

Bølgekraft og kystretning.

Eksempel på kystudformning i Det Sydfynske Øhav.

Af Sofus Christiansen.

Ved de fleste danske kyster forekommer der materialevandring. Denne har på dansk været behandlet i flere arbejder. En oversigt over disse gives af A. Schou (1945). Man er efterhånden nået til ret god klarhed over de kvalitative forhold vedrørende materialevandringen. De »kræfter«, der giver anledning til denne, er strøm, vind og bølger. *Strøm* tilskreves i ældre tid stor betydning, men allerede efter fremkomsten af D. W. Johnsons store arbejde (1919) er en radikal omvurdering sket. Der kan måske endog være anledning til at nævne, at strømmen også uden for de egentlige tidevandsområder kan være af betydning. I Svendborg Sund kan f. eks. i henhold til forf.'s iagttagelser måles strøm stærkere end ca. 4 knob. Denne har sandsynligvis geologisk betydning, måske ikke direkte for kystlinien, men snarere ved at fjerne materiale, som allerede er oprodet af bølgeslaget. Det bør også nævnes, at strøm forårsaget af vandstandsændringer ofte hindrer, at bugtlukning ved krummoddevækst fuldføres. *Vindens* direkte materialetransport kan have betydning for kystliniens udformning. Den er dog — ligesom strømmen — normalt af underordnet betydning. *Bølgeslaget* er afgjort den »kraft«, der normalt indvirker kraftigst på kystudformningen. Det er tidligere påvist, at bølgers energi afhænger af vindstyrke, varighed af samme, vindretning og frit stræk i vindens retning. Disse faktorerers indflydelse på bølgehøjden er undersøgt af Sverdrup og Munk (1946). Desværre er bølgehøjden ikke et nøjagtigt mål for den energi, der er til rådighed for kystprocesserne. Foruden bølgehøjden må der også tages hensyn til bølgenes stejthed. Denne har, som påvist af Lewis (1931) stor betydning. Stor stejthed giver »konstruktive«, lille »destruktive« bølger. Endnu er man ikke nået til fuld klarhed over de udvekslingsprocesser for energi, der må finde sted, når bølgeenergien afleveres på stranden og omsættes til materialevandring.

Materialevandringen et givet sted afhænger således af bølgekraften, der leveres på kysten. Desuden afhænger den af materialet — kornstørrelse og massefylde — og af bundens karakter (ruhed, hældning etc.). Hvis man går ud fra, at andre faktorer end »bølgekraften« udviser ringe variation langs flertallet af danske kyster, vil materialevandringen altså kun afhænge af denne og dens retning i forhold til kysten. Vanskeligheden består da blot i at angive de i bølgekraften indgåede faktorer indbyrdes vægt. Kan man dette, er det muligt for den enkelte kyststrækning at angive et mål for materialevandringen.

A. Schou konstruerede til bestemmelse af udligningsretningen for kyster den såkaldte vindvirkeresultant. Konstruktionen fremgår af Fol. Geogr. Dan., Tome IV. For hver vindretning konstrueredes en vektor, hvis længde er proportional med den ubenævnte talværdi, der fremkommer, når hyppighedsprocent multipliceres med styrken målt i Beaufort. Resultaten af vektorerne konstrueres ved progressiv geometrisk addition. Dette sker efter et lignende princip, som Musset angav. Vi får altså en bølgekraft, hvor vi har:

$$K = \sum V H$$

hvor V er vindstyrken > 4 Beaufort, H er hyppigheden. Munch-Petersen angav (1918) at materialevandringen måtte afhænge af V^2 og desuden af frit stræk, F . (Senere ændrede M-P denne anskuelse). Efter dette vil vi have, at $K = \sum V^2 H F$,

hvor F er frit stræk målt i km. V er her middelvindstyrken. Lewis angiver (1955)

$$K = \sum V^3 H F$$

som et nøjagtigere udtryk. Per Bruun (1954) regner $K = V^{5/2} H F^{5/4}$, idet V måles i m pr. sec. Udtrykket kan omregnes, således at V angiver efter Beaufortskalaen. Omsætningsforholdet er $V_{(m/sec)} = V_{(Beaufort)}^{2/5}$ 0,77. Herefter fås $K = \sum V^{15/4} H F^{5/4}$. Dette udtryk anvendes ofte tilnærmet:

$$K = \sum V^4 H F.$$

Det må bemærkes, at kun A. Schou anvender det citerede udtryk til konstruktion af en resultant. P. Bruun nærer tvivl om, at en resultantkonstruktion er forsvarlig.

Til undersøgelse af og indbyrdes sammenligning mellem de 4 forskellige resultanter, der kan konstrueres, er valgt Anholt. Denne ø er nemlig fritliggende, og dette er nødvendigt, for at man skal kunne inddrage den Schou'ske resultant i sammenligningen. Desværre er farvandet omkring øen ikke strømfrit, men sandsynligvis er de fore-

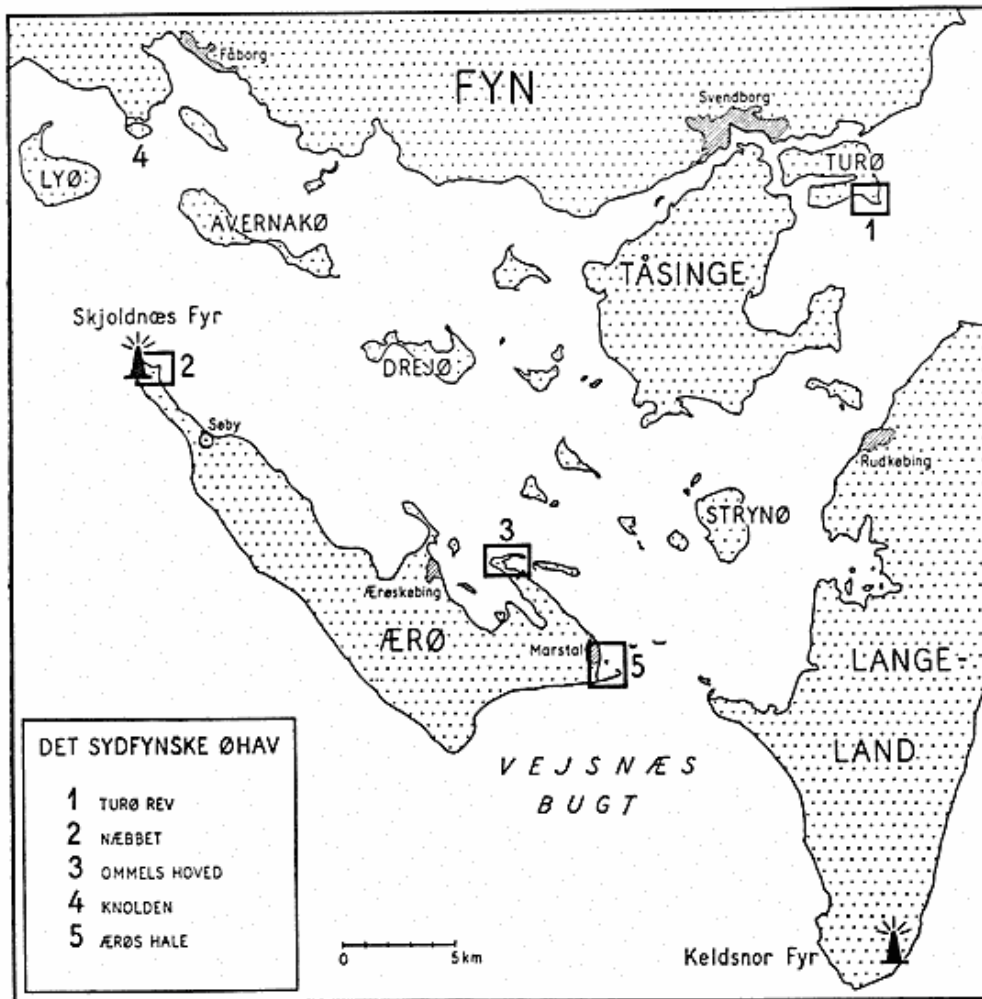


Fig. 1. Oversigtskort over Det Sydfynske Øhav med de i teksten omtalte lokaliteter.

Fig. 1. Index map of Det Sydfynske Øhav with localities.

kommende strømstyrker så ubetydelige, at dette ikke spiller nogen rolle. Det nærliggende fyrskib observerer i hvert fald yderst sjældent strømme, der kan virke eroderende, og man kan roligt gå ud fra, at strømmene på selve strandplanet er svagere.

Rent praktisk konstrueredes resultanterne efter den af Schou angivne metode. De statistiske oplysninger blev udtaget af observationsmaterialet for Anholt Fyr, som det findes i »Danmarks Klima«. Det fri stræk, som indgår i de andre formler, blev fundet ved måling på kort. Målingerne foretoges horisonten rundt med 5 graders mellemrum. Dernæst bestemtes F for hvert vindtabelinterval ved grafisk integration og efterfølgende middeltalsberegning. Metoden er anvendt af Jacobsen (1919) ved strømberegninger.

Det viser sig, at alle resultanter, som angivet, står tilnærmelsesvis vinkelret på Anholts vestkyst. (fig. 2). Dette er den orienteringsretning, som man på forhånd kunne forvente for den rigtige resultant. Allerede Munch-Petersen påviste nemlig, at den mindste materialetransport finder sted, når den materialeførende kraft er vinkelret på kysten. Dette er smukt verificeret af P. Bruun ved dennes kurve over materialetransportens afhængighed af bølgenes indfaldsvinkel med kysten.

Sammenlignes resultanterne, overraskes man over, at ikke større forskelle springer frem. Det må straks bemærkes, at andre steder, hvor det fri stræk varierer mere, vil den Schou'ske resultant afvige mere fra de andre. Men man erindrer, at denne til bestemmelse af kystens terminantretning jo netop skal anvendes sammen med hovedretning for F . I vinkelgabets mellem » F « og resultanten ligger normalen på kystens terminantretning. En tilnærmelse til $K = V^4 HF$ opnås også derved, at vindstyrker mindre end 5 Beaufort bortskæres. Derved får større vindstyrker tilnærmelsesvis samme vægt. Spørgsmålet om, hvorfra den store overensstemmelse hidrører, klares dog måske endnu mere op, når man betænker, at maksimalfejlen i retningsangivelsen for vind er $22^\circ \frac{1}{2}$ i tabelværket. Efter V^4 -udtrykket betyder de stærke vinde uhyre meget. Måske bør netop dette give anledning til betænkelighed. Vindstyrkerne er nemlig skønnede, og der er konstateret en vis tilbøjelighed til ved store vindstyrker at undervurdere disse. Ved mindre vindstyrker synes systemet med skønnede værdier efter Beaufortskalaen imidlertid at indebære visse fordele. Måske navnlig ved, at en del beregning af observerede værdier spares, idet Beaufortskalaen jo nemlig vurderer vinden netop ved dens virkning i et større rum. Netop dette, at det er vindretningen, der bedømmes, kan dog samtidig forårsage, at F indkalkuleres allerede i observationen. Derved bliver bølgekraftformler, hvori F indgår, usikre. Skal nøjagtigere resultanter konstrueres, må det derfor gøres på grundlag af nye observationer. Først da er det muligt at danne sig et sikkert skøn over deres værdi. På grundlag af de bestående observationer opnås næppe nøjagtigere resultanter, end Schou's giver, når den kombineres med angivelser af største fri stræk. Meget synes dog også at tyde på, at V^4 -udtrykket har reel værdi, ikke mindst det, at det teoretisk er velbegrundet. Ved hjælp af dette udtryk kan en del forhold vedrørende kysterne finde en forklaring. Som eksempler på dette er en række kystformer fra Det Sydfynske Øhav behandlet.

Lige kyster forekommer flere steder i Øhavet. Karakteristisk for

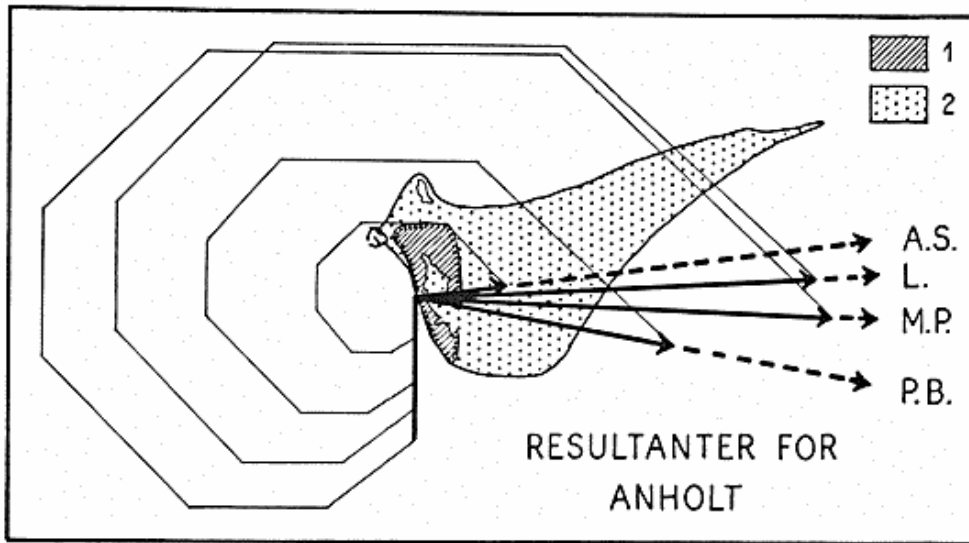


Fig. 2. Anholt med indtegnede resultanter efter A. Schou (A.S.), Munch-Petersen (M.P.), V. Lewis (L.) og P. Bruun (P.B.). 1: moræne. 2: flyvesand og marine aflejringer.

Fig. 2. The island of Anholt in Kattegat consists in the western part of moraine (1), in the eastern part of aeolian and marine sediments (2). The construction of resultants of wave-work is shown; based on works by: A. Schou (A.S.), W. Lewis (L.), Munch-Petersen (M.P.) and Peer Bruun (P.B.). The resultants are orientated almost normally to the coast and diverge less than $22^{\circ} \frac{1}{2}$, which is the maximum error in the indication of the wind-direction in statistical tables.

dem er det, at deres form ikke ændres ved bølgeerosion. (Forholdet er behandlet af Per Bruun 1946). De lige kyster, der danner en vinkel forskellig fra 90° med bølgekraftresultanten, vil nemlig under erosion rykke lige meget tilbage overalt. Er bølgekraften orienteret vinkelret på kystlinien, vil ingen tilbagerykning finde sted. Lange næsten snorlige kyster som f. eks. Ærø har fået deres retning fastlagt i Istiden. Havet har siden udformet en bræmme af stejle klanter, men kystliniens orientering er uændret (se oversigtskort). Hvor man har korte, lige kyststrækninger, vil man ofte finde kystlinien varierende omkring en retning vinkelret på bølgekraften. Korte kystlinier er lettere at dreje ud fra deres endestrækninger for bølgerne. Skematisk klar bliver orienteringen oftest, når en akkumulationskyst foreligger.

Forlande. TURØ REV kan måske kaldes et 3-sidet vinkelforland. Det synes udelukkende at bestå af marine aflejringer. Disse er af to typer: strandvolde af ret groft materiale, hovedsageligt parallelle med kysterne, og mellemliggende sletter af fint, næsten slikagtigt materiale. De lave dele af forlandet har marskkarakter, hvilket understreges af et lo-agtigt afvandingssystem. Tidevandsamplituden er

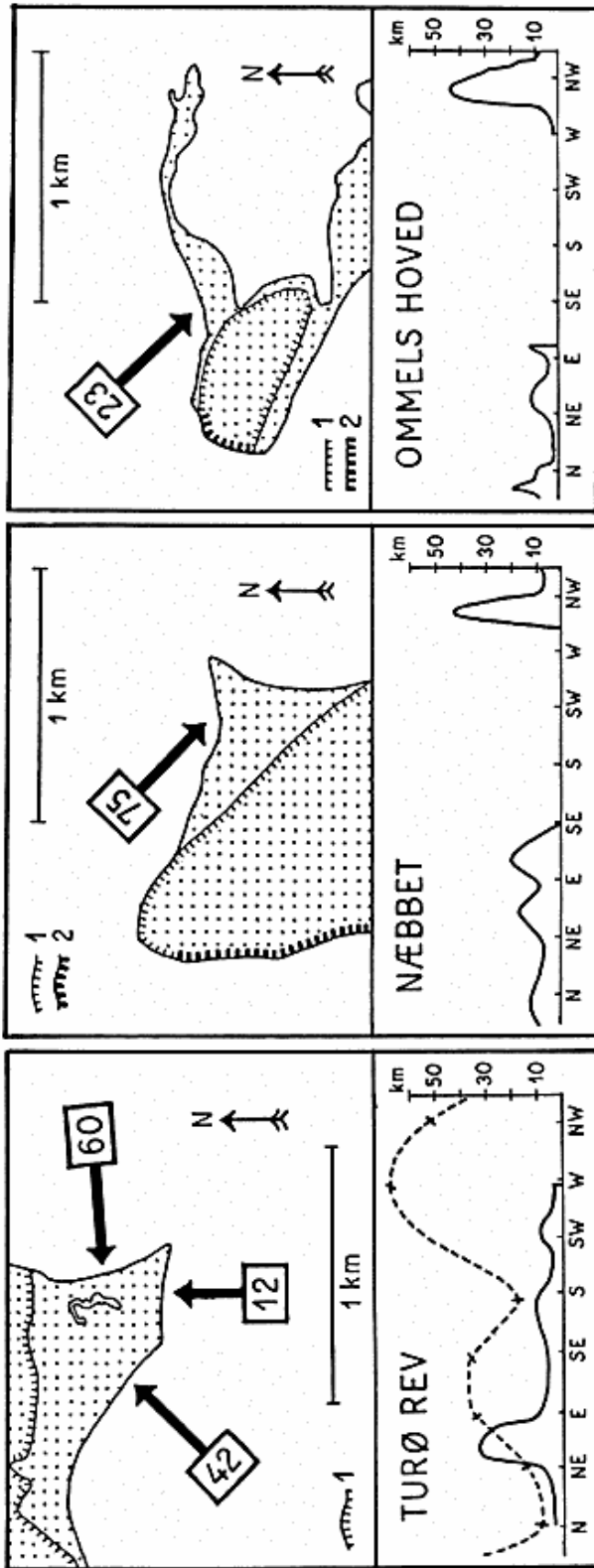


Fig. 3. Turo Rev (A), Næbbet (B) og Ommels Hoved (C). Bølgkraftresultanter angivet med pile. De indrammede tal angiver den relative længde. Tværstreget linie (1) viser grænse til marint forland; samme optrukket (2) viser klintstrækninger. Forneden: kurver, der viser variation af frit stræk (F). For Turo Rev er også angivet stiplede kurve for produktet af vindstyrke i Beaufort og vindhyppighed.

Fig. 3. Turo Rev (A), a three-sided cuspate foreland. Three resultants of wave-work are shown. The relative magnitude is indicated by framed figures. Below: Distribution of fetch. Dot-and-dash curve: variation of the product $V \times H$. Næbbet

(B), a two-sided cuspate foreland. Largest fetch from NW, from which direction too gales are most frequent; consequently, the resultant is orientated from NW. Nevertheless, the coast is only slightly straightened; this may be caused by the large grain-size (pebbles). Ommels Hoved (C), originally a moraine islet, now tombolobound to Årø. Wave-power resultant from NW, gives the coast-line direction a trend towards orientation NE-SW. This appears from the eastern part of the complex-spit and is particularly evident at the innermost and outermost parts. Along the middle part of the spit the quantity of transported material is smaller; therefore, orientation is lacking. The whole system is in labile equilibrium.

for ringe til, at man kan tale om egtl. marsk, men aperiodiske vandstandsændringer gør sig ret stærkt gældende i området med den nævnte effekt.

Den trapezagtige form for forlandet kan måske finde sin forklaring ved de oplysninger, kalkulation af bølgekraft kan give. Allerede undersøgelsen af fordelingen af *F* viser, at tre maksima foreligger (fig. 3 A). Ved beregning af bølgekraftresultanten må benyttes observationsmateriale for Keldsnor Fyr. For de forskellige retninger fås kræfter, hvis relative størrelse er som angivet på figuren. N-retningen giver kun anledning til landvinde, så den kan man se bort fra. Det ses, at der ellers til kystens rette sider svarer bestemte, kraftige bølgeretninger. En undtagelse synes dog SE-retningen at udgøre. At der til denne ikke svarer nogen kystudligningsretning må skyldes forhold vedrørende selve revets tilstedeværelse. Måske er dette hovedsagelig en erosionsrest? En forklaring, der går ud på, at Keldsnor Fyrs observationer involverer en betydelig fejlkilde, er dog også sandsynlig. Fyret har nemlig et stort frit stræk mod SE, og dette kan let bevirke, at vindstyrken fra denne retning overvurderes, netop når vindstyrken skønnes efter Beauforts skala. Turø synes forøvrigt at have ændret form, siden sidste rettelse af målebordsbladet er foretaget (1939). Nogle pejlinger viste, at den odde, forlandet afsluttes med, havde forskudt sig ca. 30 m mod øst.

Hertil må gøres en bemærkning. Når man eftermåler i naturen, har man bestandig problemet: Ved hvilken vandstand er strandlinien aflagt på kortet? Officielt er det Dansk Normal Nul (DNN), der er kystlinie. Svendborg havnekontor oplyste på begæring, at vandstanden var 2 cm over normalen, den dag indpejlingen fandt sted. Desværre kunne man ikke oplyse, hvilken forbindelse der var mellem normalvandstand og DNN. Den eneste farbare vej til afgørelse af, om formændringen er reel, er altså at foretage et nivellement til et fixpunkt. — Der kan dog foretages et skøn over forholdene. Egedals undersøgelser (1945) over DNN viser nemlig, at vandstanden i området stiger. Turøs formændring kan efter dette hverken skyldes lang- eller kortvarig vandstandsændring; det er da overvejende sandsynligt, at den skyldes materialevandring.

NÆBBET ved Ærø's nordvestpynt må kaldes et tosidet vinkelforland. Materialet er overvejende ral ordnet i strandvolde parallelt med kysten. Det er vanskeligt at erkende den oprindelige struktur, da en kraftig afgravning har fundet sted. Yderligere er Næbbet under kanonbådskrigen blevet forsynet med skanser. Disse er nu under erosion; de synes ikke i nævneværdig grad at have influeret på kyst-

formen. Dette er konstateret ved eftersyn på ældre kort, hvis kystlinie dog ikke synes synderlig nøjagtig aflagt. Hvis resultanter for Næbbet konstrueres, vil det bemærkes, at disse for NW- og SE-kysten tilnærmelsesvis står vinkelret på forlandets symmetriakse. Formen synes efter dette at kunne skyldes, at de to kyststrækninger stræber efter at stille sig vinkelret på resultanterne (fig. 3 B). Tilfældet minder om det engelske Dungeness ved den engelske kanalkyst mellem Hastings og Dover. Dettets form forklarer P. Bruun ud fra, at der for materialevandringen findes et maksimum ved ca. 55 graders vinkel mellem kyst og materialeførende kraft. Er der et fremspring på en kyst, vil materialevandringen langs denne kunne øges, indtil maksimum nås. Efter dette aftager denne igen hvorved en aflejringsform må finde sted: en »spids« vokser ud. Kystliniens form burde være den halve planligevægtsform for bugter, som er påvist af P. Bruun. Dette synes at gælde med grov tilnærmelse. Det må dog bemærkes, at den her skitserede forklaring af mange drages stærkt i tvivl. Det kan undertiden være vanskeligt at befri sig for den mistanke, at der under mange marine dannelser i forlande befinder sig en morænekerne. Det bør bemærkes, at intet derom kan oplyses for Næbbets vedkommende. For Dungeness stiller sagen sig heldigere. Man ved med sikkerhed, at dette er dannet uden nogen form for kerne. I nogle tilfælde er »kernerne« synlige i forlandsdannelser (eks. Avernakø's vestlige del), men naturligvis mindsker dette ikke behovet for en forklaring på »kerneløse« forlandes opståen.

OMMELS HOVED består af en morænebakke, der mod SE er forbundet med Ærø's østlige del — Gudsgave — med et drag (fig. 3 C). I østlig retning udgår der fra morænedelen et oddesystem. Konstrueres resultanten for dette, viser det sig, at den ikke danner nogen ret vinkel med kysten. Et sådant område må forventes at have ringe stabilitet. I virkeligheden foregår der da også en ret kraftig erosion mod NV. Som følge af dette og af det stærkt sammenhængende materiale er der dannet en lodret klint på stedet. Aflejringsformen burde man imidlertid kunne forvente at finde regelret orienteret. Det viser sig da også, at en lille krumodde østpå, der synes at være en af de yngste dannelser i komplekset, virkelig er orienteret efter forventning. Hvor den vinkelrette på resultanten er tangent til kysten, vil man sandsynligvis finde et materialevandringensnulpunkt.

KNOLDEN ved Faaborg er et smukt eksempel på en forlandsudvikling, der er noget videre fremskredet end den nylig omtalte. Den viser en oprindelig ø, der er godt på vej til at blive dobbeltdragforbundet med Fyn. I sin udformning minder den om den af Davis be-

skrevne Monte Argentario-halvø, omtrent midtvejs mellem Tiber- og Arnomundingen.

Spørgsmålet om, hvorvidt der findes en bestemt geometrisk ud- ligningsform for kyster, belyses næppe klart ved kysttyper som de omtalte. Skal en sådan form udvikles, må materialefordelingen på kysten være jævn, og denne betingelse er ikke opfyldt. Man kan komme uden om dette ved at betragte kystformer, der er så store, at variation i kysthøjden er underordnet i forhold til materialevan- dringens størrelse. Sådanne kyster kan næppe forventes fundet ved det egentlige øhav. Et meget specielt tilfælde er det af P. Bruun om- talte ved Bjørnø, hvor man har en lokal koncentration af bølgekraft fra et meget lille vinkelgab. Aflejringskyster er næsten altid af no- genlunde ensartet højde. Ganske vist har disse en statistisk over- skudstilførsel af materiale, men de udviklede former må geometrisk forventes at være ensdannede med erosionsformerne. Er denne be- tragtning rigtig, er krumodder næsten ideelle at opstille betragtnin- ger over. Den teoretiske udledning, P. Bruun foretager af planlige- vægtsformen for krumkyster er kun gældende for erosionskyster. Hans første definition af ligevægts-formen omtaler da også denne som en kystform, hvor tilbagerykningen overalt er lige stor. Allige- vel anvender P. Bruun selv Hyllekrog som eksempel på en kyst, der har nået en tilnærmet ligevægtsform, og det er netop en kyst med overvejende aflejring.

ÆRØS HALE er en sammensat krumodde. Kortlægning af denne har været foretaget et stort antal gange p, gr. af dens betydning som naturlig dækmole for Marstal havn. Ældste kort er fra 1818 (fig. 4 A). Nordretningsangivelsen synes fejlagtig. Hvis der korrigeres for dette, ses det, at »halens« retning fra det »lidet hav« synes at være skiftet. Oddespidsen lå dengang nordligere. 1859 foretog Garde en opmåling til brug for søkort (fig. 4 B). Af denne fremgår en sted- fundet udvidelse af oddehovedet. Næste måling er fra 1925 (fig. 4 C). Marstals havnemole er da fuldt færdig. Oddernes udvikling er fortsat, særlig er den nordøstlige del af dem udvidet. 1926 blev et målebordsblad optaget. Dette differerer fra det foregående kort. Æn- dringer noteres bl. a. ved oddesystemets rod. De store ændringer, der er sket, leder til antagelse af, at den store forskel mellem 1925 og 1926-kortet ikke blot kan hidrøre fra forskelligt nul-niveau for de to opmålinger (fig. 4 D). Fra 1951 haves et flyvefoto. Dette viser, at kompleksets østre del fortsætter udviklingen. En lang odde sammen- sat af mange elementer strækker sig mod øen ved marstalmolens midte. Delene fra 1818 består i omtrent samme form som da, men

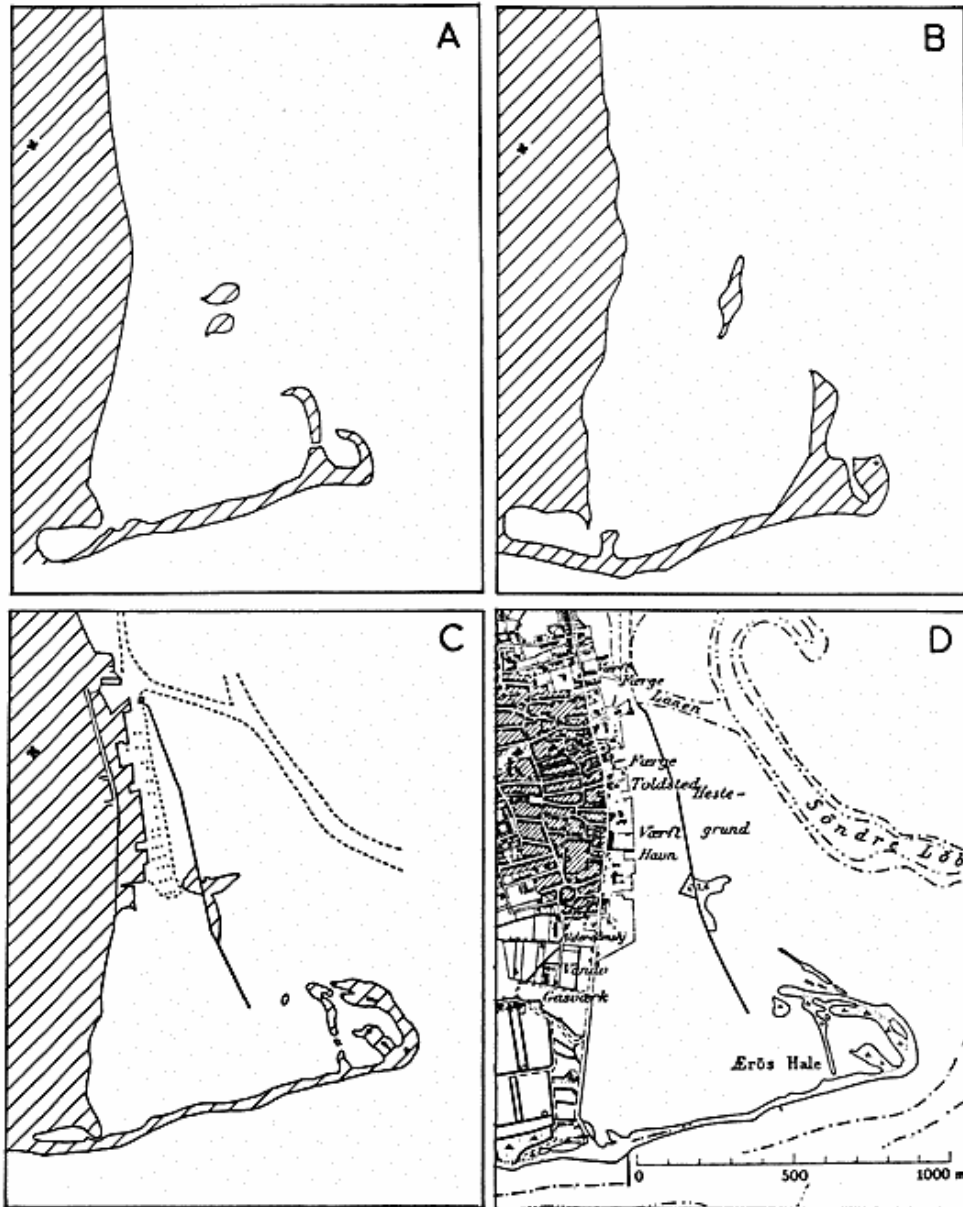


Fig. 4. Ærø Hale 1818 (A), 1859 (B), 1925 (C) og 1946 (D, repr. efter Geod. Inst.). Odden følger det for krumodder almindelige udviklingsskema.

Fig. 4. Ærø Hale in various maps. (A: 1818, B: 1859, C: 1925, and D: part of Geodetic Institute map, Scale 1:20.000 from 1946). The evolution-scheme for recurved spits may be seen: lateral growth of the end of the spit and erosion of older parts and, at the same time, shifting of the direction around fulcrums. (Geodætisk Institut, copyright).

afhøvles på deres sydside, mens de beskyttede områder er under langsom forvandling til strandeng.

Det lange udviklingsforløb viser os gennemgående forskellige kystkonfigurationer. Selvfølgelig findes der for denne krumodde



Fig. 5. Flyvefoto af Ærøs østlige del. Dybdeforholdene fremgår tydeligt. Halen er under omdannelse til vinkelforland, men udviklingen hæmmes af strømforholdene.

Fig. 5. Aerial view of eastern part of Ærø, vertically taken. Variation of depth easily seen. The lateral growth of spit is partly stopped by currents. Complex spit is slowly transformed into cusped foreland. (By permission: Trap).

som for alle andre til ethvert tidspunkt et drejepunkt (fulcrum); dette gør sammenligning mellem de forskellige oddestadier vanskelig. Men selv når hensyn tages til dette og til den deraf flydende ændrede kraftfordeling på kysten, er det vanskeligt at erkende nogen bestemt geometrisk oddeform. Dette udelukker dog ikke, at den kan eksistere.

VEJSNÆS BUGT har ret stor lighed med den Bruun'ske ligevægtsform (se oversigtskort). De mindre former afviger oftest mere. Dette forekommer ejendommeligt, når man erindrer, at den i virkeligheden afviger mere fra de teoretiske forudsætninger ved udledning af ligevægtsformer*). Måske skyldes det, at netop ved Vejsnæs Bugt er problemet med at skaffe det vandrende materiale bort løst. Bugten er jo »åben i bunden«, og man kan oftest konstatere, at store mængder materiale er på vej ind ad løbet dér. Materialet aflejres dels på flakket, dels i barreøer. Disse synes forøvrigt at have en smuk

*) Cand. polyt. Jan Larsen har konstateret, at udledningen af parameterformlen for krumme planligevægtsformer som foretaget af dr. Bruun er urigtig. Den krumme kyst har ingen teoretisk ligevægtsform efter denne, men formbestemmes i hvert enkelt tilfælde af begyndelsesformen og de virkende kræfter.

»Bruun'sk« form, men hvorvidt denne er stabil eller ej, lader sig ikke med det foreliggende materiale afsløre.

Kystsystematiske bemærkninger.

De omtalte eksempler på kystformer fra Det Sydfynske Øhav (undt. Vejsnæs Bugt) er anbragt i en rækkefølge, nærmest efter krumningsgrad. Og dermed til en vis grad efter, hvor vanskelig forklarlig formen og dens udviklingsprognose er. Et sådant inddelingsprincip er naturligvis meget utilfredsstillende. Det skorter jo heller ikke på systemer over kysttyper. De fleste af disse har dog forskellige skavanker. Det af Johnson udkastede system, der er meget klart og overskueligt, anvendes stadig pædagogisk. Desværre må man nok forlade det, da inddelingsgrundlaget, kystens hævnings-sænkningstilstand synes utilstrækkeligt. Alle Jordens kyster er — praktisk talt — sænkningkyster i øjeblikket. I de danske løse aflejringer synes det iøvrigt at være underordnet, om kysten hæves eller sænkes med hensyn til de dannede former (sml. f. eks. Nordsjællands kyst med Sydfalsters).

Opmærksomheden har derfor i mange år været rettet mod andre systematiske inddelinger. Et af de mest omdiskuterede anvendtes af Gulliver allerede 1899. De af Shepard (1936) og Guilcher (1954) publicerede inddelinger bygger i realiteten på det samme grundlag. Man taler om 1) primære (initiale) kyster og 2) sekundære (marint prægede) kyster. Førstnævnte svarer til dem, Philippon kaldte isohypsekyster, en betegnelse, der stadig finder en del anvendelse. De to grundtyper kan anvendes i forbindelse med det Davis'ske modenhedssynspunkt. Derved fås:

I. Primære kyster. Formerne er præget af terrestrisk erosion og akkumulation. Det vil være naturligt at benævne kysttyperne efter den proces, der har formgivende. Således f. eks. vulkan-, brudlinie-, foldekæde-, floddal- eller moræne-kyst.

II. Sekundære kyster. Formpræget af havets virksomhed. De mindst omformede kaldes unge. Disses tværprofil (ofte blot kaldet kystprofil) kan være stabilt, d. v. s. af samme form under udviklingen. Det kan kystlinien derimod normalt ikke samtidig. Undtagelsesvis, nemlig når der foreligger »fødede« kyster — svarende til den typer, Davidsson omtaler som »labil ligevægtsform« (1956), indtræffer det dog dog. Det modsatte tilfælde kan også indtræffe. Har man f. eks. en retliniet brudlinekyst, vil dens kystlinie være stabil, dens tværprofil derimod ikke. Det stabile tværprofils geometriske form er beskrevet af P. Bruun. De unge kyster vil, som Davis beskrev det,

være i udvikling mod nogle slutformer. Disse er det, der betegnes som modne. Både kystlinie og -profil svinger omkring ligevægtsstillinger. For kystlinien synes der kun at kunne være tale om den ret-linede form. (Måske også om cirkelform teoretisk). Det sidste stadium i udviklingen er det gamle. Havets formende virksomhed er på dette helt ophørt. Det er klart, at et skema som det skitserede kræver skønsom anvendelse. Man må erkende, at et ikke alt for »tungt« inddelingsgrundlag er vanskeligt at opstille, specielt når man fordrer, at det skal kunne anvendes universelt. H. Valentin har (1954) opstillet et system, der til en vis grad opfylder betingelserne. Vigtigste skel i dette er, om kysten er i fremrykning eller tilbage-trækning. På dette grundlag kan der opstilles et holdbart system. En ulempe ved det er, at diagnosen til gengæld er temmelig vanskelig at stille; dertil kræves observation. Til gengæld samarbejder det smukt vertikalforskydningsprincippet med erosions/akkumulations-synspunktet.

Det Sydfynske Øhavs kyster er for flertallets vedkommende unge. De har været udsat for recent sænkning, så det kan ikke forbavse. Alligevel må man erindre, at adskillige delstrækninger må betegnes som modne. Hvor materialet er nogenlunde ensartet og jævnt for-delt, vil man kunne udtrykke modenhedsgraden relativt ved bølge-kraftresultantens størrelse.

SUMMARY

Among the beach-forming forces the one produced by the waves is in most cases the predominant one. The coast-researchers agree in this. The factors on which the wave-power depends are the velocity, the direction and the duration of the wind and the fetch. However, a certain doubt exists as to the relative significance of these factors. Not taking into account the existing differences of the materials of the coasts, the specific gravity, the grain-size and a great number of varying hydraulic conditions, one is justified in supposing that the transport of material (beach-drifting) along any coast – with exceptance of tidal-areas exclusively depends on the wave-power. This is true, no doubt, of the greater part of Danish coasts, which are only slightly different in construction.

On the basis of expressions for wave-power used in literature it is possible to construct geometrical resultants expressing the principal direction and the relative quantity of beach-drifting. The following expressions for movement of material (supposed identical with wave-power) corresponding to a given direction have been treated:

- 1) $K = V \times H$; $V > 4$ Beaufort as given by A. Schou (marked A. S.).
- 2) $K = V^2 \times H \times F$; V = average wing-velocity as given by Munch-Petersen (marked M. P.).

- 3) $K = V^3 \times H \times F$ an expression based on work by M. V. Lewis (marked L.) used for terrestrial phenomena in the same form by S.Y. Landberg).
- 4) $K = V^4 \times H \times F$ based on work by Peer Brun (marked P. B.).
 V = wind-velocity (Beaufort scale).
 H = frequency of wind (in percentage).
 F = fetch in kilometres.

To check the expressions quoted above, the small island of Anholt in Kattegat has been chosen as an example. Geometrical figures have been constructed as progressive vector-diagrams resembling A. Schou's direction resultant for wind-work (fig. 2). It was surprising to find that the differences in the direction of the resultants were insignificant. A. Schou's direction-resultant showed, in spite of its throughout simple construction, but little divergence from the others. Remembering that the coast-terminant is found by means of the said resultant combined with the principal direction of fetch, this is a remarkable correlation. The cause of this may be sought in the statistical tables used, in which the maximum error in the determination of the wind-direction is $22^\circ \frac{1}{2}$. Therefore, for the purpose of finding the future orientation of coast-line, A. Schou's expression is useful. If, in addition, information of the relative quantity of beach-drifting is wanted the resultant according to P. Bruun's expression is to be preferred. The P. Bruun-expression seems, both empirically and theoretically, to be applicable with a good approximation.

By means of the above-mentioned expression for wave-power and the geometrical resultant constructed on the basis of this expression some coastal localities in the archipelago south of Funen have been examined.

A great part of the coast-lines of the island of Ærø are almost linear. The cause of this is, in many cases, that the initial form of the coast has been preserved. The linear form of a coast is not affected by erosion, because the regression will be uniform in the total length of the coast. If it is a question of a short coast-line or of an accumulated coast the coast-line often is orientated at a right angle to the resultant of all wave-work. This is because the particles are moved the least when the coast-line has developed to obtain this orientation.

Turø Rev (fig. 1 and fig. 3). The orientation of the coast-line corresponds to the three directions of dominant waves.

Næbbet (fig. 1 and fig. 4) is a cusped foreland of a similar type as Dungeness at the English Channel. At Næbbet there seems (like Dungenes) not to be an initial island. These two forelands are built up of systems of recurved spits, of which the ridge- and runnel-systems bear witness.

Ommels Hoved (fig. 1 and fig. 5).

Ærø's Hale (fig. 1 and fig. 6). As the maps show, no equilibrium-form of the recurved spit can be found. The existence of such unaltered coast-line forms cannot be proved by an accumulation-type of coast like that at Ærø's Hale.

The coast-lines of *Vejsnæs Bugt* are some degree in conformity with the equilibrium-forms theoretically found by P. Brun. However, the theory

refers to real bays, and not bays in which the material is not trapped, but freely wanders through an opening, as it is the case in Vejsnæs Bugt, which has an opening to the north. The existence of equilibrium-forms of coast-lines in nature is doubted, except in cases of linear (or perhaps circular) forms; many scientists also dispute their theoretical background.

Finally, a system for classification of coasts is suggested. Like Guilcher, Shepard and others, the author is using Gulliver's system (1899). Initial or primary coasts are mainly formed by terrestrial agencies. Secondary coasts are sculptured by the sea. The latter group of coasts can be treated from the same point of view as adopted by W. M. Davis. A mature coast can then be considered as secondary coast in equilibrium, which is easily recognized as it has a linear form. Young coasts have irregular coast-lines, but develop into mature forms. In many cases the degree of maturity can be found to correspond to the resultant of wave-power. At old coast-lines the processes of the sea have come to an end.

LITTERATUR

- Bruun, Per* (1946): Ligevægtsformer for materialvandringskyster. Geogr. Tidsskr., bd. 48. København.
- Bruun, Per* (1955): Coast Stability.
- Davidsson, Jan* (1956): Måkläppen, ett uttryck för labil jämvikt inom strandzonen. Sv. Geogr. Årsbok. Lund.
- Davis, W. M.* (1912): Die Erklärende Beschreibung der Landformen.
- Egedal, J.* (1945): Variations in the Normal Height.
- Gulliver, F. P.* (1899): Shoreline Topography.
- Guilcher, A.* (1954): Morphologie Littorale.
- Jacobsen, J. P.* (1913): Bidrag til de danske farvandes hydrografi.
- Johnson, D. W.* (1919): Shore Processes and Shoreline Development.
- Lewis, V.* (1931): The Effect of Wave Incidence . . . Geogr. Journ., vol. 78.
- Munch-Petersen* (1918): Forelæsningsnoter: Bølgebev. og materialebev.
- Shepard, F. P.* (1936): Classification of Shorelines. Journ. of Geology. Vol. 46.
- Schou, A.* (1945): Det Marine Forland. Fol. Geogr. Dan. Tom. IV. Kbhvn.
- Sverdrup, H. U. & W. H. Munk* (1946): Theoretical and Empirical Relations in Forecasting Breakers and Surf. Trans. Amer. Geophys. Un. Vol. 27.
- Valentin, H.* (1954): Die Küsten der Erde.
-

refers to real bays, and not bays in which the material is not trapped, but freely wanders through an opening, as it is the case in Vejsnæs Bugt, which has an opening to the north. The existence of equilibrium-forms of coast-lines in nature is doubted, except in cases of linear (or perhaps circular) forms; many scientists also dispute their theoretical background.

Finally, a system for classification of coasts is suggested. Like Guilcher, Shepard and others, the author is using Gulliver's system (1899). Initial or primary coasts are mainly formed by terrestrial agencies. Secondary coasts are sculptured by the sea. The latter group of coasts can be treated from the same point of view as adopted by W. M. Davis. A mature coast can then be considered as secondary coast in equilibrium, which is easily recognized as it has a linear form. Young coasts have irregular coast-lines, but develop into mature forms. In many cases the degree of maturity can be found to correspond to the resultant of wave-power. At old coast-lines the processes of the sea have come to an end.

LITTERATUR

- Bruun, Per* (1946): Ligevægtsformer for materialvandringskyster. Geogr. Tidsskr., bd. 48. København.
- Bruun, Per* (1955): Coast Stability.
- Davidsson, Jan* (1956): Måkläppen, ett uttryck för labil jämvikt inom strandzonen. Sv. Geogr. Årsbok. Lund.
- Davis, W. M.* (1912): Die Erklärende Beschreibung der Landformen.
- Egedal, J.* (1945): Variations in the Normal Height.
- Gulliver, F. P.* (1899): Shoreline Topography.
- Guilcher, A.* (1954): Morphologie Littorale.
- Jacobsen, J. P.* (1913): Bidrag til de danske farvandes hydrografi.
- Johnson, D. W.* (1919): Shore Processes and Shoreline Development.
- Lewis, V.* (1931): The Effect of Wave Incidence . . . Geogr. Journ., vol. 78.
- Munch-Petersen* (1918): Forelæsningsnoter: Bølgebev. og materialebev.
- Shepard, F. P.* (1936): Classification of Shorelines. Journ. of Geology. Vol. 46.
- Schou, A.* (1945): Det Marine Forland. Fol. Geogr. Dan. Tom. IV. Kbhvn.
- Sverdrup, H. U. & W. H. Munk* (1946): Theoretical and Empirical Relations in Forecasting Breakers and Surf. Trans. Amer. Geophys. Un. Vol. 27.
- Valentin, H.* (1954): Die Küsten der Erde.
-