceniając obtoczenie żwirów skał krystalicznych według wizualnej skali W. C. Krumbeina stwierdza się, że średnio 40% żwirów charakteryzuje się współczynnikiem 0,5 (również w znacznych ilościach występują żwiry o obtoczeniu 0,4 i 0,3, por. fig. 2).

Kontur żwirów oceniony według skali Dal Vesco w 80% przypada na klasy II, III i VII. Udział żwirów tych trzech klas jest mniej więcej

Tabela 2

Wskaźniki morfometryczne żwirów piaskowców kwarcytowych we frakcji 1÷5 cm
(wartości liczbowe w %%)

Odległość od N granicy Polski w km	0÷ ÷50	50÷ ÷100	100÷ ÷150	150÷ ÷200	200÷ ÷250	250÷ ÷300	300÷ ÷350	350÷ ÷400	400÷ ÷450	450÷ ÷500
Liczba analiz	4	5	5	6	4	3	5	5	10	4
Forma										
sferoidalna	54	50	46	55	59	59	56	54	58	60
dyskoidalna	29	31	28	30	19	23	21	25	20	20
wrzecionowata	10	12	15	13	14	14	16	16	15	16
inne	7	7	11	2	8	4	7	5	7	4
Sferyczność										
< 0,5	7	8	4	2	4	3	2	1	3	4
0,6	15	22	24	18	20	20	28	27	26	31
0,7	47	40	43	45	48	42	38	34	33	28
≥ 0,8	31	30	29	35	28	35	32	38	38	37
Spłaszczenie										
1,0÷1,5	43	38	31	34	40	35	45	39	44	30
1,5÷2,0	37	46	52	51	47	50	45	48	33	51
2,0÷2,5	12	13	10	12	11	11	7	11	15	16
> 2,5	8	3	7	3	2	4	8	2	8	3
Zaokrąglenie										
0÷100	42	36	37	35	30	30	33	27	30	29
100÷200	36	35	32	31	32	34	28	30	31	30
200÷300	13	21	23	24	25	24	25	28	24	28
> 300	9	8	8	10	13	12	14	15	15	13
Obtroczenie										
< 0,2	5	5	7	4	3	3	2	2	4	2
0,3	9	12	11	10	9	6	5	6	6	5
0,4	14	17	13	16	15	17	23	20	19	21
0,5	40	39	40	37	37	35	34	32	31	30
0,6	20	17	21	23	26	25	26	26	24	26
≥ 0,7	12	10	8	10	10	14	10	14	16	16
Kontur										
I+II	18	20	16	20	18	19	28	24	30	33
III	40	35	36	28	30	28	23	26	26	22
IV	12	8	15	17	22	18	11	10	13	12
V+VI	3	4	6	9	6	10	9	12	5	9
VII	27	33	27	26	24	25	29	28	26	24

równomiernie rozłożony. Obtoczone żwiry (klasy IV, V, VI) skał krystalicznych są stosunkowo nieliczne i stanowią w sumie około 14% analizowanego materiału.

ŻWIRY PIASKOWCÓW KWARCYTOWYCH

Forma żwirów piaskowców zbliżona jest do form, jaką charakteryzują się żwiry skał krystalicznych. Podobnie jak u poprzednio omówionych najliczniejsze są żwiry o formach sferoidalnych, które stanowią przeszło połowę badanego materiału. Na formy dyskowate przypada średnio 25% żwirów, na wrzecionowate zaś około 14%. Sferyczność żwirów piaskowcowych wykazuje bardzo duże podobieństwo ze sferycznością żwirów skał krystalicznych oraz wapieni paleozoicznych, i tu dominują żwiry o sferyczności 0,7 (por. fig. 2). Średnie spłaszczenie żwirów piaskowcowych wynosi 1,68 (skrajnie 1,48÷1,95). Na żwiry o współczynniku 1,25÷1,75 przypada 50÷60% analizowanych żwirów, z wyraźnym maksimum w przedziale współczynnika spłaszczenia 1,25÷1,50.

Współczynnik zaokrąglenia żwirów piaskowcowych jest wyższy niż żwirów skał krystalicznych i wynosi średnio 165 (skrajnie 119÷218). Najwięcej, bo 60÷80% żwirów charakteryzuje się współczynnikami 0÷200, z wyraźnymi maksimumami w przedziałach 50÷100 i 100÷150. Obtoczenie żwirów piaskowcowych różni się dość wyraźnie od tego, jakie charakteryzuje żwiry skał krystalicznych. Co prawda i tu dominują żwiry o obtoczeniu 0,5, jednak w dość znacznym odsetku występują żwiry o współczynniku 0,6 (15÷35%).

Kontur omawianych żwirów jest nieco inny niż posiadają żwiry skał krystalicznych. Najliczniej reprezentowany jest materiał o konturze klasy III (średnio 29%), nieco mniejszy udział przypada na żwiry klasy VII i II. Żwiry o konturze obtoczonym (klasy IV, V, VI) stanowią średnio 21% przebadanego materiału.

ŻWIRY WAPIENI PALEOZOICZNYCH

Forma żwirów wapieni paleozoicznych odbiega nieco od form żwirów omówionych wyżej. Dotyczy to zmniejszenia przewagi form sferoidalnych nad pozostałymi (dyskoidalną i wrzecionowatą, por. fig. 2). Wśród materiału wapiennego najczęściej spotyka się żwiry o sferyczności 0,7 (średnio 44%). Mniejszy udział mają żwiry ze sferycznością 0,6 (26%) i 0,8 (24%).

Żwiry wapieni paleozoicznych charakteryzują się średnim współczynnikiem spłaszczenia 1,78 (skrajnie 1,6÷2,0), a więc nieco większym niż u poprzednio opisanych żwirów. Najczęściej stwierdza się żwiry, których spłaszczenie zawarte jest w przedziale 1,25÷1,50 i 1,50÷1,75.

Żwiry wapienne mają najwyższe współczynniki zaokrąglenia wśród przebadanych żwirów. Średnie zaokrąglenie wyraża się wartością 243 (skrajnie 180÷336).

Obtoczenie żwirów wapieni paleozoicznych określone w oparciu o skalę W. C. Krumbeina zbliżone jest do obtoczenia żwirów piaskowców kwarcytowych. Najczęstsze są żwiry wapienne o obtoczeniu 0,5 (średnio 37%), nieco mniejszy udział mają żwiry o obtoczeniu 0,6 oraz 0,4.

Tabela 3

Wskaźniki morfometryczne żwirów wapieni paleozoicznych we frakcji 1÷5 cm
(wartości liczbowe w %%)

Odległość od N graniczy Polski w km	0÷ ÷50	50÷ ÷100	100÷ ÷150	150÷ ÷200	200÷ ÷250	250÷ ÷300	300÷ ÷350	350÷ ÷400	400÷ ÷450	450÷ ÷500
Liczba analiz	6	6	5	6	3	4	3	2	6	1
Forma										
sferoidalna	38	38	42	47	47	48	49	48	53	47
dyskoidalna	33	33	37	33	34	33	30	30	24	30
wrzecionowata	24	20	17	18	16	14	17	20	16	17
inne	5	9	4	2	3	5	4	2	7	6
Sferyczność										
< 0,5	8	10	7	4	6	6	4	4	5	3
0,6	32	29	31	28	24	26	25	25	22	20
0,7	40	39	44	42	45	43	48	46	47	47
≥ 0,8	20	22	18	26	25	25	23	25	26	30
Splaszczanie										
1,0÷1,5	20	16	20	31	20	31	25	25	34	33
1,5÷2,0	51	50	54	44	55	45	45	47	43	47
2,0÷2,5	19	24	17	19	15	18	25	23	16	10
> 2,5	10	10	9	6	10	6	5	5	7	10
Zaokrąglenie										
0÷100	19	16	18	19	16	17	23	19	20	17
100÷200	24	23	21	26	28	26	27	32	27	30
200÷300	26	28	26	21	24	21	24	21	22	25
> 300	31	33	35	34	32	36	26	28	31	28
Obtoczenie										
< 0,2	1	1	5	6	3	4	5	3	6	7
0,3	5	8	10	12	8	5	9	9	10	10
0,4	18	18	14	17	15	13	10	14	13	10
0,5	36	34	31	29	35	38	44	42	42	40
0,6	22	22	26	26	26	24	21	22	20	22
≥ 0,7	18	17	14	10	15	16	11	10	9	11
Kontur										
I+II	25	26	23	20	12	15	8	8	12	10
III	22	19	22	21	26	30	31	30	28	27
IV	20	19	25	28	30	30	33	30	34	38
V+VI	28	30	20	23	23	15	16	18	13	15
VII	5	6	10	8	9	10	12	14	13	10

Kontur żwirów wapieni paleozoicznych określony w oparciu o skałę Dal Vesco jest nieco inny od układu, jaki został stwierdzony wśród żwirów skał krystalicznych i piaskowców kwarcytowych. Wśród materiału wapiennego przeważają żwiry klasy IV (średnio 29⁰/o), dość licznie występują również żwiry klasy III (25,6⁰/o). Żwiry klasy V i VI stanowią średnio 20,1⁰/o materiału wapiennego. Stosunkowo nieliczne są żwiry klasy VII i II.

WPLYW DŁUGOŚCI TRANSPORTU LODOWCOWEGO NA KSZTAŁT ŻWIRÓW

Jak już zaznaczyłem we wstępie pracy, wyciąganie wniosków o wpływie transportu glacjalnego na zmianę kształtu żwirów obarczone będzie pewnymi błędami. Wynika to z tego, że porównywany jest materiał żwirowy z glin zwałowych różnego wieku. Poza tym analizom poddano małą ilość próbek, stąd możliwość wpływu lokalnych procesów dynamiki wewnątrzlodowcowej na zmianę wartości średnich poszczególnych cech morfometryczno-wizualnych.

Należy również zwrócić uwagę, że uzyskane rezultaty badań morfometryczno-wizualnych, charakteryzujących zmianę kształtu żwirów są wycinkowe i odnoszą się do końcowych, stosunkowo mniej aktywnych części łądolodu. Przyjęcie północnej granicy państwowej Polski wschodniej za zerowy punkt odniesienia jest umowne, gdyż glacjalna obróbka żwirów zaczęła się na obszarach znajdujących się bardziej na północ od Polski.

Powyższe uwagi ograniczają możliwość interpretacji wyników i sprowadzają porównanie do przedstawienia głównych stwierdzonych prawidłowości, jakie uzyskujemy z badań morfometryczno-wizualnych z glin zwałowych (Polski wschodniej).

FORMA

Materiał żwirowy tak skał krystalicznych, jak i piaskowców kwarcytowych oraz wapieni paleozoicznych wzbogaćany jest stopniowo w kierunku południowym w formy sferoidalne. W przypadku żwirów skał krystalicznych i wapieni paleozoicznych wzrost ten odbywa się wraz ze stopniowym zmniejszaniem żwirów o formach dyskooidalnych, wrzecionowatych i elipsoidalnych. W przypadku żwirów piaskowcowych równocześnie ze wzrostem form sferoidalnych w kierunku południowym zwiększa się nieznacznie udział żwirów o formach wrzecionowatych. Wydaje się, że różnice te pozostają w związku z większą odpornością piaskowców kwarcytowych na procesy rozkruszania i rozłamywania zachodzące wewnątrz łądolodu.

SFERYCZNOŚĆ

Wraz z długością transportu ulega również pewnym zmianom sferyczność żwirów. W przypadku żwirów skał krystalicznych i wapieni paleozoicznych w miarę oddalania się od północy maleje udział żwirów o sferyczności 0,6 i poniżej, wzrasta natomiast ilość składników o sferyczności wyższej (0,7 i powyżej).

Sferyczność żwirów piaszkowcowych zmienia się dość zaskakująco — równolegle do wzrostu sferyczności w kierunku południowym (wzrasta udział żwirów ze sferycznością 0,8 i powyżej) następuje wzrost materiału ze sferycznością 0,6. Zmiany te odbywają się głównie kosztem żwirów ze sferycznością 0,7, których udział w tym kierunku wyraźnie maleje.

Wydaje się, że to zróżnicowanie zmian sferyczności spowodowane jest odpornością skał na niszczenie w środowisku glacialnym. Z przytoczonych uwag wynikałoby, że procesowi temu, polegającemu na skracaniu osi a , ulegają najłatwiej skały krystaliczne i wapienie. Te pierwsze, mając naruszoną strukturę wewnętrzną poprzez rozsadzające działanie zamarzającej wody, bardziej podatne są na przełamywanie lub rozkruszanie w wyniku zmiany naprężeń wewnątrz lodowca. Procesy dynamiczne zachodzące w lodolodzie równie silnie oddziaływać muszą na wapienie, które jako skały mało odporne na niszczenie mechaniczne stosunkowo łatwo ulegają rozłamywaniu. Piaszkowce kwarcytowe są nieco mniej podatne na rozkruszanie i rozłamywanie. Wydaje się jednak, że w obserwowanym układzie nakładają się na siebie dwa procesy powodujące zmianę sferyczności tych skał. Jednym z nich jest rozłamywanie (skracanie osi a , a więc podnoszenie sferyczności żwirów), drugim natomiast proces polegający na skracaniu osi c (grubości żwiru), mogący mieć związek z teksturą (warstewkowaniem) tego typu skał.

SPŁASZCZENIE

Jak wynika z przedstawionych dotychczas rezultatów badań morfometrycznych, w glinach zwałowych Polski wschodniej występują żwiry, których długości trzech podstawowych osi (a , b , c) są zbliżone do siebie. Zrozumiałą jest więc rzeczą, że analizując zmiany współczynnika spłaszczenia otrzymujemy obraz zmian podobny jak w przypadku analizy formy czy sferyczności.

Żwiry skał krystalicznych i wapieni paleozoicznych w miarę oddalania się od północy reprezentowane są w coraz to większym stopniu przez składniki o współczynniku spłaszczenia $1,0 \div 1,5$, a więc przez materiał słabo spłaszczony. W przypadku żwirów piaszkowców kwarcytowych obserwuje się, że ku południowi maleje udział żwirów o słabym spłaszczeniu ($1,0 \div 1,5$), wzrasta natomiast ilość składników o współczynniku $1,5 \div 2,0$. Próbę wytłumaczenia tych rozbieżności wśród żwirów różnych genetycznie skał starałem się podać przy omawianiu sferyczności.

ZAOKRĄGLENIE

Pomijając różnice w zaokrągleniu żwirów wynikające z charakteru skał (najlepiej są zaokrąglone żwiry wapienne, nieco słabiej piaszkowce, najslabiej skały krystaliczne) stwierdza się tylko stosunkowo niewielki wpływ długości transportu na udziały poszczególnych klas współczynnika zaokrąglenia. W oparciu o ten współczynnik można obserwować, że ku południowi wśród żwirów skał krystalicznych i piaszkowców kwarcytowych zmniejszają się odsetki materiału o zaokrągleniu poniżej 200, wzrasta natomiast udział żwirów o lepszym zaokrągleniu. W oparciu o współczynnik zaokrąglenia nie udało się wychwycić zmian, jakim podlegają żwiry wapieni paleozoicznych w miarę oddalania się od północy.

OBTOCZENIE

Uzupełnieniem przedstawionego wyżej obrazu są wyniki wizualnej oceny obtoczenia żwirów według skali W. C. Krumbeina. Obtoczenie analizowanego materiału wykazuje tylko nieznaczne różnicowanie. Daje się jedynie zauważyć, że żwiry skał krystalicznych w kierunku południowym wzbogacane są w materiał o obtoczeniu 0,2 i 0,3, maleją natomiast składniki o obtoczeniu wyższym (lepiej obtoczone). Żwiry piaskowców kwarcytowych stają się w tym samym kierunku nieco zasobniejsze w materiał o obtoczeniu 0,4 oraz powyżej 0,6, przy jednoczesnym nieznacznym zmniejszaniu się ilości żwirów o obtoczeniu 0,2, 0,3 oraz 0,5.

Żwiry wapieni paleozoicznych w miarę oddalania się od północy wykazują najmnijšie zmiany obtoczenia. Można jednak zauważyć, że ku południowi wzbogacają się w materiał o obtoczeniu 0,5, przy odpowiednim zmniejszaniu się udziału żwirów mających obtoczenie 0,7.

KONTUR

Żwiry skał krystalicznych wykazują bardzo nieznaczną zmianę konturu. Wyraża się ona tylko w pewnym wzroście żwirów kanciastych (klasa I i II) w kierunku południowym, przy jednoczesnym zmniejszaniu się ilości przełamanych żwirów obtoczonych (klasa VII)⁷.

Znacznie wyraźniejsze zmiany konturu w miarę oddalania się od północy wykazują żwiry piaskowców kwarcytowych. Zmiany te przebiegają w sposób zbliżony jak przy żwirach skał krystalicznych. Ku południowi wzrasta udział klasy I i II, lecz odbywa się to przy równoległym zmniejszeniu się udziału składników o konturze częściowo obtoczonym (klasa III).

Nieco odmiennie przebiegają zmiany konturu żwirów wapieni paleozoicznych. Żwiry te w miarę oddalania się od północy wyraźnie stają się uboższe w materiał kanciasty (klasa I i II) i dobrze obtoczony (klasa V i VI). Zwiększają się natomiast dość wyraźnie ilości składników słabo obtoczonych (klasa IV) i w nieco mniejszym stopniu o konturze klasy III i VII.

Jak wynika z przytoczonych faktów i zestawień tabelarycznych (tab. 1—3), stwierdzić można, że w środowisku lodowcowym materiał żwirowy uległ pewnemu przemodelowaniu w stosunku do swego kształtu wyjściowego. Przekształcenie to ma charakter wsteczny, polegający przede wszystkim na łamaniu i rozkruszaniu żwirów zawartych w łożu lodzie. Dotyczy to obecności pierwotnie obtoczonych, a obecnie rozłamanych żwirów (klasa VII). Stwierdzić można, że najbardziej podatnym na to materiałem są żwiry skał krystalicznych, które zawierają przeszło dwukrotnie więcej składników klasy VII niż IV, V i VI, co wskazywałoby, że przeszło dwukrotnie zmniejszyła się ilość żwirów obtoczonych. Podobnie przedstawia się sprawa ze żwirami piaskowców kwarcytowych. Nieco inaczej zachowują się żwiry wapieni paleozoicznych, ich mały udział w klasie VII nie tyle świadczy, że skały te są mniej podatne na rozkruszanie czy rozłamywanie, ile o tym, że w wyniku niewielkiego tarcia

⁷ Wydaje się, że pozostaje to w związku z wielokrotnym przełamaniem żwirów początkowo obtoczonych, które z klasy VII przechodzą do klasy I lub II (o konturze skrajnie kanciastym i kanciastym).

Tabela 4

Zmienność konturu żwirów i okruchów skał krystalicznych w zależności od ich średnicy
(wartości liczbowe w %%)

Kontur	Odległość od N granicy Polski w km									
	0 ÷ ÷50	50 ÷ ÷100	100 ÷ ÷150	150 ÷ ÷200	200 ÷ ÷250	250 ÷ ÷300	300 ÷ ÷350	350 ÷ ÷400	400 ÷ ÷450	450 ÷ ÷500
	Frakcja 50÷10 mm									
I	6	6	7	6	8	6	6	8	6	7
II	25	26	28	27	27	29	30	29	30	30
III	27	24	25	27	28	27	28	30	29	29
IV	9	10	10	8	7	9	9	8	8	9
V	4	4	3	6	3	4	4	3	4	4
VI	1	3	2	2	2	1	1	1	1	1
VII	28	27	25	24	25	24	22	21	22	20
	Frakcja 10÷5 mm									
I	14	8	11	11	9	13	11	11	10	14
II	28	30	29	30	31	31	31	28	32	31
III	35	34	32	39	42	36	36	35	37	34
IV	5	8	6	5	5	5	5	6	6	4
V	2	2	4	2	3	2	2	3	2	1
VI	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
VII	16	18	18	13	10	13	15	17	13	16
	Frakcja 5÷2 mm									
I	8	9	10	9	8	10	7	12	12	10
II	35	36	34	31	31	30	31	33	32	30
III	33	30	33	38	37	34	40	33	35	42
IV	7	6	7	7	7	8	5	7	8	6
V	2	4	3	2	—	3	3	2	2	2
VI	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1
VII	14	14	11	12	16	13	12	12	10	9
	Frakcja 2÷1 mm									
I	3	5	6	9	6	7	4	9	11	10
II	33	33	34	36	34	35	34	36	35	31
III	34	35	36	31	35	33	34	28	32	33
IV	10	8	5	7	8	8	9	6	7	6
V	3	1	3	2	1	3	3	3	1	2
VI	1	1	—	1	—	1	1	—	1	—
VII	16	17	16	14	16	13	15	18	13	18

łatwo zaokrąglają swoje krawędzie. Równie dobrze zaokrąglenie krawędzi może być wtórne, w wyniku oddziaływania na żwiry wietrzenia chemicznego, które atakuje w pierwszym rzędzie wystające, ostre krawędzie.

ZMIANY KONTURU ŻWIRÓW W ZALEŻNOŚCI OD ŚREDNICY BADANEGO MATERIAŁU.

Zmiany stopnia wygładzenia powierzchni żwirów w różnych frakcjach oparto na wizualnej ocenie według skali Dal Vesco. Badaniom poddano żwiry skał krystalicznych i wapieni paleozoicznych, a więc skał o naj-

Tabela 5

Zmienność konturu żwirów i okruchów wapieni paleozoicznych w zależności od ich średnicy
(wartości liczbowe w %%)

Kontur	Odległość od N granicy Polski w km									
	0÷ ÷50	50÷ ÷100	100÷ ÷150	150÷ ÷200	200÷ ÷250	250÷ ÷300	300÷ ÷350	350÷ ÷400	400÷ ÷450	450÷ ÷500
	Frakcja 50÷10 mm									
I	8	8	8	11	4	6	4	4	5	3
II	17	18	15	9	8	9	4	4	7	7
III	22	19	22	21	26	30	31	30	28	27
IV	20	19	25	28	30	30	33	30	34	38
V	19	23	13	13	15	8	13	15	10	10
VI	9	7	7	10	8	7	3	3	3	5
VII	5	6	10	8	9	10	12	14	13	10
	Frakcja 10÷5 mm									
I	4	5	5	4	3	4	4	4	4	5
II	8	11	8	10	12	9	8	8	8	10
III	31	32	34	36	38	34	38	36	37	32
IV	24	28	25	32	30	30	32	28	31	30
V	15	12	11	5	7	5	6	7	7	8
VI	7	3	5	3	3	4	4	5	4	5
VII	11	9	12	10	7	14	8	12	9	10
	Frakcja 5÷2 mm									
I	2	6	5	5	2	5	5		7	6
II	4	4	5	7	5	3	4		9	8
III	47	48	49	49	45	44	47		48	52
IV	12	13	15	15	23	16	16	—	13	10
V	9	7	7	4	5	10	7		6	4
VI	6	5	3	3	3	4	4		2	3
VII	20	17	16	17	17	18	17		15	17
	Frakcja 2÷1 mm									
I	5	5	6	8	5	4	2		5	5
II	10	12	11	16	9	7	10		9	6
III	49	44	38	38	47	49	38		41	40
IV	16	20	20	17	20	21	28	—	24	29
V	4	5	9	6	10	7	6		9	10
VI	3	3	5	3	1	2	3		4	2
VII	13	11	11	12	8	10	13		8	8

słabszej i najlepszej obróbce (tab. 4 i 5). Mimo tych różnic tak przy jednym, jak i drugim rodzaju żwirów dają się zaobserwować pewne cechy wspólne. Przede wszystkim dotyczy to występujących we frakcji 10÷÷40 mm prawidłowych, choć nieznacznych, zmian konturu żwirów w miarę oddalania się od północy, które we frakcjach drobniejszych ulegają zatarciu. Występujące zmienności, jeśli nawet wykazują jakąś prawidłowość, są zbyt małe, aby można je było poddawać interpretacji.

Odmienne natomiast przebiega przekształcanie się konturów w miarę zmniejszania się średnic u żwirów skał krystalicznych i wapieni paleo-

zoicznych. Żwiry skał krystalicznych nie wykazują prawie żadnych zmian konturów. Zaznacza się tylko stosunkowo nieznaczny wzrost klasy II i III w miarę zmniejszania się średnic, przy równoczesnym zmniejszaniu się udziału rozłamanych żwirów obtoczonych. Żwiry i okruchy wapieni paleozoicznych podlegają daleko bardziej wyraźnym zmianom. Wraz ze zmniejszaniem się średnic maleje udział klasy I i II (o konturze skrajnie kanciastym i kanciastym), zmniejsza się również ilość żwirów o konturze obtoczonym (klasy IV, V, VI). Obserwuje się natomiast bardzo wyraźny wzrost składników o konturze częściowo obtoczonym (żwiry klasy III) oraz nieznaczne zwiększenie się materiału klasy VII.

W oparciu o przedstawione wyżej uwagi (tab. 4 i 5), zdaje się, że można przyjąć jeszcze jeden czynnik (obok wewnątrzglodowcowych) wpływający na modelowanie badanych żwirów. Czynnikiem tym może być wietrzenie chemiczne oddziaływujące na gliny zwałowe po ich zakumulowaniu przez ładolód. W przypadku żwirów wapieni paleozoicznych niweluje ono ostre krawędzie, a także przyczynia się do „szerokiego wgrzyzania“ powierzchni żwirów, powodującego przejście ich z klasy żwirów obtoczonych lub kanciastych do klasy żwirów o konturze częściowo obtoczonym.

Analogiczny do tego procesu wydaje się być mechanizm deformacji żwirów skał krystalicznych; na powierzchni niektórych otoczków obserwuje się bowiem płytkie, miseczkowate wgłębienia (w miejscach występowania skałeni) i wystające ponad nimi kryształki kwarcu. Stwierdza się również, że skałenie na odstających od żwiru (o konturze postrzępionym) naróżach mogą nosić ślady korozji chemicznej, wyrażającej się w zaokrągleniu tych fragmentów żwirów. Deformacje żwirów w glinach zwałowych zachodzące pod działaniem wietrzenia mrozowego wydają się być nieznaczne. We wszystkich przebadanych glinach zwałowych tak młodszych, jak i starszych złodowcań, narażonych na różny okres wietrzenia, stwierdza się podobny udział materiału o ostrych krawędziach (klasy I, II, VII), których powstawaniu sprzyja wietrzenie mrozowe.

WNIOSKI

1. Cały przebadany materiał żwirowy pochodzący z glin zwałowych Polski wschodniej charakteryzuje się stosunkowo małymi różnicami między osiami a , b , c . Są więc to żwiry o formach głównie sferoidalnych, w nieco mniejszym procencie dyskooidalne i wrzecionowate, o dość wysokich współczynnikach sferyczności i niskich wartościach współczynnika spłaszczenia (materiał słabo spłaszczony). W miarę oddalania się od północy wśród żwirów skał krystalicznych i wapieni paleozoicznych obserwuje się tendencje do zmniejszania różnic między trzema osiami (a , b , c), a więc do podwyższania sferyczności. Im bardziej na południe, tym zwiększa się kulistość żwirów piaskowców kwarcytowych, równocześnie część z nich ulega pewnemu spłaszczeniu. Dążenie do wzrostu sferyczności tłumaczyć można generalną dynamiką procesów wewnątrzglodowcowych, powodującą rozłamywanie i rozkruszanie żwirów. Spłaszczenie żwirów (w przypadku piaskowców) związane jest prawdopodobnie z odpryskiwaniem ich powierzchni, leżących na płaszczyźnie osi a i b , równoległych do warstwowania tych skał.

2. Stopień obróbki mechanicznej badanego materiału zależy przede wszystkim od charakteru skały. Najlepiej starte naraża mają żwiry wapieni paleozoicznych, nieco słabiej — piaskowce kwarcytowe, najslabiej — żwiry skał krystalicznych. W analizowanym materiale dominują żwiry o obróbce charakterystycznej dla środowiska glacialnego, co wyraża się w znacznym udziale żwirów o ostrych krawędziach oraz przelamanych żwirów obtoczonych. Obok nich stwierdza się jednak pewną ilość materiału dobrze obtoczonego, co wskazywać może na udział wód wewnątrz- lub podlodowcowych jako czynnika modelującego powierzchnię żwirów. W przypadku wapieni paleozoicznych, być może, pewien wpływ miało wietrzenie chemiczne. Efekty zmian obróbki mechanicznej w miarę wzrostu długości transportu zaznaczają się w małym stopniu. Stosunkowo najlepiej zmiany te dają się uchwycić w oparciu o analizę konturu żwiru według skali Dal Vesco.

3. Deformacje żwirów po zakumulowaniu glin zwałowych zachodzą prawdopodobnie głównie pod wpływem wietrzenia chemicznego. Nie stwierdzono zbyt wyraźnych efektów współczesnego przemodelowania żwirów w glinach zwałowych pod wpływem wietrzenia mrozowego.

4. Przedstawione w pracy wyniki badań morfometryczno-wizualnych żwirów z glin zwałowych Polski wschodniej nawiązują do rezultatów analiz analogicznego materiału z innych terenów a zawartych w pracach J. Tricarta i R. Schaeffer (1960), A. Cailleux, J. Tricart (1959), czy też K. Richtera (1958, 1960) i dość wyraźnie różnią się od cech morfometrycznych żwirów uformowanych w innych środowiskach.

Należy jednak zwrócić uwagę, że otrzymane wyniki analizy morfometryczno-wizualnej żwirów z glin zwałowych Polski wschodniej wskazują, że część żwirów powstała w wyniku modelowania ich w środowisku wodnolodowcowym. Stwierdzić to można porównując współczynnik zaokrąglenia badanego materiału z wynikami prac K. Richtera (1958, 1960), w których autor ten podaje, że współczynnik zaokrąglenia powyżej 250, przy spłaszczeniu $1 \div 2$, analogicznym jak przy żwirach glin zwałowych, charakteryzuje materiał uformowany przez wody fluwioglacjalne. Związek ten można również zauważyć przy porównaniu uzyskanych wyników z wynikami otrzymanymi przez A. Matisto (1961), który bada żwiry ozów fińskich. Podobieństwo morfometryczne żwirów z glin zwałowych Polski wschodniej z materiałem ukształtowanym przez wody wewnątrzlodowcowe dotyczy sferyczności, współczynnika spłaszczenia i obtoczenia.

Katedra Geologii UMCS
Lublin, ul. Akademicka 12
Nadesłano dnia 15 marca 1965 r.

PIŚMIENICTWO

- BIRKENMAJER K., GAŚCIOROWSKI S. M., WIESER T. (1960) — Egzotyki w osadach pelagicznych batonu serii niedzickiej pasa skałkowego Polski. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 30, nr 1, p. 29—56. Kraków.
- BLENK M. (1960) — Ein Beitrag zur morphometrischen Schotteranalyse. *Z. geomorph.*, 4, nr 3/4, p. 202—242. Göttingen—Berlin.

- BOBROWSKI W., KOCISZEWSKA-MUSIAŁ G. (1959) — Analiza żwirów Dunajca między Tatrami a Pieninami na tle morfologii i geologii obszaru zlewni. *Kwart. geol.*, **3**, p. 391—413, nr 2. Warszawa.
- CAILLEUX A., TRICART J. (1959) — Initiation à l'étude des sables et des galets. **3**. C.D.U. Paris.
- JAHN M. (1962) — Otoczaki plażowe Zatoki Pomorskiej. *Czas. geogr.*, **33**, nr 1, p. 129—135. Warszawa—Wrocław.
- KOSMOWSKA-CERANOWICZ B. (1960) — Zachowanie się wapieni i dolomitów we współczesnych osadach Koprzywianki. Zbiór prac i komunikatów treści geologicznej, p. 42—50. Muzeum Ziemi. Warszawa.
- KRUMBELN W. C. (1941) — Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. *J. Sedim. Petrol.*, **11**, nr 2, p. 64—73. Menasha—Wisconsin.
- ŁYDKA K. (1963) — Petrografia i paleogeografia górnego dewonu synkliny Pogorzały. *Arch. mineral.*, **24**, nr 1, p. 141—215. Warszawa.
- MATISTO A. (1961) — On the relation between the stones of the eskers and the local bedrock in the area Northwest of Tampere, Southwestern Finland. *Bull. Comm. Geol. Finlandes*, **193**. Helsinki.
- MORAWSKI J. (1961) — Charakterystyka mineralno-petrograficzna oraz morfometria żwirów z wybrzeża wyspy Wolin. *Ann. Univ. m. Curie-Skłodowska*, [B], **16**, p. 1—32. Lublin.
- NAWARA K. (1960) — Analiza kształtu otoczków w górnym biegu Dunajca i jego dopływach na Podhalu. Zbiór prac i komunikatów treści geologicznej, p. 3—35. Muzeum Ziemi. Warszawa.
- POPRAWSKI Z. (1963) — Analiza stopnia zaokrąglenia otoczków Prądnika i jego dopływów. *Acta geograph. Univ. Lodzensis*, **16**, p. 57—66. Łódź.
- RICHTER K. (1958) — Bildungsbedingungen pleistozäner Sedimente Niedersachsen auf grund morphometrischer Geschiebe- und Geröllanalysen. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, **110**, nr 2, p. 400—435. Hannover.
- RICHTER K. (1960) — Genetische Einstufung isländischer geröllhürender Ablagerungen mit Hilfe von Morphometrie und Einregelungsmessungen. *N. Jb. Geol. u. Paläont., Monatshefte* [B], **9**, p. 385—397. Stuttgart.
- TOKARSKI J. (1948) — Wyniki poszukiwań wskaźnika morenowego dyluwium tatrzańskiego. *Starunia*, **24**, p. 1—16. Kraków.
- TREMBACZOWSKI J. (1955) — Profil dyluwialny w Klementowicach k. Puław. *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska*, [B], **7**, p. 53—83. Lublin.
- TRICART J. (1960) — Zagadnienie geomorfologiczne. PWN. Warszawa.
- UNRUG R. (1957) — Współczesny transport i sedymentacja żwirów w dolinie Dunajca. *Acta geol. pol.*, **7**, nr 2, p. 217—251. Warszawa.
- WENTWORTH CH. K. (1936 a) — An analysis of the shapes of glacial cobbles. *J. Sedim. Petrol.*, **6**, nr 2, p. 85—96. Menasha—Wisconsin.
- WENTWORTH CH. K. (1936 b) — The shapes of glacial and ice jam cobbles. *J. Sedim. Petrol.*, **6**, nr 2, p. 97—108. Menasha—Wisconsin.
- WIESER T. (1954) — Spostrzeżenia nad sedymentacją zlepieńców fliszu karpackiego. *Acta geol. pol.*, **4**, nr 3, p. 341—360. Warszawa.
- WOJNO T., PENTLAKOWA Z. (1956) — Własności techniczne skał. *Wyd. Geol.* Warszawa.
- ZINGG T. (1935) — Beitrag zur Schotteranalyse. *Schweitz. Min. Petr. Mitt.*, **15**, nr 1, p. 39—141. Zürich.

- ЕВТЕЕВ С. А. (1960) — О некоторых особенностях воздействия ледника на включенные в него обломки горных пород. Сов. Антарктич. Экспед., 10, стр. 303—308. Ленинград.
- САРКИСЯН С. Г., КЛИМОВА Л. Т. (1955) — Ориентировка галек и методы изучения для палеогеографических построений. Изд. АН СССР. Москва.

Роман РАЦИНОВСКИ

МОРФОМЕТРИЯ ГАЛЕК ИЗ ВАЛУННЫХ ГЛИН ВОСТОЧНОЙ ПОЛЬШИ

Резюме

В работе дается визуально-морфометрическая характеристика гальки, отобранной из валунных глин южно-, центрально- и северо-польского оледенений, распространенных на территории Восточной Польши. Исследовался материал фракций 1—5 см, отдельно галька кристаллических пород, кварцитовых песчаников и палеозойских известняков. На основании пропорции происходящих между осями гальки определена форма (в соответствии с делением Т. Г. Пэина) и сферичность (по номограмме В. Ц. Крумбейна). Вычислен также коэффициент уплощенности (по формуле Х. А. Уентворта). Характер механической обработки гальки проанализирован при помощи трех параметров: коэффициента закругления (вычисленного по формуле А. Кайе), окатанности (определенной по шкале В. Ц. Крумбейна) и формы очертания гальки (определенной по стандарту Даль Веско). Ввиду того, что полученные результаты проявляли довольно большой разброс отдельных морфометрических показателей на относительно недлинных участках пути континентального ледника, при интерпретации были использованы средние значения для проб, отобранных в 50 км полосах местности (в качестве 0 км принята северная граница Польши в исследуемом районе). Такой подход нивелировал местные расхождения морфометрических показателей и позволял на более наглядное понимание направлений изменения формы гальки по мере увеличения пути транспорта континентального ледника.

Обобщая полученные результаты визуально-морфометрических исследований можно сделать следующие выводы:

1. Весь изученный галечный материал, отобранный из валунных глин, характеризуется относительно небольшими расхождениями между тремя основными осями гальки (a — длина, b — ширина, c — толщина). Следовательно, это галька, в основном, сфероидальной формы, в меньшей мере дискоидальной и вретенообразной, характеризующийся довольно большими коэффициентами сферичности и меньшими значениями коэффициента уплощенности (материал мало сплюснутый). По мере удаления от севера среди гальки кристаллических пород и палеозойских известняков наблюдается стремление к уменьшению расхождения между тремя осями (a, b, c), т.е. к увеличению сферичности. Галька кварцитовых песчаников также повышает свою сферичность по направлению к югу, но одновременно часть из него подвергается некоторому сплюснению. Стремление к увеличению сферичности можно объяснить общей динамикой внутриледниковых процессов, приводящих к разламыванию и раздроблению гальки. Сплюснение гальки (в случае песчаникового материала) связано, по всей вероятности, с откалыванием ее поверхностей (расположенных в плоскости осей a и b), параллельных к слоистости этих пород.

2. Степень механической обработки исследуемого материала зависит, прежде всего, от характера породы. Лучше всего сглаженные грани имеет галька палеозойских известняк,

ков, меньше галька кварцитовых песчаников и наименее галька кристаллических пород. В изучаемом материале доминирует галька с механической обработкой характерной для гляциальной среды, что выражается значительным участием гальки с острыми гранями и раздробленного, первоначально окатанной гальки. Однако, наряду с ними встречается некоторое количество хорошо окатанного материала, что может указывать на участие внутри- или подледниковых вод как фактора формирующего поверхность гальки (возможно, что в случае палеозойских известняков некоторое влияние оказывало химическое выветривание). Эффекты изменения механической обработки по мере увеличения расстояния транспортировки (с севера на юг) подчеркиваются в небольшой степени. На основании коэффициента закругления, подсчитанного по формуле А. Кайе, можно констатировать небольшое повышение по направлению к югу количества гальки кристаллических пород и кварцитовых песчаников, характеризующегося коэффициентами более 200 (палеозойский гравий не обладает дифференцированностью). Попытки поймать изменения окатанности в южном направлении на основании визуальной оценки по шкале В. Ц. Крумбейна также не дали ожидаемых результатов. Самое большое можно отметить, что гравий кристаллических пород по направлению к югу немного больше богат компонентами с окатанностью 0,2; 0,3; 0,4; галька кварцитовых песчаников материалом с окатанностью 0,4; 0,6; 0,7; галька же палеозойских известняков содержит компоненты с окатанностью 0,2; 0,3; 0,5. Изменения очертания гальки определенные на основании шкалы Даль Веско так же характеризуются незначительной пространственной дифференциацией. Среди гальки кристаллических пород по мере перехода к югу наблюдается только небольшое увеличение количества материала классов I и II (гравий с крайне угловатыми и угловатыми очертаниями) и соответствующее уменьшение количества гальки класса VII (раздробленная, первоначально окатанная галька). Галька кварцитовых песчаников в том же направлении обогащается также материалом классов, но уменьшается немного содержание компонентов класса III (галька частично окатанная). Среди гальки палеозойских известняков по направлению к югу уменьшается количество угловатых (классы I, II) и хорошо окатанных (классы V, VI) компонентов, увеличивается же содержание остальных, главным образом IV (галька с плохо окатанными зернами), классов.

3. Представленные в работе результаты визуально-морфометрических исследований гальки из валунных глин Восточной Польши навязывают к результатам анализов аналогичного материала из других районов, содержащимся в работах Я. Трикарта и Р. Шеффера (1960), А. Кайе (1959, 1962) или же К. Рихтера (1958, 1960) и резко отличаются от морфометрических особенностей гальки образовавшейся в других средах.

4. Деформирование гальки после накопления валунных глин происходит, по всей вероятности, под влиянием химического выветривания. Не отмечаются слишком отчетливые эффекты современного перемоделирования гальки в валунных глинах под влиянием морозного выветривания.

Roman RACINOWSKI

MORPHOMETRY OF GRAVELS FROM BOULDER CLAYS OF EAST POLAND

Summary

The paper deals with a morphometric-visual characteristic of gravels taken out from the boulder clays of the South, Middle and North Polish Glaciations, occurring on the surface in the eastern areas of Poland. The researches have been

carried on the material of 1—5 cm fraction, separately on gravels of crystalline rocks, on quartzite sandstones and on Palaeozoic limestones. By means of the proportions existing between the axes of the gravels (the form has been determined (with reference to T. G. Payene's division) and sphericity has been established (according to W. C. Krumbein's nomogram). Moreover, flattening coefficient has also been computed using Ch. Wentworth's formula. The character of mechanical working of the gravels has been analyzed by means of three parameters: rounding coefficient (computed according to A. Cailleux formula), roundness coefficient (determined according to W. C. Krumbein's scale) and gravel contour (determined after Dal Vesco's standard). Since the results obtained have demonstrated a fairly great scatter of the individual morphometric coefficients within a relatively short distance of the way covered by the continental glacier, mean values have been used for the samples taken in 50 km zones of the terrain (the value 0 km has been accepted for the northern boundary of the country in the area under study). Such a conception has removed local deviations of morphometric coefficients and allowed to explain the tendency to change the shape of the gravels with the increase of distance of glacial transportation.

To sum up the results obtained from the morphometric-visual researches, we may draw the following conclusions:

1. The whole examined gravel material deriving from the boulder clays is characterized by relatively small differences between three main axes of the gravel: a — length, b — breadth, c — thickness. Thus these are gravels characterized mainly by spheroidal forms, on lesser degree by discoidal and fusiform shapes, revealing fairly high sphericity coefficients and low values of flattening coefficient (material slightly flattened). Towards the south the tendency may be observed to decrease the differences between three axes (a , b , c), i.e. to increase the sphericity among gravels of crystalline rocks and Palaeozoic limestones. The gravels of quartzite sandstones also increase their sphericity towards the south, however, a part of them undergo flattening. A tendency to increase sphericity may be explained by the general dynamics of intra-glacier processes, causing crushing and crumbling of the gravels. A flattening of the gravels (in the case of sandstone material) is probably connected with the chipping of their surface layer lying at the plane of a and b axes, and parallel to the bedding of these rocks.

2. Degree of mechanical working of the material investigated probably depends, first of all, upon the character of the rock. The most abraded edges are observed on the gravels of Palaeozoic limestones, lesser abraded are those of the quartzite sandstones, and the gravels of the crystalline rocks reveal best preserved edges. In the material here examined prevail gravels that are characterized by a working typical of the glacial environment. This is expressed by a considerable part of sharp-edged gravels and of broken, primarily rounded gravels. However, these are accompanied by the material well rounded, a fact pointing to the existence of intra-glacial or sub-glacial waters as a factor modelling the surfaces of the gravels. It is also possible that in the case of the Palaeozoic limestones chemical weathering might, too, have influenced this process. With the increase of the distance of transportation (from the north towards the south) the effects of mechanical working decrease. Basing on the rounding coefficient computed according to A. Cailleux formula we may state a slight increase in gravels of crystalline rocks and of quartzite sandstones, revealing higher coefficient than 200, towards the south. It should be stressed here that the Palaeozoic

gravels do not show any differentiation there. A determination of changes in roundness at a meridional direction, made using visual estimate according to W. C. Krumbein's scale, brings feeble effects, as well. One may only observe that the gravels of crystalline rocks are, to the south, richer in components revealing the rounding value 0,2; 0,3; 0,4; the gravels of quartzite sandstones richer in materials characterized by rounding amounting to 0,4; 0,6; 0,7; and the gravels of the Palaeozoic limestones in those being 0,2; 0,3; and 0,5. Changes in the contours of the gravels, determined on the basis of Dal Vesco's scale, show also small spacial differences there. When going from the north to the south we observe, among the gravels of crystalline rocks, only slight increase of material in classes I and II (gravels having strongly angular and angular contours) and respective decrease of gravels belonging to class VII (broken gravels primarily rounded). In the same direction the gravels of quartzite sandstones are also enriched in the materials of similar classes, however, the part of the class III diminishes (gravels revealing slightly rounded contours). Towards the south the gravels of the Palaeozoic limestones are characterized by a decreased amount of components with angular contour (classes I and II) and well rounded contour (classes V and VI), but the part of the remaining classes, mainly that of the class IV, increases (gravels having a feebly rounded contour).

3. The results of the morphometric-visual researches of gravels from boulder clays occurring in the eastern areas of Poland refer to the results of analyses made on analogous material from other regions, and published in the papers by J. Tricart and R. Schaeffer (1960), A. Cailleux (1959, 1962) or K. Richter (1958, 1960). The results presented in this paper distinctly differ from those concerning morphometrical features of the gravels formed in other environments.

4. Deformation of gravels after accumulation of boulder clays takes, probably, place under the influence of chemical weathering. On the other hand, distinct effects of simultaneous remodelling of the gravels in boulder clays under the influence of frost weathering, have not been ascertained.