

## Stavns Fjord - et østdansk tidevandsområde

Af Erik Rasmussen

### Abstract

*An investigation of the hydrography and morphology of the Stavns Fjord on the island of Samsø with special reference to tides and tidal streams.*

I årene 1964-65 har der fundet undersøgelser sted af tidevand og tidevandsstrømme i Stavns Fjord beliggende på Samsø i Bælthavets nordlige del. I tilknytning hertil har to af områdets formelementer, vaden og det marine forland, været genstand for studier.

Som basis for undersøgelserne er foretaget opmålinger af dele af Stavns Fjord. Opmålingerne er baseret på Geodætisk Instituts fikspunkter og er udført dels ved pejling, dels ved nivellement i lavvandsperioden. To former for pejling har været anvendt; på flakkenes højeste dele er benyttet en primitiv form, hvor man i perioden med ringe vanddækning måler vandstanden ved hjælp af tommestok, efter at en rolig vandoverflade er etableret i et nedsænket rør, mens ekkolodning fra båd ved højvande er bragt i anvendelse over flakkenes lavere dele og over de dybeste render. Foruden disse opmålinger er udført en række linienivellementer på de tilgrænsende marine forlande. Opmålingernes omfang fremgår af kortet fig. 1.

Opmålingerne er anvendt ved udarbejdelsen af kortet over Stavns Fjord pl. I. Uden for de på fig. 1 viste opmålingsfelter er  $\div 0,2$  m-kurven og  $\div 1$  m-kurven i det væsentlige tegnet på grundlag af Geodætisk Instituts flyvebilleder i målestokken 1:10.000. Kurven for  $\div 0,2$  m har kunnet tegnes på denne måde, fordi flyvebillederne er optaget ved en vandstand meget nær dette niveau, hvilket fremgår af forløbet af grænsen mellem tørlagt og vanddækket flak på de opmålte lokaliteter. For  $\div 1$  m-kurvens vedkommende har man benyttet sig af, at denne ifølge de udførte målinger forløber på en

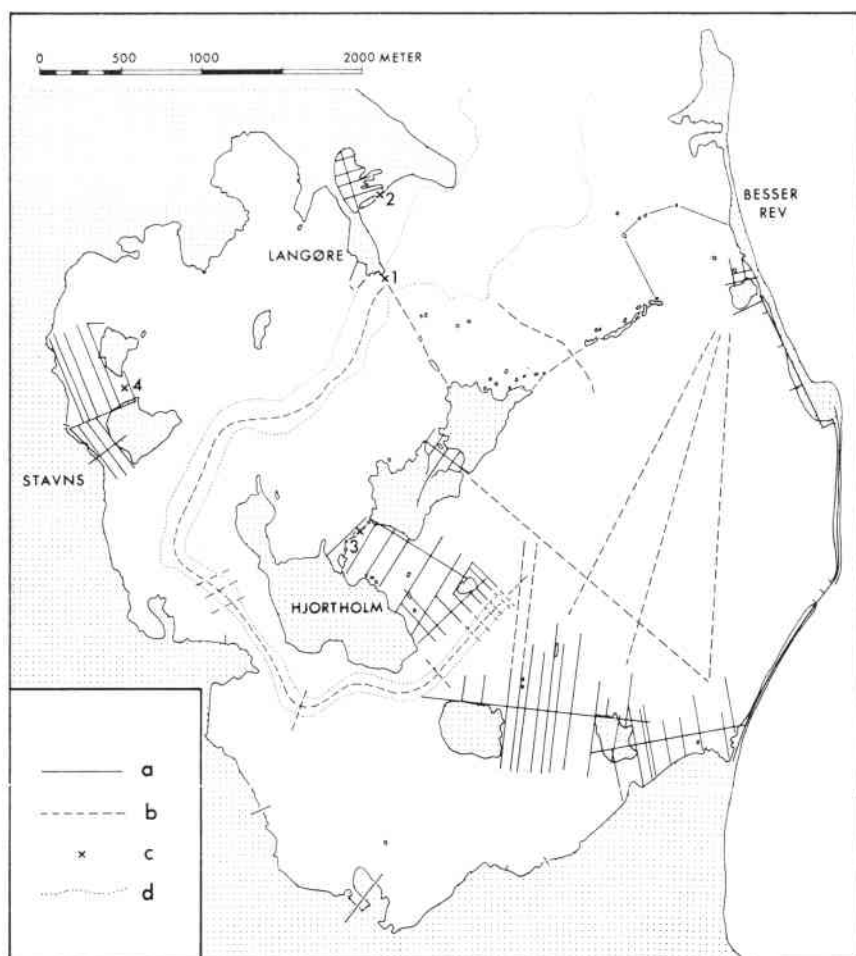


Fig. 1. Opmålingerne i Stavns Fjord 1964-65. a: nivellement og pejling på højtliggende flak samt nivellement på marint forland, b: ekkolodning, c: strømmålingsstationer, d: Hjørtholdsrenden, angivet ved det officielle søkorts  $\div 2$  m-kurve.

Fig. 1. The measurements 1964-65 in the Stavns Fjord. a: levelling and sounding on high-lying flats and levelling on marine foreland, b: echo sounding, c: spots for stream measurements, d: Hjørtholmsrenden (the main channel of the Stavns Fjord) indicated by the  $\div 2$  m contour line of the official charts.

skråflade, der danner overgang fra højtliggende til lavtliggende flak, og som de fleste steder fremtræder tydeligt på flyvebillederne. I de områder, hvor kurverne er tegnet på disse måder, besidder disse naturligvis langt fra samme nøjagtighed som kurverne i de opmålte felter. Kurverne for  $\div 2$ ,  $\div 4$  og  $\div 6$  m er uden for de opmålte felter overført fra Søkortarkivets kort.

*Tidevandet* i Stavns Fjord er undersøgt ved hjælp af en selvregistrerende vandstandsmåler opstillet ved indløbet til fjorden i Langøre havn. Måleren var placeret på havnens østlige estakade med flyder og kontravægt hængende frit i et sanylrør anbragt på estakadens inderside. På stedet er knap tre meter vand, og røret var presset et stykke ned i den bløde bund. Vandudvekslingen var sikret gennem to huller i rørets side med et samlet areal på 1 cm<sup>2</sup>.

Der er foretaget en bearbejdelse af måleresultaterne fra en periode på 33 uger (20/3-9/6 og 16/6-13/10 1965). Denne har vist, at vandstandssvingningerne foregår i tidevandsrytme (fig. 2) med en havnetid for Langøre på 10 timer 45 minutter. For hver måned er fundet det teoretiske antal højvander, og dette er sammenlignet med det registrerede antal. Det har derved vist sig, at der maksimalt „mangler“ 2 højvander på en måned. Årsagen til de manglende højvander er, at vandstandssvingningen under ekstreme vindforhold kan afvige fra tidevandsrytmen. Et eksempel herpå ses i målingen fra d. 19.-20. september 1965 (fig. 2d), hvor vandstanden er stigende i ca. 9 timer, hvorefter der er et generelt fald i vandstanden i de følgende 21 timer. Vindforhold kan også fremkalde mindre uregelmæssigheder i tidevandsrytmen såsom en fremskyndelse eller forsinkelse på indtil et par timer af højeste eller laveste vandstand i forhold til de beregnede tidspunkter. Men det må stærkt understreges, at en aperiodisk svingning som vist i fig. 2d er en undtagelse; det normale er den periodiske tidevandssvingning, som eksempelvis illustreres af målingerne fig. 2a-c. Disse målinger viser tillige, at vandstandssvingningerne foregår i forskelligt niveau til forskellig tid og med varierende amplitude.

Den gennemsnitlige differens mellem høj- og lavvandsstand er 31 cm, idet middelhøjvandsstanden er beregnet til + 17 cm og middellavvandsstanden til ÷ 14 cm. Vandstandene er angivet i forhold til Samsøs lokale nulpunkt, der er middelvandstanden i Ballen havn, og der gøres i denne forbindelse opmærksom på, at vandstandsmåleren var indstillet med en nøjagtighed af  $\pm 1$  cm. Fordelingen af højvandsstande og lavvandsstande på niveauer fremgår af fig. 3. Både for højvandsstande og lavvandsstande gælder, at de små afvigelser fra middelvandstandene findes i størst antal, mens store afvigelser kun forekommer i ganske enkelte tilfælde; afvigelsen + 78 cm i fig. 3a hidrører således fra det ovenfor omtalte ekstreme højvande. Det ses desuden, at afvigelserne fordeler sig nogenlunde ligeligt til begge sider af middeltallene. Antallet af højvander med vandstand større end eller lig med middelhøjvandsstanden svarer

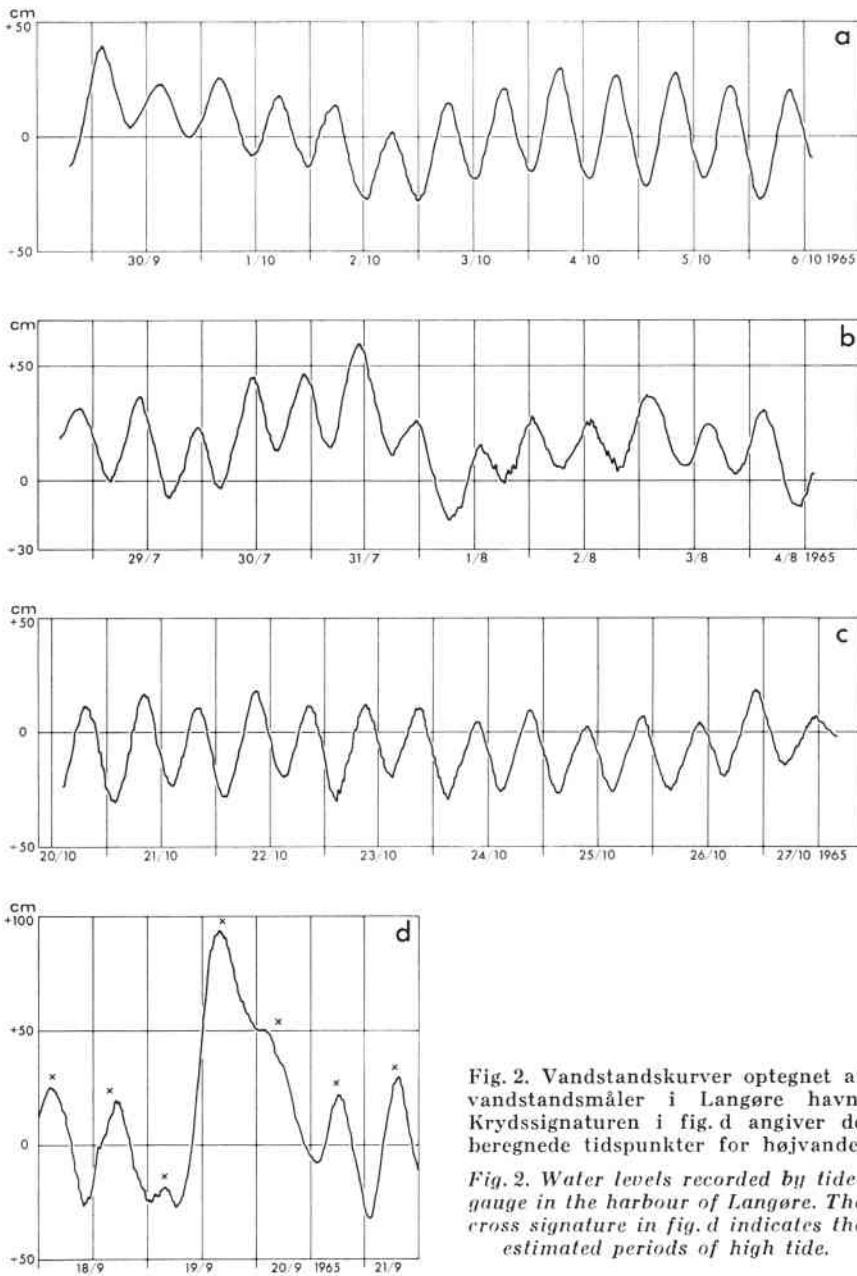


Fig. 2. Vandstandskurver optegnet af vandstandsmåler i Langøre havn. Krydssignaturen i fig. d angiver de beregnede tidspunkter for højvande.

Fig. 2. Water levels recorded by tide-gauge in the harbour of Langøre. The cross signature in fig. d indicates the estimated periods of high tide.

således til 53 % af det samlede antal højvander, mens antallet af lavvander med vandstand mindre end eller lig med middellavvandsstanden svarer til 50 % af samtlige lavvander.

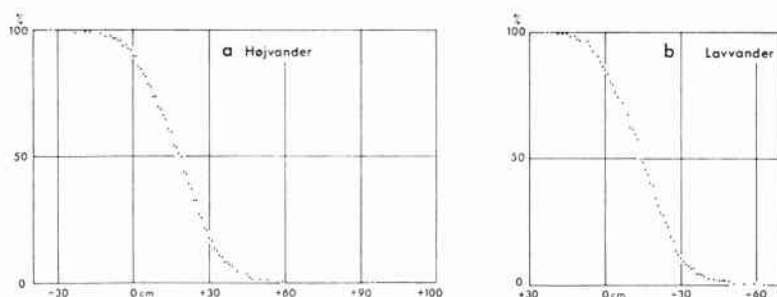


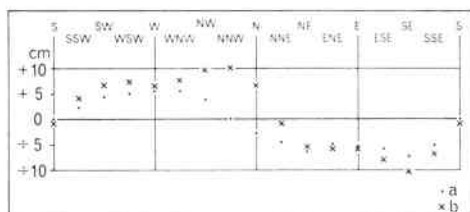
Fig. 3. Fordelingen af højvandsstande (a) og lavvandsstande (b) på niveauer.

*Fig. 3. The distribution of high tide levels (a) and low tide levels (b).*

Der er foretaget en undersøgelse af tidevandssvingningernes niveau i relation til vindforholdene. Vindobservationerne er hentet fra den meteorologiske station på Røsnæs. Disse er for hvert døgn sammenholdt med middelfvigelsen af døgnets højvandsstande fra måleperiodens middelhøjvandsstand. Da vindobservationerne tages kl. 7, er døgnnet regnet fra kl. 19 den foregående aften til kl. 19 den følgende aften. Først er der taget hensyn til alle døgn med vindhastigheder på mindst 5 knob, i alt 178 døgn. Disse er delt op i 16 grupper, der overlapper hinanden: S-SSW-SW, SSW-SW-WSW, SW-WSW-W o.s.v., og inden for hver gruppe er der foretaget en beregning af gennemsnittet af de ovennævnte middelfvigelser fra middelhøjvandsstanden. Dette gennemsnit er vist med priksignatur i fig. 4 under den centrale vindretning i hver af de 16 grupper. En tilsvarende beregning er dernæst foretaget for døgn med vindhastigheder på mindst 10 knob, i alt 112 døgn, og de fundne gennemsnit er vist med krydssignatur. De sammenhænge, der synes at fremgå af fig. 4, må tages med et vist forbehold af tre grunde: antallet af døgn i hver gruppe er ikke stort, den anvendte meteorologiske station er ikke beliggende på Samsø, og en enkelt vindobservation er langt fra altid repræsentativ for et helt døgn. Det ses imidlertid, at i begge tilfælde har vinde med østlig komponent været forbundet med højvandsstande under middel, mens vinde med vestlig komponent har givet højvandsstande over middel. De største afvigelser såvel i positiv som i negativ retning er truffet i forbindelse med de store vindstyrker ( $\geq 10$  knob). Største negative afvigelse er i begge tilfælde konstateret ved vinde fra det sydøstlige hjørne, mens de største positive afvigelser træffes ved vinde fra det nordvestlige hjørne, således at maximum ligger ved vinde omkring WNW, når der tages hensyn til alle vindstyrker på mindst 5 knob, men forskydes til omkring NNW, når kun vindstyrker på 10 knob

Fig. 4. Middelfavgivelse fra middelhøjvandsstand ved vind fra forskellige sektorer. a: vindstyrker  $\geq 5$  knob, b: vindstyrker  $\geq 10$  knob.

Fig. 4. Mean deviation from mean water level with winds prevailing from different sectors. a: wind forces  $\geq 5$  knots, b: wind forces  $\geq 10$  knots.



eller derover medregnes. Da en cyclonpassage over Danmark i de fleste tilfælde ledsages af et vindskifte fra sydøst mod nordvest, betyder dette, at en cyclonpassage ofte vil være ledsaget af ganske bestemte vandstandsændringer. Målingen fra d. 19.-20. september 1965 (fig. 2d) er et eksempel herpå. Den 19. september registreredes negative vandstande i døgnet's første timer, idet højvandet klokken fire kun bevirkede en vandstandsstigning på 6 cm til  $\div 19$  cm, en værdi lavere end middellavvandsstanden. I løbet af denne periode drejede vinden fra sydøst gennem syd til vest, der var morgentimernes vindretning. Laveste vandstand  $\div 27$  cm indtraf kl. 6<sup>15</sup>, ca. 4 timer før tidspunktet for lavvande. Derefter fulgte en vandstandsstigning på 121 cm i løbet af de følgende 10 timer frem til eftermiddagshøjvandet. Samtidig med denne stigning drejede vinden fra vest til nordvest og blæste med en styrke af omkring 25 knob. Højeste vandstand + 94 cm indtraf kl. 16, hvorefter vandet begyndte at falde, mens vinden aftog i styrke. Samme vandstand som før havstigningen nåedes først ved lavvandet 32 timer senere. Faldet fra + 94 cm til  $\div 27$  cm varede altså over tre gange så lang tid som den tilsvarende stigning. I overensstemmelse hermed var den største vandstandsstigning per time 24 cm, mens vandstanden ved faldende vand ikke på noget tidspunkt ændredes mere end 11 cm per time. Disse forhold er velkendt blandt andet fra stormfloder i det sydvestjyske vadehav. Under stormfloden d. 16-17. februar 1962 varede ebbestrømmen ved Havneby således  $2\frac{1}{2}$  gange så længe som flodstrømmen (B. Jakobsen 1964). Det bemærkes endvidere, at den negative vandstandsændring i modsætning til den positive ikke havde et uafbrudt forløb, men prægedes af de to højvander, der indtraf inden for dette tidsrum. Højvandet, der efter beregningerne skulle kulminere klokken fem, bevirkede således en standsning af ebbestrømmen i cirka to timer, men ingen vandstandsstigning; en sådan registreredes først ved aftenhøjvandet, hvor vandstanden steg 30 cm efter en laveste vandstand på  $\div 8$  cm.

Den beskrevne kombination af vandstand og vindretning er af

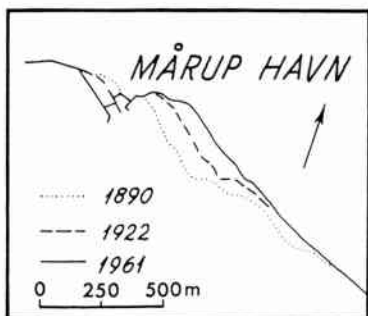


Fig. 5. Erosion og akkumulation ved Mårup havn på Nordsamsø.

Fig. 5. Erosion and accumulation at the harbour of Mårup, North Samsø.

interesse ved vurdering af erosionsforløbet på sydvendte kyster. Som eksempel skal omtales en kyststrækning på Nordsamsø umiddelbart øst for Mårup havn. Der findes her et marint forland, Mårup Vestermade, der har været under nedbrydning gennem længere tid. Erosionen har angrebet på en strækning af knap en kilometer, og kysten er siden 1890 rykket indtil 150 m tilbage (fig. 5). Årsagen til erosionen er Mårup havn, der forstyrrer den naturlige materialvandring. Vinde fra sydvestlige retninger vil kunne rejse store bølger i kraft af et langt frit stræk og betydelig vanddybde. Disse bølger vil slå hårdt ind på kysten ved Mårup, hvorfor man umiddelbart må forvente, at kuling og storm fra sydvest må have stor betydning for erosionen på denne kyststrækning. Under den omtalte cyclonpassage var vandstanden imidlertid negativ (varierende mellem  $\div 19$  og  $\div 27$  cm) i hele den periode, hvor vinden blæste fra sydlige retninger. Som følge heraf udspilledes den marine aktivitet langt fra forlandskanten uden mulighed for at påvirke denne direkte. I en tilsvarende situation om eftermiddagen d. 25/6-1965 blæste en sydvestkuling med en hastighed på over 20 knob, samtidig med at der målttes vandstande ned til  $\div 18$  cm, og det tørlagte strandplan neden for forlandskanten havde en bredde af indtil 10 m. Fig. 6 viser lokaliteten d. 19/4-1965, hvor vindstyrken i en sydvestlig kuling ligeledes oversteg 20 knob, mens der registreredes vandstande ned til  $\div 19$  cm. I alle disse tilfælde var en øjeblikkelig nedbrydning af forlandskanten udelukket, men en eventuel erosion på strandplanet kan naturligvis indirekte have betydning for forlandets erosion, idet dette herigennem gøres mere sårbart over for senere angreb ved højere vandstand. Direkte nedbrydning af forlandskanten kunne imidlertid konstateres under sidste del af cyclonpassagen, hvor vandstanden var høj samtidig med at vinden blæste fra nordvest, således at lokaliteten lå delvis i læ af Nordsamsøs vestlige bakkeland. Vindstyrken i Mårup Vester-

made oversteg således ikke 12 knob, mens der på samme tid målttes 26 knob på Nordby Hede. Fig. 7 viser kombinationen af høj vandstand og et moderat bølgeslag, hvis retning skyldes bølgefronternes drejning omkring Nordsamsøs sydvesthjørne, Asmindør Hage. Det ses, at forlandet angribes på to forskellige måder: hvor forlandskanten er lav, løber vandet ind over forlandet på en bred front og danner ved sit tilbageløb meterlange erosionskløfter, mens der på steder med højere forlandskant sker en underminering af denne. Under cyclonpassagen d. 19/9-1965 skete der således kun nedbrydning af forlandskanten under den afsluttende nordvestlige kuling. Dog kan forlandskanten undertiden angribes direkte ved kuling fra sydvest, idet sydvestlig kuling ikke altid er kombineret med lav vandstand. Et eksempel herpå er d. 26/8-1965, hvor vinden blæste fra sydvest med en hastighed af 30 knob, og hvor højeste vandstand var + 59 cm. Det er imidlertid et åbent spørgsmål, hvilken kombination af vindretning og vandstand der ved opsummering betyder mest for erosionen i Mårup Vestermade. Spørgsmålets besvarelse kræver observation over en længere årrække, således at kombinationernes hyppighed kan bestemmes, ligesom omfanget af erosionen på strandplanet må undersøges.

*Tidevandsstrømmene* er målt ved hjælp af propelstrømmåler på de i fig. 1 viste målestationer. Fra Hjortholmsrenden ud for Langøre (station 1) foreligger en serie observationer, mens der fra de øvrige steder kun findes enkeltmålinger.

Målingerne i Hjortholmsrenden er ikke udført over dennes dybeste del, idet målinger her kun ville kunne gennemføres i gunstigt vejr med de til rådighed værende både. Da målinger under ugunstige vejrforhold har mindst lige så stor interesse, er det i stedet valgt at foretage målingerne ved hjælp af en fast opstilling i rendens vestlige del så langt ude i renden som praktisk muligt, hvilket viste sig at være ca. 15 m fra land på en dybde af 2,25 m. Propellen placeredes 50 cm over bunden i kote  $\div$  1,75 m, og blev forbundet til et tællværk på land, således at størstedelen af en måling kunne udføres herfra. Et udvalg af målinger er vist i fig. 8, der tillige viser vandstandssvingningerne i måleperioderne. Indgående strøm er regnet positiv og udgående negativ. Det ses af kurverne, at et strømskifte er indtruffet i alle måleperioder uanset de herskende vindforhold. Den maximale registrerede strømhastighed er 54 cm/sec. (fig. 8b), der er målt på en dag, hvor vandet faldt 46 cm fra højvande kl. 5<sup>30</sup> til lavvande kl. 13. Den maximale hastighed indtraf mellem kl. 9 og 9<sup>30</sup>, altså ved halv vandtid; bemærk den forlængede





Fig. 6. Kysten øst for Mårup havn under en sydvestlig kuling med kraftig bølgeaktivitet, men lav vandstand.

*Fig. 6. The coastline east of Mårup harbour during a south-westerly gale with strong wave activity, but low water level.*

udstrømningsperiode, der sikkert må sættes i forbindelse med den ret kraftige vind fra sydøstlig retning. Fig. 8c og 8d illustrerer strømforholdene på dage med ringe vandstandsændringer, henholdsvis et fald på 21 cm på  $5\frac{1}{2}$  time og en stigning på 20 cm på  $7\frac{1}{2}$  time. De maximale strømhastigheder er i disse tilfælde 31 cm/sec. og 23 cm/sec. Da vandstandssvingninger mindre og langsommere end den sidstnævnte forekommer meget sjældent, vil man på dette sted kunne regne med at måle strømhastigheder på over 20 cm/sec. næsten alle dage i året; en undtagelse er dog perioder med isdækning af fjorden, hvor tidevandssvingningen dæmpes betydeligt. Strømhastigheder på mere end 50 cm/sec. forekommer ikke dagligt, men er dog ikke sjældent forekommende; en forskel mellem høj- og lavvande på 46 cm (fig. 8b) eller derover er således konstateret 76 gange i perioden 20/3-31/10 1965. Målingerne fig. 8c og 8d viser forskydning af tidspunktet for strømskifte i forhold til tidspunkterne for lavvande og højvande. I det første tilfælde fortsætter den indgående strøm i næsten to timer efter højvande, mens i det andet tilfælde den udgående strøm vedvarer mindst 50 minutter efter lavvande. Fra det sydvestjyske vadehav er det velkendt, at vandet i Grådyb vedbliver at være indgående efter højvande, fordi bassinet, som Grådyb fører ind til, endnu ikke er fyldt, og udgående efter



Fig. 7. Kysten øst for Mårup havn under en nordvestlig kuling med moderat bølgeaktivitet, men høj vandstand.

*Fig. 7. The coastline east of Mårup harbour during a north-westerly gale with moderate wave activity, but high water level.*

lavvande på grund af tilstrømning af vand fra vaderne. Om forskydningerne af strømskiftet i Hjortholmsrenden kan forklares på lignende måde, tør jeg ikke sige; dertil savner jeg målinger fra de øvrige indløb til fjordbassinet. Imidlertid er der ved strømmålinger i det nordøstlige indløb til Lillehavet nord for Langøre (station 2) påvist udgående strøm i en time efter lavvande (fig. 9a); i det sidste kvarter var strømmen dog så svag, at den ikke kunne måles med propelstrømmåleren, men vandplanternes orientering angav dens retning. Vandstanden er målt i selve indløbet, og her er der ingen tvivl om, at årsagen til den fortsatte udstømning er den samme som i det sydvestjyske vadehav: tilstrømning af vand fra vaderne. Sammenholder man fig. 9a med pl. I ser man således, at næsten hele Lillehavet var tørlagt ved lavvande den pågældende dag, så at området fungerede som et vadehav en miniature. Endvidere sættes indløbet nærmest Langøre ud af funktion allerede ved en vandstand på  $\div 10$  cm (fig. 10), hvorefter indløbet ved Lilleøre er alene om at klare tømningen af bassinet. Dette resulterer i en kraftig strøm i den snævre rende; 46 cm/sec. er den største registrerede værdi. Strømmålingerne er foretaget 10 cm over bunden i midten af renden, og på samme sted er vandets temperatur målt dagen igennem. Solen skinnede i hele måleperi-

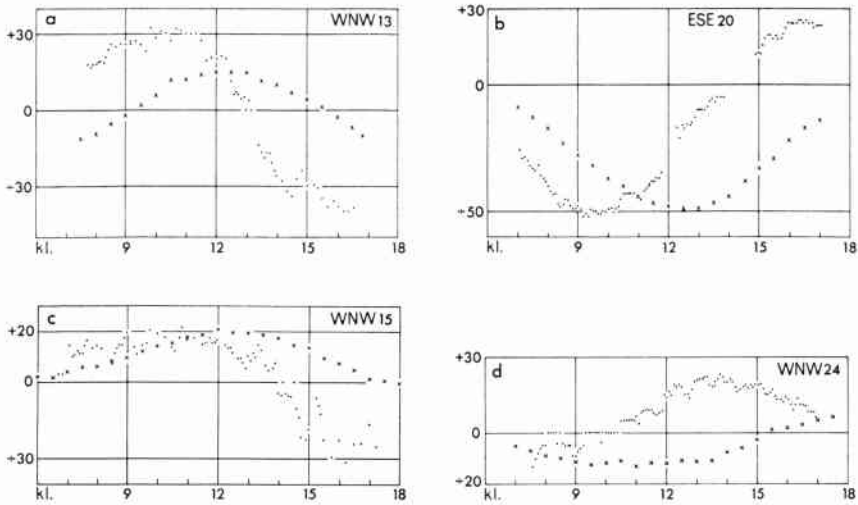


Fig. 8. Strømhastigheder i cm/sec (priksignatur) og vandstande i cm (krydssignatur) fra Hjortholmsrenden ved Langøre (station 1, fig. 1). Endvidere angivelse af vindobservationerne kl. 7 fra den meteorologiske station på Røsnæs.

Fig. 8. Tidal stream velocity in cm/sec (dot signature) and water levels in cm (cross signature) from Hjortholmsrenden at Langøre (station 1, fig. 1). For practical reasons the stream measurements could not be taken in the middle of the channel; the propellor was placed at a depth of  $\div 1,75$  m below mean water level, 0,5 m above the bottom and 15 m from the edge of the channel. From the meteorological station at Røsnæs the wind observations at 7 h a.m. are indicated.

oden, og vandets temperatur steg jævnt fra  $21,2^{\circ}$  kl.  $11^{20}$  til  $25,8^{\circ}$  kl.  $15^{00}$ ; derefter faldt temperaturen langsomt til  $25,4^{\circ}$  kl.  $16^{05}$ , hvorpå der indtraf et pludseligt temperaturfald på over  $5^{\circ}$  til  $19,8^{\circ}$  kl.  $16^{30}$ . Dette temperaturfald er nøje sammenfaldende med strømskiftet, og de høje temperaturer i perioden forud er udtryk for en stærk opvarmning af et tyndt vandlag på vaderne i Lillehavet. Dette fremgår tydeligt af en måling af overfladevandets temperatur i en lille vig i den nordlige side af renden uden for det strømmende vand; temperaturen fandtes der kl.  $14^{15}$  til  $21,6^{\circ}$ , mens vandet, der strømmede ud fra Lillehavet, var  $25,5^{\circ}$  varmt. En tilsvarende måling udførtes kl.  $16^{30}$ , hvor forholdet var det omvendte; det stillestående vand var nu  $23,6^{\circ}$  varmt, mens temperaturen af det vand, der strømmede ind i Lillehavet udefra, var  $19,8^{\circ}$ . Med hensyn til vandtemperaturer kunne der altså også konstateres en analogi til det sydvestjyske vadehav.

En strømmåling fra den største rende mellem Hjortholm og Mejlesholm (fig. 9b) er interessant derved, at den maximale strømhastighed for det udgående vand indtræffer allerede ca. 2 timer

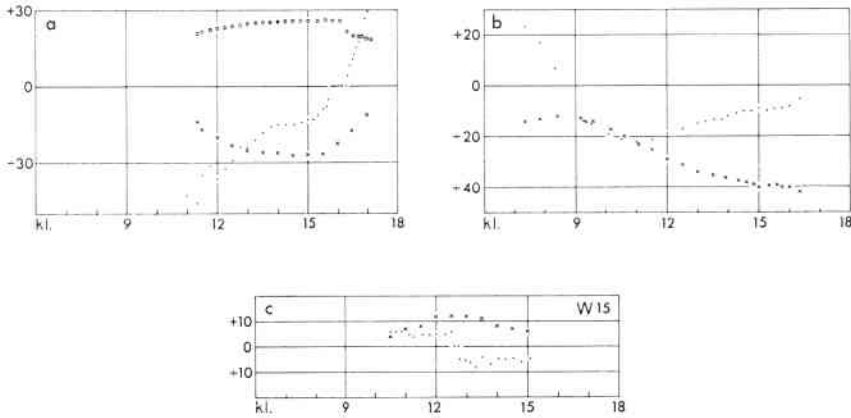


Fig. 9. Strømhastigheder i cm/sec (priksignatur) og vandstande i cm (krydssignatur) fra a: indløb til Lillehavet (station 2, fig. 1), b: rende mellem Hjortholm og Mejlesholm (station 3) og c: farvandet mellem Sværm og Ægholm (station 4). I fig. a endvidere angivelse af vandtemperaturer i °C (cirkelsignatur) og i fig. c. angivelse af den lokale vinds retning og middelhastighed i knob i måleperioden.

*Fig. 9. Tidal stream velocity in cm/sec (dot signature) and water levels in cm (cross signature) from a: inlet to Lillehavet (station 2, fig. 1), b: channel between Hjortholm and Mejlesholm (station 3) and c: the water between Sværm and Ægholm (station 4). All measurements were taken in the middle of the channels 10 cm above the bottom. Fig. a also shows the water temperature in °C (circle signature) and fig. c the direction and mean speed of the local wind during the measurement period (in knots).*

efter strømskifte. Dette hænger antagelig sammen med, at der netop ved denne tid nås en så lav vandstand, at ryggene fra Mejlesholm til Karlskold og fra Karlskold til Hjortholm tørlægges (pl. I). Mens renden indtil da har tjent som et af Østerfjordens afløb, begrænses den nu til at være afløb for bassinet mellem Mejlesholm, Karlskold og Hjortholm. Fig. 9c viser endelig en strømmåling foretaget på det dybeste sted mellem Sværm og Ægholm. Her findes ikke nogen egentlig rende, men kun en bred lavning, hvorfor tidevandsstrømmen ikke intensiveres i samme grad som på de hidtil omtalte steder. Det skal dog straks siges, at hastigheder større end de i fig. 9c viste meget vel kan måles; der er således målt op til 20 cm/sec. på andre andre. Når jeg imidlertid har valgt at bringe netop denne måling, skyldes det et ønske om at vise tidevandsstrømmen under de mest ugunstige betingelser: lille tidevandsamplitude og kraftig vind på langs ad lavningen. Det ses, at tidevandsstrømmen også i dette tilfælde let kan erkendes, og at den lokale vind hverken formår at bremse det indgående vand eller accelerere det udgående.

*Vaderne.* Den mest iøjnefaldende landskabelige effekt af tidevandet i Stavns Fjord er forekomsten af vader. Da tidevandssving-

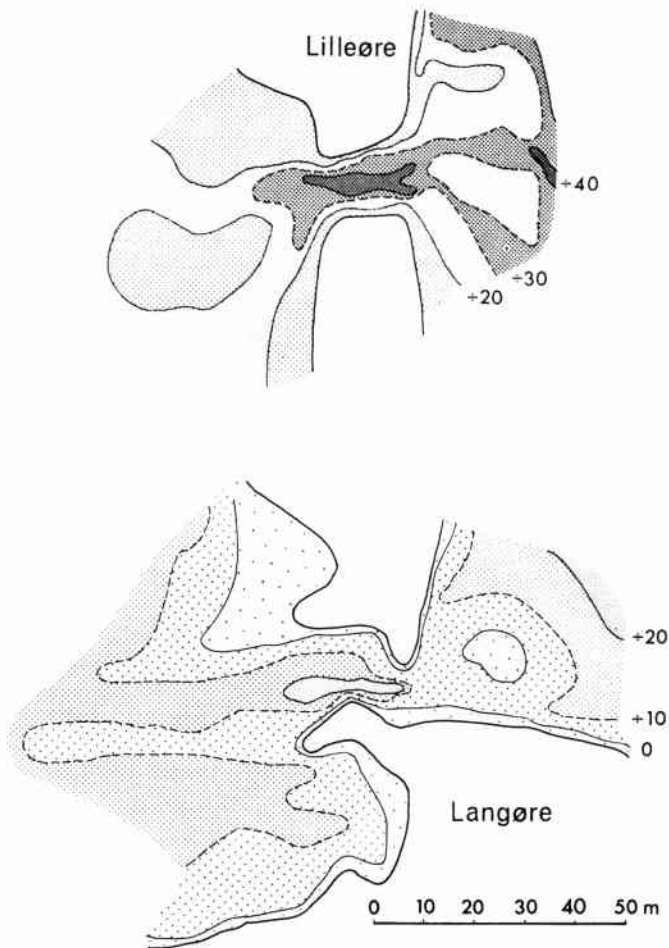


Fig. 10. Indløbene til Lillehavet nord for Langøre (sammenlign pl. I). Dybdeangivelser i cm. Bemærk barredannelserne ved begge ender af løbene.

Fig. 10. The inlets to Lillehavet north of Langøre (cf. pl. I). Depths indicated in cm. Notice the bar formations at both ends of the channels.

ningen som tidligere nævnt udspilles i forskelligt niveau til forskellig tid, er vadernes udstrækning varierende fra dag til dag, og ved ca. 25 % af de registrerede lavvander fandtes i realiteten ingen tørlagt vade uden for forlandskanten. I Stavns Fjord udslettes vadfænomenet således langt oftere end i det sydvestjyske vadehav, hvilket naturligvis skyldes, at vindstuvningen her på grund af den mindre tidevandsamplitude har lettere ved at flytte svingningen op i et niveau, hvor den ikke bevirker tørlægning af nogen del af flakket. Vadfænomenet optræder ofte i perioder; mens det således



Fig. 11. Vade i Stavns Fjord med ebbevejen til øen Sværm.

*Fig. 11. Tidal flat in the Stavns Fjord with the ebb-road to the island of Sværm.*

manglede næsten totalt i ugen 28/7-4/8 1965 (fig. 2b) oplevede man i ugen 20/10-27/10 1965 (fig. 2c) en regelmæssig skiften mellem tørlægning og vanddækning ca. hver sjette time hele ugen igennem. Kurven for  $\div 20$  cm er vejledende med hensyn til vadernes udstrækning, idet områderne oven for denne kurve tørlagdes ved 36 % af de registrerede lavvander, mens området over  $\div 10$  cm-kurven var uden vanddækning under 63 % af lavvanderne. Det fremgår af pl. I, at felter beliggende over  $\div 20$  cm-kurven forbinder Sværm og Ægholm med området ved Stavns, Brokold med Eskeholm og Mejlesholm med Yderste Holm; endvidere findes langs alle fjordkysterne arealer over  $\div 20$  cm med en bredde varierende fra 150 m til nogle få meter. En typisk vade ses på fig. 11, der viser ebbevejen til Sværm ved lavvande på en dag med tørlægning ned til omkring  $\div 20$  cm. Ebbevejen ses at ligge hen som en vandfyldt lavning i den ellers tørlagte vade, hvilket er ganske analogt med forholdene ved Mandø Ebbevej, og ligesom på denne køres der også her ved siden af vejsporet for at fordele erosionen over et større felt. Basis for vaderne i Stavns Fjord er abrasionsflader udformet i morænemateriale. Ovenpå morænen findes et sandlag, der i størstedelen af vadearealet har en tykkelse på kun 10-20 cm. Den typiske vade er en sandormevade, men nærmest forlandet træffes også sandormefri vader (fig. 17); grænsen mellem disse to morfologiske typer er mange steder overordentlig skarp. De rene

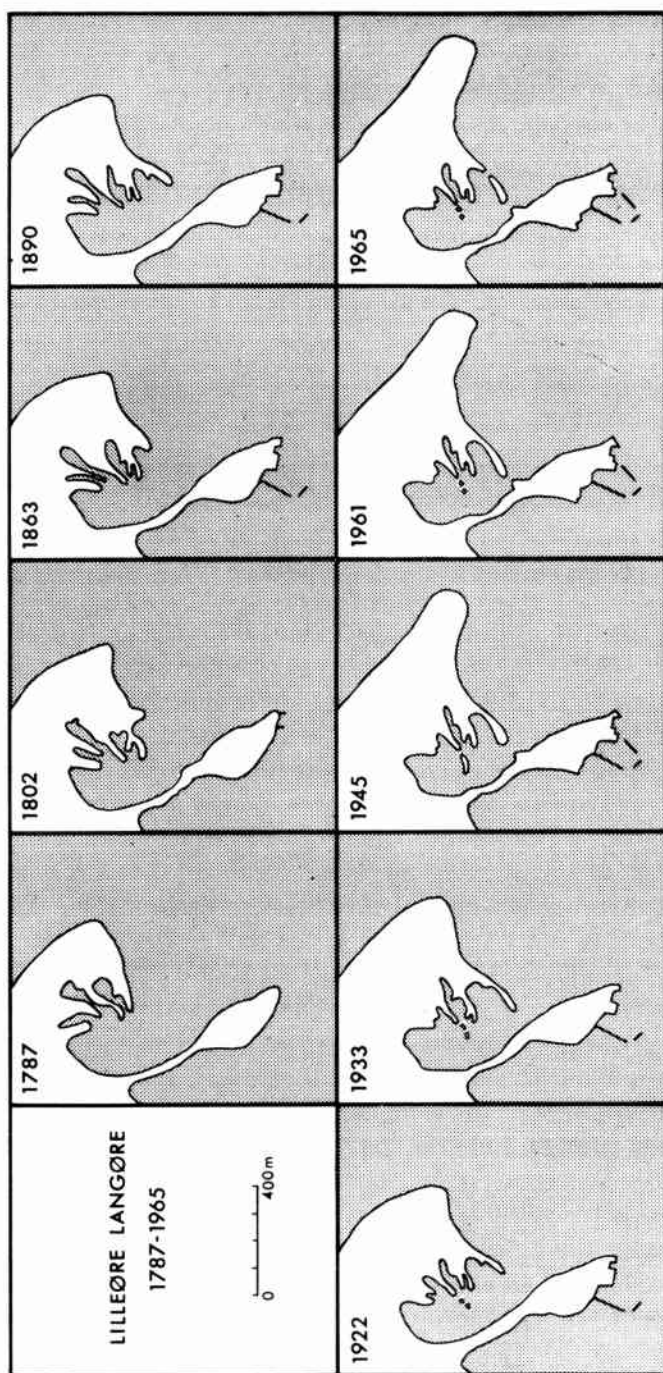


Fig. 12. Lilleøre-krumoddesystemets udvikling 1787-1965 baseret på topografiske kort (1787-1922) og flyvebilleder (1933-65). Bemærk den betydelige vækst efter 1933.

Fig. 12. The development 1787-1965 of the Lilleøre recurved spit complex based on topographic maps (1787-1922) and air photographs (1933-65). Notice the significant growth after 1933.

sandvader har stor lighed med de sydvestjyske vader, men derudover findes i Stavns Fjord en række vadestrækninger med et landskabeligt særpræg helt forskelligt fra disse takket være en stor rigdom på blokke i den underliggende abrasionsflade. Sådanne vader træffes i særlig smuk udformning på Yderste Holms nordside og nord for Kolderne, hvor der begge steder findes mere end tusind blokke på vaden. Vaderne i Stavns Fjord har tidligere haft større udstrækning, idet en meget lavvandet vig i fjordens vestlige del i slutningen af forrige århundrede blev forvandlet til den nuværende Stavns Madeinddæmning ved bygning af dæmninger mellem Stavns Mark og Gammelholm og mellem Gammelholm og Alstrup Mark. Umiddelbart vest for hoveddæmningen fandtes en nord-sydgående ebbevej, hvilket fortæller om ringe dybde, selv i vigens østligste del. I dag eksisterer der endnu tre ebbeveje i Stavns Fjord, idet der foruden ebbevejen til Sværm findes ebbeveje førende over til Ægholm og Eskeholm (pl. I). Alle tre holme er opdyrkede, og kørslen er hovedsagelig traktorkørsel med landbrugsmaskiner.

*Det marine forland* omkring Stavns Fjord varierer i alder fra litorinatransgressionerne til vore dage. Visse forlandsdannelsers alder kan bestemmes ved studium af topografiske kort og flyvebilleder. Krumoddesystemet Lilleøre (fig. 12) er et godt eksempel herpå, idet landdannelsen her har kunnet følges gennem ni registreringer fra 1787 til 1965. De anvendte kilder er 1787: Videnskabernes Selskabs originalkort, 1802: en opmåling foretaget af kaptajn Tide-mand i forbindelse med skansebefæstningen af Lilleøre under Napoleonskrigen, 1863: Generalstabens originalkort, 1890 og 1900: målebordsblade, 1933, 1945 og 1961: flyvebilleder og 1965 egen revision af 1961-flyvebilledet. Det bemærkes, at krumoddevæksten for det første har resulteret i dannelse af en odde, der efterhånden har dannet en mere og mere effektiv afspærring af Lillehavet og i 1961 var nået næsten over til Langøre, idet åbningen var snævret ind til 20 m. Dette hul har øjensynlig ikke været i stand til at klare Lillehavets vandudveksling under alle forhold; i hvert fald sprængtes i 1962 et hul i odden ikke langt fra dens basis, og den rende opstod, der allerede er omtalt i forbindelse med de udførte strømmålinger. Derudover er der dannet en strandvoldsslette, der har øget landarealet i sydøstlig retning ud mod Hjortholmsrenden. Strandvoldssletten, der har en bredde af ca. 150 m og en længde af over 200 m, er i alt væsentligt dannet efter 1933. Hvad der er årsagen til denne pludselige vækst vides ikke, men det er nærliggende at opfatte denne til støtte for den almindelige antagelse,



at ålegræssets næsten totale udryddelse i 1933 skulle have muliggjort en større erosion på flakkene og dermed større sedimenttransporter.

Den historisk-kartografiske dateringsmetode har ligeledes fundet anvendelse i selve Stavns Fjord; det gælder således forlandet ved Alstrup samt Barnekold og Brokold (fig. 13). På disse forlande er dernæst udført en række linienivellementer; profilerne optegnet på grundlag heraf ses på fig. 14, mens liniernes beliggenhed fremgår af fig. 1. Ved betragtning af profilerne fra Barnekold og Alstrup forland er det iøjnefaldende, at disse viser en klintdannelse, hvis fod ligger omkring kote 0, og hvis top befinder sig omkring + 50 cm. På Barnekold ses bag denne klint en flade beliggende omkring kote + 60 cm, som efterfølges af en lavere liggende flade, der atter afløses af en noget udjævnet klint, der når en højde af + 70 cm. En sammenligning med fig. 13 viser, at den udjævnede klint svarer til kystlinien i 1787, og at hele det foranliggende forland er dannet siden da. Det er hermed vist, at forland i Stavns Fjord under de nuværende vandstandsforhold i hvert fald kan bygges op til + 60 cm. Man kan imidlertid ikke heraf slutte, at marint forland alle steder i Stavns Fjord vil kunne nå 60 cm-niveauet med den nuværende vandstand. En relativt ubeskyttet beliggenhed med mulighed for en vis bølgevirkning er således et fælles træk for de to omtalte lokaliteter. Om niveauet på beskyttede lokaliteter giver Brokold-profilen (fig. 14c) oplysninger. Dette profil gennemskærer den siden 1787 dannede flade (fig. 13), og det ses, at denne er beliggende omkring + 40 cm. Recente flader med en tilsvarende beskyttet placering i en bugt på Mejlesholms nordøstside og bag en krumodde på vestsiden af Albuen på Besser Rev er for størstedelen beliggende mellem + 30 cm og + 40 cm. Det er således godtgjort, at på beskyttede lokaliteter kan forlandsdannelsen under de herskende vandstandsforhold i hvert fald foregå til en højde af + 40 cm.

I Stavns Fjord kan forland i dag opstå på mindst tre forskellige måder: ved krumoddevækst, ved tueformet opvækst og ved klintdannelse. Alle former kendes fra det sydvestjyske vadehav, og den der anvendte terminologi vil blive benyttet. Krumoddevækst træffes især på de ubeskyttede kyster omkring indløbet til Stavns Fjord. Lilleøre-systemet er beskrevet, og en pendant hertil udgøres af Havnehage, der danner nordspidsen af Besser Rev. Den tueformede opvækst er i Stavns Fjord navnlig karakteristisk for de omtalte lavtliggende forlande dannet på beskyttede lokaliteter. I bugten

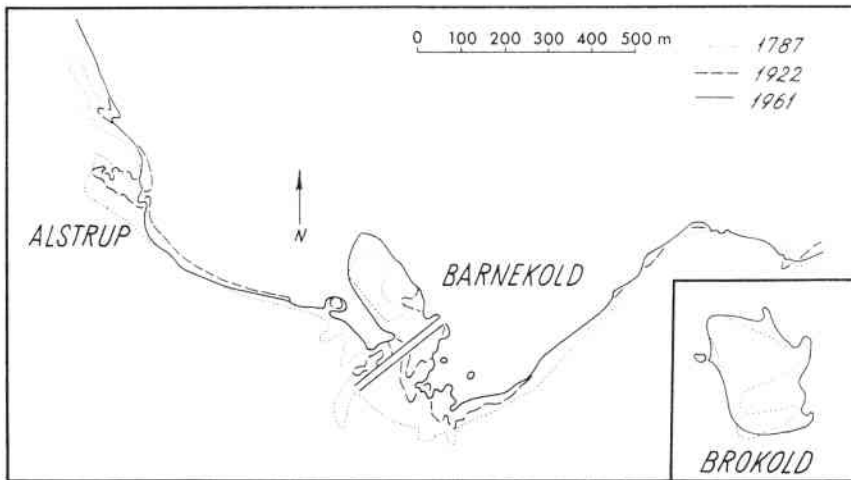


Fig. 13. Den recente dannelse af marint forland på udvalgte lokaliteter i Stavns Fjord.

Fig. 13. The recent formation of marine forelands at selected locations in the Stavns Fjord.

mellem Mejlesholm og Yderste Holm træffes et tidligt stadium i denne form for landdannelse. Opvæksten foregår i form af et uhyre antal ganske små annelgræstuer, der er jævnt fordelt over de mest landnære dele af vaden med en indbyrdes afstand af ca. 10 cm. De enkelte annelgræstuer er 10-15 cm høje, og forlandet er på grund af det småtoppede relief særdeles vanskeligt at færdes i. Efterhånden som tuerne vokser, dannes større sammenhængende flader, samtidig med at niveauet hæves. Til gengæld gennemskæres forlandet nu af en mængde uregelmæssige, oftest langstrakte huller, der eroderes af bølgeslag og strøm, når vandet ved store højvander overskyller forlandet. Disse huller findes ikke i det ganske unge usammenhængende forland, men er typisk for de mere modne stadier. Brokoldfladen er et godt eksempel på et sådant gennemskåret forland. Render med tidevandsstrøm under normale vandstandsforhold er sjældne i forlandene ved Stavns Fjord. Den største rende med forbindelse til fjorden findes i den lave marine flade på Albuen. Mundingen er imidlertid her oftest spærret af sandbarrer med mægtige tangvolde med det resultat, at renden kun sjældent fungerer som en lo. En lo af ganske ringe format træffes derimod i et forland dannet imellem to odder i Lilleøres krumoddesystem. Renden forbinder Lillehavet med et lille vandfyldt bassin i forlandet og har en gennemsnitsbredde på kun 30 cm. I denne rende er der

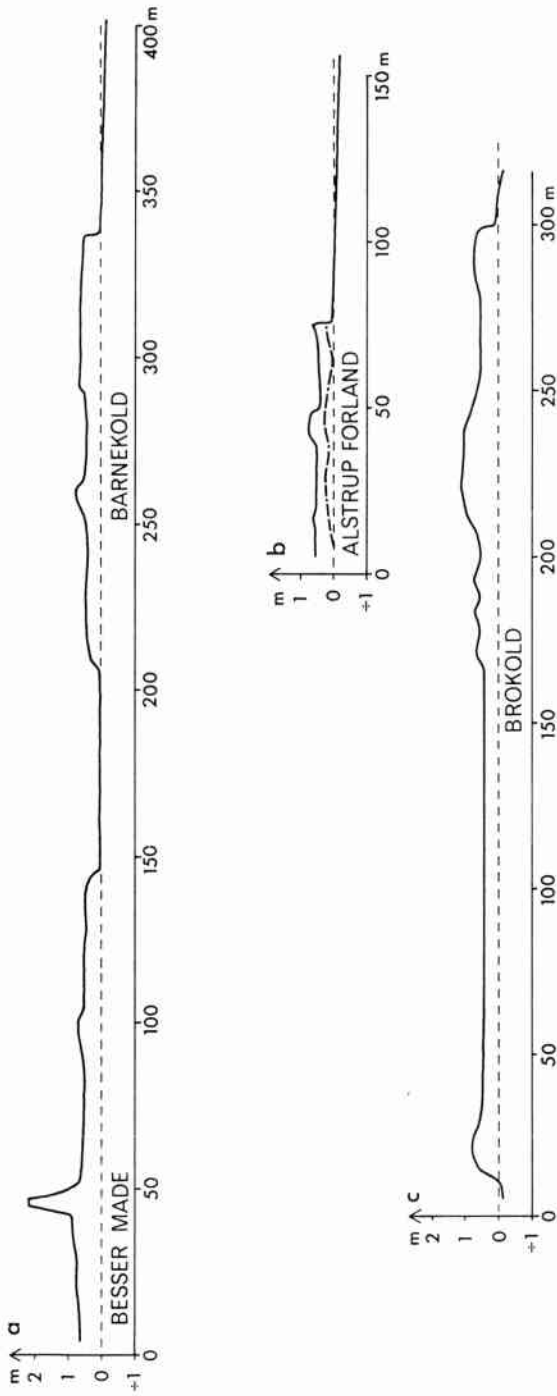


Fig. 14. Profiler af de marine forlande fig. 13. Profilernes placering se fig. 1. I Alstrup forland er med særlig signatur vist grænsen mellem forlandssediment og vadesand.

Fig. 14. Profiles of the marine forelands fig. 13. The location of the profiles appears from fig. 1. For the Alstrup foreland a special signature indicates the border between foreland sediment and the sand of the tidal flat.

under normale vandstandsforhold målt tidevandsstrømme på indtil 18 cm/sec. Renden er specielt interessant derved, at den i en mæander i sin øvre del indeholder nogle i forhold til dens ringe størrelse særdeles veludviklede skår og banker (fig. 16), hvilket tyder på anselig strømstyrke i forbindelse med større højvander.

Forøgelse af landarealet ved klintdannelse træffes mange steder i Stavns Fjord. Typiske eksempler er Barnekold og forlandet ved Alstrup. På Barnekold træffes to klinger, på forlandet inden for Barnekold to og ved Alstrup tre. Klinerne ses tydeligt på profilerne fig. 14, dog mangler den inderste klint på profilet fig. 14b. Bag klinerne findes langstrakte til dels vandfyldte lavninger, som i hvert fald for Alstrup-forlandets vedkommende tåler sammenligning med tilgroede landprier. For at forbedre afvandingen har man opdelt forlandet i agre med mellemliggende render på tværs af klinerne retning. Ved boreriger i Alstrup-forlandets ydre del er det lykkedes at påvise, at klintdannelsen foregår efter samme princip i Stavns Fjord som i det sydvestjyske vadehav. Den stiplede linie i fig. 14b angiver grænsen mellem forlandssediment og vadesand. Der kan iagttages ganske tydelige 20-30 cm høje revledannelser, på hvis overflade annelgræs har kunnet trives og påbegynde opbygning af forlandet gennem fastholdelse af sediment. Sedimentet kan iagttages ved forlandskanten, idet denne mange steder er udformet som en erosionsklint. Erosionsklinerne, der når en højde af ca. 50 cm, afslører, at forlandssedimentet er tydeligt lagdelt med vekslende lyse og mørke lag. I et af profilerne optaltes i alt 88 lag, der vekslede i tykkelse fra 1 til 10 mm. I såvel de mørke som de lyse lag fandtes den overvejende del af sedimentet at tilhøre sandfraktionen; forskellen mellem lagene bestod først og fremmest i et forskelligt indhold af humus; i de mørke lag kunne plantester skelnes med det blotte øje. Mens der er stor landskabelig lighed mellem Alstrup-forlandet og forlandene ved det sydvestjyske vadehav, er der således en væsentlig forskel i sedimentets karakter, idet klæg ikke er konstateret i forlandet ved Alstrup. I det inddæmmede område syd for Stavns kan den oprindelige forlandskant iagttages mange steder. Forlandet er også her opbygget af sand, men adskiller sig navnlig i forårsmånederne tydeligt fra den forhenværende vade ved en lysere farvetone, der skyldes mindre fugtighed som følge af det højere niveau. Et eksempel på igangværende klintdannelse træffes ved Stavns. Her findes ca. 10 m fra forlandskanten en lille holm med det for en marskklint typiske profil

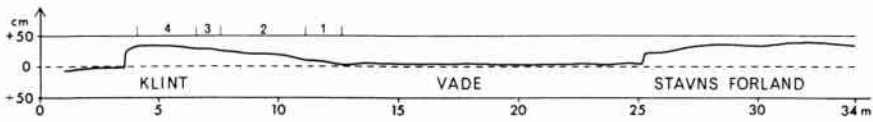


Fig. 15. Tværsnit af lille holm i Stavns Fjord (fig. 17) med profil og vegetation svarende til en marskklint. Angående de fire vegetationszoner se teksten.

*Fig. 15. Cross section of a small islet in the Stavns Fjord (fig. 17) with profile and vegetation as a marsh cliff.*

(fig. 15 og 17). Ligesom en marskklint viser holmen en udpræget opdeling i vegetationszoner betinget af højdeforholdene. Zone 1 på profilet domineres af *Puccinellia maritima* (annelgræs), og sammen med det vokser en del *Aster tripolium* (strandasters) og enkelte eksemplarer af *Plantago maritima* (strandvejbred). De samme planter genfindes i zone 2, blot er strandvejbred her den dominerende plante; desuden optræder i zone 2 *Limonium vulgare* (tæt blomstret hindebæger), hvis nedre grænse på dette sted er ca. + 10 cm. Zone 3 indeholder alle planter, der findes i 2. zone, men dertil kommer talrige eksemplarer af *Obione portulacoides* (stilkløs kilebæger), hvis nedre grænse her synes at ligge omkring + 25 cm. Forekomsten af *Obione portulacoides* er særdeles interessant, idet denne plante ifølge botaniske autoriteter kun forekommer to steder i Danmark: på vesterhavskysten fra Rømø til Blåvand og på Samsø. Til de morfologiske og dynamiske paralleller mellem Stavns Fjord og det sydvestjyske vade- og marskområde følger sig altså et bemærkelsesværdigt lighedspunkt i vegetation. I zone 4 forekommer endelig de samme planter som i zone 3, men foruden disse træffes *Artemisia maritima* (strandmalurt), der er karaktergivende for zonen og træffes ned til omkring + 30 cm. I nærheden af holmen findes en ca. 10 cm høj annelgræsbanke med en udstrækning af  $1,2 \times 1,4$  m; denne viser den samme kombination af annelgræs og strandasters som holmens zone 1, og der er ingen tvivl om, at denne kombination repræsenterer det første stadium i klintvegetationens udvikling. I zone 4 har der altså oprindeligt været en annelvegetation svarende til zone 1, men efterhånden som niveauet er blevet hævet ved pålejring, er der sket en indvandring af først hindebæger, dernæst kilebæger og sidst strandmalurt.

Holmen ved Stavns er væsentlig lavere end forlandet ved Alstrup, hvorfor der skulle være gode muligheder for fortsat højdevækst. Under et gennemsnitshøjvande vil sedimentation kunne foregå på holmens lavere del, mens sedimentation i obione- og malurtzonerne forudsætter en højvandsstand over middelhøjvande.

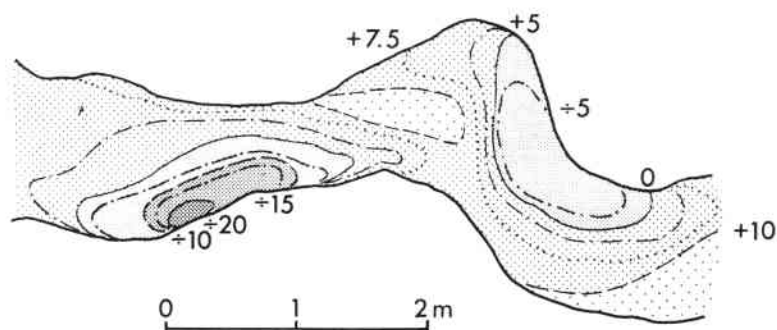


Fig. 16. Mæandertopografi i tidevandsførende rende i Lilleøre-forlandet. Dybdeangivelser i cm.

Fig. 16. Meander topography in a small groove in the Lilleøre-foreland. Depths in cm.

Holmen vides med sikkerhed at have været totalt vanddækket ved 10 % af de registrerede højvander i sommerhalvåret 1965, men kan på grund af bølgevirkning have været overskyttet endnu flere gange. For at gøre det muligt fremover at følge klintopbygningen på dette sted blev der i september 1965 udlagt en prøveflade med farvet sand. Prøvefladen danner en stribe igennem de fire vegetationszoner, og i november 1967 kunne konstateres en pålejring i alle zoner på 10-12 mm. Den ensartede pålejring i alle niveauer tyder på, at sedimentationen er foregået under de store højvander, der fortrinsvis indtræffer under urolige vejrforhold. Hvis dette be-



Fig. 17. Lille holm med marskklintprofil (fig. 15) fotograferet ved lavvande.  
Fig. 17. Small islet with marsh cliff profile (fig. 15), photographed at low tide.

kræftes af fremtidige observationer, kan der også her drages en parallel til det sydvestjyske vadehav, hvor det er påvist, at den store forlandsopbygning netop finder sted i stormsituationer med ekstraordinært høj vandstand.

---

### SUMMARY

The submarine morphology of the Stavns Fjord on the island of Samsø appears from the map pl. I, which is partially based on measurements carried out by the author in 1964-65 (fig. 1). Tide-gauge records from a period of 33 weeks have shown the existence of a tide with a small amplitude (mean value: 15 cm). The combined effect of tide and variations in water level due to wind and air pressure is demonstrated by the measurements fig. 2. The relations between wind direction and water level are studied (fig. 4). Two combinations of water level and wave power are illustrated by fig. 6 and fig. 7 from the eroded coastal stretch fig. 5. Tidal streams (fig. 8-9) are measured at four stations (fig. 1). The influence of wind on the stream pattern is studied and certain analogies to the wadden-sea at the west coast of Jutland are established. The existence of small-scale tidal flats with ebb-roads is demonstrated (fig. 11). The formation of marine foreland is treated historically (fig. 12-13) and dynamically (fig. 14-16). The profiles fig. 14 a-b reveal a surface form much like the marsh cliff pattern known from the salt marsh area in western Jutland; the sediment, however, is sand with no or very little silt. A vegetational zonation like the one characterizing salt marsh cliffs is found on the cliff in fig. 15 which is an example of a cliff in formation. The sedimentation has been followed since 1965 and seems mainly to take place in periods of rough weather with an extraordinary high water level.

---

### LITTERATUR

- Christiansen, Sofus* (1960): Wave-Power and the Djursland Coast. Geogr. Tidsskr., bd. 59, København.
- Hilding, Sven* (1948): Om tidvattnet på västkusten, Svensk Geogr. Årsbok, årg. 24, Lund.
- Jacobsen, J. P.* (1910): Gezeitenstroeme und resultierende Stroeme im Grossen Belt in verschiedenen Tiefen im Monat Juni 1909. Medd. fra Komm. for Havundersøgelser. Serie Hydrografi bd. I nr. 14 København.
- Jacobsen, J. P.* (1913): Beiträge zur Hydrographie der dänischen Gewässer. Medd. fra Komm. for Havundersøgelser. Serie Hydrografi bd. II nr. 2. København.

- Jacobsen, J. P.* (1918): Hydrographische Untersuchungen im Randers Fjord. Medd. fra Komm. for Havundersøgelser. Serie Hydrografi. bd. II nr. 1. København.
- Jakobsen, B.* (1964): Vadehavets morfologi. København.
- Jensen, Aa. C. J.* (1944): The Hydrography of Præstø Fjord. Fol. Geogr. Dan. bd. 3, nr. 2. København.
- Knudsen, Martin* (1899): De hydrografiske forhold i de danske farvande inden for Skagen i 1894-98. Ber. Komm. vidensk. Undersøgelser af de danske farvande, bd. 2. København.
- Møller, J. T.* (1964): Fladkystens og flodens morfologiske elementer i det tidevandsprægede landskab. København.
- Schou, Axel* (1945): Det marine forland. København.
- Schou, Axel* (1960): The Coastline of Djursland. Geogr. Tidsskr., bd. 59. København.
- Søkort-Arkivet (1941): Den danske Lods, bd. I, København.
-