

STANISŁAW RUDOWSKI

Sierpy plażowe na wybrzeżu Bałtyku

STRESZCZENIE: Pod nazwą sierpy plażowe opisano formy występujące na plażach południowego Bałtyku, znane w literaturze angielskiej jako beach cusps. Wśród dużej różnorodności form wydzielono kilka typów o odmiennym wyglądzie i sposobie powstawania. Zasadnicze typy to sierpy powstające na plażach bez wału brzegowego i sierpy utworzone na stokach wałów brzegowych. Te dwa główne typy zostały podzielone na jednostki mniejsze. Część z nich — sierpy tworzące się razem z wałem brzegowym (akumulacyjne) i sierpy przechodzące na odlądowy stok wału brzegowego nie były do tej pory opisywane. W dalszej części artykułu omówiono genezę sierpów oraz dokonano krótkiego przeglądu istniejącej na ten temat literatury.

WSTĘP

Sierpami plażowymi nazywam formy występujące na brzegu dolnym a składające się z trójkątnych cypelków, rozdzielonych łukowatymi zatoczkami, ułożone wzdłuż linii wody w rodzaj girland. Są to tzw. *beach cusps* w terminologii angielskiej, *Strandhörner* autorów niemieckich, francuskie *croissant de plage* i rosyjskie *пляжевые фестоны*.

Formy te do niedawna nie miały nazwy polskiej. Dopiero w ostatnich latach M. Książkiewicz (1959) zaproponował dla nich nazwę *rożki*, a K. Birkenmajer (1960) *wciosy plażowe*. Obie te nazwy nie obejmują jednak wszystkich form i mogą być zastosowane do określenia tylko niektórych typów opisywanych w tym artykule pod nazwą sierpy plażowe. *Wciosy plażowe* odpowiadałyby sierpom wyciętym w plaży lub wale brzegowym. Składają się one z wyraźnych, oddzielonych rogami zatok, o ciągłym przejściu między poszczególnymi formami. Nazwa *rożki* natomiast odnosiłaby się do form nie łączących się ze sobą, składających się z oddzielnych trójkątnych części, będących pozostałością rozmytych sierpów, utworzonych poprzednio. Nazwy sierpy plażowe użyto po raz pierwszy w 1956 r. na seminariach z geologii dynamicznej, prowadzonych przez doc. dr Z. Kotańskiego. Nazwa ta trafnie podkreśla charakterystyczny, półksiężycowaty wygląd zdecydowanej większości tych form (podobnie mówi się np. także o sierpie księżycy).

Używane w tym artykule terminy z zakresu strefy brzegowej omó-

wione zostały szczegółowo w mojej poprzedniej pracy (1962). Tutaj objaśnię tylko najbardziej zasadnicze.

Tak więc *przybojem* — nazywam zjawisko załamywania się fal połączone z ostatecznym ich rozbięciem przy wbieganiu na brzeg. Masa wody, powstała po rozbięciu fali, nie podlega już prawidłom ruchu falowego i jako *potok przyboju* wbiega na brzeg i po chwili stacza się w dół po stoku. Ruch potoku przyboju w górę nazywam *napływem*, ruch zaś skierowany przeciwnie — *sptywem*.

Jako *dryf plażowy* opisuję ruch cząstek zachodzący równolegle do brzegu w strefie działania potoku przyboju. *Dryf denny* natomiast to ruch cząstek wzdłuż brzegu, ale w pewnej od niego odległości.

Strefa brzegowa — to strefa obecnie zachodzącego, wzajemnego oddziaływania na siebie lądu i morza. W obręb strefy brzegowej wchodzi: *nadbrzeże* (część całkowicie nadwodna), *przybrzeże* (część całkowicie podwodna) i rozdzielający je *brzeg*. Z kolei brzeg podzielić jeszcze można na *brzeg dolny* (poniżej górnej granicy napływu) i *brzeg górny* (Rudowski 1962).

Badania sierpów plażowych przeprowadzałem na obszarze od Świnoujścia po Gdańsk. Oprócz jednorazowych obserwacji prowadziłem także kilkudniowe, powtarzające się obserwacje wybranych grup sierpów (Władysławowo, Jastrzębia Góra, Ustronie Morskie i Wiselka). Poza plażami otwartego morza obserwowałem sierpy również na brzegach wyspy Wolin od strony Zalewu Szczecińskiego i w Zatoce Gdańskiej koło Sopotu.

Wszystkie obserwacje wykonywane były podczas lata i jesieni kilku kolejnych sezonów, poczynając od roku 1958. W tym czasie zarejestrowałem 70 grup sierpów, z których podaję w tabeli tylko kilkanaście najbardziej charakterystycznych lub interesujących.

Celem artykułu jest podanie wstępnych wyników badań nad sierpami plażowymi na wybrzeżu polskim i zwrócenie na nie uwagi ze względu na ich znaczenie dla powstawania warstwowania brzegu dolnego oraz jako swojego rodzaju wskaźnika przemieszczania osadu w pobliżu linii brzegowej.

Za cenne dla mnie uwagi i pomoc w opracowaniu tego artykułu pragnę podziękować doc. dr Z. Kotańskiemu. Koledze mgr S. Ostaficzukowi wdzięczny jestem za wielokrotną dyskusję w terenie o zagadnieniach związanych z sierpami plażowymi.

OPIS SIERPÓW

Zarys sierpów jest zwykle zbliżony do mniej lub więcej symetrycznego półksiężyca, skierowanego wypukłą częścią w stronę lądu. Wgłębienie, ograniczone ramionami półksiężyca, stanowi rodzaj zatoki, opisywanej dalej jako zatoka sierpu. W miejscu zetknięcia się ramion

dwóch sąsiednich półksiężyców znajdują się części wypukłe — rogi. Najwyższą część rogu nazywam wierzchołkiem. Wysokość rogu zwykle zmniejsza się stopniowo od wierzchołka w stronę morza i jednocześnie na boki ku zatokom, co w rezultacie powoduje powstanie grzbietu.

Podając wymiary sierpów, długością nazywam odcinek pomiędzy wierzchołkami, a szerokością odległość od krańca zatoki sierpu do krawędzi delty sypanej przez spływ pod wodą, na przedłużeniu zatoki. Wysokością będzie różnica poziomów mierzona od dolnej krawędzi delty do wierzchołka rogu (fig. 1).

Wielkość i wygląd sierpów, obserwowanych przeze mnie, zmieniły się zależnie od warunków falowania, materiału tworzącego sierpy i kąta spadku brzegu. Spotykałem sierpy drobne o szerokości kilkudziesięciu centymetrów i formy wielkie dochodzące do 30 metrów. Jedne sierpy miały ostro zaznaczone krawędzie, inne natomiast były mniej wyraźne i zlewały się z otoczeniem. Rogi sierpów, przeważnie spiczaste, w innych przypadkach były szerokie i zaokrąglone.

Większość sierpów miała rogi zbudowane z materiału grubszego niż plaża i materiał znajdujący się w zatokach. Najczęściej utworzone były w piasku, zwłaszcza drobnoziarnistym, ale tworzyły się też w kamieniach, żwirze a nawet w torfie.

Charakterystyczną cechą sierpów jest ich występowanie w grupach, liczących nawet kilkadziesiąt sztuk. Przeważnie jednak obserwuje się

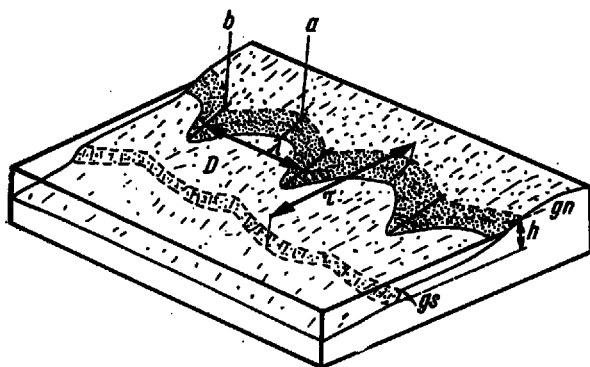


Fig. 1

Blokdiagram sierpów plażowych powstających z rozmywania plaży o stromym spadku (częściowo za Kuenenem 1948)

λ długość, τ szerokość, h wysokość, a podstawa zatoki, b wierzchołek sierpu, gn granica napływu, gs granica spływu, D delta

Block-diagram of beach cusps formed by the outwash of a steeply sloping beach (partly after Kuenen 1948)

λ length, τ width, h height, a base of bay, b top of beach cusp, gn boundary of swash, gs boundary of backwash, D delta

Tabela (Chart) 1*

Zestawienie wymiarów poszczególnych typów sierpów
Dimensions of the 2 types of beach cusps

Nr	Data	Miejscowość	Szer.	Dług.	Wys.	Mat.	Kąt	Fig.	Pl.
Sierpy nie związane z wałem brzegowym Beach cusps not connected with the beach ridge									
1	25.IX.59	Cetniewo	12	10	0,5	p/k	80		
2	27.IX.60	Kołobrzeg	2	1,5	0,1	p	85		
3	12.VIII.61	Wisiełka	6	4	0,2	p	90		I, fig. 1
4	12.VIII.61	płw. Rów (Wo- lin)	1,5	2,5	0,4	t/p	90		I, fig. 2
5	19.IX.59	Jastrzębia Góra	8	8	0,4	k/p	80		
6	14.X.59	Chłapowo	4	1	0,5	ż/p	85		II, fig. 1
7	13.VIII.61	Wisiełka	8	4	0,6	p	90		
8	1.X.62	Świętousć	10	4	0,7	p	90		
Sierpy związane z wałem brzegowym Beach cusps connected with the beach ridge									
9	5.X.59	Cetniewo	3	2,5	0,5	ż/p	90		
10	10.VII.60	Ustronie Morskie	7	7	0,4	ż/p	90		
11	13.X.60	Jarosławiec	2,6	2	0,3	ż	80	2	
12	10.VII.62	Dziwnów	4	3	0,3	ż/p	85		II, fig. 2
13	14.IX.58	Jastrzębia Góra	6,5	2	0,7	ż/p	90	3	
14	5.X.59	Chłapowo	4	2	0,4	ż/p	90		III, fig. 2
15	30.IX.60	Ustronie Mors- kie	12	25	0,8	p	85	4	
16	3.VIII.61	Dąbki	2	2	0,4	p	90		

* objaśnienia: mat. — materiał budujący sierpy i plażę, p — piasek, ż — żwir, k — kamienie (otoczaki), t — torf, kąt — kąt utworzony przez promień fali i linię brzegową.

Legend: mat. — material of which the beach cusps and the beach are built, p — sand, ż — gravel, k — stones (pebbles), t — peat, kąt — angle between the wave radius and the shore line.

kilka lub kilkanaście sierpów położonych obok siebie, a dalsze sierpy dopiero po pewnej przerwie. Sierpy w obrębie jednej grupy różnią się znacznie pomiędzy sobą rozmiarami i stopniem rozwoju. W skrajnych przypadkach mogą się różnić o 100%, co jest zgodne z obserwacjami Evansa (1938). Wymiary podane w tabeli 1 odnoszą się do sierpów najlepiej wykształconych w obrębie danej grupy.

Jak to będzie jeszcze omówione poniżej, sierpy plażowe powstają w wyniku rytmicznie zachodzących procesów i z tego powodu van Straten (1953) umieścił je w swojej klasyfikacji zmarszczek i pręg. Sierpy plażowe znajdują się w ostatnim typie tej klasyfikacji razem z rewami.

dwóch sąsiednich półksiężyców znajdują się części wypukłe — rogi. Najwyższą część rogu nazywam wierzchołkiem. Wysokość rogu zwykle zmniejsza się stopniowo od wierzchołka w stronę morza i jednocześnie na boki ku zatokom, co w rezultacie powoduje powstanie grzbietu.

Podając wymiary sierpów, długością nazywam odcinek pomiędzy wierzchołkami, a szerokością odległość od krańca zatoki sierpu do krawędzi delty sypanej przez spływ pod wodą, na przedłużeniu zatoki. Wysokością będzie różnica poziomów mierzona od dolnej krawędzi delty do wierzchołka rogu (fig. 1).

Wielkość i wygląd sierpów, obserwowanych przeze mnie, zmieniły się zależnie od warunków falowania, materiału tworzącego sierpy i kąta spadku brzegu. Spotykałem sierpy drobne o szerokości kilkudziesięciu centymetrów i formy wielkie dochodzące do 30 metrów. Jedne sierpy miały ostro zaznaczone krawędzie, inne natomiast były mniej wyraźne i zlewały się z otoczeniem. Rogi sierpów, przeważnie spiczaste, w innych przypadkach były szerokie i zaokrąglone.

Większość sierpów miała rogi zbudowane z materiału grubszego niż plaża i materiał znajdujący się w zatokach. Najczęściej utworzone były w piasku, zwłaszcza drobnoziarnistym, ale tworzyły się też w kamieniach, żwirze a nawet w torfie.

Charakterystyczną cechą sierpów jest ich występowanie w grupach, liczących nawet kilkadziesiąt sztuk. Przeważnie jednak obserwuje się

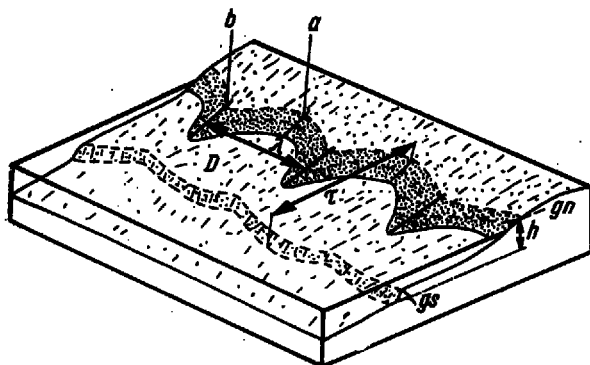


Fig. 1

Blokdiagram sierpów plażowych powstających z rozmywania plaży o stromym spadku (częściowo za Kuenenem 1948)

λ długość, τ szerokość, h wysokość, a podstawa zatoki, b wierzchołek sierpu, gn granica napływu, gs granica spływu, D delta

Block-diagram of beach cusps formed by the outwash of a steeply sloping beach (partly after Kuenen 1948)

λ length, τ width, h height, a base of bay, b top of beach cusp, gn boundary of swash, gs boundary of backwash, D delta

Tabela (Chart) 1*

Zestawienie wymiarów poszczególnych typów sierpów
Dimensions of the 2 types of beach cusps

Nr	Data	Miejscowość	Szer.	Dług.	Wys.	Mat.	Kąt	Fig.	Pl.
Sierpy nie związane z wałem brzegowym Beach cusps not connected with the beach ridge									
1	25.IX.59	Cetniewo	12	10	0,5	p/k	80		
2	27.IX.60	Kołobrzeg	2	1,5	0,1	p	85		
3	12.VIII.61	Wisiełka	6	4	0,2	p	90		I, fig. 1
4	12.VIII.61	płw. Rów (Wolin)	1,5	2,5	0,4	t/p	90		I, fig. 2
5	19.IX.59	Jastrzębia Góra	8	8	0,4	k/p	80		
6	14.X.59	Chłapowo	4	1	0,5	ż/p	85		II, fig. 1
7	13.VIII.61	Wisiełka	8	4	0,6	p	90		
8	1.X.62	Świętouść	10	4	0,7	p	90		
Sierpy związane z wałem brzegowym Beach cusps connected with the beach ridge									
9	5.X.59	Cetniewo	3	2,5	0,5	ż/p	90		
10	10.VII.60	Ustronie Morskie	7	7	0,4	ż/p	90		
11	13.X.60	Jarosławiec	2,6	2	0,3	ż	80	2	
12	10.VII.62	Dziwnów	4	3	0,3	ż/p	85		II, fig. 2
13	14.IX.58	Jastrzębia Góra	6,5	2	0,7	ż/p	90	3	
14	5.X.59	Chłapowo	4	2	0,4	ż/p	90		III, fig. 2
15	30.IX.60	Ustronie Morskie	12	25	0,8	p	85	4	
16	3.VIII.61	Dąbki	2	2	0,4	p	90		

* objaśnienia: mat. — materiał budujący sierpy i plażę, p — piasek, ż — żwir, k — kamienie (otoczaki), t — torf, kąt — kąt utworzony przez promień fali i linię brzegową.

Legend: mat. — material of which the beach cusps and the beach are built, p — sand, ż — gravel, k — stones (pebbles), t — peat, kąt — angle between the wave radius and the shore line.

kilka lub kilkanaście sierpów położonych obok siebie, a dalsze sierpy dopiero po pewnej przerwie. Sierpy w obrębie jednej grupy różnią się znacznie pomiędzy sobą rozmiarami i stopniem rozwoju. W skrajnych przypadkach mogą się różnić o 100%, co jest zgodne z obserwacjami Evansa (1938). Wymiary podane w tabeli 1 odnoszą się do sierpów najlepiej wykształconych w obrębie danej grupy.

Jak to będzie jeszcze omówione poniżej, sierpy plażowe powstają w wyniku rytmicznie zachodzących procesów i z tego powodu van Straten (1953) umieścił je w swojej klasyfikacji zmarszczek i przeg. Sierpy plażowe znajdują się w ostatnim typie tej klasyfikacji razem z rewami.

GŁÓWNE RODZAJE SIERPÓW

Na podstawie obserwacji dużej ilości sierpów, zwłaszcza zaś opierając się na obserwacjach tych samych grup sierpów powtarzanych regularnie przez minimum kilkanaście godzin, wydzielałam wśród sierpów kilka rodzajów o odmiennym wyglądzie i genezie. Najbardziej ogólnie można podzielić sierpy na związane z wałem brzegowym i sierpy powstające na plażach, gdzie nie ma wału brzegowego.

Sierpy nie związane z wałem brzegowym

Sierpy te mają różny wygląd zależnie od kąta nachylenia brzegu dolnego, na którym się tworzą. Można tu wyróżnić dwa zasadnicze przypadki — sierpy na brzegach stromych o spadku większym niż 6° - 8° i sierpy na brzegach o mniejszym spadku.

Sierpy na brzegach łagodnych (spadek mniejszy niż 6° - 8°)

Szerokość tych sierpów jest zwykle nieco większa niż ich długość. Wysokości są niewielkie (tab. 1, pozycje 1, 2, 3).

Większą część sierpu stanowią zatoki. Rogi są mniejsze, o trójkątnej podstawie, zajmującej niewielką przestrzeń w porównaniu do zatok. Przejście pomiędzy zatoką a rogiem jest ciągle, stopniowe, bez skarpczy podcięć. Podstawa rogów stanowi dawny poziom plaży. Grzbiety sierpów są ostro zaznaczone i ciągną się na długim odcinku, schodząc poniżej linii wyznaczającej obecny średni poziom morza (tzw. linia wody). Deltę są duże, dobrze rozwinięte, ale ich krawędzie często zlewają się z dnem (pl. I, fig. 1).

Sierpy na plażach łagodnych, bez wału brzegowego, powstają wskutek przeważającej działalności splywu. W niektórych przypadkach, zwłaszcza gdy brzeg jest prawie poziomy, zaznacza się także słaba działalność akumulacyjna napływu w najwyższych częściach zatok sierpów. Wyrzucany przez napływ materiał powoduje powiększenie wysokości sierpu i lepsze jego wyodrębnienie od partii otaczających. Jest to szczególnie dobrze widoczne wówczas, gdy materiał złożony przez napływ różni się zasadniczo od materiału, z którego zbudowany jest brzeg.

Sierpy te najczęściej były wycięte w drobnoziarnistym piasku plażowym. Wówczas wymiary poszczególnych sierpów były zbliżone do siebie. Różnice w wymiarach, dochodzące czasami nawet do 25-30%, obserwowałam czasami wówczas, gdy sierpy złożone były z drobnego żwiru.

W miarę postępującego rozwoju zatoki sierpów powiększają się znacznie kosztem rogów. Grzbiety ulegają zaostreniu. W pełnym rozwoju sierpy składają się niemal wyłącznie z zatok rozdzielonych ostrymi krawędziami wąskich grzbietów.

Od opisanych powyżej sierpów znacznie odbiegają wyglądem sierpy obserwowane na półwyspie Rów (wyspa Wolin od strony Zalewu Szczecińskiego), w których stosunkowo krótkie grzbiety i ostre, podcięte brzegi rogów spowodowane są specyficzną budową brzegu. Fale erodują tu brzeg zbudowany z poziomo leżącej na piasku warstwy torfu, przykrytej również piaskami. W górnych częściach zatok wyraźnie widać ciemny wałek złożonego przez napływ materiału (pl. I, fig. 2, i tab. 1, pozycja 4).

Sierpy na brzegach stromych (spadek większy niż 6°-8°)

Sierpy te mają przewagę szerokości nad długością, czasem nawet czterokrotną (tab. 1, pozycje 5, 6, 7, 8). Wysokości ich są zwykle duże — od 0,4 m do 0,8 m.

Od sierpów utworzonych na brzegach łagodnych różnią się zwykle większymi rozmiarami, deltą o ostro zaznaczonych krawędziach i brakiem akumulacyjnej działalności napływu. Jeśli brzeg ma spadek większy niż 20°-30°, częste są ostre krawędzie skarp ograniczających górne części sierpów (fig. 1).

Sierpy tego typu były najczęstsze spośród obserwowanych przeze mnie. Ciągnęły się na długich odcinkach brzegu grupami po kilkanaście sztuk. Wymiary poszczególnych sierpów w jednej grupie różniły się między sobą przeważnie o 25%. Tworzyły się one nie tylko przy prostopadłym nabiegu fal na brzeg, lecz także i wtedy, gdy różnica pomiędzy promieniem fali a linią brzegową wynosiła nawet 10°-15°. Tworzyły się wówczas sierpy asymetryczne o nierównych skrzydłach zatok.

W tym typie częste były sierpy wycięte w pasie żwiru leżącym na piasku (pl. II, fig. 1). Pasy żwiru stanowiły najniższą część brzegu dolnego, poprzedniego, wyższego stanu morza. Tak więc sierpy te powstawały głównie podczas zmniejszania się fali i opadania stanu morza.

Sierpy związane z wałem brzegowym

Wyróżniam tu dalsze typy na podstawie stosunku sierpów do wału brzegowego. Będą to sierpy powstające przez rozmycie uprzednio już utworzonego wału i sierpy akumulacyjne, powstające razem z wałem.

Sierpy z rozmycia wału brzegowego

Sierpy pochodzące z rozmycia odmorskiego stoku wału brzegowego stanowią typ najczęściej opisywany w literaturze zagranicznej, na polskim wybrzeżu Bałtyku spotykałem je jednak rzadko. Od opisanych powyżej sierpów na brzegach stromych nie różnią się one tak długo, dopóki sierpy rozwijają się na odmorskim stoku wałów brzegowych. Jeśli jednak rozwijające się zatoki sierpów dojdą do szczytu wału brzegowego, to wtedy sierpy ulegają poważnej zmianie. Woda napływu nie

cofa się już całkowicie w stronę morza jako spływ, lecz część jej zostaje po drugiej, pochylonej ku lądowi stronie wału brzegowego. Umożliwia to rozpoczęcie działalności przez napływ. Napływ pobiera materiał z dolnej części sierpu i składa go po drugiej stronie wału brzegowego w formie ramion odchodzących od podstawy rogów. Tak więc sierpy te opadają w dwie strony, a nie jak poprzednie jedynie w stronę morza.

Wielkość wału brzegowego i długość jego odlądowego stoku w poważnym stopniu uzależnia dalszy rozwój sierpów. Jeśli wał brzegowy jest niski, a stok tylny krótki (tab. 1, pozycje 9, 10, 11, 12, 13), wówczas ramiona odchodzące od rogów w stronę lądu są krótkie i długość sierpów równa jest prawie ich szerokości (fig. 2 i pl. II, fig. 2). Sierpy takie obserwowałem niemal wyłącznie po znacznym obniżeniu poziomu morza i odsłonięciu szerokich pasów żwiru złożonych uprzednio poniżej linii wody. Wały brzegowe budowane z tych żwirów były niewielkie, ale rozciągały się wzdłuż linii brzegowej na długich odcinkach, co sprzyjało

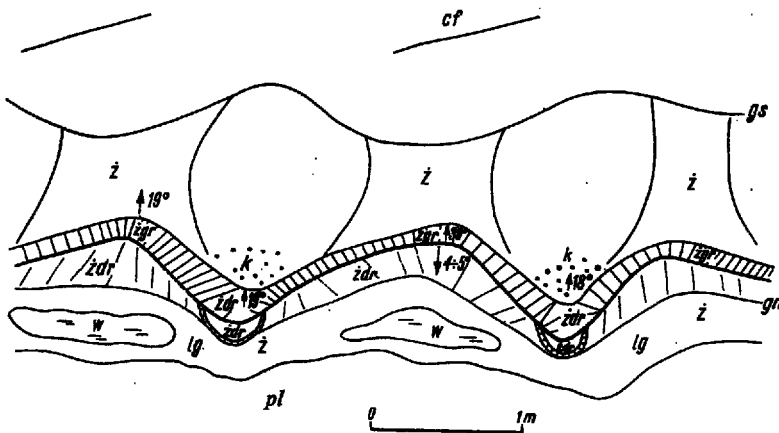


Fig. 2

Plan sierpów plażowych na wale brzegowym, Jarosławiec 13.X.1960. Napływ przelewając się przez wał przesuwa materiał do przodu, zasypując lagunę plażową na przedłużeniu zatok sierpów

pl plaża, lg laguna plażowa, gn granica napływu, gs granica spływu, cf czoła fal, k kamienie (otoczaki), z żwir o różnej frakcji, zdr żwir drobny, zgr żwir grubo-
w woda w lagunie. Miejsca zakreskowane oznaczają strome stoki

Arrangement of beach cusps on the beach ridge 13th October 1960 at Jarosławiec. The swash rushing over the beach ridge transports the material thus filling up the beach lagoon in the prolongation of the beach-cusp bays

pl beach, lg beach lagoon, gn boundary of swash, gs boundary of backwash, cf front of waves, k stones (pebbles), z mixed gravel, zdr fine-grained gravel, zgr coarse-grained gravel, w water in the lagoon. Stippled areas indicate steep slopes

rozwojowi całych grup sierpów (np. sierpy obserwowane w Jarosławcu zajmowały odcinek długości ok. 3 km — tab. 1, pozycja 11).

Zczęsto zachodzącym zjawiskiem była postępująca erozja sierpów, doprowadzająca do kompletnego ich zniszczenia. Zanim jednak nastąpiło kompletne zniszczenie, przez pewien czas utrzymywały się pojedyncze, reszkowe rogi dawnych sierpów, leżące w dużych odległościach od siebie (pl. III, fig. 1).

Sierpy plażowe, rozwijające się na wale brzegowym o długim skłonie skierowanym ku lądowi, charakteryzują się zwiększoną szerokością, przeważnie około dwa razy większą niż ich długość. Długie ramiona rogów, zbudowane przez napływ, dochodzą do laguny plażowej, która zwykle wtedy występuje. Natomiast grzbiet rogu opadający w stronę morza jest krótki i podcięty. Deltę zajmują niewielką przestrzeń (fig. 3 i tab. 1, pozycja 13).

W nielicznych tylko przypadkach sierpy rozwijające się na odmorskim stoku wału brzegowego przejść mogą na stok przeciwny. Zwykle osiągają one stan równowagi, zanim erozja dojdzie do szczytu wału. Najczęściej sierpy tego typu powstawały w inny sposób, w końcowym etapie tworzenia się wału brzegowego, gdy był on już na tyle wysoki, że napływ przelewał się przez niego nie na całym odcinku, a jedynie w pewnych, uprzywilejowanych miejscach. Punkty przelewu odpowiadały najsilniejszym falom, które powtarzały się w pewnych odstępach czasu mniej więcej w tych samych miejscach. Napływ, prze-

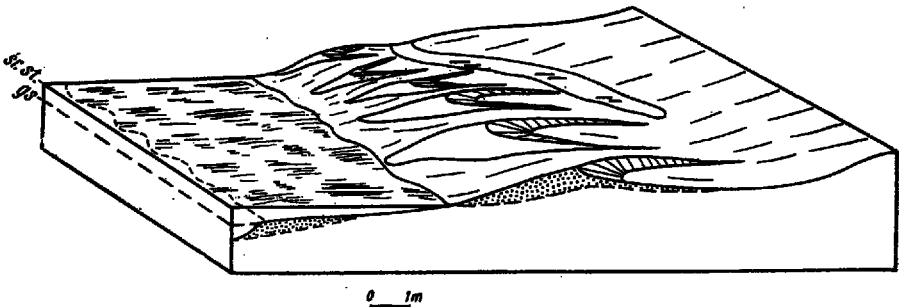


Fig. 3

Blokdigram sierpów plażowych położonych na obu stronach wału brzegowego, Jastrzębia Góra 14.IX.1958. Ramiona sierpów leżą na odlądowej stronie wału brzegowego, dochodząc do szczątków laguny plażowej. (Rysunek z fotografii)

śr.st. średni stan morza, *gs* granica spływu

Block-diagram of beach cusps on either side of the beach ridge, 14th September 1958 at Jastrzębia Góra. Arms of beach cusps occur on the land-facing side of the beach ridge and reach to the relict beach lagoon. (Drawing after a photograph)

śr.st. mean sea level, *gs* boundary of backwash

lewając się przez wał, przesuwał materiał górnej części zatoki do przodu, powodując zasypywanie laguny (pl. III, fig. 2). Jeśli laguna była nie-duża, a przelewy częste, to wówczas laguna zostawała rozbita na szereg oddzielonych od siebie „stawków“. W końcowym etapie rozwoju następowało całkowite zasypianie laguny przez materiał pochodzący częściowo z rozmycia sierpów, i tylko miejscami niewyraźne rogi wystawały nad powierzchnią brzegu.

Charakterystyczna dla opisywanych tu sierpów jest silna działalność akumulacyjna napływu w górnej części sierpów. Materiał składany przez napływ w lagunie plażowej pobierany jest z dolnych części wału brzegowego, a także częściowo pochodzi z niszczenia sierpów. Spływ, działający na odmorskiej stronie, nie dopuszcza do natychmiastowego zatarcia zarysów zatok sierpów.

Tego rodzaju sierpy plażowe tworzyły się podczas niewielkiego zwiększania się stanu morza i stanowiły najbardziej krótkotrwały typ wspomniany wszystkich sierpów. Warunkiem ułatwiającym powstanie sierpów na odlądowej stronie wałów brzegowych jest duża ilość u podstawy wału brzegowego materiału grubszego niż ten, z którego wał jest zbudowany. Naturalnie muszą istnieć odpowiednie warunki falowania, aby napływ mógł przerzucić ten materiał na drugą stronę wału.

Sierpy z rozmycia wału brzegowego wykazują bardzo duże zróżnicowanie rozmiarów, przekraczające nawet 100%.

Sierpy akumulacyjne powstające razem z wałem brzegowym

Tego typu sierpy zbudowane są z materiału wyrzucanego na plażę w formie wałków napływu (fig. 4) i tworzą się na plażach o małym spadku, nawet poniżej 2°. Szerokość i długość są prawie równe sobie. Zatoki są szerokie, zajmują dużą powierzchnię, ale delty są stosunkowo małych rozmiarów. Rogi mają dużą, zwykle trójkątną podstawę, opadając od niezbyt wyraźnie zaznaczonego wierzchołka w dwie strony — ku lądowi i ku morzu (tab. 1, pozycja 16). Odgraniczenie od otaczającej plaży nie zawsze jest wyraźne. Zbudowane są z piasku lub z drobnego żwiru.

Sierpy te tworzyły się przy wzrastającej fali. Napływ, wkraczając na plażę, erodował zatoki, ale większość materiału składana była na krańcu zasięgu napływu, tak że spływ zabierał tylko niewielką część materiału. Było to spowodowane także i tym, że przy dużych sierpach spływ nie zdążył całkowicie opuścić zatoki, gdy następował już nowy napływ.

W rezultacie powstawania sierpów z wałków napływu, w miarę postępującego rozwoju, może być zbudowany wał brzegowy o powyższej linii szczytowej i o prawie płaskim odcinku odlądowego stoku.

Najlepiej wykształcone sierpy tego typu spotykałem podczas stanów morza powyżej 4° B, zwłaszcza gdy fale nie były strome i napływ dzia-

łał na dużej przestrzeni. Powstawały wtedy największe sierpy, jakie obserwowałem (tab. 1, pozycja 15; fig. 6). Tworzyły się one zarówno przy prostopadłym, jak i przy ukośnym nabiegu fali na brzeg.

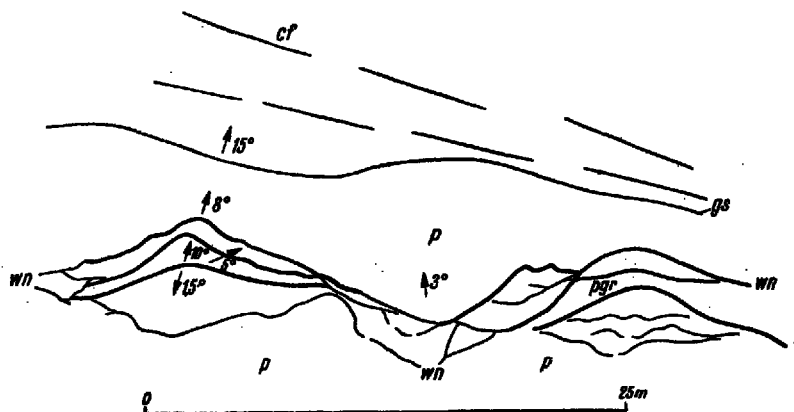


Fig. 4

Plan sierpów plażowych zbudowanych z wałków napływu. Sierpy te utworzyły się przy zmianie kierunku wiatru, połączonej z podniesieniem poziomu morza. Ustronie Morskie 30.IX.1960

wn wałki napływu, *gs* granica spływu, *p* piasek, *pgr* piasek gruboziarnisty, *cf* czoła fal

Arrangement of beach cusps built up by swash marks. These beach cusps were formed in result of a change in the wind direction accompanied by a rise of the sea level, 30th September at Ustronie Morskie

wn swash marks, *gs* boundary of backwash, *p* sand, *pgr* coarse-grained sand, *cf* front of waves

Należy zaznaczyć, że wymienione powyżej typy sierpów mogą tworzyć się jednocześnie. Na przykład obserwowałem przy wschodnim wietrze, po stronie nawietrznej cypla, dobrze wykształcone sierpy, zbudowane z wałków napływu, podczas gdy po stronie przeciwnej jednocześnie powstawały sierpy z rozmywania plaży.

ROZMIESZCZENIE SIERPÓW WZDŁUŻ LINII BRZEGOWEJ I ICH ZWIĄZEK Z OFSETAMI

Grupy sierpów rzadko występują nieprzerwanie na długich odcinkach linii brzegowej. Najdłuższe grupy, jakie udało mi się zaobserwować, ciągnęły się na przestrzeni około 3 km, przy czym zmieniała się tylko ich wielkość i kształt. Były to sierpy związane z wałem brzegowym, przy czym w pewnych miejscach znajdowały się jedynie na odmorskim stoku wału brzegowego, a w innych przechodziły także na stok

odładowy. Tego rodzaju sytuację obserwowałem np. w październiku 1960 r. w Jarosławcu. Zwykle jednak sierpy występują w pewnych określonych miejscach, przede wszystkim na nawietrznych skrzydłach małych zatoczek, wciętych w piaszczyste plaże (fig. 5).

Zatoczki i związane z nimi cyple można utożsamiać z formami opisywanymi przez D. W. Johnsona (1919) jako *offsets*. Są to wygięcia linii brzegowej w postaci zatok i akumulacyjnych cyplów, powstających w wyniku działalności prądu przybrzeżnego. Sądzę, że w braku odpowiednika polskiego można nazwę tę przenieść do naszej terminologii jako *ofsety*.

Na wybrzeżu polskim długość cięciw ofsetów wynosiła kilkanaście do kilkudziesięciu metrów. Części zaprądowe ofsetów tworzyły mniejszy kąt z promieniem fali, niż części naprądowe, gdzie kąt ten wynosił prawie 90° . Wiąże się to z rozkładem erozji i akumulacji w obrębie ofsetu. Na cyplach, zwłaszcza na ich części zaprądowej, zaznaczała się wyraźna przewaga akumulacji, co wyrażało się także w tworzeniu łańcuch piaszczystych pod wodą, na przedłużeniu cyplów. Erozja natomiast zachodziła najsilniej w centrum zatok. Skrzydła naprądowe charakteryzowały się brakiem dryfu plażowego, ruch materiału natomiast odbywał się tylko prostopadle do linii brzegowej.

Ofsety znajdowały się w obrębie większych wcięć, swego rodzaju dużych ofsetów, których cięciwy miały kilkaset metrów długości.

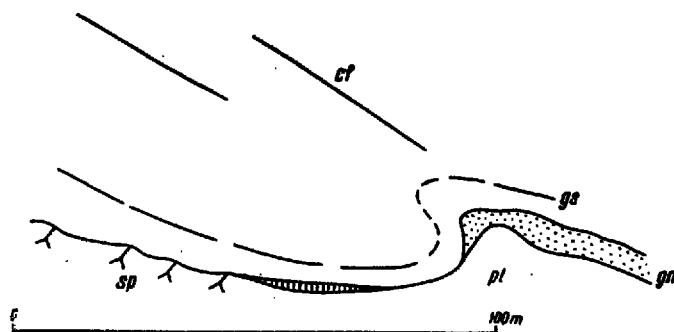


Fig. 5

Kamieniste sierpy plażowe na wale brzegowym, utworzone w obrębie ofsetu, Ustronie Morskie 7.X.1960

pl plaża, *sp* sierpy plażowe zaznaczone schematycznie, *gn* granica napływu, *gs* granica splywu, *cf* czoła fal. Zakropkowany został obszar intensywnie zachodzącej akumulacji; a zakreskowany obszar erodowany

Stony beach cusps on the beach ridge, formed within the offset, 7th October 1960 at Ustronie Morskie

pl beach, *sp* diagrammatically indicated beach cusps, *gn* boundary of swash, *gs* boundary of backwash, *cf* front of waves. Dotted area indicates intense accumulation, stippled show erosion

Ofsety wykazują pewną rytmiczność. Cyple mają długość zależną głównie od siły falowania i od kąta, jaki tworzy linia brzegowa z promieniem fali. Utworzony już cypl chroni część brzegu przed rozmywaniem, ale nieco dalej — w zatoce — zachodzi już erozja tym silniejsza, że prąd przybrzeżny pozbawiony jest materiału, który został poprzednio złożony na cyplu. Materiał wyniesiony z centralnej części zatoki niesiony jest dalej przez dryf denny i tworzy następny cypl. W ten sposób może powstać cały szereg cyplów i zatoczek.

Ofsety mogą służyć do określania zasadniczego kierunku prądu przybrzeżnego. Prąd płynie w kierunku zaostrego, skierowanego ku wodzie cypla.

GENEZA SIERPÓW PLAŻOWYCH

Obserwacje sierpów plażowych prowadzone są już od przeszło stu lat. Wszystkie starsze prace omówione zostały w pracy D. W. Johnsona (1919), tak więc w dalszych rozważaniach ograniczyłem się jedynie do cytowania tej pracy i prac późniejszych. Pomimo tak długiego okresu badań, nie ma do tej pory opracowanej teorii powstawania sierpów przyjętej przez wszystkich badaczy. Panuje zgodność tylko co do tego, że sierpy tworzone są przez potok przyboju (napływ i spływ), tworzą się bardzo szybko i bardzo szybko mogą ulec zniszczeniu.

Johnson uważa, że głównym czynnikiem powodującym powstanie sierpów jest erozja wału brzegowego, rozwijająca się z istniejących na wale zagłębień lub przerw, lub też powtarzająca przy omywaniu przeszkód znajdujących się na wale.

O. F. Evans (1938) podzielił sierpy na pięć klas. Trzy z nich wyróżnił na podstawie wielkości, a dwie pozostałe to formy pojedynczej akumulacji.

W pracach późniejszych poglądy Johnsona i Evansa zostały poddane krytyce. V. P. Zenkovič (1946), Ph. H. Kuenen (1948) i A. Guilcher (1950) zgodnie podkreślają, że geneza sierpów wyłącznie na drodze erozji wału brzegowego, zapoczątkowana przez istnienie zagłębień lub przeszkód, jest nie do przyjęcia ze względu na regularne rozmieszczenie sierpów. Spośród pięciu klas Evansa dwie nie mogą być nazwane sierpami, gdyż są to pojedyncze formy akumulacyjne, natomiast najdrobniejsze sierpy Evansa stanowią raczej typ bruzdek ściekowych.

Na podstawie prac eksperymentalnych próbowano wytłumaczyć genezę sierpów obecnością fal stojących. Okazało się jednak, że tam, gdzie występują w naturze fale stojące, sierpy nie tworzą się (Guilcher 1950).

Kuenen podkreślił rzecz bardzo zasadniczą, że nie tylko erozja jest ważna przy tworzeniu sierpów, gdyż równie doniosłą rolę odgrywa akumulacja na rogach, przedłużająca je w kierunku morza.

Taki rozkład ruchu wody w obrębie sierpu, jak podaje Ph. H. Kuenen (1948), obserwowałem jedynie wtedy, gdy sierpy zbudowane były z materiału grubego i gdy napływ był długotrwały i silny, przy krótkotrwałym i słabym spływie (fig. 6).

Kuenen dał także wyjaśnienie rytmicznego charakteru sierpów, rozwijając dawne idee Johnsona.

Problem rytmiczności i genezy sierpów podjął A. Guilcher (1950). Podany przez niego schemat ruchu wody w obrębie sierpu (fig. 7) obserwowałem w większości form spotykanych nad Bałtykiem. Ruch wody w sierpach przechodzących na odlądowy stok wału brzegowego podlega oczywiście innym prawidłom.

Jeśli chodzi o związek sierpów z wałem brzegowym, zarysowują się dwa odmienne poglądy. Johnson i Evans uważają, że sierpy powstają wyłącznie na wale brzegowym, natomiast Kuenen i Guilcher dopuszczają także i inne możliwości. Guilcher obserwował też sierpy utworzone na barierze oddzielającej lagunę od morza, na jej stoku zwróconym w stronę lądu.

Duże rozbieżności panują również jeśli chodzi o zagadnienie kąta promienia fali z linią brzegową, przy którym mogą się tworzyć sierpy. Według Johnsona i Zenkoviča powstają one jedynie przy prostopadłym lub prawie prostopadłym nabiegu fal na brzeg. Evans, Kuenen i Guilcher uważają, że sierpy tworzą się także przy skośnym uderzeniu fal

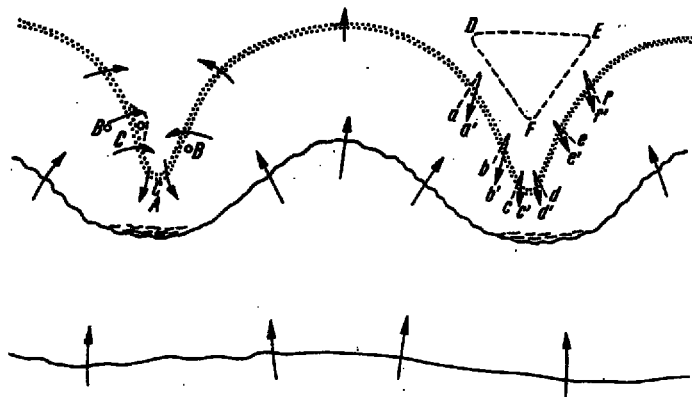


Fig. 6

Diagram wykazujący dyfrakcję potoku przyboju (za Kuenenem 1948).
Z A idzie spływ, kamienie są toczone od B do C, a-f kierunki nachylenia stoku,
a'-f' kierunki spływu z obszaru DEF

Diagram showing diffraction of the surf (after Kuenen 1948)
The backwash occurs from A, the stones are rolled from B to C, a-f directions
of slope inclination, a'-f' directions of backwash from the DEF area

o brzeg. Zupełnie odmienne stanowisko zajmuje Shepard, który twierdzi, że do powstania sierpów potrzebne są pływy (podają za Kuenenem 1948).

Według moich obserwacji, sierpy tworzą się wówczas, gdy potok przyboju (napływ i spływ) działa selektywnie na plażę lub wał brzegowy. Warunki takie mogą powstać np. w pobliżu centrum zatoczki ofsetu, w miejscu gdzie fala traci zdolności erozyjne i następuje zrzućenie materiału. W dalszym ciągu refrakcja fal, różna dla kilku kolejnych fal, spowodować może powstanie zaczątku grupy sierpów. Również i na plażach o wyrównanej linii brzegowej obserwowałem regularne rozmieszczenie napływów dużych fal, powodujących powstanie niedużych zagłębień, które później zaburzały ruch potoku przyboju i umożliwiały tworzenie się dalszych sierpów.

Według wszystkich badaczy, sierpy mogą zostać utworzone przez

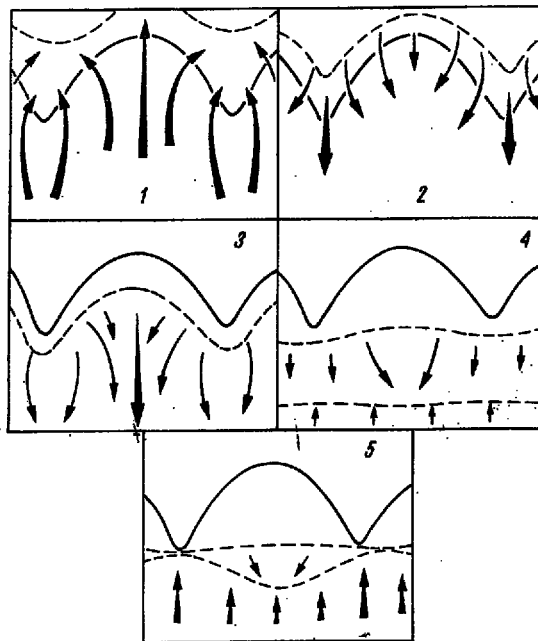


Fig. 7

Diagram ruchu wody w obrębie sierpu (za Guilcherem 1950)

Linia ciągła oznacza zarys sierpu, linia przerywana — granicę mas wody. Strzałki pokazują kierunek ruchu wody. 1 napływ, 2, 3, 4 spływ, 5 początkowa faza napływu

Diagram of water movement within the beach cusp (after Guilcher 1950)

The unbroken line is the contour of the beach cusp, the broken line — the boundary of the water mass. Arrows point to the direction of the water movement. 1 swash,

2, 3, 4 backwash, 5 initial stage of swash

jedną falę, są zatem wynikiem jednorazowego aktu. Nie wydaje mi się to słuszne dla warunków naszego wybrzeża. Możliwe, że tak jest w przypadku działania dużej fali oceanicznej o szerokim froncie, u nas jednakże fala na zbyt małej przestrzeni wbiega na ląd, aby powstać mogła jednorazowo grupa sierpów. Co prawda Evans jako jedyny z badaczy widział tworzenie się grupy sierpów przez jedną falę na brzegu jeziora Michigan, musiały to być jednak wyjątkowo sprzyjające warunki.

Opisane poprzednio etapy rozwoju sierpów związanych z wałem brzegowym wskazują także na możliwość stopniowego tworzenia się sierpów. Obserwowane przeze mnie sierpy były bardziej trwałe, niż opisywane w literaturze zagranicznej. Nie widziałem nigdzie, aby grupa sierpów została zniszczona przez jedną falę o odmiennym niż poprzednie nabiegu, spotykałem się za to z wygięciami grzbietów sierpów spowodowanymi opadnięciem poziomu morza i zmianą kąta nabiegu fali.

Osobiście przyjmuję teorię rozwoju sierpów w ujęciu Kuenena i Guilchera, wychodząc jednak z założenia, że grupa sierpów rozwija się z pewnych zaczątkowych sierpów. Obserwowałem na przykład tworzenie się nowych sierpów na skrajach grupy, które po pewnym czasie osiągnęły rozmiary zbliżone do utworzonych poprzednio sierpów.

Gdy utworzy się sierp lub kilka sierpów, to dalszy ich rozwój uzależniony jest od rozwoju form sąsiednich. Jeśli jeden rozwija się kosztem innych, to pierwszy osiągnie pewien stan równowagi, zależny głównie od wielkości napływu i wtedy szybciej poczną rozwijać się opóźnione dotychczas formy sąsiednie. Jednocześnie istniejące już sierpy powodują dalsze zaburzenia ruchu potoku przyboju, co może doprowadzić do powstawania nowych sierpów tak długo, dopóki nie zmieni się materiał, przebieg linii brzegowej czy falowanie.

Różnice w rozmiarach sierpów w obrębie jednej grupy spowodowane są niejednokrotnie stanem ich rozwoju.

Jeśli chodzi o warunek prostopadłego nabiegu fal na brzeg dla utworzenia sierpów, to — moim zdaniem — nie wszystkie muszą powstawać w ten sposób. Obserwowałem sierpy zbudowane z wałków napływu, który wbiegał na brzeg pod kątem bliskim 45° . W tym przypadku ruch wody w obrębie sierpu odbiegał od schematu wyprowadzonego przez Kuenena czy Guilchera. Materiał niesiony przez potok przyboju zakreślał paraboliczne odcinki, o czym wspominał już Evans. Powstawały wtedy sierpy o niejednakowym zarysie skrzydeł i w efekcie sierpy stawały się asymetryczne.

Powrócę jeszcze do sprawy erozyjnego pochodzenia sierpów. Otóż moim zdaniem można wyróżnić sierpy, w których przeważa erozja w części nadwodnej, a akumulacja zachodzi pod wodą (są to sierpy z rozmycia plaży i odmorskiej strony wału brzegowego), oraz sierpy, które są nadsypywane w górnej swej części wskutek akumulacyjnej działalności napływu. Można więc mówić o sierpach erozyjnych, powsta-

jących wskutek wynoszenia materiału z brzegu morza, i o sierpach akumulacyjnych, które zawdzięczają swoje powstanie wyrzucaniu materiału na brzeg.

Udało mi się zaobserwować w podcięciu plaży dolnego brzegu warstwowanie grupy sierpów. Warstewki bieły mniej więcej równoległe do powierzchni sierpu i były lekko ścięte jedynie w centralnej partii zatok. Świadczy to wyraźnie o akumulacyjnej genezie tego sierpu.

Sierpy plażowe związane są ze ściśle określonymi warunkami. Przy zmianie warunków najczęściej ulegają stopniowemu niszczeniu.

Na danym odcinku linii brzegowej w odstępach nawet kilkudniowych mogą powstawać i ginąć całe serie sierpów. Ich tworzenie się i rozwój wpływa w poważnym stopniu na charakter i sposób warstwowania brzegu dolnego.

*Zakład Geologii Dynamicznej
Uniwersytetu Warszawskiego
Warszawa, we wrześniu 1962 r.*

LITERATURA CYTOWANA

- BIRKENMAJER K. 1960. Raised marine features of the Hornsund area, Vestspitsbergen. — *Studia Geologica Polonica*, vol. V. Warszawa.
- EVANS O. F. 1938. The classification and origin of beach cusps. — *J. Geol.*, vol. XLVI, no. 4. Chicago.
- GUILCHER A. 1950. Observations sur les croissants de plage. — *Bull. Soc. Géol. France*, vol. XIX. Paris.
- JOHNSON D. W. 1919. *Shore process and shoreline development*. London.
- KSIĄŻKIEWICZ M. 1959. *Geologia Dynamiczna* (II wyd.). Wyd. Geol. Warszawa.
- KUENEN PH. H. 1948. The formation of beach cusps. — *J. Geol.*, vol. 56, no. 1. Chicago.
- RUDOWSKI S. 1962. Mikroformy strefy brzegowej Bałtyku w Polsce (Microforms of the Baltic shore zone in Poland). — *Acta Geol. Pol.*, vol. XII/4. Warszawa.
- STRAATEN L. M. J. U. van. 1953. Megaripples in the Dutch Wadden Sea and in the basin of Arcachon. — *Geol. en Mijnbouw*, vol. 15, no. 1. Gravenhage.
- ZENKOVIC V. P. 1946. *Dinamika i morfologija morskich beregov*. Moskva.

S. RUDOWSKI

BEACH CUSPS ON THE POLISH COAST OF THE BALTIC

(Summary)

ABSTRACT: Beach cusps have been observed along the Baltic shore between Świnoujście and Gdańsk, also on the southern shores of the Wolin island. Since 1956 as many as 70 groups of beach cusps have been registered by the writer. The most interesting ones are listed in chart 1. On the basis of their appearance and mode of formation several types have been distinguished among these strongly varied groups. The chief types of beach cusps are those occurring on beaches without a beach ridge and cusps built on the slopes of beach ridges. These two types have been subdivided. Some of these subordinate groups, for example cusps extending to the land-facing side of the beach ridge, also cusps (accumulative) built up together with the beach ridge, have never before been described in the literature accessible to the writer. The origin of beach cusps is discussed and a short review is given of the relevant literature.

Two types have been distinguished among beach cusps having no connections with the beach ridge: those formed on gently sloping beaches (with gradient up to 6-8°) — chart 1, items 1-4; plate I, figs. 1-2 — and those on steep beaches (with gradient above 6-8°) — chart 1, items 5-8; plate II, fig. 1; text fig. 1.

The beach cusps connected with the beach ridge are subdivided into those formed owing to the outwashing of an earlier ridge (chart 1, 9-12; plate II, fig. 2; plate III, fig. 1) and those built up together with the beach ridge (chart 1, 15-16; text fig. 4).

The beach cusps on the beach ridge often display interesting evolutionary stages which were observed by the writer for several days running. Initially they were formed owing to the outwash of the sea-facing slope. When the base of the bay of the cusp reached up to the top of a beach ridge with a small lagoon beyond it then a part of the material carried by the swash that rushed up the ridge was laid down on the land-facing side of the beach ridge. The arms of the cusp were thus gradually extended to the lagoon. Chart 1, 13-14; figs. 2-3; plate III, fig. 2.

Beach cusps that were built up simultaneously with the beach ridge consist of swash marks. This led to the formation of a beach ridge with a curving top line and with beach cusps on the sea-facing slope. The other beach cusps distinguished by the writer do not substantially differ from those described in the foreign literature.

The beach cusps here considered invariably occurred as assemblages, containing several up to some hundreds cusps. Thus at Jarosławiec they stretched almost unbrokenly over a distance of 3 km. Various types of beach cusps have been encountered within the same assemblage, because of the unevenness of the beach shore line displaying numerous offsets.

The scarcity of beach cusps is a feature often stressed in papers on that subject. On Baltic beaches these cusps are relatively frequent and, moreover, they occur together or in close proximity. This facilitated the determination of several factors responsible for the formation of beach cusps. They may be reduced to one most important condition: beach cusps are formed only when the force of the surf pounding on the shore line of the whole foreshore area is not strong enough to produce a shore equilibrium. In most cases this condition accompanied a decrease in the dimensions of the waves, particularly when the foreshore consisted of a rather thin layer of coarser material deposited on a finer-grained sediment (e.g.

gravel deposited on a sandy substratum, formerly a part of the lower foreshore and now part of the upper foreshore).

The condition mentioned above is also associated with the effect exercised on the formation of beach cusps by the angle at which the waves reach the shore and by the accumulative or erosive action. So far the approach to the problems here considered is strongly controversial. Hence in dealing with them it has been kept in mind that they concern in the main such types of beach cusps as are encountered on the Baltic beaches where the action of waves and of tides, and the course of the shore line differ very much from conditions prevailing in most of other basins described in the literature.

The angle at which the waves reach the shore is not a deciding factor in the formation of beach cusps. They are formed chiefly at a perpendicular angle, though sporadically at an oblique angle, too. The maximum observed angle between the wave radius and the shore line at which beach cusps could still be formed was about 40 degrees. The arms of the cusps were then distinctly asymmetrical. This very nearly coincides with the views of Evans (1938), Guilcher (1950) and Kuenen (1948).

With rare exceptions erosive action is the chief agent in the formation of beach cusps. Kuenen (1948) was the first to stress the significance of accumulation. The pattern of the water movement within the beach cusps, as suggested by him, has, however, been encountered only in beach cusps built up of coarser material and when the swash exceeds the backwash (fig. 6). The arms of the beach cusps were then accumulated seawards. The water-movement pattern of most beach cusps coincided with Guilcher's observations (1950) fig. 7; moreover there was the accumulation caused by the swash within the upper parts of the beach cusps that are not connected with the beach ridge. Beach cusps consisting of swash marks are the only type which may be called accumulation cusps. Accumulation in the upper portions of the beach cusps consisting of swash marks is indicated by bedding observed in the scarp of the beach cusp that had been incised by waves. The thin layers were deposited parallel to the upper surface of the beach cusp and they were slightly truncated only at the lowermost point of the bays. Moreover, it should be stressed that, as has been previously suggested by Zenković (1946), completely developed beach cusps indicate the attainment of the state of equilibrium on the shore.

The notable differences in the size of individual beach cusps within the same assemblage are due to the different stages of their evolution. Guilcher (1950) and Kuenen (1948) postulate a cyclic evolution of the beach cusps which are, therefore, assigned to the rhythmic shore microforms. Together with the lows and balls they were placed by Van Straaten (1953) into group V of his classification system of the rhythmic forms of the shore zone.

The beach cusps of the southern Baltic are connected with offsets which likewise have a rhythmic arrangement. They are formed in the first place on the offset wings parallel to the wave fronts, but subsequently on the other wings, too. The first cusp of a group was often formed within the bay at the contact of the two offset wings.

Never, during the several years of his observations, did the writer succeed to note the process of the formation of beach cusps or their erosion by the action of a single wave, as is mentioned by Evans (1938). Perhaps this may be accounted for by the fact that the waves rushed up the beach over an insufficiently long front. The erosion of the beach cusps by the increased force of the waves occurred gradually. Changes in the direction of the waves are often associated with curves of the crests of beach cusps.

Numerous assemblages of beach cusps were formed and destroyed within the lapse of a few days. Their formation and nature have a strong bearing on the type of bedding of the foreshore.

*Laboratory of Dynamic Geology
of the Warsaw University,
Warszawa, September 1962*

OBJAŚNIENIA DO PLANSZ I-III

DESCRIPTION OF PLATES I-III

PL. I

Fig. 1

Sierpy plażowe powstałe z rozmycia plaży o łagodnym spadku. Sierpy znajdują się w zaawansowanym stadium rozwoju. Grzbiety są ostro zaznaczone i zajmują małą przestrzeń. Większą część sierpów stanowią zatoki. Wiselka 12.VIII.1961

Fot. J. Müller

Advanced evolutionary stage of beach cusps formed in result of the outwash of gently sloping beach. The crests are sharply marked and occupy a small area. The major part of the beach cusps consists of bays. 12th August 1961 at Wiselka

Fig. 2

Sierpy plażowe powstałe z rozmycia płaskiego brzegu zbudowanego z torfu leżącego na piasku i przykrytego cienką warstwą piasku. Widać wyraźnie ciemny wałek, podkreślający zarys sierpów. Są to drobne cząstki torfu i kawałki trzciny złożone przez napływ. Zdjęcie wykonane w początkowym momencie napływu. Półwysep Rów (wyspa Wolin od strony Zalewu Szczecińskiego) 12.VIII.1961 *Fot. S. Rudowski*

Beach cusps formed in result of the outwash of a flat beach made up of peat resting on sand and coated by a thin cover of sand. The readily discernible dark mound stresses the contours of the beach cusps. The mound consists of minute particles of peat and small fragments of reeds brought by the swash. The photo was taken at the initial point of the swash. 12th August 1961, the Rów peninsula in the Wolin island on the side of the Szczecin Bay

PL. II

Fig. 1

Sierpy plażowe powstałe z rozmycia plaży o spadku większym niż 6°-8°. Sierpy zbudowane są z grubego żwiru. Niektóre z sierpów nie łączą się już ze sobą. Zdjęcie wykonane w końcowym momencie spływu. Widać większy zasięg spływu w kierunku morza na przedłużeniu zatok sierpów. Chłapowo 14.X.1959

Fot. S. Rudowski

Beach cusps formed in result of the outwash of a beach with gradient above 6° - 8° , they are built of coarse gravel. Some are disconnected. Photo taken at the end of the backwash showing, in the prolongation of the beach cusp bays, a greater seaward reach of the backwash. 14th October 1959 at Chłapowo

Fig. 2

Sierpy plażowe powstałe z rozmycia wału brzegowego. Żwir z zatok został już wyniesiony, a rogi sierpów zbudowane ze żwiru mają krótkie ramiona wysunięte od wierzchołka sierpu w stronę lądu. Dziwnów 10.VIII.1962 Fot. S. Wdowiak

Beach cusps formed in result of the outwash of the beach ridge. The gravel has been carried away from the bays while the horns of the beach cusps, consisting of gravel, have short arms stretching from the top of the beach cusp towards the land. 10th August 1962 at Dziwnów

PL. III

Fig. 1

Sierpy plażowe na wale brzegowym. Seria sierpów wraz z wałem uległa rozmyciu, a pozostały oddalone od siebie rogi sierpów o ramionach wysuniętych ku lądowi. Zatoki są już bardzo słabo zaznaczone. Kołobrzeg, wrzesień 1960 Fot. S. Rudowski

Beach cusps on the beach ridge. An assemblage of the beach cusps has been outwashed together with the beach ridge but the horns of the beach cusps and their arms extending towards the land have persisted. The bays are very faintly indicated. September 1960 at Kołobrzeg

Fig. 2

Sierpy plażowe na wale brzegowym. W centralnej części zdjęcia widać długie ramiona dwóch rogów sierpów, rozciągające się na odlądowej stronie wału brzegowego i wchodzące w lagunę plażową. Na dalszym planie, na stoku wału od strony morza, można zauważyć moment starcia się splotu z napływem. Sierpy te są asymetryczne, ponieważ czoła fal nie przebiegają równolegle do linii brzegowej. Chłapowo 5.X.1959 Fot. S. Rudowski

Beach cusps on the beach ridge. In the centre long arms of the 2 horns of the beach cusps stretch on the land-facing side of the beach ridge and enter the beach lagoon. In the background on the sea-facing slope of the beach ridge, it is possible to discern the clash of the swash with the backwash. The beach cusps are asymmetrical because the wave front is not parallel to the beach line. 5th October 1959 at Chłapowo



Fig. 1



Fig. 2

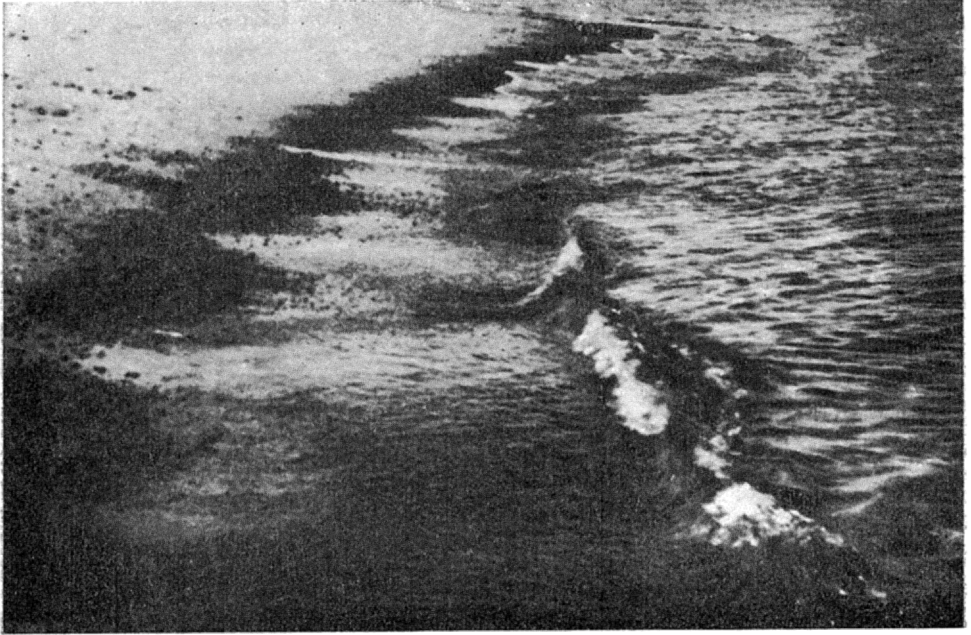


Fig. 1



Fig. 2



Fig. 1

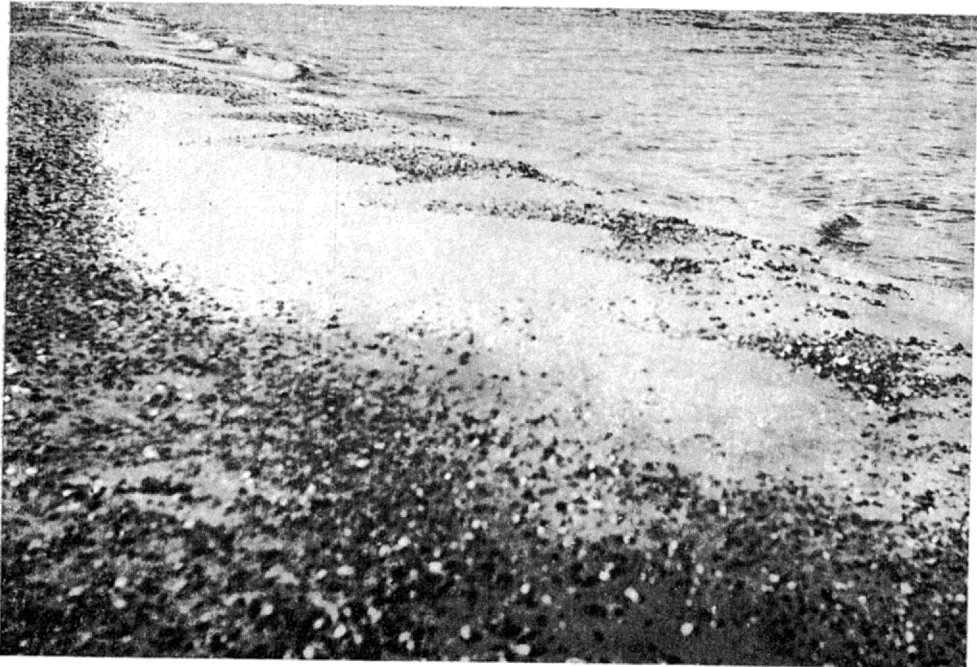


Fig. 2