

KAZIMIERZ DZIEDZIC

ORIENTACJA OTOCZAKÓW NA PLAŻY NADMORSKIEJ (6 fig.)

Orientation of pebbles on a marine beach (6 Figs.)

Streszczenie. W pracy omawia się ułożenie składników żwirów na plaży nadmorskiej. Wskazuje się na obecność dwóch kierunków uprzywilejowanej orientacji, z których jeden, wyznaczony przez osie A otoczków odpowiada w przybliżeniu linii wybrzeża (b), drugi natomiast zaznaczający się w ułożeniu płaszczyzn AB informuje o kierunku przemieszczania (a) i położeniu zbiornika wodnego. Zwraca się uwagę na zależność symetrii uporządkowania od warunków depozycji.

WSTĘP

Analiza orientacji ziarna w osadach makroklastycznych jest jedną z metod stosowanych przy badaniach skał osadowych. Zebrane materiały mogą być pomocne przy rekonstrukcjach dawnych rzecznych arterii, a niekiedy rzucają też światło na warunki środowiskowe danej akumulacji. Na ten temat istnieje dzisiaj bogata literatura. Większość publikacji odnosi się jednakże do utworów fluwialnych, mniej natomiast są dostępne rozprawy traktujące o uporządkowaniu składników w osadach formujących się w warunkach przybrzeżnych. Wprawdzie liczni autorzy (Becker, 1893; Fraser, 1935; Twenhofel, 1939; Cailleux, 1945; Ruchin, 1953 i inni), wypowiadają się na ten temat, jednakże brak materiału graficznego wielce utrudnia możliwość porównań, zwłaszcza jeśli chodzi o osady kopalne. W celu zapoznania się bliżej ze wspomnianym zagadnieniem przeprowadziłem wyrywkowe obserwacje nad ułożeniem otoczków na plaży Morza Bałtyckiego. W ogólnej klasyfikacji odpowiada ona plaży piaszczysto-żwirowej bezprzyływowych mórz z podwodnymi wałami (King, 1959). Materiały obserwacyjne zebrano w części plaży obmywanej przez fale morskie (por. fig. 1).

ZAKRES I METODA PRACY

Głównym celem pracy było określenie prawidłowości w ułożeniu otoczków wyrzucanych na plażę przez fale morskie. W miarę możliwości wybierano rozmaite miejsca, nieraz bardzo blisko położone, ale jakościowo różne, na których przeprowadzano obserwacje. W każdym miejscu dokonywano pomiarów na niewielkiej powierzchni i w sposób ciągły, aby ograniczyć wpływ zmienności falowania. Do pomiarów typowano otoczki w miarę płaskie i wydłużone, notując azymut i kąt nachylenia

Ważniejsze charakterystyki wynikające z pomiarów otoczków

Nr odkrywek (numery 2, 3, 4, 5 odpowiadają tym samym nr figur w tekście) No of locality (nos 2, 3, 4, 5 correspond to the numbers of figures in the text)	Azymut linii wybrzeża w stopniach Azimuth of the shoreline (degrees)	Azymut linii łączącej maksima osi A na diagramach konturowych w stopniach Azimuth of the line joining the maxima of the axes A in contour diagrams (degrees)	Azymut i kąt nachylenia powierzchni osadzania w stopniach Azimuth and angle of inclination of the accumulation surface (degrees)
2	70	65	/0
x ₁	65	35	305/2
3	65	55	327/6
			145/5
x ₂	60	42	325/6
4	45	45	323/7
x ₃	95	92	7/9
x ₄	65	76	323/7
x ₅	60	70	330/6
5	55	40	330/8
x ₆	60	30	325/5

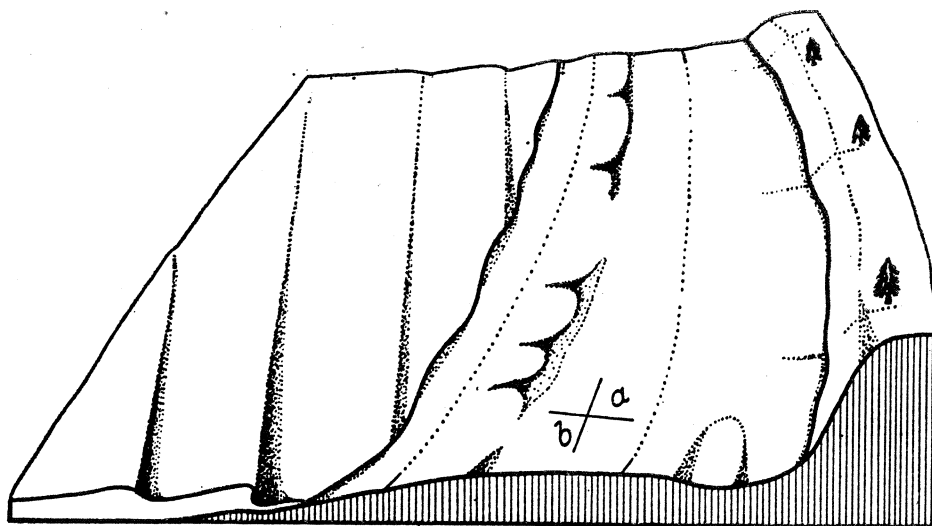


Fig. 1. Szkiec ilustrujący charakter wybrzeża. Linie kropkowane, równoległe do wybrzeża określają w przybliżeniu powierzchnię, na której przeprowadzono obserwacje; a — kierunek przemieszczania materiału, b — linia wybrzeża

Fig. 1. General character of the shore. Dotted lines parallel to the coast indicate approximately the surface where observations were made; a — direction of material transport, b — shore line

Tabela 1

More important characters of the disposition of pebbles

Azymut i kąt nachylenia płaszczyzny AB wg maksimów na diagramach konturowych w stopniach Azimuth and inclination of the plane AB as established according to the maxima visible in the contour diagrams (degrees)	Mediana kąta nachylenia płaszczyzny AB w stopniach Median angle of inclination of the plane AB (degrees)	Mediana kąta nachylenia osi A w stopniach Median angle of inclination of the axis A (degrees)	Średni stopień obtoczenia Mean roundness of pebbles	Wartość upakowania Value of packing
/0	9,50	3,27	2,49	0,19
/0	10,71	3,13	2,68	0,20
/0	12,50	4,00	2,32	0,34
330/10	10,23	3,45	2,76	0,19
319/16	15,22	5,00	2,42	0,45
352/14	15,84	3,45	2,70	0,40
330/10	15,00	5,55	2,38	0,87
321/6	15,27	5,26	2,22	0,89
310/10	13,46	6,25	2,63	1,04
/0	18,56	5,60	2,69	1,04

płaszczyzny AB i osi A. W niektórych przypadkach mierzono jeden tylko element, tzn. płaszczyznę AB lub oś A. Na każdym stanowisku ograniczono się przeciętnie do 50 pomiarów każdej kategorii, określając równocześnie obtoczenie składników i upakowanie. Wielkość otoczaków, podobnie jak i obtoczenie, oceniano wizualnie. Przy określaniu stopnia obtoczenia posługiwano się skalą pięciostopniową (Ruchin, 1953). Technika mierzenia i bliższe sformułowanie niektórych pojęć znajdują się w pracy wcześniejszej (Dziedzic, 1964).

W miejscach przeprowadzanych obserwacji nad ułożeniem otoczaków notowano również azymut i kąt nachylenia powierzchni osadzania oraz jej charakter, kierunek zasięgu zwierciadła wody, azymut grzbietu fal w strefie przybrzeżnej i kierunek przemieszczania się fali na plaży. Prócz tego na pewnej przestrzeni rejestrowano także ułożenie wydłużonych fragmentów drzewnych wyrzucanych na plażę przez fale.

Pomiary ułożenia otoczaków przeprowadzono w dziesięciu odkrywkach, zestawiając w tabeli 1 ważniejsze wyniki obserwacji. Niektóre bardziej typowe obserwacje ilościowe przedstawiono w postaci diagramów i wykresów. Przestrzenne uporządkowanie otoczaków podano w postaci diagramów konturowych (fig. 2,I—5,I), posługując się siatką Schmidta w projekcji równikowej (górna półkula). Na diagramy konturowe naniesiono łącznie bieguny osi A i C otoczaków, jak również powierzchnie osadzania i jej normalną. Diagramy te odniesiono do azymutu zasięgu zwierciadła wody, tzn. linii zetknięcia się morza z lądem $\left(\frac{M}{\alpha}\right)$. W ten

sposób łatwo można z nich odczytać zależność istniejącą między uporządkowaniem otoczków, nachyleniem podłoża i linią wybrzeża. Ze stanowisk, z których załączono diagramy konturowe, podano też wykresy kątów nachylenia płaszczyzn AB i osi A otoczków, sporządzone dla przedziałów co 5° . Inne dane dla wszystkich odkrywek uwzględniono w tabeli 1.

UWAGI O PRZEMIESZCZANIU MATERIAŁU NA PLAŻY

Sposób przemieszczania materiału na plaży obmywanej przez fale zależny jest od kilku czynników ściśle z sobą powiązanych. Ważniejszymi z nich zdają się być siła falowania oraz konfiguracja i charakter podłoża. Zmiany w natężeniu i kierunku falowania wpływają na ukształtowania powierzchni akumulacyjnej.

Na piaszczystej otwartej plaży, przy miernym falowaniu, występuje skłon pochylony ku morzu. W opisywanych przykładach szerokość skłonu nie przekraczała z reguły kilku metrów, a nachylenie bardzo jednostajne, w większości przypadków wynosiło średnio 6° . W miarę jak falowanie się potęguje, materiał piaszczysty przenoszony jest w wyższe partie skłonu, gdzie odkładany wraz z grubszym ziarnem może dać początek nowemu nasypowi o nachyleniu dochodzącym do 9° . W tym stadium część kipieli wdziera się okresowo na wierzchowinę suchej plaży. Jeśli falowanie dalej przybiera na sile, wówczas górna część uprzednio zbudowanego nasypu ulega zniszczeniu, a szerokość strefy zalewowej powiększy się do kilkunastu metrów. Zarysowują się wtedy dwa elementy morfologiczne idące od morza; skłon nachylony w stronę morza i prawie płaska powierzchnia. Grubszy materiał skalny przemieszczany jest przez fale w sposób nieco odmienny, zależnie od okresu i miejsca w przedstawionym schemacie. W okresie początkowym, w dolnych partiach skłonu, kipieli powoduje, że część materiału odbywa ruch postępowy drogą unoszenia i saltacji. Ze strefy kipieli wybiega cienka warstwa wody obmywająca górną część skłonu. Warstwa ta porywa otoczaki przesuwając składniki płaskie przeważnie ruchem ślizgowym, a część fragmentów wydłużonych obraca się przy tym wokół osi A .

W miarę przesuwania się fali w górę skłonu ruch wody słabnie, skutkiem czego zatrzymuje się pewna ilość składników. Część z nich zabiera fala powrotna, pozostałe natomiast rozproszone, zwłaszcza w wyższej części skłonu, stanowią dla fali powrotnej lokalne bariery, skutkiem czego po stronie odprądowej powstające wiry wymywają luźny piasek, powodując przechylenie i uwięzienie otoczaka. Opisane przyczyny powodują, że składniki doznają reorientacji w porównaniu z pozycją, jaką uzyskały w czasie progresywnego ruchu fal. W wyniku reorientacji otoczaki zostają ułożone bardziej stromo i ulegają nieznacznemu skreśleniu. Stopień reorientacji zależny jest od kąta nachylenia skłonu oraz siły fali powrotnej. Nieznaczny wzrost jednego lub obydwu czynników na ogół potęguje efekt reorientacji. Inaczej natomiast przedstawia się reorientacja, jeśli fala wybiegająca przechodzi poza skłon na płaską równinę, gdzie rozpościera się szerokim frontem i powraca do morza różnymi drogami. W ostatnio wzmiankowanym przypadku oraz wówczas, gdy fala wybiegająca obmywa skłon ruchem okrężnym przy znacznie większym promieniu krzywizny, ruch ślizgowy połączony z rotacją wydłużonych składników zdaje się być przeważającym sposobem przemieszczania otoczków.

Ułożenie otoczków

Położenie otoczków określano za pomocą pomiarów azymutu i kąta nachylenia ich maksymalnego przekroju (AB) i osi (A). Oś A mierzonych otoczków przeciętnie wahała się w granicach 5–10 cm. Składniki rozrzucone były bądź to na podłożu piaszczystym, bądź też żwirowym, w związku z czym wartość upakowania zmienia się w dość dużych granicach od 0,19–1,04 (por. tabela 1).

Kąty nachylenia otoczków

Kąt nachylenia większego składnika sedymentu poddanego działalności płynącej wody zależy od podłoża, czynnika hydrodynamicznego oraz kształtu otoczaka. Podczas gdy niektóre dane odnoszące się do podłoża i kształtu otoczaka łatwiej można określić za pomocą wartości liczbowych,

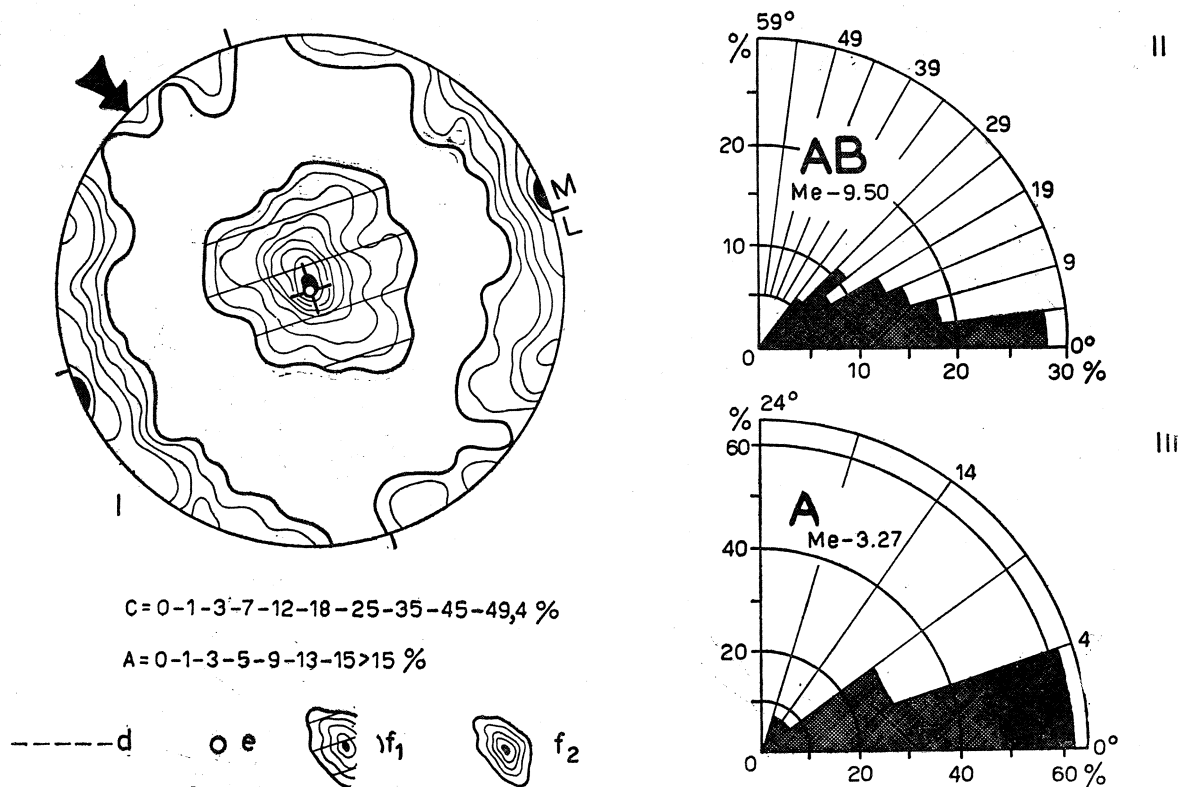


Fig. 2. Orientacja otoczków na piaszczystej płaskiej plaży.
I — sprzężony diagram konturowy orientacji otoczków, górna półkula; d — powierzchnia osadzania; e — normalna powierzchni osadzania; f₁ — diagram biegunów osi C; f₂ — diagram biegunów osi A; M — strona morska; L — strona lądowa.
Strzałka oznacza kierunek podejścia fali na plażę.

II — wykres kątów nachylenia płaszczyzn AB otoczków.

III — wykres kątów nachylenia osi A otoczków

Fig. 2. Orientation of pebbles on a horizontal sandy beach.
I — orientation of pebbles in a composite countour diagram, upper hemisphere; d — surface of deposition; e — line normal to the surface of deposition; f₁ — diagram of the poles the axes C; f₂ — diagram of the poles of the axes A; M — sea; L — shore. The arrow indicates the direction of waves advancing on the beach.

II — diagram of the angles of inclination of the planes AB of pebbles.

III — diagram of the angles of inclination of the axes A of pebbles

to czynnik hydrodynamiczny związany z falowaniem na plaży wymyka się bezpośredniej kontroli statystycznej.

Uwzględniając powyższe uwagi omówi się wpierw kąt nachylenia otoczków płaskich w zależności od podłoża, na którym występują, następnie przedstawi się wartości kąta nachylenia otoczków wydłużonych lub takich, w których najdłuższa oś jest wyraźnie zaznaczona.

Składniki wyraźnie spłaszczone mają tendencję do układania się swym maksymalnym przekrojem (płaszczyzna AB) mniej więcej równolegle do powierzchni akumulacyjnej. W związku z tym na płaskim i wyrównanym piaszczystym podłożu znaczna część składników ma stosunkowo niskie kąty nachylenia. Wskazuje na to wykres przedstawiony na fig. 2.II, sporządzony na podstawie pomiarów zebranych na płaskim piaszczystym podłożu. Z wykresu wynika, że około 28% otoczków spłaszczonych nie przekracza kąta nachylenia 4° , z czego 18% ułożonych jest poziomo. Wartość średnia (mediana) wskazuje, że 50% składników nie osiąga nachylenia większego od $9,50^\circ$. Wartość ta jest nieco wyższa przy nieznacznym wzroście kąta nachylenia powierzchni osadzania (por. tabela 1, nr odkrywki x_1).

Figura 3 ilustruje materiał zebrany na podłożu piaszczystym lekko falistym. Powierzchnia akumulacyjna tworzyła płytkie depresje opada-

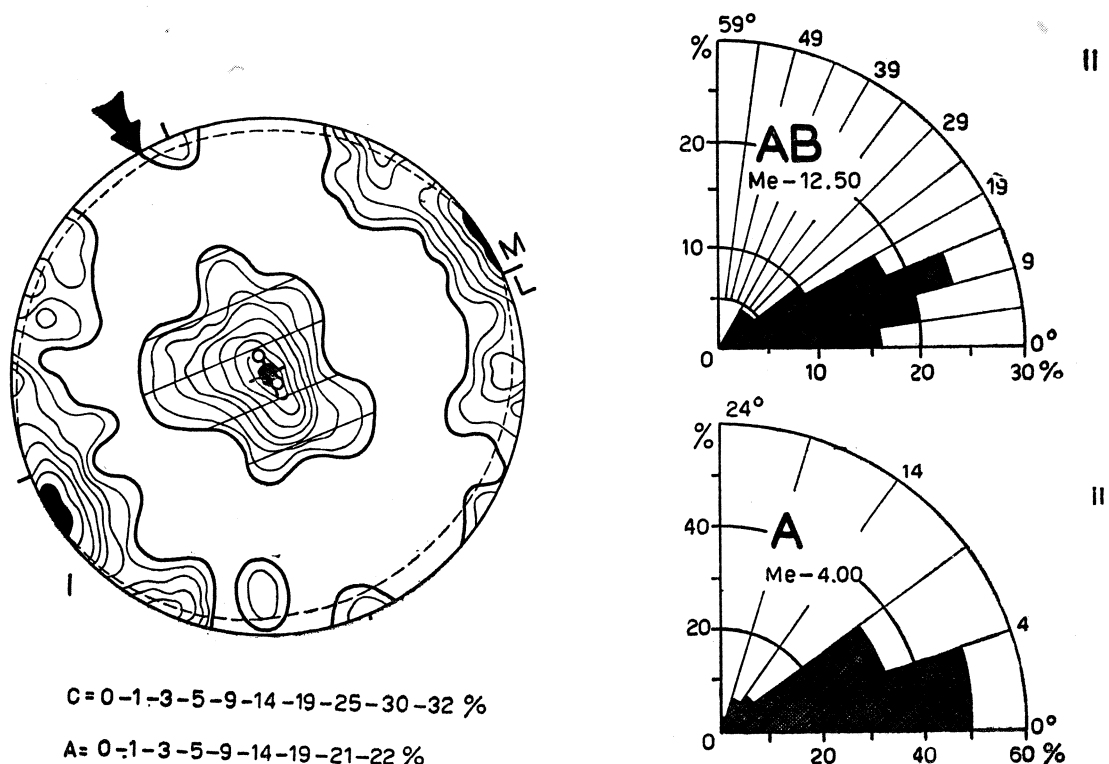


Fig. 3. Orientacja otoczków na piaszczystej nierównej powierzchni plaży. Inne objaśnienia przy fig. 2

Fig. 3. Orientation of pebbles on the surface of an uneven sandy beach. Symbols as in Fig. 2

jące ku morzu oraz bocznie przytykające nasypy o powierzchni nachylonej pod zbliżonym kątem, lecz w kierunku przeciwnym. W omawianym miejscu 16% otoczków płaskich wykazuje kąt nie przekraczający 4° (fig. 3, II), z czego 10% spoczywa poziomo. Kąt nachylenia większości składników (24%) przypada w klasie od $9-14^\circ$. Mediana wynosi $12,50^\circ$, a upakowanie wyraża się wartością 0,34.

Na podłożu piaszczystym pochyłonym w jednym kierunku niewielka ilość otoczków spłaszczonych zajmuje położenie horyzontalne. Większość z nich nachylona jest mniej więcej w tym samym kierunku co i powierzchnia akumulacyjna z tym, że w porównaniu z nią wykazują większy spadek. Zaznacza się to wyraźnie na diagramach konturowych, na których maksima biegunów osi *C* wykazując stromszy kąt odsunięte są od normalnej powierzchni osadzania. Jeden z takich diagramów załączono na fig. 4, I. Przy spadku powierzchni osadzania 6° , 7° i 9° odpowiednie wartości mediany nachylenia otoczków płaskich wynoszą $10,23^\circ$, $15,22^\circ$ i $15,84^\circ$ (por. tabela I, nr odkrywek x_2 , 4, x_3). Bardziej strome ułożenie płaszczyzn *AB* otoczków jest efektem wspomnianej już reorientacji wywołanej falą powrotną.

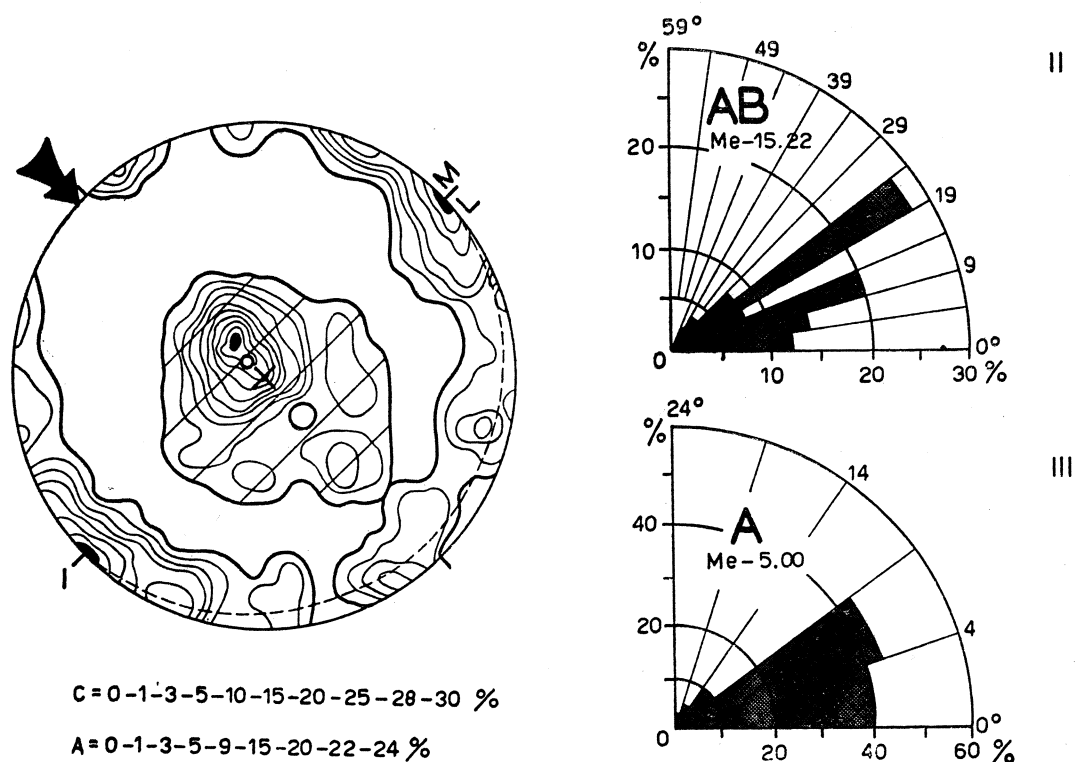


Fig. 4. Orientacja otoczków na piaszczystej nachylonej plaży. Inne objaśnienia przy fig. 2

Fig. 4. Orientation of pebbles on an inclined sandy beach. Symbols as in Fig. 2

Przebadano też ułożenie otoczków na pochyłonej powierzchni plaży zasobniejszej w materiał żwirowy. Zagęszczenie otoczków odbija się w wyższej wartości upakowania wynoszącej od 0,87—1,04 (tabela 1, nr odkrywek x_4 — x_6). Wartości średnie kąta nachylenia wahają się od $13,46$ — $18,56$ (fig. 5, II i tabela 1, nr odkrywek x_4 — x_6). Z przytoczonych przykładów nie wynika, aby upakowanie wpływało w jakiś sposób na wartość mediany kąta nachylenia płaszczyzn *AB* otoczków. Brak też widocznych zależności cyfrowych między wartością średnią kąta nachylenia otoczków, upakowaniem a nachyleniem podłoża. Zaznaczyć jednak należy, że powierzchnia utworzona przez żwiry nie jest idealnie wyrównana, w związku z czym jej nachylenie może się lokalnie nieznacznie zmieniać. Z reguły mierzono gładką powierzchnię piaszczystą w bezpośrednim sąsiedztwie przeprowadzanych obserwacji nad ułożeniem otoczków.

W przykładach odnoszących się do żwirowego podłoża obserwuje się, iż otoczaki płaskie układają się z większą tolerancją niż na podłożu piaszczystym. Niewątpliwie odgrywa tu rolę wpływ stykania się otoczek. Reorientacja wywołana falą powrotną schodzi w tym wypadku na plan dalszy, tak że na diagramach konturowych maksima biegunów osi *C* pokrywają się lub znajdują się w bliskim sąsiedztwie z normalnymi powierzchniami osadzania, jak to widać na jednym z załączonych diagramów (por. fig. 5,I).

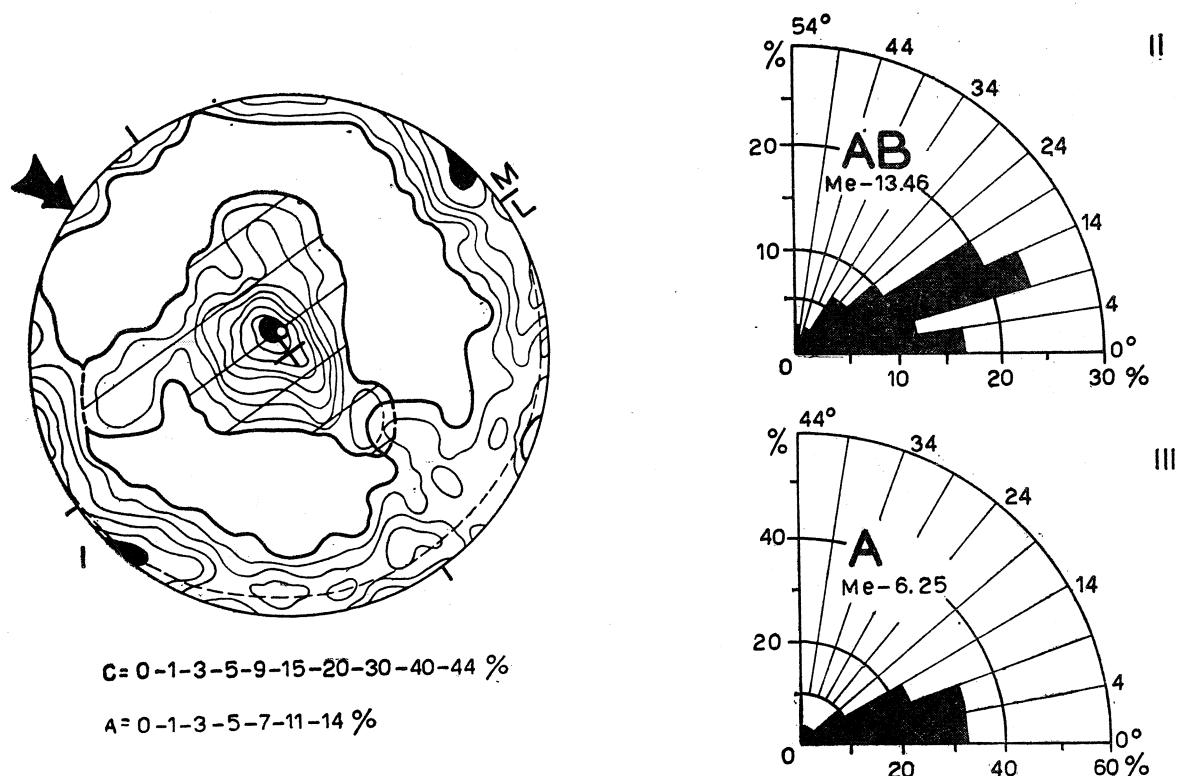


Fig. 5. Orientacja otoczek na żwirowej nachylonej powierzchni plaży. Inne objaśnienia przy fig. 2

Fig. 5. Orientation of pebbles on an inclined gravel beach. Symbols as in Fig. 2

Przystępując do omówienia kąta nachylenia osi *A* otoczek należy na wstępie zaznaczyć, że we wszystkich opisywanych przykładach średnie wartości kąta nachylenia zamykają się w granicach między $3,13^\circ$ a $6,25^\circ$. Na podłożu piaszczystym, niezależnie od spadku, wartości te nie przekraczają 5° , z tym że niższe kąty ($3,27^\circ$ i $3,13^\circ$) zaznaczały się z reguły na płaskich powierzchniach akumulacyjnych, natomiast na podłożu pochyłonym przeważały wartości wyższe (fig. 2,III — 4,III i na tabeli 1 nr odkrywek x_1-x_3). Zdecydowany wzrost wartości kąta nachylenia osi *A* stwierdza się jednak u składników zalegających na nachylonej powierzchni plaży bogatszej w żwiry. Zaznacza się to tak w rozkładzie częstości, jak i w wartościach mediany, która w analizowanych przykładach waha się od $5,26^\circ$ — $6,25^\circ$ (fig. 5,III i tabela 1 nr odkrywek x_4-x_6). Zależności między upakowaniem, nachyleniem podłoża i średnią wartością kąta nachylenia osi *A* nie można wykazać, podobnie jak i w przypadku otoczek płaskich. Nie jest wykluczone, że zależności takie istnieją, tylko są zaburzone zróżnicowanym, lecz liczbowo nieuchwytnym falowaniem.

Orientacja otoczków

Na podstawie literatury wiadomo, że na plaży nadmorskiej otoczaki dyskoidalne mają tendencję do nachylania się płaszczyznami AB w stronę morza, natomiast osie A układają się mniej więcej zgodnie z linią wybrzeża (Fraser, 1935; Twenhofel, 1939; Cailleux, 1945; Ruchin, 1953; Książkiewicz, 1959; Dżułyński, 1963). Zebrane obserwacje potwierdzają powyższy pogląd, na co wskazują załączone diagramy konturowe (fig. 2,I—5,I). Jak już zaznaczono, przy sporządzaniu diagramów uporządkowania otoczków jako kierunek odniesienia przyjęto linię zetknięcia się morza z lądem $\left(\frac{M}{\alpha}\right)$, którą w dalszym ciągu nazy-

wać się będzie linią wybrzeża. Prostopadle do niej w płaszczyźnie osadzania (i rysunku) wyznaczona prosta odpowiada w przybliżeniu linii spadku powierzchni akumulacyjnej przy nachylonym podłożu. Dwa te kierunki, z których pierwszy nazwie się podłużnym ($= b$), a drugi poprzecznym ($= a$), są głównymi kierunkami uporządkowania składników. W pobliżu pierwszego grupują się bieguny osi A , natomiast drugiego bieguny osi C otoczków (fig. 2,I—5,I). Częstość, z jaką koncentrują się odpowiednie elementy szeregu na przeciwległych krańcach kierunków głównych, zależy od azymutów nachylenia otoczków. Bieguny osi A zajmują obydwie pozycje w jednakowej mierze, aczkolwiek w szczegółach widnieją odstępstwa. Bieguny osi C grupują się po stronie zwróconej do morza, co wskazuje, że większość płaszczyzn AB nachyla się w tym kierunku.

Z zebranych materiałów można wnioskować o rozkładzie odpowiednich elementów mierzonych otoczków (AB lub A) względem kierunków głównych w płaszczyźnie horyzontalnej. Jeśli zsumujemy pomiary dotyczące płaszczyzn AB otoczków nachylonych w stronę morza, a ograniczonych azymutami tworzącymi w płaszczyźnie rysunku kąt α , dla którego kierunek poprzeczny będzie dwusieczną, wówczas otrzymamy ilość obserwacji odchylonych od dwusiecznej o kąt $\frac{\alpha}{2}$. Ilość ta wyrażona w procen-

tach, w odniesieniu do składników nachylonych wskazuje, jaki procent tych składników reprezentuje kierunek poprzeczny. Przy obliczaniu rozkładu osi A względem kierunku podłużnego uwzględniamy dla kąta α wszystkie składniki, tzn. zarówno poziomo leżące, jak i nachylone w przeciwne strony, gdyż w tym wypadku chodzi raczej o kierunek, a nie o azymut nachylenia.

Dla przykładu obliczono procentową ilość otoczków odchylających się od kierunków głównych o kąt 30° i 45° . Z obliczeń wynika, że z ogólnej liczby nachylonych płaszczyzn AB , średnio 41,7% zwróconych w stronę morza, nie odchyła się od kierunku poprzecznego o kąt większy niż 30° , a 52,4% nie przekracza odchylenia 45° . W jednym tylko wypadku (fig. 3,I) notowano większą ilość płaszczyzn AB ułożonych w pobliżu kierunku poprzecznego, a zwróconych w stronę lądu. Odpowiednie wartości odchyleń wynoszą tu 25,3% dla kąta 30° i 28,6% dla kąta 45° , z czego wynika, że płaszczyzny AB układają się symetrycznie wokół kierunku poprzecznego.

Odnosnie do ułożenia osi A zauważa się, że z całkowitej liczby pomiarów średnio 55,4% nie odchyła się bardziej od kierunku podłużnego

niż o kąt 30° , a 71,9% nie przekracza kąta 45° . Nieco wyższą wartość średnią (83,5%) dla kąta odchylenia 45° otrzymał H. J. Fraser (1935), analizując ułożenie dłuższych osi wydłużonych składników na plaży nadmorskiej.

Z rozpatrzonych przykładów wynika, że kierunki główne są uprzywilejowanymi dla orientacji składników. Zależność ta zaznacza się wyraźnie na sprzężonych diagramach konturowych (fig. 2,I—5,I). Na diagramach powyższych płaszczyzny AB przedstawione jako bieguny osi C zajmują pola bądź to centralnie ułożone, bądź też nieco przesunięte względem środka projekcji. Pozycja pierwsza przeważa wówczas, gdy piaszczysta powierzchnia akumulacyjna zbliżona jest do horyzontalnej (fig. 2,I) lub wykazuje lekką falistość opadając bądź ku morzu, bądź w stronę lądu (fig. 3,I). W wymienionych przypadkach maksima biegunów osi C zajmują środek projekcji, z tym że na pierwszym izolinie niższych procentowości wydłużają się w tę stronę, skąd wybiega fala, a w drugim deseń diagramu wydłuża się w kierunku równoległym do podejścia fali i linii spadku powierzchni osadzania. W uporządkowaniu przeważa zasadniczo symetria rombowa. Wpływy symetrii jednoskośnej pojawiają się wtedy, gdy brak jest wyraźnej zgodności między kierunkami głównymi, spadkiem powierzchni akumulacyjnej i kierunkiem podejścia fali.

Pozycja druga, tzn. z ekscentrycznie ułożonymi polami biegunów osi C względem środka projekcji dochodzi do głosu przy nachylonym podłożu i to zarówno piaszczystym, jak i obfitszym w składniki żwirowe. Przy podłożu piaszczystym deseń diagramu jest bardziej zwarty, a maksima odsunięte są dość nawet znacznie od środka projekcji (fig. 4,I), co w niektórych przypadkach przypomina diagramy biegunów osi C z osadów rzecznych, lecz w połączeniu z diagramem biegunów osi A mogą być od diagramów z tej ostatniej depozycji stosunkowo łatwo odróżnione.

Przy podłożu nachylonym obfitszym w żwiry deseń diagramu jest bardziej urozmaicony, maksima są na ogół owalniejsze i przysunięte bliżej środka projekcji.

Ogólnie można wskazać, że przy nachylonym podłożu w stronę morza pole zajęte przez bieguny osi C przesuwają się również w tym kierunku, przy czym przeważa jednoskośna symetria uporządkowania. Warto zaznaczyć, że płaszczyzna symetrii w diagramach jednoskośnych lub jedna z płaszczyzn w rombowych pokrywają się z kierunkiem poprzecznym lub są od niego nieznacznie tylko odchyłone. Z diagramów wynika, że odchylenie to wywołane jest w głównej mierze przez wybiegającą falę, ponieważ zaznacza się duża zgodność między położeniem płaszczyzny symetrii a kierunkiem podejścia fali. Zgodność ta jest tym wyraźniejsza, a diagram bardziej zwarty, im bliżej siebie leżą kierunek wybiegającej fali, linia spadku powierzchni osadzania i kierunek poprzeczny. Przedstawiona na kwadracie korelacyjnym (fig. 6 a) zależność między uprzywilejowanym azymutem nachylenia płaszczyzn AB otoczków a azymutem wybiegającej fali wskazuje, że odchylenie od linii korelacyjnej nie przekracza 18° .

Bieguny osi A, ze względu na niewielki kąt nachylenia, układają się przy obwodzie projekcji z wyraźniejszą koncentracją na przeciwległych krańcach w pobliżu kierunku podłużnego. Przy płaskim piaszczystym podłożu anizotropia uporządkowania jest najwyraźniejsza, a diagramy wykazują symetrię rombową, z płaszczyznami symetrii przebiegającymi w pobliżu kierunków głównych. Zbliżony układ powstanie też przy na-

chylonym podłożu, jeśli falowanie jest słabe, a wahadłowy ruch fali zachodzi mniej więcej równoległe do linii spadku powierzchni.

Jeśli powierzchnia plaży jest nachylona w stronę morza, a fala dodatkowo ruchem okrężnym obmywa skłon, wtedy pewna część otoczków układa się osią *A* równoległe i skośnie do spadku, co na diagramie daje pierścień, którego submaksima dość wyraźnie grupują się wzdłuż łuku wyznaczającego nachyloną powierzchnię osadzania (fig. 4,I—5,I). W uporządkowaniu zaznaczają się wtedy wpływy symetrii jednoskośnej z płaszczyzną symetrii w pobliżu kierunku poprzecznego, a maksimami

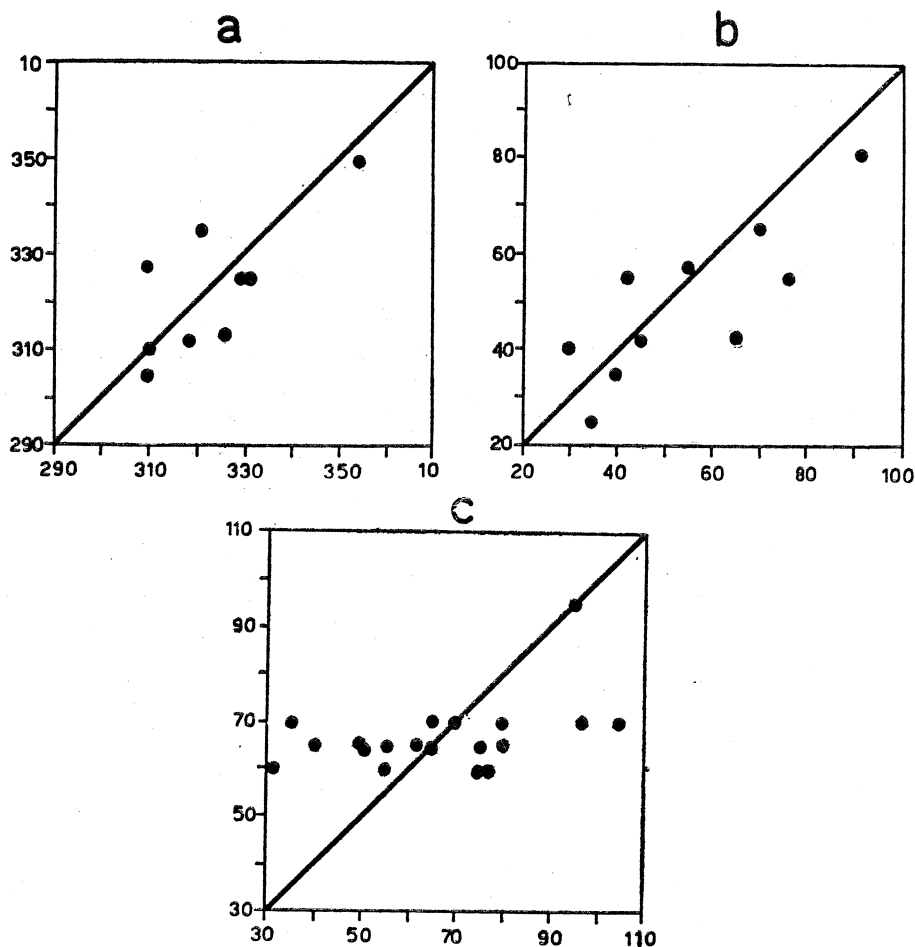


Fig. 6. Kwadraty korelacyjne zależności między:

a — azymutem nachylenia płaszczyzn *AB* otoczków (oś odciętych) i azymutem przemieszczania fal na plaży (oś rzędnych),

b — azymutem ułożenia osi *A* otoczków (oś odciętych) i azymutem grzbietu fal (oś rzędnych),

c — azymutem ułożenia fragmentów drzewnych wyrzucanych na plażę przez fale (oś odciętych) i azymutem zasięgu fal (oś rzędnych).

Dane w a i b dotyczące otoczków pochodzą z diagramów konturowych. Każda kropka na wykresach odpowiada wartościom dla poszczególnych miejsc pomiarów.

Fig. 6. Correlation quadrangles showing the relation between the:

a — azimuth of the inclination of the planes *AB* of the pebbles (abscissal scale) and the azimuth of the direction of waves on the beach (ordinate scale),

b — azimuth of the axes *A* of the pebbles (abscissal scale) and the azimuth of the wave crests (ordinate scale),

c — azimuth of the wood fragments deposited by waves on the beach (abscissal scale) and the azimuth of the extension of the waves on the beach (ordinate scale).

The data pertaining to the pebbles in a and b are taken from the contour diagrams. Each dot in the diagrams corresponds to the values for the particular points where measurements were taken

w pobliżu kierunku podłużnego. Odchylenia od kierunków głównych, podobnie jak i w przypadku płaszczyzn *AB*, spowodowane są wybiegającą falą.

Rozkład płaszczyzn *AB* wokół kierunku, skąd podchodzi fala, a osi *A* wokół prostopadłej do tego kierunku nieznacznie przewyższa wartości otrzymane dla kierunków głównych. Przy płaszczyznach *AB* odchylenie dla kąta 30° wynosi średnio 43,8%, a dla kąta 45° średnio 56,5%. Odpowiednie wartości dla osi *A* wynoszą średnio 57,5% i 73,1%. Porównując przytoczone wartości z uzyskanymi dla kierunków głównych zauważa się bardzo niewielkie różnice zwłaszcza przy osiach *A* dla kąta 45° . W konkluzji dochodzi się do wniosku, że kierunek podłużny reprezentujący linię wybrzeża może być dość dokładnie określony na podstawie rozkładu maksimów biegunów osi *A* na diagramie konturowym. W przykładach przebadanych przez autora minimalne i maksymalne odchylenie linii łączącej przeciwległe maksima biegunów osi *A* od linii wybrzeża wynosi 0° i 30° , średnio $12,2^\circ$. Biorąc pod uwagę ilość odkrywek stwierdzamy, że w 60% kąt odchylenia nie przekraczał 10° , a w 80% nie był wyższy od 20° . Zbliżone wartości otrzymuje się, rozpatrując w planie zależność kątową między azymutem grzbietu fal, nim osiągną strefę kipieli, a azymutem wynikającym z maksimów biegunów osi *A* (fig. 6,b). Maksymalne odchylenie od linii korelacyjnej nie przekracza w tym wypadku 22° .

Dużą prawidłowość uporządkowania w zależności od linii wybrzeża wykazują też wydłużone fragmenty drzewne wyrzucane na brzeg przez falę. Fragmenty te dłuższą osią układają się w przybliżeniu równolegle do linii brzegowej, a większe odchylenia spowodowane są zasadniczo nierównym zasięgiem wybiegającej fali na plażę. Z rysunku zamieszczonego na fig. 6c wynika, że znaczna większość (68,9%) fragmentów drzewnych nie odchyła się od linii brzegowej o kąt większy niż 15° , natomiast notowane maksymalne odchylenie nie przekraczało kąta 35° . W odniesieniu do fig. 6,c należy wyjaśnić, że rozkład punktów nie jest wynikiem braku korelacji, lecz określonego kierunku linii wybrzeża.

Na zakończenie trzeba zwrócić uwagę na charakterystyczny deseń tworzący się na słabo nachylonym piaszczystym podłożu obmywanym przez wybiegającą falę. Chodzi o delikatne krzyżujące się struktury liniowe widoczne na powierzchni piasku po ustąpieniu pokrycia wodnego. Struktury omawiane powstają zwłaszcza w takich miejscach, w których nakładają się z dwóch kierunków cienkie warstwy wody fali powrotnej, co ma miejsce najczęściej przy bardzo płaskich depresjach. Warstwy wody ulegają „przetasowaniu” i skośnie do linii spadku opuszczają wilgotny skłon. Unoszone przez obydwie warstwy wodne ziarna piasku znaczą na powierzchni skłonu dwa systemy przecinających się linii przypominających w planie mocno ściśniętą kratę. Ostre kąty krzyżujących się struktur liniowych przecięte są zazwyczaj linią spadku powierzchni, natomiast kąty rozwarte odpowiadają linii brzegowej. W górnej partii tworzących się struktur liniowych pojawiające się drobne otworki po pękających bańkach powietrznych mogą w razie zakonserwowania dodatkowo informować, po której stronie znajdował się zbiornik wodny.

WNIOSKI

Przedstawione w pracy obserwacje wskazują na dużą prawidłowość w uporządkowaniu większych składników sedymentu transportowego i deponowanego na plaży za pośrednictwem falowania morskiego. Właściwość

ta może być wykorzystana przy analizie gruboziarnistych osadów kopalnych.

Kąt nachylenia otoczków na plaży zależy w dużej mierze od stopnia jej pochyłości i statystycznie biorąc wykazuje niższą wartość na podłożu płaskim. W przykładach rozpatrywanych w pracy, przy powierzchni akumulacyjnej nachylonej w granicach od 0° — 9° , wartości mediany kąta nachylenia płaszczyzny AB otoczków wynoszą od $9,50^{\circ}$ — $18,56^{\circ}$, a odpowiednie wartości kąta nachylenia osi A mieszczą się w granicach od $3,13^{\circ}$ — $6,25^{\circ}$.

Przy nachylonej piaszczystej powierzchni akumulacyjnej stopień wychylenia zwłaszcza otoczków spłaszczonych spotęgowany jest wpływem fali powrotnej powodującej reorientację składników w porównaniu z pozycją, jaką uzyskały w czasie progresywnego ruchu fal. Kąt nachylenia osi A wzrasta przy wyraźnie wyższej wartości upakowania (por. tabela 1).

W ułożeniu przestrzennym składników wyróżnić można dwa kierunki główne uprzywilejowanej orientacji. Jeden, zwany podłużnym ($= b$), a odpowiadający linii wybrzeża, jest kierunkiem w pobliżu którego grupują się osie A , drugi — prostopadły, w płaszczyźnie osadzania — określony jako poprzeczny ($= a$), jest kierunkiem przeważającej koncentracji biegunów osi C otoczków.

Osie A układają się w przybliżeniu równolegle do linii brzegowej. Przy nachylonym podłożu i skośnym podejściu fali część składników osi A ułożyć się może też równolegle i skośnie względem linii spadku powierzchni osadzania, w związku z tym na diagramie submaksima biegunów osi A wyznaczają pierścień naśladujący w dużym przybliżeniu powierzchnię osadzania, co pozwala sądzić o stopniu jej pochylenia.

Płaszczyzny AB otoczków mają upad w stronę morza. Zjawisko to wyraźniej się zaznacza przy podłożu opadającym ku morzu niż wtedy, gdy podłoże jest płaskie (por. C a i l l e u x, 1945). W ostatnio wymienionym przypadku bieguny osi C grupują się w pobliżu środka projekcji kolistej, a odsunięte od środka izolinie niższej procentowości informują o kierunku podejścia fali, a tym samym o położeniu zbiornika wodnego.

Płaskie lub pochylone podłoże odbija się w symetrii uporządkowania otoczków. Na podłożu płaskim zaznacza się symetria rombowa, jeśli zaś nachylone jest ono w stronę morza, wówczas przeważają wpływy symetrii jednoskośnej. W przypadku pierwszym płaszczyzny symetrii znajdują się w pobliżu kierunków głównych, w drugim natomiast płaszczyzna symetrii leży blisko kierunku poprzecznego. Odchylenia od kierunków głównych spowodowane są w głównej mierze przez wybiegającą falę, przy czym wpływ ten bardziej się zaznacza w uporządkowaniu płaszczyzn AB niż osi A .

Orientacja składników na plaży nadmorskiej w przewadze wykazuje typ strukturalny określony wcześniej (D z i e d z i c, 1964) symbolem $[m_{rh} - m]$, a który zaznaczał się w uporządkowaniu otoczków w zlepien-
cach dolnokarbońskich obszaru sudeckiego.

WYKAZ LITERATURY
REFERENCES

- Becker G. F. (1893), Finite homogeneous strain, flow and rupture of rocks. *Geol. Soc. Amer.* 4.
- Cailleux A. (1945), Distinction des galets marins et fluviatiles. *Bull. Soc. géol. France.* 15. Paris.
- Dziedzic K. (1964), Orientacja otoczków i jej geologiczne znaczenie (The geological significance of the orientation of pebbles). *Geol. Sudetica*, I. Warszawa.
- Dzulyński S. (1963), Wskaźniki kierunkowe transportu w osadach fliszowych (Directional structures in Flysch). *Studia geol. pol.* 12. Warszawa.
- Fraser H. J. (1935), Experimental study of the porosity and permeability of clastic sediments. *J. Geol.* 43.
- King C. A. M. (1959), Beaches and coasts. London.
- Książkiewicz M. (1959), Geologia dynamiczna. Wyd. Geol. Warszawa.
- Ruchin L. B. — Рухин Л. Б. (1953), Основы литологии. Ленинград, Москва.
- Twenhofel W. H. (1939), Principles of sedimentation. McGraw — Hill Book co. New York, London.

SUMMARY

Orientation of pebbles on a Baltic beach has been investigated. An analysis was made of the orientation of pebbles in a horizontal and inclined sandy beach, and also in an inclined beach richer in gravel. Ten points were chosen and fifty pebbles measured in each; the measurements include those referring to the *AB* plane and the *A* axis. The azimuth and inclination of the substratum on which the pebbles were deposited, the direction of waves flooding the beach, the azimuth of the crests of waves, and the arrangement of wood fragments deposited on the beach were also measured. The more important quantitative data thus obtained are presented in Table 1. Some characteristic observations are presented in contour (upper hemisphere) and other diagrams.

Generally speaking, the inclination of pebbles depends in a high degree on the inclination of the accumulation surface, and statistically is lower on a horizontal substratum. In the cases dealt with in the present paper, for the inclination of the accumulation surface ranging between 0° and 9° , the median values of the inclination of the *AB* plane of the pebbles range between $9,50^\circ$ and $18,56^\circ$, and the corresponding values of the inclination of the *A* axis are comprised between $3,13^\circ$ and $6,25^\circ$.

In an inclined sandy beach the inclination of pebbles, particularly those which are flattened, is augmented by the influence of the undertow changing the position of pebbles determined by the advancing waves. The inclination of the *A* axis is greater if the values of packing become higher (Table 1).

The orientation of pebbles is mainly in two directions. The axes *A* of the pebbles tend to be parallel to the shoreline (longitudinal direction = *b*) The other direction (*a*) is normal in relation to the direction *b* and is transversal in relation to the coast; it is characterized by a concentration of the poles of the axes *C* of the pebbles.

The axes *A* are roughly parallel to the shoreline. If the substratum is inclined, some pebbles are disposed vertically and obliquely in relation to the shoreline; in the contour diagrams this appears as submaxima situated on a curve similar to that expressing the inclination of the substratum. The planes *AB* of the pebbles are inclined seawards. This inclination is clearer if the beach itself is inclined.

The inclination of the substratum is reflected in the type of symmetry of the disposition of pebbles. If the beach is horizontal, the symmetry is orthorhombic. If the beach is inclined seawards, monoclinic symmetry preponderates. If the symmetry is orthorhombic, the planes of symmetry lie near the main directions. If the symmetry is monoclinic, the plane of symmetry lies near the transversal direction. The deviations from the main direction are caused mainly by advancing waves, whose influence is more marked in the disposition of the planes *AB* than in the disposition of the axes *A*.

The orientation of pebbles in a marine beach belongs mainly to the structural type denoted by the author (D z i e d z i c, 1964) by the symbol $[m_{rh}-m]$. The same type occurred in the disposition of pebbles in the Lower Carboniferous of the Sudety Mts.

*Department of Geology
of the Wrocław University*