

## Morfologiske og hydrografiske undersøgelser af flod- og ebbeskår i tidevandsrender

Af Børge Jakobsen

### Abstract

*The formation of ebb- and flood-channels in tidal-channels is described on the basis of morphological and hydrological observations in a carefully mapped out area in the Danish Wadden Sea.*

*It has been attempted to put forth a definition of ebb- and flood-channels based on the formation, the development and the function of these channels.*

Tidevandsområder er hydrografisk karakteriseret ved tidevandets periodiske vandstandsændringer og de dermed skiftende, ofte direkte modsatrettede strømme.

Det danske vadehav kan stort set betragtes som et akkumulationsflak, der delvis er afspærret fra Nordsøen ved øer og højtliggende sandbanker, hvis grundlag er en bred off-shore barre, der er opstået paa akkumulationsflakkets vestlige del. Vandudvekslingen mellem Nordsøen og farvandet inden for øerne – Vadehavet – foregår gennem en række dyb, der er dannet af de ind- og udgående tidevandsstrømme.

Vadehavets bundrelief består af to forskellige terrænformer, tidevandsrender og -flader. De dele af fladerne, der tørlægges ved lavvande, kaldes vaderne. Renderne og fladernes overfladeformer er hovedsagelig dannet af tidevandsstrømmene, selv om også bølger og bølgestrøm gør sig gældende, hvilket dog først og fremmest sker ved kysterne og på vaderens højeste dele.

Vadehavets relativt snævre forbindelse med Nordsøen medfører, at de ud- og indgående strømme, der opstår som følge af vandstandsændringerne i Nordsøen, dels er rene tidevandsfænomener, dels skyldes bassinfyldning og -tømning. De indgående strømme under stigende vand, *flod*, og de udgående strømme under faldende vand, *ebbe*, er ikke på ethvert sted blot modsatrettede og af samme varighed og styrke. De enkelte lokaliteter er ofte enten domineret af

ebbestrømmen eller af flodstrømmen, og denne forskel viser sig i overfladeformerne.

Ikke blot de enkelte lokaliteters overfladeformer, men også den geografiske fordeling af render og flader er afhængig af de omtalte hydrografiske forhold. Udredningen af flodens og ebbens formgivende virksomhed er derfor af stor betydning for forståelsen af de i Vadehavet forekommende processer.

Flodens og ebbens formelementer er ofte vanskelige at erkende. Dette skyldes, at den ene strømtype kan gøre sig gældende og omforme og eventuelt tilsløre formbilledet, selv om den anden strømtype er dominerende på det givne sted.

I Vadehavet lader overfladeformerne sig lettest studere under lavvande, og ebbestrømmen vil således altid være den kraft, der sidst har påvirket overfladen. Formernes horisontale og vertikale dimensioner er ligeledes afgørende for, om formbilledet i det hele taget kan erkendes, hvorfor f. eks. vadelandskabets terræn med den store horisontale udstrækning og de ganske ringe niveauforskelle kun kan overskues ved hjælp af en detailleret topografisk kortlægning.

Flodens og ebbens grundformer og deres udformning fremtræder tydeligst i tidevandsrenderne, hvor forskellen mellem udstrækning og niveau ikke er så stor, og hvor strømstyrkerne er meget større end over vaderne. Den primære opgave må derfor være at erkende og forklare tidevandsrenderne i tidevandsrender inde i Vadehavet. En tilfredsstillende løsning af denne opgave er forudsætningen for en forståelse af ebbens og flodens virkemåde på vaderne og i dybenes mundingsområder og barrer.

I et betydningsfuldt arbejde af *J. van Veen* (1950) påpeges forekomsten af to vidt forskellige typer af render, hvis opståen skyldes henholdsvis ebbestrømmens og flodstrømmens forskellige virkemåde i det samme løb. De to rendetyper kaldes henholdsvis ebbeskår (*ebschaar*) og flodskår (*vloedschaar*) og defineres således af *van Veen*: Et *ebbeskår* er en tidevandsrende, der hovedsagelig ligger åben for ebbestrømmen (ligger passende for ebbens faldretning), og som har en barre ved sin nedre ende. Et *flodskår* er en tidevandsrende, der hovedsagelig ligger åben for flodstrømmen (ligger åben for flodens indvandringsretning), og som har en barre ved sin øvre ende.

Foruden flod- og ebbeskår regnes der med, at en tidevandsrende har et gennemgående hovedløb, som dog er formet eller præget af både floden og ebben, således at ebben navnlig strømmer i den ene side og floden i den modsatte side. Ebbeområdet og flodområdet an-

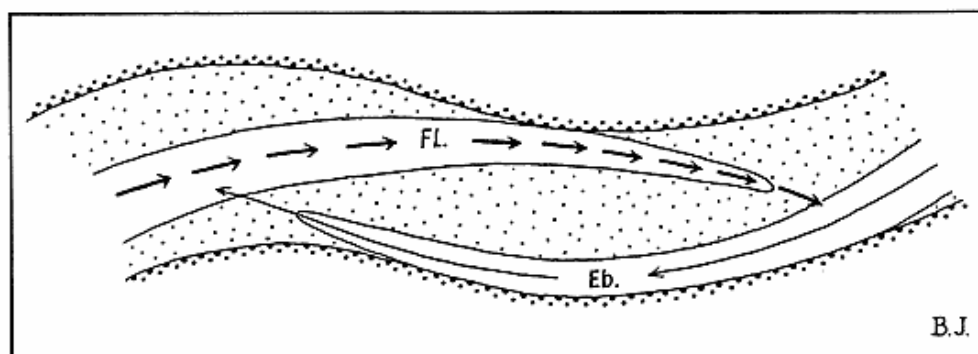


Fig. 1. Et tidevandsløbs opdeling i ebbe- og flodskår på grund af ebbe- og flodstrømmens forskellige mæandervirksomhed. (Efter van Veen).

Fig. 1. A tidal-channel divided into ebb- and floodchannels owing to the different meander action of the ebb- and flood-currents (according to van Veen).

ses hver for sig at omfatte halvdelen af løbet. Årsagerne til denne opdeling af tidevandsrenderne menes at være den modsat rettede sandtransport og løbets tendens til at bugte sig. Som en tredje årsag omtales bassinfyldningen.

Ifølge *van Veen* er mæandertendensen initialet til opdelingen af hovedløbet. Har et løb en S-formet bøjning, vil ebber i et bestemt tværsnit hovedsagelig strømme i den ene side og floden i den anden, og mæandertendensen vil medføre, at de to strømme hver for sig vil svinge over mod den modsatte bred af hovedløbet, som således vil deles i to dybere render, der stadig krydser hinanden (Fig. 1). Da begge strømme er materialførende, vil der, hvor de to strømme ligger fjernest fra hinanden, være en zone med mindre ud- og indgående strømme, hvor en aflejring kan finde sted og således forstærke adskillelsen af de to løb eller skår.

Flodskår og ebbeskår synes så vidt muligt at undgå hinanden og søger at krydse hinanden ved en slags flankebevægelse. De steder, hvor de to strømretninger mødes, får materialtilførsel både ved flod og ebbe, og der opstår en banke mellem de to løb. Dette skal formentlig forstås således, at de to omtalte aflejringstendenser tilsammen danner banken mellem de to skår.

Foruden langsgående materialtransport foregår der nu cirkulerende materialstrømme, idet materiale, der fra et flodskår af flodstrømmen føres over den adskillende banke, af ebbestrømmen føres tilbage gennem ebbeskåret og eventuelt igen føres ind i flodskåret.

Dannelsen af flod- og ebbeskår og de to løbs gensidige undvigelse af hinanden vil selvsagt forøge mæandervirksomheden.

Ovennævnte refererende omtale af *van Veen*'s forklaring på flod-

og ebbeskårenes dannelse er ikke udtømmende; men det fremgår tydeligt, at man har at gøre med et meget kompliceret system, hvis endelige forklaring vil kræve særlige undersøgelser.

Forskellige iagttagelser i det danske vadehav og ganske særlig en med andet formål gennemført hydrografisk undersøgelse af tidevandsrenden Juvre priel ved Rømø godtgør, at dannelsen af flod- og ebbeskår er et almindeligt forekommende fænomen. Det er nu muligt at karakterisere de to skår og deres funktioner noget nærmere, og det synes også muligt at forklare skårenes dannelse på en måde, der afviger fra den oven for omtalte.

Det er i det følgende forsøgt at vise, at flodens og ebbens grundformer kan opstå delvis uafhængige af hinanden, selv om de nødvendigvis i den endelige udformning må påvirke og omforme hinanden.

#### Ebben:

Når vandet i ebbeperioden strømmer ud fra Vadehavet, vil udstrømningen ikke overalt kunne foregå som en jævn, ensartet strøm over alle fladerne. Der vil på forskellige steder afhængig af tidevandsområdets form, hældning, bundbeskaffenhed o. l. uddannes stærkere strømstyrker end andre steder, hvilket vil medføre, at ebbestrømmen eroderer i bunden og danner render, som vil transportere langt større udgående vandmængder end fladerne. At ebben i sig selv må få en overordentlig stor erosionsevne illustreres tydeligt af det forhold, at de vandmængder, der pr. tidevandsperiode skal føres ud af Vadehavet med en tidevandsstørrelse på 1,5–2 m, svarer til 2–3 gange den årsnedbør, der falder på et tilsvarende areal. Selv om man regner med, at der i ebbens første periode er så stor vanddybde over store dele af Vadehavet, at de relativt svage begyndelsesstrømme ikke påvirker bunden i nævneværdig grad, er det næppe for meget sagt, at den formdannende afstrømning i tidevandsområdet pr. tidevandsperiode er af samme størrelsesorden som årsafstrømningen fra et tilsvarende areal af f. eks. en hedeslette. I enkelte isolerede vadehavsafsnit er den afstrømning, der kun kan foregå gennem områdets render, mindst dobbelt så stor. Det er således tydeligt, at alene tømningen af tidevandsområdet må medføre udgravning af afløbsrender. Tidevandsrenderne inde i Vadehavet ligner i hovedtrækkene vandløbsrender med den samme tendens til mæanderdannelse. Ligheden med vandløbet er naturligvis størst, når vandstanden er sunket under vadekanten. Under ebben strømmer vandet i renderne mod et stadig synkende niveau i mundingsområdet, og i

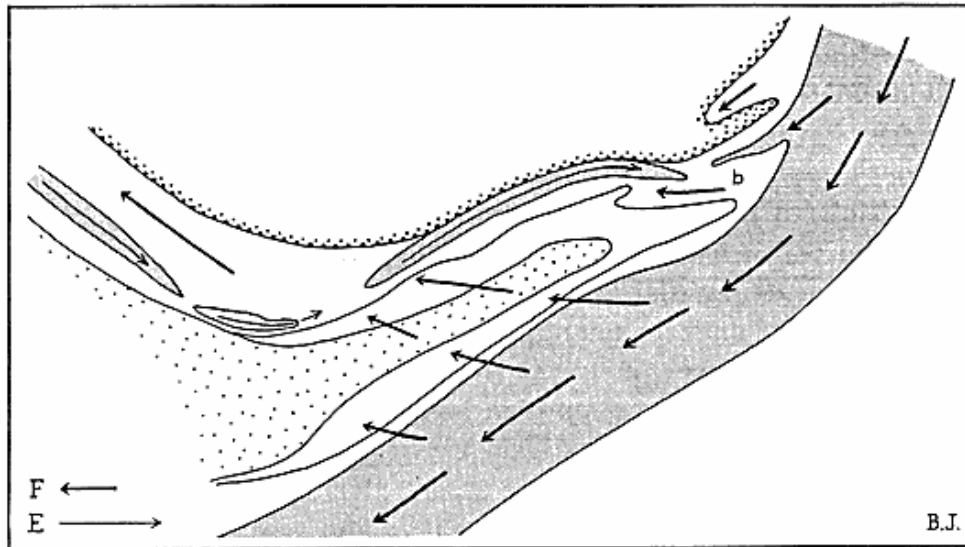


Fig. 2. Flodstrømmens indtrængen i en vadeprielen, der munder ud i et større løb. Prielmundingen er et ebbeskår, der ligger ugunstigt for floden. Hovedparten af floden strømmer ind i prielen over vaderne og tenderer mod at indsnævre munden. Længere inde er løbet lige gunstigt for ebbe- og flodstrøm, neutralt løb. F. Flodstrømmens hovedretning. — E. Ebbestrømmens hovedretning. — b. Barre i prielmunding dannet af både flod og ebbe.

Fig. 2. The intrusion of a flood-current in a wadden-gully falling into a greater channel. The gully-mouth is an ebb-channel unfavourably situated for the flood. The greater part of the flood flows into the gully across the waddens and tends to narrow down the mouth. Further up the channel is as favourable for ebb- as for flood-currents, i.e. is a neutral channel. — F. The prevalent direction of the flood-current. — E. The prevalent direction of the ebb-current. b. A bar at the gully-mouth formed both by flood and ebb.

selve renden, prielen, synker vandstanden ligeledes. For overhovedet at kunne udføre sin funktion som afstrømningsrende må prielen derfor have et gennemgående hovedløb.

Alt tyder på, at tidevandsrenderne, bortset fra dybene og hovedstammerne af de dertil førende større løb, hovedsagelig er dannet af og tilpasset ebbestrømmen, altså ebbeskår. Flodstrømmen må derfor enten tilpasse sig ebbeskåret eller omforme dette. Flodens forsøg på at danne sit eget løb kan forklare opsplittningen af hovedløbet.

#### Floden:

Flodens virksomhed er noget mere kompliceret end ebbens. Under flod strømmer vandet ind i Vadehavet, dels befordret af flodbølgen, dels fordi det under ebben tømte bassin skal fyldes på grund af den stigende vandstand uden for Vadehavet.

I begyndelsen trænger floden ind i dybene og løbene, og så længe vandstanden ikke er høj nok til at overskylle vaden, er floden tvun-

get til at følge løbet, d. v. s. det af ebber udarbejdede hovedløb, ebbeskåret. Skiftet fra ebbe til flod markeres ved en opstuvning af det udadgående (nedadløbende) ebbevand, strømstille er ganske kort, og derpå bevæger vandet sig indad. Ebbestrømmen er i prieler ofte ret stærk i sidste del af udstørningsperioden, men falder brat kort før skiftet fra faldende til stigende vand. Derved mindskes transportevnen, således at materiale må aflejres. Det varer dog noget, inden floden opnår tilstrækkelig hast til at opslemme og transportere det tungere materiale, sand, i hvert fald i de indre dele af løbene.

Undertiden iagttager man, at flodstrømmen løber ind i den ene side af løbet, og at ebbestrømmen løber ud i den anden side, samtidig med at vandstanden stiger. I prielerne er strømstyrken på dette tidspunkt ganske svag uden erosiv eller transporterende kraft, således at de modsatrettede strømme ikke kan give anledning til opdeling i flod- og ebbeskår. Det forholder sig muligvis noget anderledes på barrierne i dybenes mundingsområder, hvor skiftet fra ebbe til flod ikke markeres ved strømstille; her er mulighed for opståen af kortvarige, modsatrettede, relativt stærke strømme.

I begyndelsen er floden som nævnt nødsaget til at følge det gennemgående ebbeskår; men efterhånden som strømstyrken tiltager, og vandstanden stiger, bliver det vanskeligere for flodstrømmen at følge ebbeskåret, og den forsøger da at danne et til strømretningen mere passende løb.

Hvis man kun betragter en del af et løb, er det vanskeligt at forstå, hvorfor flodstrømmen ikke kan følge det af ebber udarbejdede strømleje. Forklaringen må søges i tidevandsrendens beliggenhed, især mundingens placering, og i flod- og ebbestrømmens forskellige karakter. Floden strømmer med stigende vandstand ind gennem en åbning i et bassin og ind i de af ebber udarbejdede render og tenderer mod at fylde bassinet. Vandet divergerer bort fra dybsmunden og, så snart vandstanden er høj nok, også bort fra løbene. Selve dybene mellem øerne ligger nogenlunde lige gunstigt for ebbens udstrømning og flodens indvandring. Det samme gælder i nogen grad de ydre dele af de store dybs forgreninger; dog er det allerede her tydeligt, at floden har nogen vanskelighed med at dreje, hvorfor den løber på de høje vadestjerter og former deres ydre dele. I dybenes midterste og indre dele, hvor dybene krummer og modtager de mindre sideløb, må flodstrømmen undertiden bøje stærkt til siden for at trænge ind i munden. Denne drejning medfører fald i strømstyrken. Muligvis er det på dette tidspunkt, at floden danner en barre inde i ebbeskårets munding. Hovedmassen af det

indstrømmede vand løber da også forbi munden af sideløbene, således at vandstanden i et stort løb stiger hurtigere end vandstanden i et sideløb regnet fra de to løbs sammenslutning. Dette medfører, at der dannes en strøm fra hovedløbet over vaden ned til det lavere niveau i sideløbet, når vandet stiger op over fladerne i løbenes mødeområde (Fig. 2).

Når vandstanden over mundingsvaderne har nået en passende højde, trænger floden med stor styrke ind i ebbeskåret; men på grund af den sideværts indtrængen har floden allerede da en fra ebbeløbet afvigende retning. Floden tenderer mod at løbe lige ud fra den på ethvert punkt skabte udgangsretning og vil derfor gang på gang løbe ind på det mæandrerende ebbeskårs sider og – da vandstanden er stigende – fortrinsvis søge ind over vaderne med størst styrke på disse steder.

Størst vanskelighed har floden med at tilpasse sig ebbeløbet, hvor dette bugter sig i retninger, der afviger fra flodens hovedretning. Så længe de omgivende vader ikke er oversvømmede, skal floden igennem en bue, altså antage en ny retning. Dette medfører hvirveldannelse og udgravning i bunden. Flodstrømmen opfører sig, som om floden presses gennem et snævert hul. Strømstyrken i hullet er kortvarig stærk og medfører, at floden på en kort strækning udgraver sit eget leje i retlinet forlængelse af buens første del.

Floden har nu et større profil at løbe i, dels sit eget skår, dels ebbeskåret. Derved falder strømstyrken, og materiale aflejres som en hestesko- eller halvmåneformet banke ved flodskårets øvre ende, fordi en del vand divergerer fra hovedretningen ud over flodbankens sider. Grundformen i denne udgravning af et som regel kort, retlinet flodskår med en hesteskoformet bankedannelse, flodbanken, ved den øvre ende kan iagttages, hvor floden skal igennem en snæver åbning, f. eks. i et faskingærde (Fig. 3, 4 og 5).

Hovedstrømretningen er stadig i flodskårets længderetning op over flodbanken, og det er ejendommeligt, at flodbankens midterste del overhovedet opstår eller i det mindste ikke senere bortroderes. Dette må skyldes, at det drejer sig om en aflejring under stigende vandstand, og at vandstanden i ebbeskåret på bankens konvekse side på grund af flodstrømmen, der også løber ind i ebbeskåret, kun er lidt lavere end flodskåret, således at det overfaldende vand ikke kan erodere i dybden. Ofte dannes dog en svag lavning i flodbankens spids, således at bankens højeste dele ligger lidt til siderne for spidsen.

I flodbankens forlængelse aflejres materiale i ebbeskåret, som der-

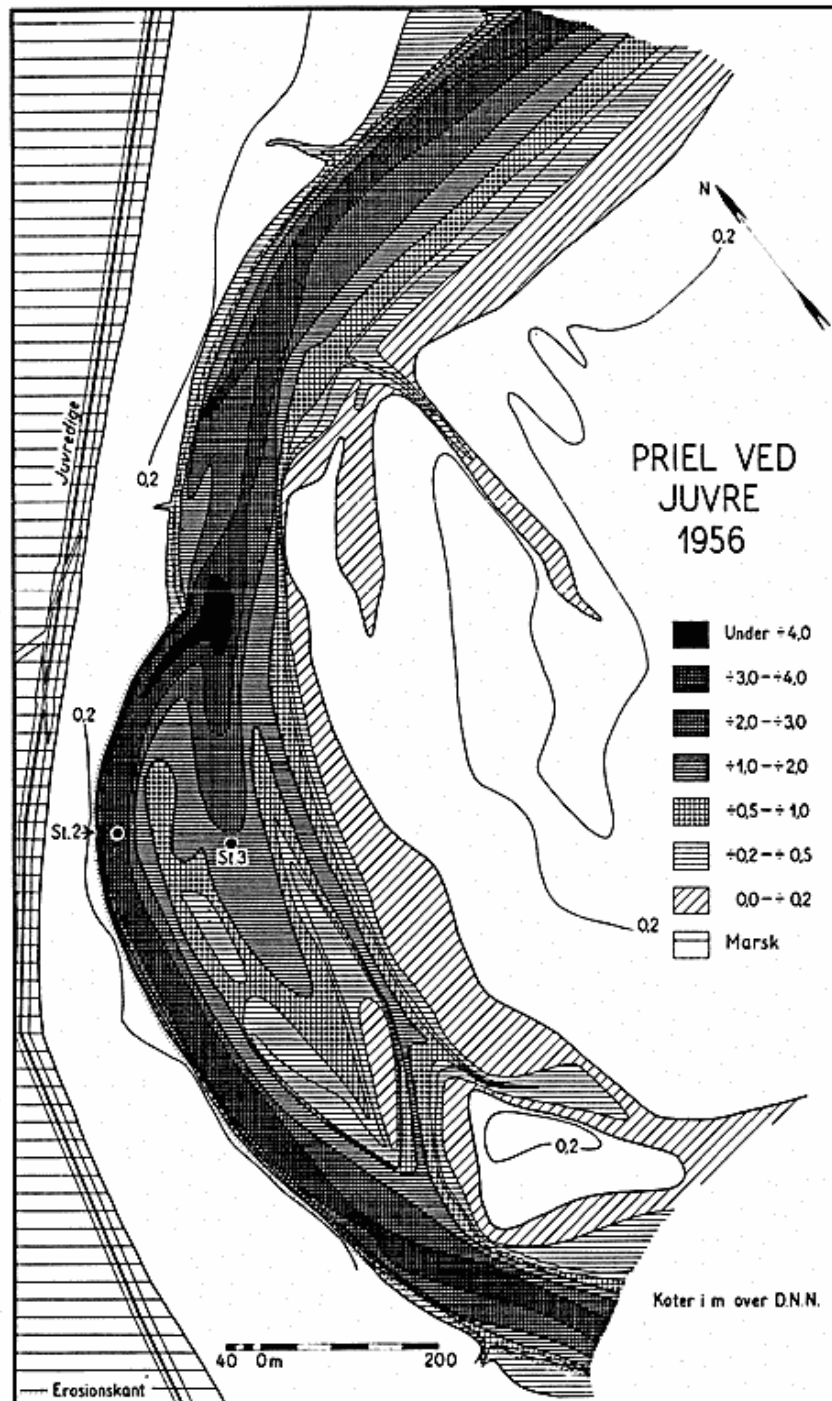


Fig. 3. Ebbe- og flodskår i priel ved Juvre pejlet for Vadehavsudvalget af 1941. Flodbanken ved st. 3 tvinger ebbeskåret st. 2 til stadig at flytte sig mod V og NV.

Fig. 3. Ebb- and flood-channel in a gully at Juvre. The flood-bar at st. 3 forces the ebb-channel st. 2 to move constantly towards west and north-west.





Fig. 4. Ebbe- og flodskår ved Juvre 1959 set fra SV. Bemærk renden i spidsen af flodbanken og det næsten neutrale løb øst for banken. I forgrunden flodbankelevée gennembrudt af en mindre vadepræl.

*Fig. 4. Ebb- and flood-channel at Juvre 1959 as seen from south-west. Note the channel at the top of the flood-bar and the practically neutral channel east of the bar. In the foreground a flood-bar levée traversed by a smaller wadden gully.*

ved indsnævres eller får en tærskel, floddelta, som ebbestrømmen søger at fjerne. I vadeprælerne bliver nævnte tærskel sjældent særlig udtalt, fordi vandføring og strømstyrke gennemgående er størst under ebben; men i tidevandsrender med høje kanter, som kun sjældent oversvømmes ved flod, f. eks. marskens loer, bliver flod og ebbe omtrent lige kraftige. I disse loer er den omtalte tærskeldannelse et fremtrædende element, der opdeler hovedløbet i en række isolerede ebbeskår (Fig. 6). Oftest optræder flodbankerne som krumodelignende barrierer. Dette er dog kun en modifikation af den halvmåneformede grundform, idet løbkanten indgår som den anden halvdel af buen. (Fig. 5).

Flodstrømmen, der divergerer ud over flodskårets side, vil føre materiale ned i ebbeskåret og eventuelt danne mindre tærskler. Materialtransporten fra flodskår til ebbeskår og flodbankens vækst vil forøge ebbeskårets mæandertendens.

På steder, hvor hovedløbets retning er stærkt afvigende fra flodstrømmens retning, kan floden erodere i kanten, så længe vandstanden er lavere end de omgivende vader. Når vandstanden stiger, søger floden på sådanne steder ind over vaderne med stor kraft og udformer flade, tungeformede lavninger omgivet af flade, brede levées. På steder, hvor løbets kanter er parallelle med flodstrømmen, vil indstrømningen over vaderne medføre en kraftig strømændring og dannelse af levées umiddelbart langs med løbets kant.

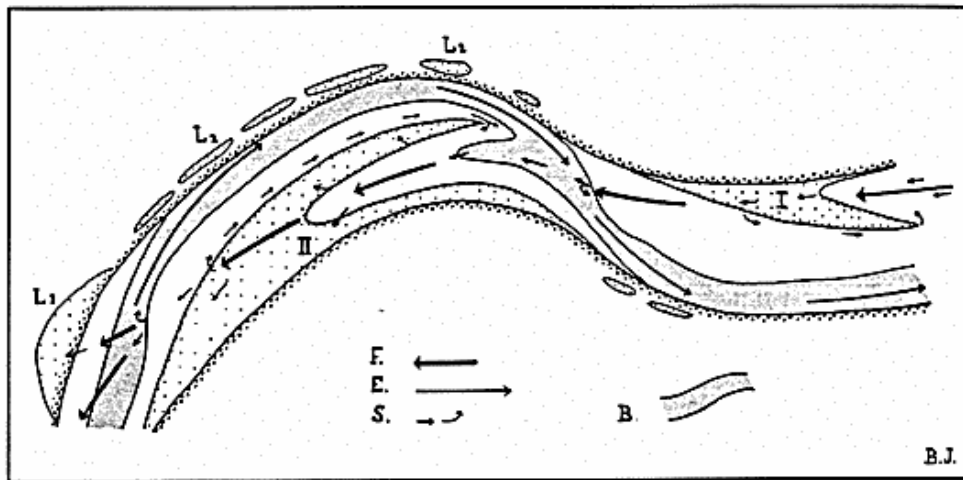


Fig. 5. Opdeling af vadepræl i ebbe- og flodskår. Flodstrømmen søger at gennemskære det gennemgående ebbskårs mæanderbue og opbygger banker I og II, der tvinger ebbskåret til at mæandre kraftigere. — F. Flodstrømmens hovedretning. — E. Ebbestrømmens hovedretning. — B. Det gennemgående hovedløb, overvejende ebbskår. — S. Cirkulerende sandtransport omkring flodbanke  $L_1$  og  $L_2$  levéer.

Fig. 5. Wadden gully divided into ebb- and flood-channels. The flood-current tries to cut into the main-channel's meanderings and forms bars I and II, which will force the ebb-channel to meander still more. The levées result from the deposition of the flood-current on the outer side of the bend. Big levées are formed where the bend is very sharp. — F. The prevalent direction of the flood-current. — E. The prevalent direction of the ebb-current. B. The main-channel — mostly ebb-channels. — S. Circulating sand-currents around a flood-bar. —  $L_1$  and  $L_2$  levées.

Flodstrømmen omformer det oprindelige, gennemgående ebbskår ved dannelse af korte flodskår begrænset af flodbanker (blinde løb) og danner endvidere i flodbankens forlængelse tærskler eller indsnævring i ebbskåret. Ebbestrømmen søger at formindske eller fjerne tærsklerne og omformer desuden flodbanken på den eller de sider, der vender ud mod ebbskår. Flodbankernes ydersider fremtræder derfor som smukt buede, krumodelignende dannelser. En del af det af floden aflejrede materiale vil således transporteres langs med flodbankens yderside og eventuelt aflejres, hvor ebbskåret opnår forbindelse med det dybe flodskår. Herfra kan det af flodstrømmen atter føres op over flodbanken. Hvis ebbskåret på grund af flodbankedannelsen på et givet sted har dannet en mæanderbue, hvis form ikke svarer til en naturlig overgang til den følgende del af det gennemgående hovedløb, den næste ebbskånder, kan ebbestrømmen ved passagen af flodskåret danne turbulens, således at flodskårets dybeste del vedligeholdes eller uddybes.

Ved en priels munding findes ofte en dybtliggende barre. Denne kan formentlig opstå som en ren deltadannelse, når strømstyrken

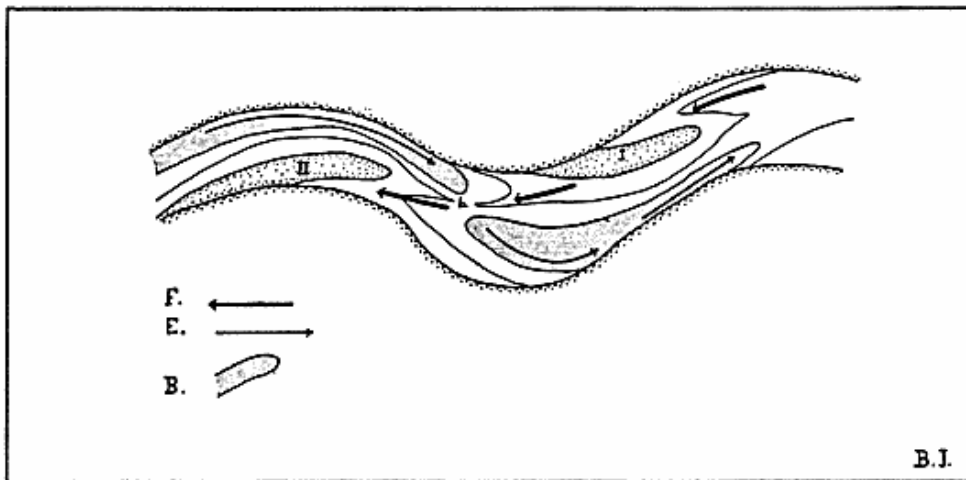


Fig. 6. Ebbe- og flodskår i marskens loer. På grund af marskens høje niveau, over middelhøjvande, bliver flodstrømmen relativt stærkere end i vadeprielerne. Flodbankerne I og II bliver tilsvarende mere dominerende og danner floddeltaer i hovedløbet b, som opdeles i isolerede ebbeskår. Sign. se fig. 5.

*Fig. 6. Ebb- and flood-channels in the salt marsh creeks. As a consequence of the high level of the salt marsh (higher than M.H.T.) the flood-current is relatively stronger in these creeks than in the wadden gullies. The flood-bars I and II are correspondingly more dominating and form flood-deltas in the main-channel b, which will be cut into separated ebb-channels. (For explanation of the signs see fig. 5).*

aftager ved ebbestrømmens udløb fra det snævre dybs mundingsområde i et større dyb. Som tidligere nævnt må bankedannelser inde i prielmundingen tilskrives floden. Forholdene ved vadeprielerens munding er ikke helt identiske med de velkendte barredannelser vest for Vadehavets store dyb. Disse barrer opfattes almindeligvis som deltadannelser, altså aflejret af det udgående vand. Denne opfattelse er næppe holdbar, idet materialet ikke synes at kunne tilvejebringes fra vadehavsområdet (B. Jakobsen 1961). Præliminære, morfologiske undersøgelser ved Juvre dybs barre tyder på, at denne overvejende er dannet af floden.

Styrkeforholdet mellem flod- og ebbestrømmen kan ikke umiddelbart angives ved de hidtil under rolige vejrforhold iagttagede strømstyrker og strømperioder. I tidevandsrenderne vil ebbestrømmen gennemgående opnå større strømstyrker i længere perioder end flodstrømmen. Alligevel er det tydeligt, at ebbeskåret presses eller forskubbes af flodstrømmen. I løbsafsnit med tydelig opdeling i flod- og ebbeskår er floden altså den stærkeste; men prielens gennemgående løb er hovedsagelig udformet af ebbestrømmen. Denne forskel må bero på de to strømmes forskellige karakter. Hvis en vandstrøm møder en forhindring, som når op til eller over overfladen, vil vandet søge langs med forhindringen, eventuelt erodere i kanten, og finde et leje uden om forhindringen.

Flodstrømmen optræder som nævnt under stadig stigende vandstand. Den kan derfor, efterhånden som banker og prielkanter oversvømmes, strømme over og eventuelt erodere i disse, og med det stadig stigende strømtværsnit er flodstrømmen kun i korte perioder afhængig af det dybe, relativt snævre ebbeskår. Ebbestrømmen virker under stadig aftagende vandstand og må derfor undvige de højt opbyggede flodbanker og til gengæld erodere i dybden.

Endnu en forskel på flod- og ebbestrømme må omtales. Hydrografiske målinger under rolige vejrforhold og normale vandstande viser, at tidevandsrenderne både med hensyn til strømstyrke, vandføring og sedimenttransport er overvejende domineret af ebbestrømmen. Lægges sådanne målinger til grund for den almene vurdering af forholdet mellem flodens og ebbens betydning både i tidevandsrender og på vader, er det umuligt at forstå, at tidevandsområdet som helhed ikke er under hastig nedbrydning, og at prielernes flodformer kan have nogen større betydning. Forklaringen på, at vadelandskabet stort set er i ligevægt, måske snarest med en tendens til opbygning, er, at flodens formdannende og transporterende evne navnlig viser sig i korte perioder med storm og høj vandstand. Desværre er det meget vanskeligt at gennemføre målinger under urolige vejrforhold. Iagttagelser over morfologiske ændringer i relation til forskellige vejrtyper og anvendelsen af selvvirkende sedimentsamlere (*B. Jakobsen* 1961) tyder på rigtigheden af ovennævnte betragtninger. Dette gælder såvel marsk- og vadeopbygning som dannelsen af flodbanker og tærskler.

#### Neutrale prielafrnit:

Løbets opsplitning i adskilte ebbe- og flodskår er som nævnt tydeligt på steder, hvor løbet bugter sig således, at flodstrømmen ikke kan tilpasse sig disse bugtninger. Der findes dog også dele af tidevandsrender, hvis retning er nogenlunde lige gunstig for strømrretningen under ebbe og flod. I sådanne afsnit er – som også bemærket af *van Veen* – flodskår og ebbeskår vanskelige at erkende, fordi der ikke er tale om to adskilte løb. Som regel vil det være således, at de to strømtyper begge benytter det gennemgående hoveddyb, som ved en detaljeret pejling afslører en svag opdeling i flod- og ebbeskårsafsnit. Den modsat rettede strømvirksomhed viser sig tydeligt i udformningen af løbets sider. Ebbesiden er gennemgående stejlere og med brattere overgang til vaderne, medens flodsiden er mindre stejl, og på grund af flodvandets indtrængen over vaden er prielkanten uddannet som en skrålade. På vaderne findes ofte tungeformede lavninger, hvis retning viser flodens indstrømning.

**Levéer:**

Ifølge sagens natur kan kun floden danne levéer og banker langs med prielkanten. Disse levéer opstår på forskellig måde afhængig af, hvorledes flodvandet stiger ind over vaden. Egentlige levéedannelser opstår, hvor flodstrømmen følger hovedløbets retning. Når vandet stiger over bredderne, medfører det pludselige strømfald, at opslemmet materiale aflejres langs bredden. Dette finder fortrinsvis sted langs med de neutrale prielafsnit og i ebbeskårenes konkave sider over for et flodskår. Flodstrømmens hovedretning vil være gennem flodskåret, men også gennem ebbeskåret. Når dette oversvømmes, vil aflejring på prielkanten finde sted. Materialet til de her nævnte levéer vil stamme fra det i flodstrømmen opslemmede materiale og kan komme langvejs fra.

Flodbankelevéer opstår, hvor floden tvinges ind mod hovedløbets kanter og afriver disses øverste dele, således at der opstår skrålader, eventuelt flade, tungeformede flodskår. Materialet aflejres undertiden som svagt buede banker et stykke inde på vaden. Dette materiale stammer altså hovedsagelig fra erosion i prielkanten. De af floden dannede levéer medfører, at vandet fra vaderne, når vandstanden over disse er lav, vanskeligt kan strømme ned i prielen, hvorfor der ofte i prielkanten dannes mange korte, dybt nedskårne erosionsrender mellem levéerne. Disse render kan give anledning til dannelse af sidepriel; men selv store render er ofte kun temporære, idet de stadig lukkes af levéerne. (Fig. 4 og 5).

For at illustrere de her omtalte forskelle i strømforhold og lejets udformning skal kort omtales nogle hydrografiske målinger, som er udført i efteråret 1956 i og omkring en vadepriel – Juvre priel – der afvander et delvis lukket afsnit af Juvre dybs tidevandsområde (Fig. 7). Undersøgelsen er udført i samarbejde med ingeniør *H. A. Olsen*, som desuden venligst har meddelt værdifulde iagttagelser vedrørende ebbens og flodens virkemåde.

Ved bygning af dæmningen fra fastlandet til Rømø blev en del af det til Lister dyb hørende tidevandsområde afskåret fra sit oprindelige afløb, Juvre priel bassin. Vaderyggen Vesen udgjorde oprindeligt en del af vandskelsbanken mellem Lister dyb og Juvre dyb. Bassinet kunne fyldes ved flod ved indstrømning over Vesen; men afstrømningen under ebben var ufuldstændig, hvorfor det udgående vand søgte at udarbejde et afløb af passende størrelse. Til trods for at faldet fra bassinet til Rømø leje var gunstigt i øst-nord-østlig retning gennem den allerede delvis eksisterende Sælpriel, dannedes hovedafløbet langs med Rømøs østkyst, den nuværende Juvre priel.

Dennes beliggenhed tilskrives i almindelighed, at der tidligere har været et løb i dette område, Fuglegrøften, og at dette løbs løse afløjninger var lettest at erodere i. Som det senere skal vises, er hovedårsagen til Juvre priels beliggenhed snarere, at floden vandrer ind i bassinet over Vesen fra øst og nordøst og stadig spærrer eventuelle gennemgående afløbsrender.

Juvre priel viser tydelige eksempler på flod- og ebbeskår samt neutrale afsnit, og det har her yderligere været muligt at iagttage disse fænomeners udvikling og foretage målinger af strøm og sedimenttransport under normale vejr- og tidevandsforhold. I det følgende skal løbprofiler og strømkurver fra karakteristiske afsnit gennemgås. Beliggenheden af de omtalte stationer ses på fig. 7.

Fig. 3, 8, 9 og 10 viser det kombinerede flod- og ebbeskårssystem ved st. 2 og st. 3. Vest for den markerede hesteskoformede flodbanke ligger et dybt ebbeskår, der indgår i prielens gennemgående hovedløb. Øst for banken findes et mindre, nærmest neutralt løb, der i begge ender er delvis lukket af tærskler. St. 2 er karakteristisk for ebbeskåret, medens st. 3 ikke helt viser flodskårets dybde og strømstyrke, der forekommer på en lidt nordligere position. Profilet viser dog den karakteristiske udformning af skårene, det dybe, smalle ebbeskår, hvor navnlig den konkave bred er stejl og under stadig indrykning og det bredere, trugformede flodskår.

St. 2 viser, at den indgående strøm i ebbeskåret hurtigt stiger til omkring 30 cm/sek., hvilket skyldes, at det først indkommende vand kun kan løbe i ebbeskåret. Flodbanken mellem st. 2 og st. 3 oversvømmes omkring kl. 8, hvilket medfører en svag stigning i strømstyrken i ebbeskåret. Strømmen falder atter lidt, når floden oversvømmer flodbankens midterste dele omkring kl. 9, og der udannes en stadig stigende strøm gennem flodskåret over banken. Flodstrømmen i ebbeskåret tiltager igen lidt, når vandstanden er blevet så høj, at vadekanten oversvømmes. På dette tidspunkt kan levéedannelsen på ebbeskårets konkave bred foregå. Senere, når flodstrømmens maksimale hastighed opnås i flodskåret, falder strømstyrken brat i ebbeskåret, der fra nu af ikke længere deltager i fyldningen af de inden for liggende områder.

Ebbestrømmen udvikles først i flodskåret; men strømstyrken er svag, 20–25 cm/sek. Med faldende vandstand overtager ebbeskåret langt den største del af afstrømningen. Strømstyrken stiger og når sin maksimale styrke, når flodbanken tørlægges.

Strømkurverne er karakteristiske; men måling af skårenes vandføring viser, at forskellen mellem de indgående vandmængder i

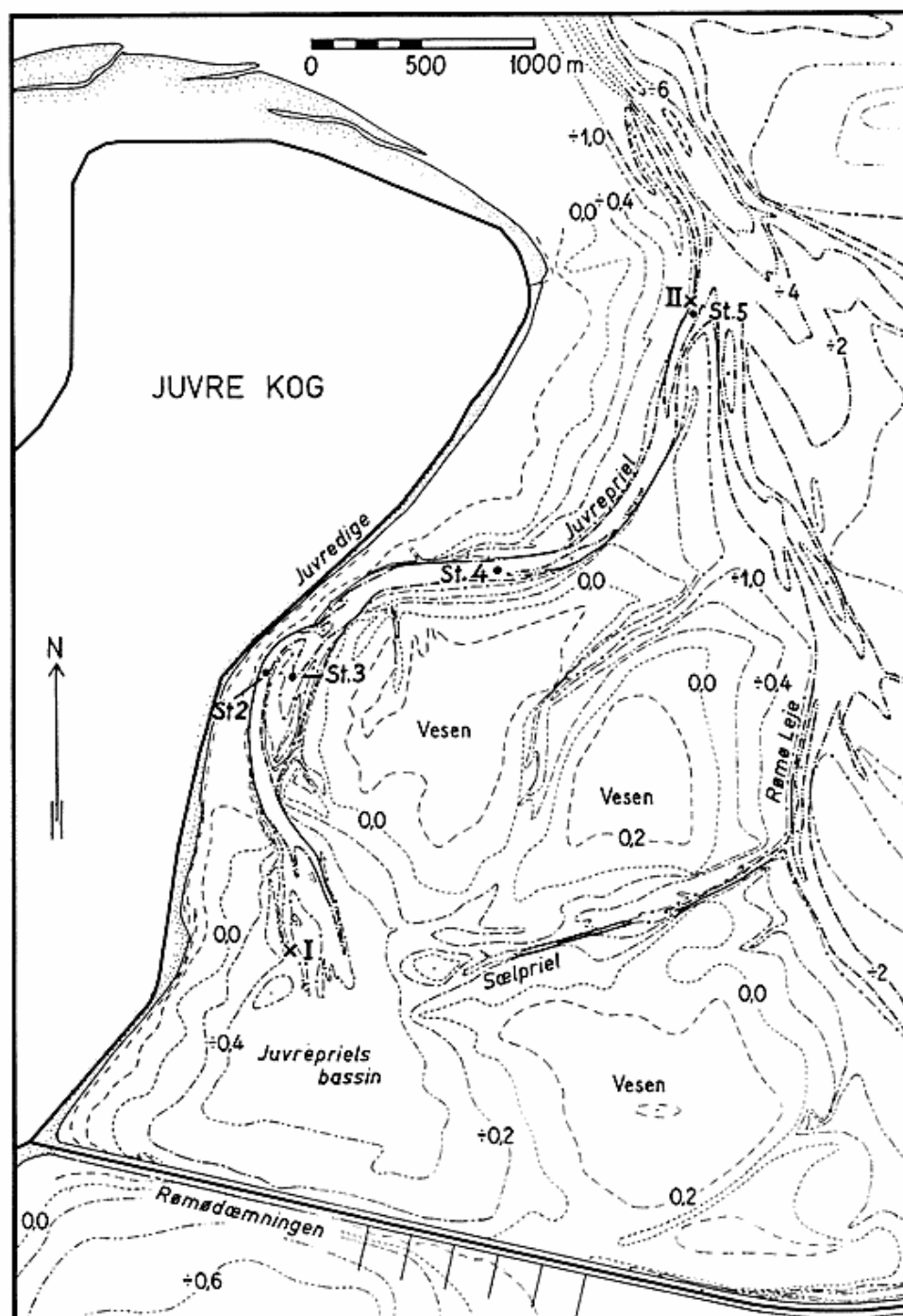


Fig. 7. Pejlekort af en del af Juvre dybs tidevandsområde pejlet i 1957 af Vandbygningsvæsenet og De Danske Vade- og Marskundersøgelser. Middelhøjvande i dette område er ca. + 0,9 m DNN.

Fig. 7. Part of the tidal area of Juvre dyb. Sounded 1957 M.H.T. + 0,9 m DNN. Ækvistans 0,2 m (+ 0,8 — ÷ 1,0 m DNN) Contour interval. 2,0 (under, below ÷ 2,0 m DNN) Contour interval.

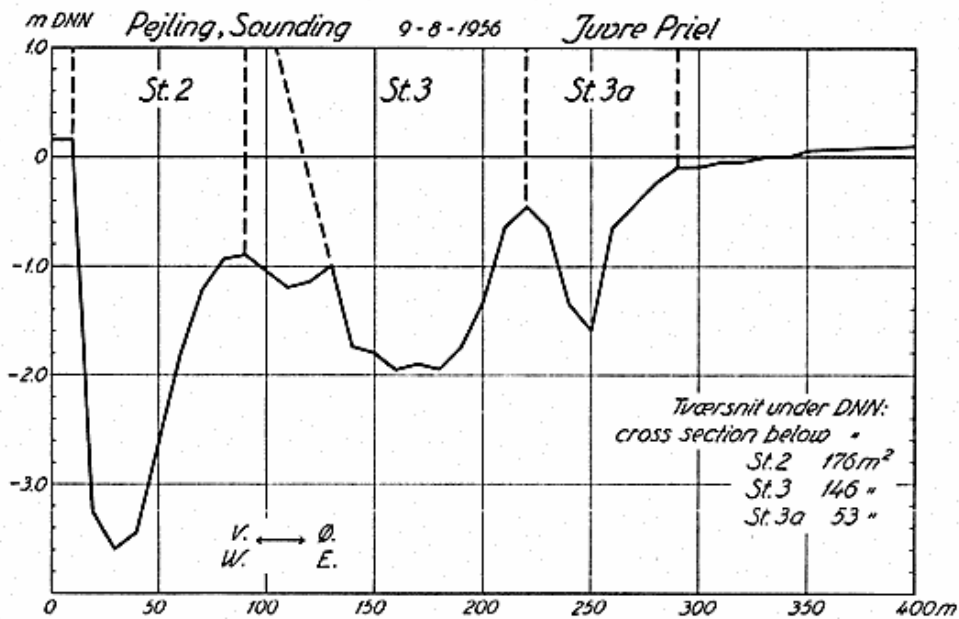


Fig. 8.

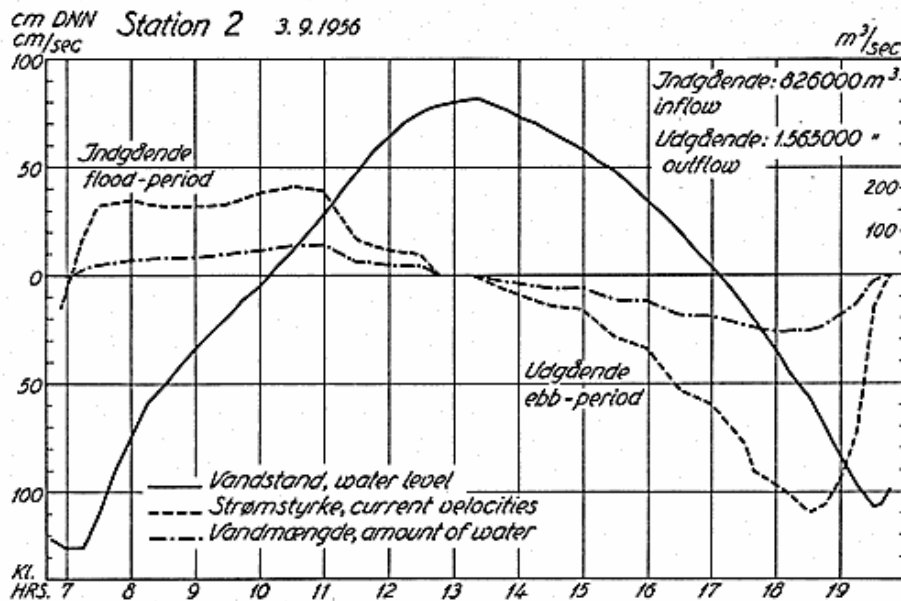


Fig. 9.

Fig. 8—15.

Vandstand: St. 5 efter måler II. St. 2, 3 og 4 interpoleret mellem måler I og II (jfr. fig. 7).

Strømstyrke: Middelstrømstyrke  $V$  på stationspladsen midt i løbet.

Vandmængde: Beregnet på grundlag af middelstrømstyrken i hele løbet.  $v = V \times 0,9$ .

Fig. 8—15.

Water Level: St. 5 = Tide-gauge II. St. 2, 3 and 4 interpolatet between tide-gauge I and II (cf. fig. 7).

Current velocities: Mean velocity  $V$  at the station in the middle of the channels.

Inflow and outflow: Calculated on the basis of the mean current velocity  $v$  for the whole cross section of the channels.  $v = V \times 0,9$ .

DNN = Danish Ordnance Datum.



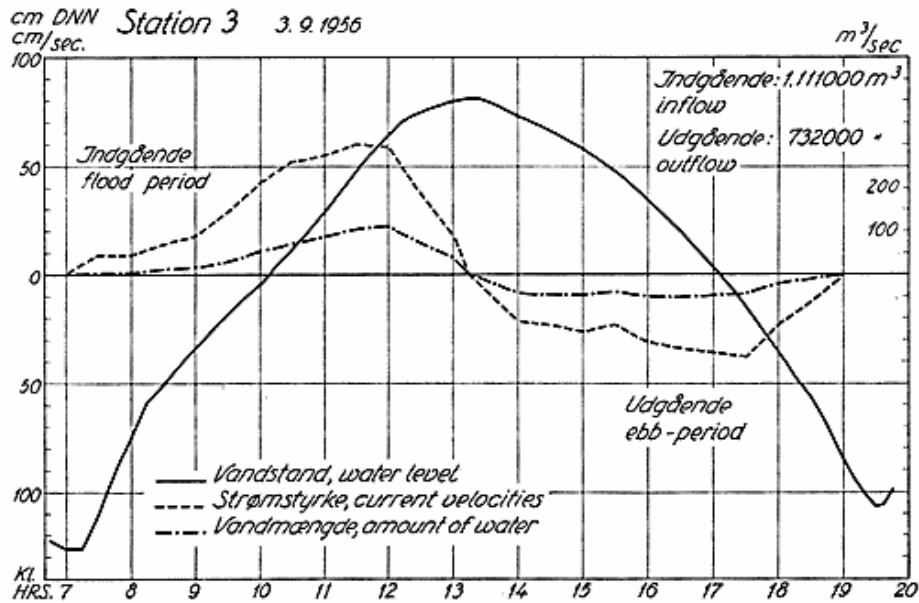
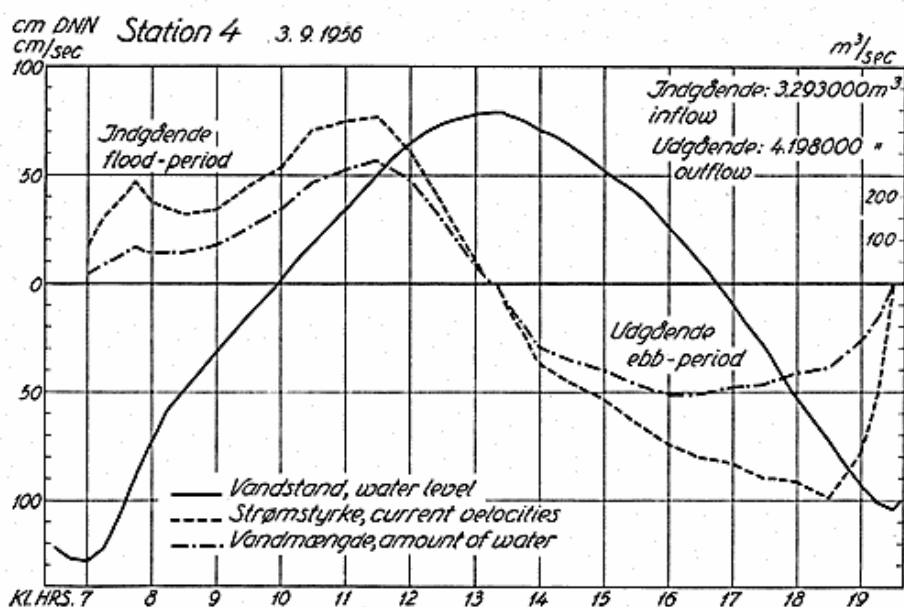
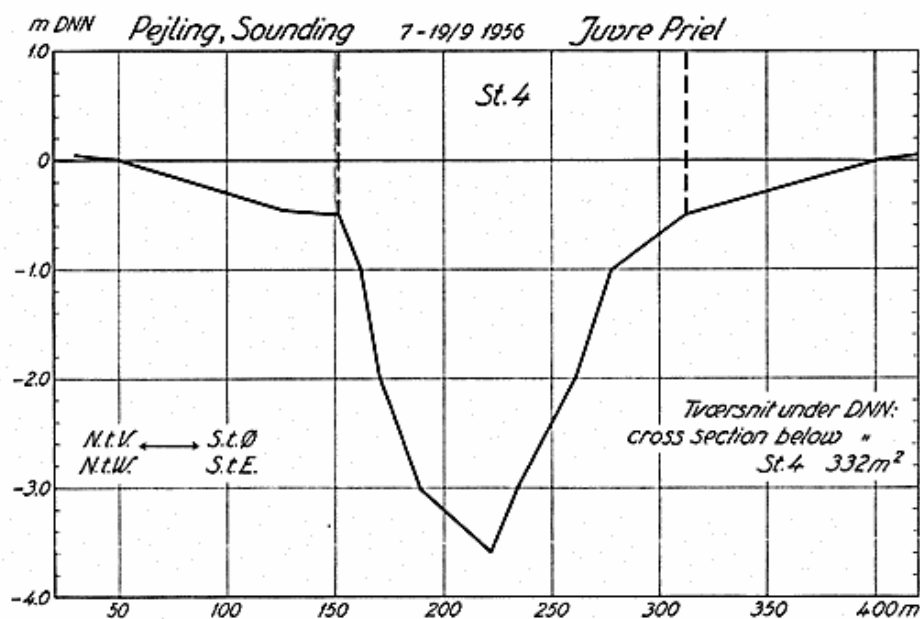


Fig. 10.

ebbskåret og flodskåret ikke er nær så udtalt som forskellen mellem de udgående vandmængder, hvor ebbskåret fører godt dobbelt så meget vand som flodskåret. Sedimentmålinger viser, at flodskåret har større indgående materialmængder end udgående og ebbskåret større udgående end indgående; men i det samlede profil er der dog et overskud af udgående materiale. Under storm med høj vandstand og en svag udvikling af lavvande fører det kortere flodskår betydelig større vandmasser både ved flod og ebbe, og det er navnlig under sådanne forhold, at flodbanken opbygges, og sediment transporteres ind i bassinet og over vaderne.

St. 4 viser et prielafrsnit, der er nogenlunde lige gunstigt beliggende for ebbe- og flodstrøm (Fig. 7, 11 og 12). I flodens første periode kan flodstrømmen kun strømme i det markerede hovedløb. Vandstanden stiger brat, og der udvikles en kortvarig, relativt stærk strøm. Det påfølgende strømfald, der kun i mindre grad svarer til en aftagen i vandføring, må bero på, at strømstyrke og vandføring i det stadig tiltagende profil ikke kan vedligeholdes gennem den snævre prielmunding. Når vaderne i mundingsområdet overskyldes, kan vandet igen trænge hurtigt ind, og strømstyrken i st. 4 stiger. Ebbestrømmen uddannes hurtigt og løber med stor styrke i længere periode end flodstrømmen, hvilket medfører, at selv om vandføringen under ebben kun er godt 25 % større end ved flod, så er sedimenttransporten næsten 3 gange så stor.

At st. 4 er et relativt neutralt område fremgår af en måling under omtrent samme vejrforhold som under de hidtil beskrevne (Fig. 13).



Flodstrømmen er noget stærkere end før omtalt, men stadig med de to karakteristiske maksima. De indgående vandmængder er større end de foregående udgående; men desværre haves ikke målinger for den følgende ebbeperiode. Selv om det omtalte prielafsnit betegnes som neutralt, er det dog indlysende, at ebben har størst mulighed for at udarbejde det dybe hovedløb. Flodstrømme på f. eks. over 50 cm/sek. forekommer kun, når vandstanden er steget til omkring  $\pm 0,1$  m til 0 m DNN og løber i et stadig tiltagende profil med mulighed for divergerende strømninger ud over vaderne. Ebbestrøm-

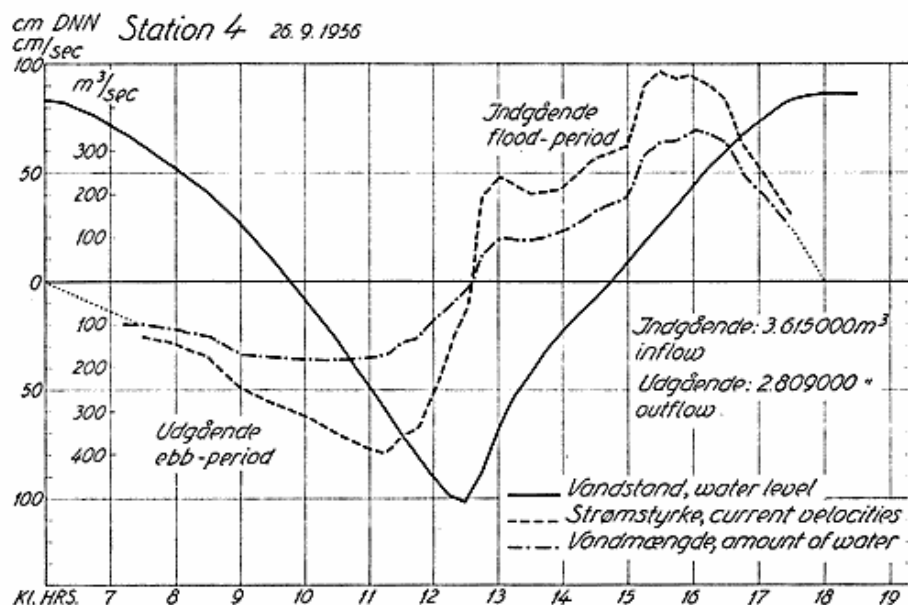


Fig. 13.

men opnår lignende strømstyrker, når vandstanden er faldet til mellem + 0,5 m og + 0,25 m DNN og tiltager i et stadig dybere og snævrere profil.

Fig. 14 og 15 viser forholdene i prielens mundingsområde ved st. 5. Målingen er udført d. 26.9.56 og er derfor sammenlignelig med st. 4, fig. 13.

I det dybe ebbeskår med en profil, der kun er lidt større end i st. 4, opnår ebbestrømmen en meget betydelig strømstyrke, på ovennævnte dato således 130 cm/sek. Vandføring og sedimenttransport er betydelig. Ved flod stiger strømstyrken hurtigt; men på grund af det ringe tværsnitareal ved lav vandstand kan det inden for liggende prielbassin ikke fyldes i samme tempo, som vandet stiger i det uden for liggende større dyb, og når vandet stiger op over vadeniveauet, må store vandmængder føres ind i prielbassinet over vaderne og indsnævre ebbeskåret. Målinger og iagttagelser viser, at de største vandmængder hovedsagelig må komme fra Rømø leje. Sammenlign de indgående mængder i st. 5 og st. 4.

Denne flere gange omtalte indstrømning af floden over vader og banker i prielernes mundingsområder og i de enkelte afsnit gør sig også gældende i prielernes indre afvandingsområder, der ofte fremtræder som lave bassiner i vadelandskabet.

Juvre priels bassin fyldes både gennem Juvre priel og ved flodens indstrømning over Vesen og de mindre prieler, hvilket skyldes, at Rømø leje har en gunstigere beliggenhed for indstrømning af flodstrømmen end Juvre priel. Floden kan derfor nå at stige op over

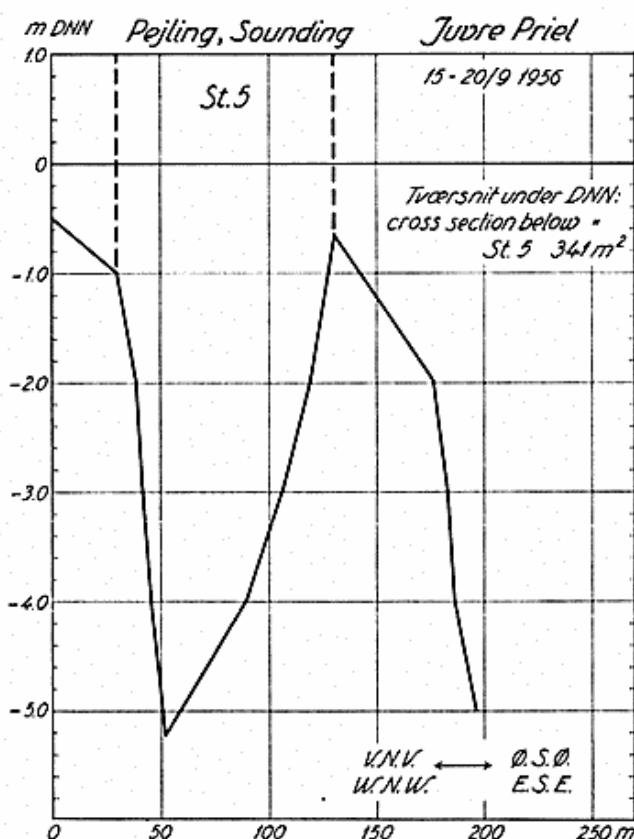


Fig. 14.

Vesen, inden bassinet er fyldt via Juvre priel. Dette kan godtgøres ved hydrografiske målinger og beregninger af vandføringen i prielen kontra bassinets volumen. Udformningen af Vesens overfladeformer bekræfter måleresultaterne. På Vesen ses tydelige, flade, tungeformede flodskår, der må skyldes en kraftig flodstrøm fra øst mod vest. De flade render, der skærer sig ind i vaderyggen, når ikke ind til bassinet i nogen dybde; selv i den ved gravning forlængede Sælpriel danner floden fra øst stadig en banke i den inderste del. Mest bemærkelsesværdigt er det måske, at prielen, der ligger umiddelbart op ad Rømdæmningen, der således fungerer som en støttelåning, aldrig har fået forbindelse med prielbassinet.

Selv om situationen i Juvre priel området er opstået ved bygning af Rømdæmningen, er den udtryk for et i Vadehavet almindeligt forekommende fænomen. Prielenes egentlige afstrømningsområde, d. v. s. prielenes omgivende bassin indtil overkanten af de omgivende vaderygge, lokale vandskel, fyldes ved flod, dels gennem prielerne, dels over vaderne. Når vandet falder til niveau med vaderyggene, vil alt det i bassinet værende vand strømme ud gennem prielerne, som således som helhed vil få overskud af udgående vand og sediment.

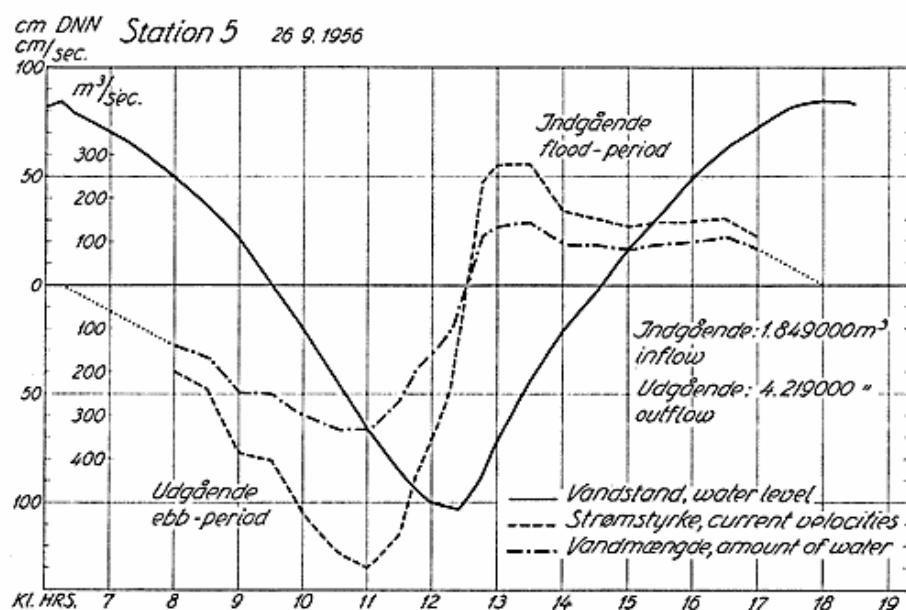


Fig. 15.

I det foreliggende tilfælde kan man ikke forvente, at gravning af en mindre kanal, f. eks. i Sælpriel området, til afledning af vand fra Juvre priel bassinet vil få nogen aflastende virkning på Juvre priels vandføring, fordi floden fra Rømø leje stadig vil danne banker i Sælpriels inderste del. En eventuel aflastningskanal må have meget store dimensioner, og al bankedannelse må forhindres, indtil et nyt løb er dannet.

Af den foregående beskrivelse fremgår det, at *van Veens* korte definition af ebbe- og flodskår stadig er anvendelig. En definition af morfologiske former og formelementer må dog helst foruden en karakteristik af udseende og beliggenhed også indeholde oplysninger om dannelsesmåde og funktion.

En almengyldig definition på ebbe- og flodskår kan næppe opstilles på grundlag af vor nuværende viden; man må afvente videregående undersøgelser af flod- og ebbeformerne på vaderne, i dybene og på disse barrer.

På grundlag af de hidtil foretagne undersøgelser og iagttagelser af vadeprielerne er der her forsøgt at opstille en definition af ebbe- og flodskårene i disse prieler.

Et ebbeskår er en tidevandsrende, der er dannet af ebbestrømmen. I vadeprielerne er det gennemgående hovedløb overvejende et ebbeskår. Ebbeskåret har en tydelig mæandertendens. I tidevandsrendens mundingsområde er ebbeskåret ofte smalt og dybt nedskåret, men med en bankedannelse i selve munden til et større farvand. I ebbeskåret har ebbestrømmen større styrke end flodstrømmen i

samme profil, og der går større vand- og sedimentmængder ud end ind. Ebbeskåret undviger flodskårets bankedannelser.

*Et flodskår* er en tidevandsrende, der er dannet af flodstrømmen. Flodskåret er kort og næsten retlinet og med en banke ved den øvre ende. I flodskåret har flodstrømmen større styrke end ebbestrømmen i samme profil, og der går større vand- og sedimentmængder ind end ud. Flodskåret er stedvis beliggende i hovedløbet, men hvor dette mæandrerer, søger det at gennemskære mæanderbuen.

---

### SUMMARY

All tidal-channels are cut into ebb-channels and flood-channels. This is according to van Veen (1950) caused by the transport of sand in opposite directions during ebb and flood and the different way in meandering of two types of currents. Fig. 1.

An ebb-channel is a tidal-channel generally lying open for the ebb-current and with a bar at its mouth.

A flood-channel is a tidal-channel generally lying open for the flood-current and with a bar at the upper end (van Veen).

Investigations in the Danish Wadden Sea in South West Jutland indicate that the morphology of the tidal areas predominantly is caused by the tidal-currents and that most sections either are dominated by the ebb-current or by the flood-current.

According to hydrographical measurements and soundings in the tidal-channel Juvre priel at Rømø (Fig. 7) ebb-channels and flood-channels are formed by ebb- and flood-currents, respectively, and not by a combination of the two. As both types of currents occur in the same tidal-channel they will, however, influence and transform each other.

The tidal-channels in the marsh and in the Wadden Sea are generally formed by the ebb-current, as it will appear also from the geographical position of the channels. The mouths of the tidal-channels are often extremely unfavourable situated as for the flood-current, which consequently will force its way sideways into the tidal-channel across the waddens in the mouth-area. Fig. 2, 14 and 15.

During the first part of the flood-period while the waterlevel is still low, the flood-current must follow the meandering main-channel; but gradually as the waterlevel rises and the strength of the current grows it will be difficult for the flood-current to adapt itself to the meanders of the ebb-channel. This will partly cause the flood-current to diverge from the channel and overflow the waddens, locally forming flat, tongueformed flood-channels; partly make the flood-current penetrate – shorten – the meanders of the ebb-channel. In this way short, relatively deep flood-channels are made, surrounded by horseshoe bars at the upper end. Fig. 3, 4, 5 and 6.

The formation of the flood-bars forces the ebb-channel to meander still more.

Fig. 8-13 will show the characteristic cross-sections and current velocities for ebb-channels, flood-channels and neutral parts of a tidal-channel.

With the investigations and observations of the wadden gullies done so far as a basis it has been attempted to put forth a definition of ebb- and flood-channels in these gullies.

An ebb-channel is a tidal-channel formed by the ebb-current. In the wadden gullies the main-channel mostly is an ebb-channel. The ebb-channel has clearly a tendency to meander. In the mouth-area of the tidal-channel the ebb-channel is often narrow and deeply cut with a bar formation in the very mouth at a greater water. In the ebb-channel the ebb-current has greater strength than the flood-current in the same section, and greater amounts of water and sediments are carried out than in.

A flood-channel is a tidal-channel formed by the flood-current. The flood-channel is short and practically rectilinear and with a bar at the upper end. In the flood-channel the flood-current has greater strength than the ebb-current in the same section, and greater amounts of water and sediments are carried in than out. The flood-channel is at some places situated in the main-channel, but where this meanders, the flood-channel tries to penetrate the meander curve.

---

#### LITTERATUR

- Jakobsen, B.* (1961): Vadehavets sedimentomsætning belyst ved kvantitative målinger. Geogr. Tidsskr. 60. Medd. fra Skall.-Lab. XVII. Kbhv.
- Møller, J. T.* (1960): Mandø Ebbevej. Folia Geogr. Dan. VIII, 2. Kbhv.
- Straaten, L. M. J. U. van* (1950): Giant Ripples in Tidal Channels. Tijdschr. Kon. Ned. Aardrijksk. Gen. Amsterdam. Waddensymposium. Groningen.
- Veen, J. van* (1950): Eb- en Vloedschaar systemen in de Nederlandse getj-watern. Tijdschr. Kon. Ned. Aardrijksk. Gen. Amsterdam. Waddensymposium. Groningen.
-

The formation of the flood-bars forces the ebb-channel to meander still more.

Fig. 8-13 will show the characteristic cross-sections and current velocities for ebb-channels, flood-channels and neutral parts of a tidal-channel.

With the investigations and observations of the wadden gullies done so far as a basis it has been attempted to put forth a definition of ebb- and flood-channels in these gullies.

An ebb-channel is a tidal-channel formed by the ebb-current. In the wadden gullies the main-channel mostly is an ebb-channel. The ebb-channel has clearly a tendency to meander. In the mouth-area of the tidal-channel the ebb-channel is often narrow and deeply cut with a bar formation in the very mouth at a greater water. In the ebb-channel the ebb-current has greater strength than the flood-current in the same section, and greater amounts of water and sediments are carried out than in.

A flood-channel is a tidal-channel formed by the flood-current. The flood-channel is short and practically rectilinear and with a bar at the upper end. In the flood-channel the flood-current has greater strength than the ebb-current in the same section, and greater amounts of water and sediments are carried in than out. The flood-channel is at some places situated in the main-channel, but where this meanders, the flood-channel tries to penetrate the meander curve.

---

#### LITTERATUR

- Jakobsen, B.* (1961): Vadehavets sedimentomsætning belyst ved kvantitative målinger. Geogr. Tidsskr. 60. Medd. fra Skall.-Lab. XVII. Kbhv.
- Møller, J. T.* (1960): Mandø Ebbevej. Folia Geogr. Dan. VIII, 2. Kbhv.
- Straaten, L. M. J. U. van* (1950): Giant Ripples in Tidal Channels. Tijdschr. Kon. Ned. Aardrijksk. Gen. Amsterdam. Waddensymposium. Groningen.
- Veen, J. van* (1950): Eb- en Vloedschaar systemen in de Nederlandse getj-watern. Tijdschr. Kon. Ned. Aardrijksk. Gen. Amsterdam. Waddensymposium. Groningen.
-