

# Kongeåens udløb i Vadehavet

N. Kingo Jacobsen

Jacobsen, N. Kingo, 1975: Kongeåens udløb i Vadehavet. Geografisk Tidsskrift 74: 55-67. København, juni 1, 1975.

*The problem of drainage at the outlet of streams in the Danish Wadden Sea. Outside the sluice of Kongeåen a canal was established 1963 to guarantee drainage, i.e. a low water-table at the sluice at low-tide. Bors at the outlet of the canal cause difficulties. The topography of the tidal flat, the ebb- and flood currents, the volume of water-masses etc. are investigated, and another technical arrangement proposed.*

Niels Kingo Jacobsen, Professor, dr. phil. Geographical Institute, University of Copenhagen, Haraldsgade 68, DK-2100 Copenhagen Ø.

Denne undersøgelse er udført af Vade- og Marskunder-søgelserne efter anmodning fra Ribe Amtsråd.

Feltarbejderne er tilrettelagt og delvis udført af forfatteren og omfatter en uges arbejde à 3 mand i nov. 1973 og to ugers arbejde à 4 mand i aug. 1974, foruden en hydrologisk kampagne 7. aug. med 8 mands indsats. To medarbejdere har herunder ydet en stor arbejdsindsats; stud. scient Henrik Madsen har således gennemført målingerne i nov. 1973 og de dertil hørende beregninger. Han har ligeledes deltaget i august-kampagnen 1974 og bagefter udført beregninger af nivellement og hydrologiske målinger. Adjunkt Jan Halaburt har deltaget i august-kampagnen, hvor han har stået for trianguleringen og de dertil hørende beregninger. Flyfototolkningerne 1954 og 1968 er udført af adjunkt Knud Heide Jensen, og udtegningen af 1974-optagelsen af adjunkt Sten Følving. J. Jönsson, Geografisk Inst. har udført tegnearbejdet.

## Vadehav og tidevandsområder

Vadehavet er hydrografisk karakteriseret ved tidevandets periodiske vandstandsændringer og de dermed skiftende, ofte direkte modsat rettede strømme. Vandudvekslingen med Nordsøen foregår gennem dybene. Kongeåens udløb er placeret i den nordvestlige del af Knudedybs tidevandsområde. Dybet er dannet af de ind- og udgående tidevandsstrømme som en rende i den off-shore barriere, som Rømø-Mandø-Fanø og Skallingen repræsenterer.

Vadehavets bundrelief består af 2 forskellige terrænformer: vaderne og de der imellem liggende dyb, render, løb og prieler. Vaderne omfatter en række forskellige former:

højsander, fx Kiil Sand, stjerner, fx Pælerev, revler, fx opvækstområdet NV for Kongeåens udløb, og større udjævnedede flader beliggende omkring eller lidt under middelhøjvandslinien, fx fladen SV for Kongeåens udløb, og endelig lavere liggende flader ofte med løsere lejrede sedimenter i modsætning til alle de 4 forannævnte typer. Vadefladens overfladeformer er i ret høj grad udformet af bølger og bølgestrømme, mens rendernes placering og form i langt højere grad skyldes tidevandet. Ud over rene tidevandsfænomener influeret af vinden, skyldes de ind- og udgående strømme tømning af bassinet inden for off-shore barrieren. Floden og ebben er ikke det enkelte sted blot modsat rettede ind- og udgående strømme af samme varighed og styrke, hvilket demonstrerer sig i relieffet, i mængden af ind- og udgående vandmængder og de hertil knyttede øvrige hydrografiske forhold. Dette er væsentlige kendsgerninger, der dominerer dynamikken i vadehavet. Hertil kommer, at vadehavet virker som et kolossalt sand- eller slikfang. Der tilføres årligt 100.000'er af m<sup>3</sup> nyt materiale, hvilket betyder, at vaderne hæves, og at løbene ændrer form og størrelse. Alt dette er væsentlige elementer i relation til Kongeåens afvanding og bør suppleres med den vejledende oplysning, at Kongeåen i en tidevandsperiode kun udsluser ca. 200.000 m<sup>3</sup> vand ved middelfaststrømning (10 l/sek./km<sup>2</sup>), der ved max. afstrømning firdobles. Til sammenligning ind- og udsluser Knudedyb ca. 200 mill. m<sup>3</sup> pr. tidevandsperiode, hvilket således modsvarer Kongeåens middelfaststrømning i et år.

De større tidevandsrender har et gennemgående hovedløb, der er formet af såvel floden som ebben. De almindelige tidevandsrender, prieler, er normalt dannet af og tilpasset ebbestrømmen: ebbeskår. Floden følger i begyndelsen det af ebben udarbejdede hovedløb. Skiftet fra ebbe til flod markeres ved en opstuvning af det udgående vand, strømstille og dernæst indgående vand. 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 materialet vil aflejres. I visse løb iagttager man, at flodstrømmen løber ind i den ene side og ebbestrømmen ud i den anden side af løbet, samtidig med at vandstanden stiger. I begyndelsen er flodstrømmen af reliefmæssige grunde tvunget til at følge ebbeskårene ind i vadehavet, men efterhånden som vand-

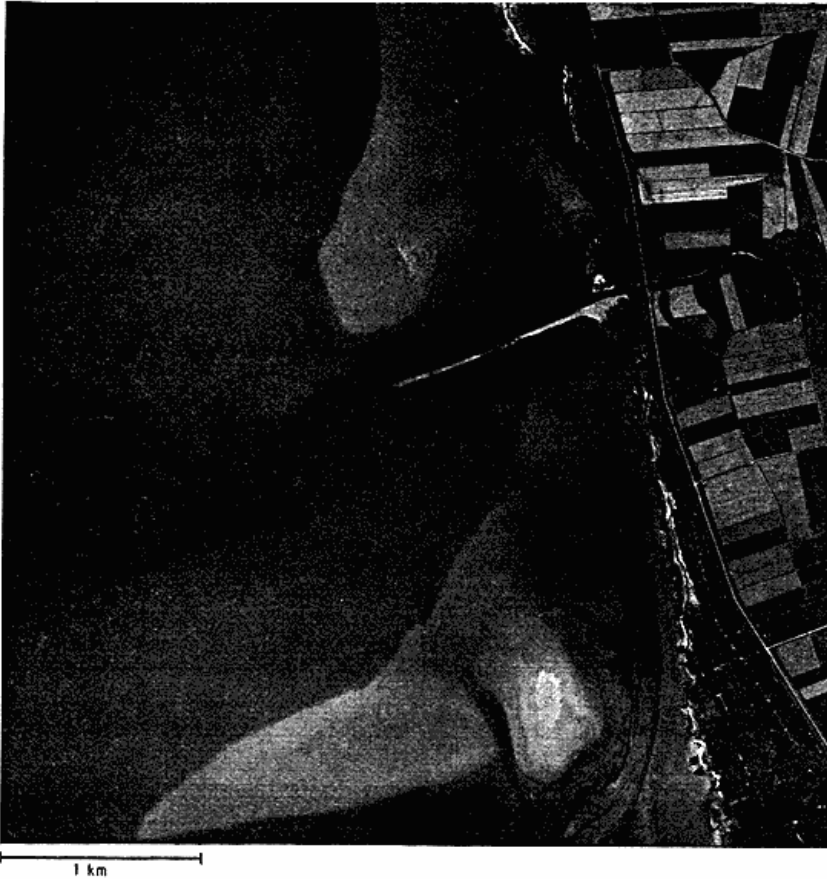


Fig. 1. Kongeåens udløb i Vadehavet. Flyfoto 19/4 1974, jfr. fig. 14.

Fig. 1. The outlet of the rivulet Kongeåen in the Waddensea ab. 10 km N of Ribe. The field system with old meanders are seen broken by the sea-dike with the foreland in front. The channel constructed leads the stream ab. 1200 m to the W and continue as a meandering ebb-channel in the center of the photo. The tidal flats cover most of the area and represent flood-channels, greater amounts of water and sediments are carried in than out. Close to the coast they are formed as high bars East of which ebb-channels are seen. The forming activity and the transportation of sediments by the flood over the tidal flats towards the coast are taking place almost exclusively during extraordinarily high water levels in connection with strong winds. Cfr. fig. 14.

standen stiger, og strømstyrken tillige øges, muliggøres en ny rendeskabelse fastlagt alene af flodstrømmen: flodskåret, dvs. der skabes et til strømretningen svarende løb. Flodskåret er bredt, domineret af, at vandet, så snart vandstanden er høj nok i forhold til ebbskårets smalle render, breder sig over flader bort fra løbene. Dybene og de større løb ligger nogenlunde lige gunstige for ebbe- og flodstrøm, men det er afgørende, at de 2 typer strømme løber i modsat retning, og at breddernes (dvs. flak og stjerters rande mod løbene) bugtende forløb (meandre-ringer) derfor ikke kan være lige gunstigt placeret for begge strømretninger med henblik på at tillade en så hurtig transport som mulig ved anvendelse af mindst mulig energimængde. Derfor former såvel ebbe- som flodstrøm dele af de fælles løb. På de højere vadestrækninger er der en klar adskillelse i flod- og ebbskår, således forstået, at enten floden eller ebber er dominerende i udformningen af morfologien. Dette kan kun lade sig gøre, fordi der til hver af disse render eller skår er knyttet specielle hydrologiske balancer og dertil svarende sedimentbalancer. Hele vadeoverfladen er udtryk for denne mekanik, idet man skal betænke, at det vandspejlsniveau, hvori det daglige tidevandsskifte foregår, er bestemt af de meteorologiske forhold med udsving af fx højvandstanden ca. fra + 4 m DNN til 0 m DNN, dvs. at lavvandstanden

tilsvarende har variationer ca. fra + 2 m DNN til - 1 m DNN, hvis der er tale om prieler i fri, åben forbindelse med dybene. Problemet er her ofte, at der lokalt findes tærskler opbygget, hvor flod- og ebbskårenes leje krydser hinanden. Her tvinges fx flodstrømmen til at bøje af, hvilket medfører et fald i strømstyrken hvorved en barre kan opstå i ebbskårets munding. Sker dette møde fx på en højereliggende vade med svagt fald, som det var tilfældet vest for Kongeåens munding. før kanalen blev gravet, vil det betyde, at ebbestrømmen får tilført meget stor materialelast af flodskår, dels fra SV og dels fra NV. Dette er forklaringen på det »braided river« system, som flyfoto fra 1954 demonstrerer. »Braided river« systemer kendes i dag fra fx Sydlands smeltevandselve, der helt modsvarer de tidligere smeltevandsfloders løb over hedesletterne i Vestjylland. Det er tillige et almindeligt fænomen i alle floder, når faldet er ringe og materialemængden stor, jfr. fig. 1, 13 og 14.

Benytter de 2 strømtyper begge et gennemgående hovedløb, vil detaljeret opmåling afsløre opdeling i flod- og ebbskårsafsnit. Den modsat rettede strømvirksomhed viser sig som nævnt tydelig i udformningen af løbets sider. Ebbesiden er gennemgående stejlere og med mere brat overgang til vaderne, mens flodsiden er mindre stejl, og prielkanten udviklet som en skråflade. Tungeformede

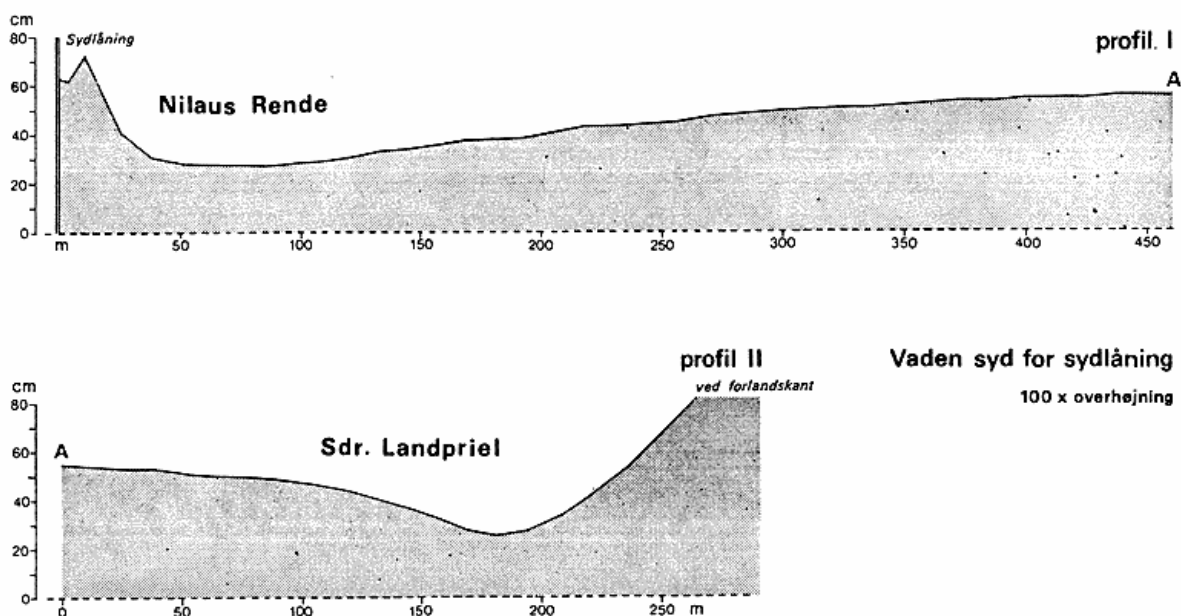


Fig. 2. Profil af linierne I og II, jfr. fig. 6.  
 Fig. 2. Profiles of the tidal flat S of the canal, cfr. fig. 6.

lavninger indikerer flodens indgående retning eller vandringsvej. Børge Jakobsen har givet følgende definition af flod- og ebbeskår: »Ebbeskår har tydelig meandre-rende tendens, og de undviger flodskårets bankedannelser. I ebbeskåret har ebbestrømmen større styrke end flodstrømmen i samme profil, og der går større vand- og sedimentmængder ud end ind. Flodskåret er kort, retlinet og med en bankedannelse 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«. (B. Jakobsen, Geografisk Tidsskrift, 1962).

#### Vedr. Kongeåens udløb i vadehavet

Undersøgelse til belysning af den virkning, som Hedeselskabets projekt, »En af låninger sikret kanal, der er ført 1200 m mod V-SV fra slusen ud i vadehavet«, har haft til sikring af afløbsforholdene for Kongeåen.

Baggrunden er et af dr. J. T. Møller for Vade- og Marskundersøgelserne udført forslag af 31. oktober 1963, baseret på opmåling af vaden vest for Kongeåens udløb. Hedeselskabet har siden december 1964 foretaget vandstandsobservationer af udvendigt vandspejl og siden marts 1965 tillige af indvendigt vandspejl ved Kongeå-slusen. Det fremgik før gennemførelsen af ovennævnte projekt, at der eksisterede en tærskel umiddelbart, dvs. 300-400 m vest for slusen, der havde til følge, at de udvendige vandstande ved slusen ikke var lavere end kote + 0,50 m DNN. For at sænke denne udvendige vandstand anlagdes i 1965 den af låninger sikrede kanal gennem tærsklen ud i vadehavet. Den sydlige låning blev oprindeligt bygget 900 m ud på vaden (regnet fra forlandskan-

ten), den nordlige låning 450 m og med en indbyrdes afstand af 35 m. Senere er sydlåningen forlænget til 1200 m på grund af fornyet bankedannelse.

Ved at føre å-løbet 1200 m ud over vaden i en fastliggende rende håbede man, at trækket på grund af gradienten ville forhindre dannelsen af endnu en banke. Dette er primært et spørgsmål om vandbalance samt endvidere et spørgsmål om sedimentbalance og den pågældende vadestræknings generelle opbygningstendens. Efter etablering af ovennævnte projekt indstiller de hydrografiske forhold sig således på en ny ligevægtstilstand afbalanceret efter det nyskabte fysiske miljø. Denne tilpasning sker via erosion, sedimentation og omlægning af strømforholdene over fladerne. Vandspejlet uden for slusen kan i dag under østenvind eller roligt vejr ved lavvande registreres i koten + 0,08 m (august 1974), modsvarende et lavere indvendigt vandspejl på ca. + 0,10 m DNN.

#### Problemstilling

Forholdene er i dag ikke tilfredsstillende og svarer ikke til forventningerne ved projektets gennemførelse. Hovedspørgsmålet, der rejser sig, er derfor: kan man uden alt for store udgifter forbedre forholdene og hvordan? Der skal for at kunne besvare dette spørgsmål først skabes klarhed over dynamikken i det nævnte vadeafsnit. De enkeltspørgsmål, man uvilkårligt indledningsvis vil stille, er følgende:

1. Var det en rigtig beslutning at føre Kongeåens udløb mod vest i en gravet kanal til Skodborg Løb, eller skulle man hellere have udnyttet den sydlige landpriel, der fortsætter i Øksen Lo.

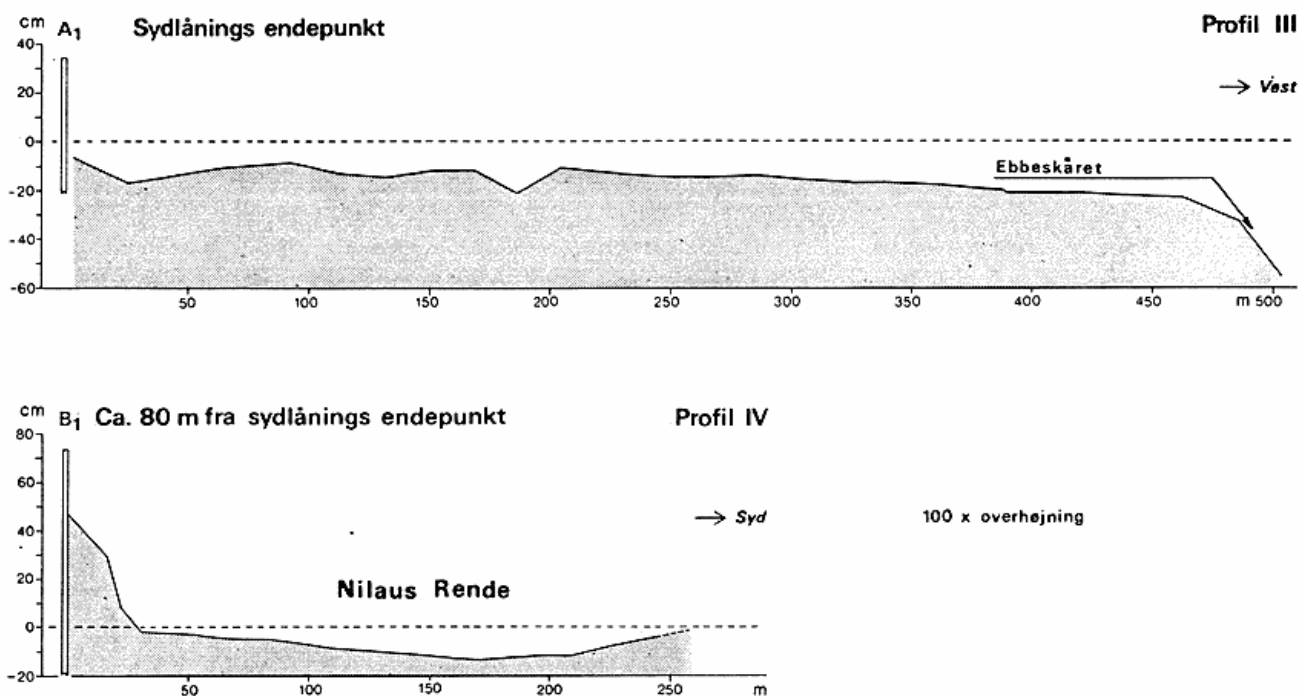


Fig. 3. Profil af linerne III og IV, jfr. fig. 6.  
 Fig. 3. Profiles of the tidal flat W and S of the canal, cfr. fig. 6.

2. Når man valgte kanalløsningen,
  - a. hvor langt skulle den så føres ud?
  - b. hvordan skulle den udformes?
  - c. var det en rigtig beslutning at gøre nord- og sydlånningen af forskellig længde, og var det specielt rigtigt, at det var sydlånningen, man styrkede og førte længst ud?
  - d. kan kanalens bundkote holdes, eller vil der inden for kanalstrækningen dannes barrer, hvor tilløb fra vaden i nord strømmer ind, eller er der fare for erosion af sydlånningen, og føres der herfra materiale ned i kanalen?

Nogle af disse spørgsmål synes måske spidsfindige, men de skal alle ses og vurderes i relation til vandudvekslingen forårsaget af tidevandet og til materialevandringen, såvel den af bølgeslaget under fremherskende lidt kraftigere vind forårsagede bundtransport som balancen flodstrøm-ebbestrøm eller rettere flodskår-ebbeskår problematikken. Sidstnævnte er bl. a. afgørende for løbenes meanderings-tendens bestemmende for det af tidevandet indtransporterede materiales placering samt et udtryk for den udviklingsfase, hele området befinder sig i, og derfor afgørende for besvarelsen af hovedspørgsmålet rejst ovenfor.

#### Arbejdsprogram

Feltarbejdet er udført som 2 kampagner. A: en indledende rekognoscering med profilopmåling (november 1973) og B: en egentlig målekampagne 2 uger i august 1974. I

den mellemliggende periode blev resultaterne af rekognosceringen bearbejdet, og der udførtes en flyfototolkning af området på grundlag af billedmaterialet 1:10.000 (11.-12. maj 1954) og 1:15.000 (27. august 1968, Geodætisk Institut), jfr. fig. 14. Endvidere er stereopar af en optagelse 19. april 1974 (Geodætisk Institut) benyttet Ved vurderingen af materialet, jfr. fig. 14.

A. Den indledende rekognoscering omfattede følgende detailprogram:

1. Fladenivellement af sydlånning med nedstik til gammel overflade.
2. 6 profilinier fra låningen ud over vaden (fig. 2, 3, 4, og 6).
3. Enkelt nivellement på nordlånningen (fig. 4).
4. Profilmålinger i kanalen (fig. 5, jfr. endv. fig. 6).

#### Ad 1.

Formålet var at bestemme erosion på sydlånningen, der er mest eksponeret for sydvestlige vinde og for flodens indtrængen. Rent visuelt konstateredes en materialeflytning fra låningen ud i kanalen. Låningen er bygget op mellem 2 rækker faskingærder, og materialet stammer fra den opgravede tærskel og kanalbund. Der konstateredes ofte lagdeling af sedimenterne, der vidner om omlejring af det opgravede materiale. En beregning af sedimentmængden i låningen (afgrænset af forlandskant, ndr. faskingærde og slikvaden i syd) er mulig, da materialet til en sådan haves, men beregningerne kan kun gennemføres

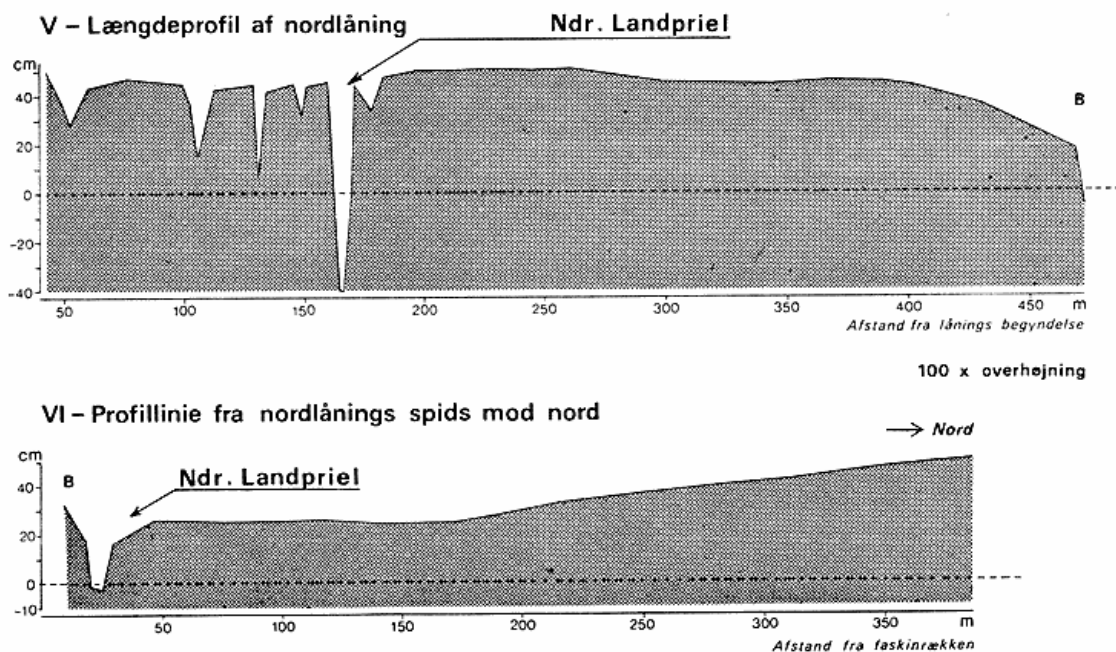


Fig. 4. Profil af linierne V og VI, jfr. fig. 6.

Fig. 4. Profiles of the northern construction and tidal flat, cfr. fig. 6.

med ret stor usikkerhed, hvorfor de opregnede orienterende resultater af denne indsats anses for tilstrækkelige.

Ad 2.

Syd for kanalen danner Læggen en stor stjertlignende dannelse, hvis højeste partier i 1974 nær land havde en NS-udstrækning på ca.  $1\frac{1}{2}$  km og rager ca. 3 km vestpå med en hovedakse parallelt løbende med kanalen ca.  $1\frac{1}{2}$  km syd for denne. Nord for stjerten og umiddelbart syd for kanalen løber et flodskår, her kaldet Nilaus Rende. Vandskellet mellem denne og den sydlige landpriel er i dag placeret ca. 300 m syd for kanalen

Profilerne I og IV viser tværprofiler af flodskåret, Nilaus Rende. De angiver et fald på 41 cm over ca. 900 m, dvs. at renden her har en gradient på ca. 1:2.200.

Profilerne I og II viser, at den sydlige landpriel og Nilaus Rende er lige dybe i de inderste afsnit. Det er ikke ud fra profilerne muligt at sige noget om, hvordan vandmængderne fordeler sig i de 2 render under flod og ebbe, men der er klart tale om henholdsvis et ebbe- og et flodskår. Nilaus Rende er bedst placeret for flodens komme. Under ebbe er det tænkeligt, at den sydlige landpriel er den dominerende. Det kræver dog en nærmere undersøgelse, og dominansen kan ikke strække sig over lang tid, da en vandspejlskote på + 0,5 m DNN fremtvinger et vandskel. Nilaus Rende dræner så vaden syd for låningen og fører vandet ud i Kongeå-renden ca. 2 km fra land. Koten ved pkt. A (0,55 m DNN) vidner, sammenlignet med J. T. Møllers kort fra 1963, om en vis opbygning af området.

Profilinie III fra sydlånings endepunkt mod SV (syd for Kongeå-løbet) viser et kontinuerligt fald 20 cm på 450 m (atter gradienten 1:2.200). Inde ved endefaskinen konstateredes en udkolkning på grund af strømningmønstret (kote ÷ 0,16 m DNN). Fordybningen 185 m SV for pløk A er en anastomoserende flodgren, da løbet her morfologisk er »braided river«.

Ad 3.

Nord for kanalen. Profil VI repræsenterer en linie fra nordlånings endepunkt ud over vaden mod nord. Efter at have passeret en mindre priel, der løber ud i kanalen ved låningens endepunkt, konstateredes en ca 200 m lang, lavere liggende vade (kote + 0,25 m DNN) modsvarende Kongeåens gamle meanderslynge (på J. T. Møllers kort, er denne flade beliggende ca. i kote 0 m DNN). Derefter konstateredes en jævn stigning til normalt vadeniveau ca. kote + 0,5 DNN. Profil V er et længdeprofil af nordlåningen, der har været udsat for erosion og derfor i dag visse steder ligger i niveau eller måske lidt lavere end vaden nordfor. Den er gennemskåret af flere dybe render, hvor den største, en gammel meanderslynge af Kongeåen, skærer sig ned til kote ÷ 0,4 m DNN. Denne afvander ndr. landpriel og er selv ved stærk lavvande vandførende. Det er især den inderste trediedel af låningen, der er gennemskåret. I forhold til sydlånningen er der mindre materiale på løbssiden af faskinpælene, hvilket støtter erosionsteorien for sydlånningen. Hvor nordlåningen ender, løber en lille priel ud i kanalen, og længere mod vest har kanalen endnu et tilløb

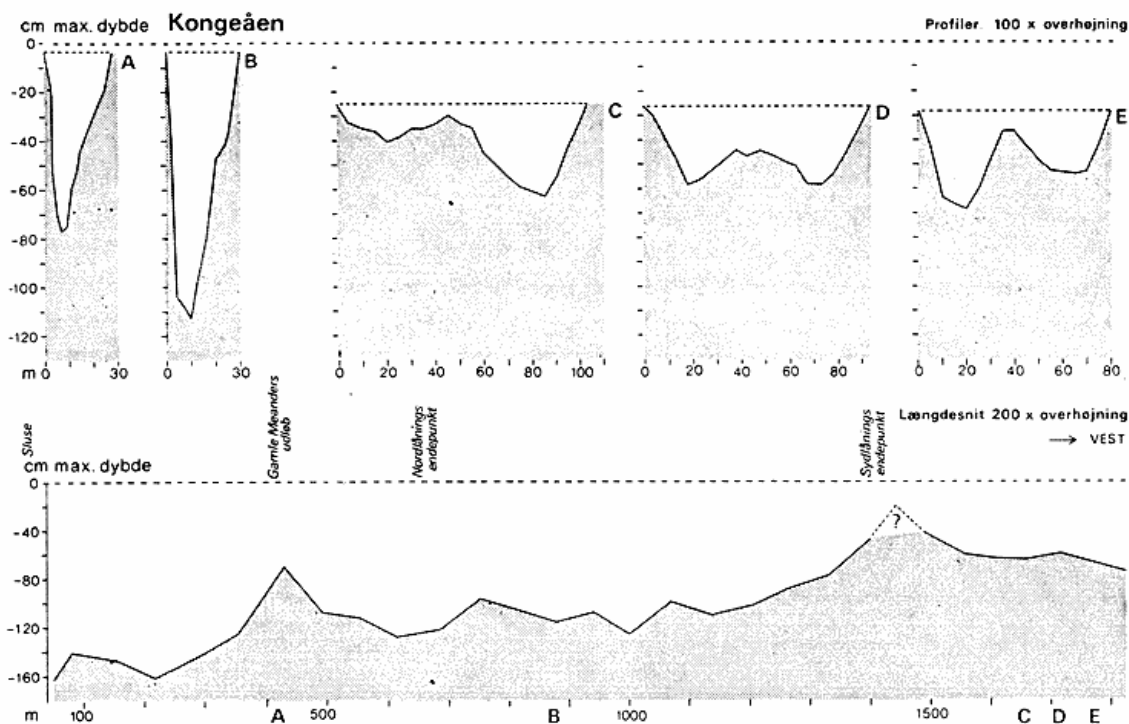


Fig. 5. 5 tværprofiler samt længdeprofil af kanalen fra Kongeå-slusen og ca. 1850 m mod vest, jfr. fig. 6.  
 Fig. 5. Longitudinal profile and 5 cross-sections of the Kongeå-canal ab 1850 m to the W, cfr. fig. 6.

fra nord (270 m fra enden af låningen, bundkote  $\div$  0,08 m DNN), som løber parallelt med kanalen til et godt stykke efter sydlånings endepunkt, hvor dette sideløb forenes med hovedstrømmen. Afstrømningsmæssigt er det tilsyneladende af mindre betydning, men det forstærker mødet flodskår-ebbekår 2-300 m vest for sydlånningen og forlægger tærsklen i nordlig retning.

#### Ad 4.

Der blev i kanalen opmålt profiler for hver 70 m fra slusen og vestpå til en afstand af ca. 1850 m (fig. 5). Dybden blev ved de indre profiler fejlet for hveranden eller tredje meter, de ydre for hver femte meter.

Opmålingen viser, at sydlånningen incl. opgravning har en stabiliserende virkning på kanalens horisontale udbredelse, idet løbet efter sydlånningens ophør firdobler bredden og udvikler sig til »braided river« med et hovedløb (dybde ved lavvande 40 cm) og et biløb (dybde ved lavvande ca. 15 cm). Nordlånningen synes ikke at have nogen indflydelse på kanalens bredde.

For at få klarlagt eventuel bankedannelse udtegnedes et længdeprofil af kanalens bund med koten for hver profils maksimale dybde (fig. 5). Ved slusen måltes koten  $\div$  2,1 m DNN, og en nylig foretagen oprensning holdt koten på under  $\div$  1,4 m DNN de første 300 m. Ved ndr. landpriels udløb i kanalen er der dannet en aflejringskegle kote  $\div$  0,7 m, som medfører et lokalt strøm-maksimum. Mellem aflejringskeglen og sydlånningens en-

depunkt ligger bundkoten omkring  $\div$  1,0 m DNN, hvorefter den stiger op til  $\div$  0,2 m DNN. Det er her, kanalen ændrer type til »braided river«. Derefter konstateredes et kontinuert fald i bundkoten; i 1700 m afstand fra slusen skifter hoved- og biløb plads. Ved udtegningen konstateredes, at koten på vandspejlet i løbet vest for sydlånningen faldt (jfr. profil C, D, og E, fig 5), hvilket skyldes, at barrieren er passeret, og at der vest herfor er en større gradient. Mellem barrieren og slusen har kanalvandspejlet kun en meget ringe gradient. På kanalens bund konstateredes flere steder op til 20 cm dynd, hvilket vidner om rolige strømforhold.

B. Resultatet af den indledende rekognoscering samt udtegningen af flyfotos (fig. 14) stillede krav om yderligere oplysninger:

5. Opmåling af vaden syd for kanalen (flodskåret Nilaus Rende).
6. Konstatning af vandskelslinien mellem Nilaus Rende og sydlige landpriel.
7. Indlægning af vandstandslinier under stigende og fallende vand, ebbelinier og flodlinier.
8. Opmåling af vaden nord for kanalen.
9. Hydrografisk kampagne gennem en tidevandsperiode på følgende 6 stationer: Slusen, kanalen (pkt. 800 m fra forlandskant), kanalen 400 m vest for sydlånning (pkt. 1600 m fra forlandskant), Nilaus Rende (pkt. 800 m fra forlandskant), sydlige landpriel (pkt. 800



m syd for slusen) og nordlige landpriel (pkt. ca. 800 m nord for slusen). Der etableredes vandstandsbrædder, opmålte profiler og blev foretaget strømmålinger, således at vandstandens variationer, strømhastigheder og ind- og udgående vandmængder kan beregnes. Målingerne gennemførtes den 7. august 1974. Der blev kun udført strømmålinger på 3 stationer: Slusen, kanal 1600 m samt ndr. landpriel. Der var stationeret en mand i båd i kanalen ca. 800 m fra forlandskant, således at vandstandsforhold og strømhastigheder målt kontinuerlige her og i Nilaus Rende. Vandstandsbrættet ved sydlige landpriel var desværre ikke intakt under hele måleperioden.

#### Ad 5.

Opmålingen af flodskåret viser en opbygning af området over 10 år på gennemsnitlig 20 cm, en udvikling der er generel for hele området, men uden tvivl accelereret i det bugtlignende bassin, der er skabt ved sydlåningens etablering. Der er efter et groft skøn tale om sedimentation af ialt ca.  $\frac{1}{2}$  mill. m<sup>3</sup> materiale inden for det undersøgte område, jfr. fig 6.

#### Ad 6.

Vandskelslinien mellem Nilaus Rende og sdr. landpriel konstateredes at være forskudt 300 m mod syd til fordel for Nilaus Rende. Koten i sdr. landpriel var her hævet fra ca. + 0,28 m DNN til + 0,38 m DNN fra 1963 til 1974.

#### Ad 7.

Der blev foretaget indlægning af vandstandslinier for sdr. landpriel og Nilaus Rende såvel ved faldende vand (3. august) fig. 7, som ved stigende vand (5. august) fig. 8. Der var i forvejen udstukket 22 linier, markeret ved dobbeltmærker langs forlandskanten mod sdr. landpriel D 1-10 og langs sydlåningen L 1-12. Strækningen blev delt op i afsnit, og vandkanten afmærket med pløkke  $2 \times 1-8$  på hver linie. At der er tale om et dobbelt sæt pløkke skyldes, at begge sider af de 2 render blev indmålt. Hver målestrækning blev gennemløbet dobbelt pr.  $\frac{1}{4}$  time. Der startedes hver  $\frac{1}{2}$  time fra samme udgangspløk og på samme rute. Yderpløkken nåedes 6-7 min. efter start. Dennes placering angiver vandspejlslinien og ved tilbageløbet placeres pløkkene på de enkelte linier midtvejs mellem deres placering for udturen og det vandspejl, der konstateredes på tilbageturen. Denne mellemproportional skulle således repræsentere yderpløkkens vandspejlslinie. Der kan rejses indvendinger mod metoden, men i praksis viste den en forbløffende tilnærmelse til realiteterne, således forstået, at det stigende vand den 3. august smukt fulgte det pælemønster, som vi netop ved faldende vand samme dag havde etableret. Placeringen af vandskellet, pkt. 6, blev fastlagt ved denne undersøgelse. Grundlaget for markering af linierne var en egentlig opmåling af

arealet med basislinie på diget og triangulationsnet, hvori sydlåningens endepunkt og toppen af Læggen indgik. Samtlige omtalte 22 linier blev indnivelleret efter begge de nævnte kampagner. Det er dette nivellementsnet, der danner grundlaget for kortet af vaden syd for kanalen, august 1974.

#### Ad 8.

På vaden nord for kanalen blev en nivellementslinie ført fra forlandskanten ved Udgrob ved ndr. landpriel og 700 m mod vest til det nye klintland, der her er under opbygning. Overensstemmende med udviklingen på vaden syd for kanalen er der også her tale om en ganske kraftig sedimentation (fig. 9), hvor de 2 overflader 1963 og 1974 er indlagt. I de østligste 200 m udgør pålejringsen ca. 10 cm, dernæst ca. 20 cm.

#### Ad 9.

Primær interesse har vandstandsvariationerne for de 3 stationer: Slusen, kanal 800 og kanal 1600, og endvidere sammenligninger mellem kanal 800 og henholdsvis Nilaus Rende samt ndr. landpriel. Der henvises til diagrammerne, fig 10, 11 og 12, der gengiver målingerne af vandstand og strømhastigheder for hver station samt de beregnede ud- og indgående vandmængder. Fig. 10 A fremstiller vandstanden i måleperioden kl. 5:45-17:30 for kanal 800 og kanal 1600 set i relation til slusens vandspejl, dvs. at kurverne direkte angiver vandspejlets fald i cm pr. 800 m.

Det er højvande ved Esbjerg pågældende dag kl. 5:10 og 17:17. Målingerne blev påbegyndt kl. 5:30, og kl. 6:15 var vandstanden ved slusen og kanal 1600 i niveau. Frem til kl. 7:00 udgjorde faldet under 5 cm; derefter bliver faldet kraftigt og er størst kl. 9:30 (28 cm). Det aftager til 18 cm kl. 11:00 for igen at tiltage til 26 cm kl. 13:15 og 24 cm kl. 13:30. Herfra stiger kurven stejlt; kl. 13:45 er faldet kun 10 cm, og kl. 14:00 er det udlignet. Herefter er vandstanden højest ved kanal 1600, max. + 14 cm kl. 15:00. Derefter udjævnes vandspejlets difference til + 2 cm kl. 17:30. Faldet til kanal 800 udgør maksimalt 10 cm, hvilket allerede indtræffer kl. 8:30. Fra kl. 9:30 til 11:30 er der modsvarende kanal 1600 et formindsket fald (8 cm), hvorefter faldet stabiliseres på 10 cm frem til kl. 14:00. Kl. 14:15 er det udlignet for derefter i en kortere periode frem til kl. 15:15 at være positivt + 3 cm; derefter er der stort set udlignet.

Det er helt naturligt, at faldet er størst ved kanal 1600 (vest for barren), samt at floden sætter ind her først. Kanal 800 angiver gradienten inden for barren 10 cm på 800 m = 1:8.000 eller kun ca.  $\frac{1}{4}$  af den naturlige gradient i området (1:2.200). Det mindre fald i kanal 800 fra kl. 8:30 til kl. 9:30 skyldes tilstrømningen fra nordlige landpriel. Vadefladen dukker op ca. kl. 7:00, da dens gennemsnitskote + 0,50 m DNN nås. Derefter sættes prielen i egentlig funktion. Den når sin konstante kote + 0,20 m

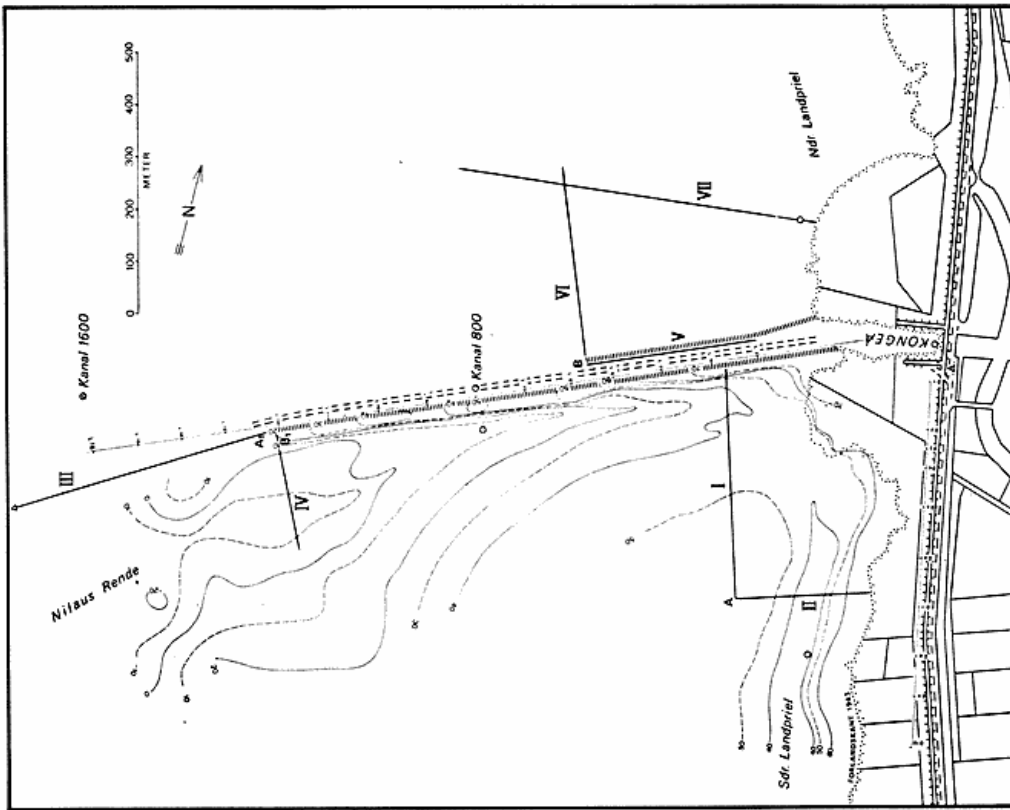


Fig. 6. Fladenivellement af vaden S for kanalen (3-5/8 1974) samt placeringen af kanal og profilinjerne I-VII. J. T. Møller har foretaget opmåling af hele arealet 1963. Lokalt er der tale om en sedimentation af størrelsesordenen 20 cm over hele det nyopnålte areal.

Fig. 6. The canal and profiles I-VII. Levelings 3-5/8 1974 which indicate an accumulation in the area S of the canal at ab. + 20 cm since the mapping of J. T. Møller, 1963.

DNN kl. 9:00. Det mindre fald kl. 10:00 til 11:45 fremstår tilsvarende i kanal 1600 og er måske en slags stående bølge, efter at slusens maksimale afstrømning er nået første gang kl. 9:30.

Fig. 10 B er en tilsvarende fremstilling, hvor kanal 800 nulstilles og sammenlignes med henholdsvis Nilaus Rende (station 800) og nordlige landpriel (station 800). Det fremgår heraf, at vandstanden er lavest i kanal 800 i hele ebbeperioden frem til kl. 14:00, hvor nordlige landpriel derefter stort set svarer til kanal 800, mens Nilaus Rende den første time giver et negativt udslag på op til 9 cm kl. 14:45 og dernæst igen et positivt udslag på 3 cm kl. 15:15, inden den ca. kl. 15:45 nulstilles. Floden trænger således hurtigst og næsten momentant ind i kanalen, som også vist på fig. 12. Flodskåret Nilaus Rende har større friktion.

Station Slusen, fig. 11 A. Udgående vandmængder den pågældende dag var i alt  $62 \times 10^3 \text{ m}^3$ , hvilken er under middelminimumsafstrømning,  $73 \times 10^3 \text{ m}^3$ , der modsvare 1,7 m<sup>3</sup>/sek. gennem slusen og en afstrømning fra det 460 km<sup>2</sup> store område, som Kongeåen afvander på 3,6 l/sek./km<sup>2</sup>. Middelaftstrømningen gennem slusen er 4,6 m<sup>3</sup>/sek. modsvarende 10 l/sek./km<sup>2</sup> og  $197 \times 10^3 \text{ m}^3$  under lavvande, mens maksimumsværdierne er henholdsvis 17,5 m<sup>3</sup>/sek. gennem slusen modsvarende 38,0 l/sek./km<sup>2</sup> eller  $750 \times 10^3 \text{ m}^3$  gennem lavvandsperioden. Det er således en

ekstrem lavvandssituation, der er registreret 7. august 1974, men det var også nødvendigt for at kunne måle tærskelværdier såvel i flodskåret Nilaus Rende som på barren 2-300 m vest for sydlåningen. De maksimale afstrømningshastigheder i slusen udgør den pågældende dag 13 cm/sek. frem til kl. 7:30, hvorefter de falder jævnt til 9 cm/sek. kl. 10:00. Kl. 13:30 registreredes 7 cm/sek., hvorefter slusen lukker kl. 13:45.

Station kanal 1600, fig. 11 B. Udgående vandmængder udgjorde  $138 \times 10^3 \text{ m}^3$ , indgående vandmængder  $78 \times 10^3 \text{ m}^3$ . Vandmængderne repræsenterede kun den del, der har passeret selve løbstværsnittet, sat til 100 m. Når vadeniveauet nås kl. 14:45 (+ 40 cm DNN), halveres strømhastigheden nærmest momentant fra ca. 30 cm/sek. til 15 cm/sek., dvs. at det udstømmende vand herefter kan fordeles over hele fladen. Ikke desto mindre svarer den beregnede udstømmende vandmængde  $138 \times 10^3 \text{ m}^3$  stort set til den indgåede vandmængde  $78 \times 10^3 \text{ m}^3$  + Kongeåens tilskud  $62 \times 10^3 \text{ m}^3$  (=  $140 \times 10^3 \text{ m}^3$ ). Fra ndr. landpriel blev der efter beregningerne tilført  $24 \times 10^3 \text{ m}^3$ , der således repræsenterer den mængde, der er strømmet bort over fladerne, en efter et groft skøn rimelig størrelsesorden.

Vandstandsvariationerne viser et for en vade under opbygning karakteristisk forløb. Ebben er dominerende, jævnt faldende til kote -10 cm DNN. Allerede fra kl. 8:30,



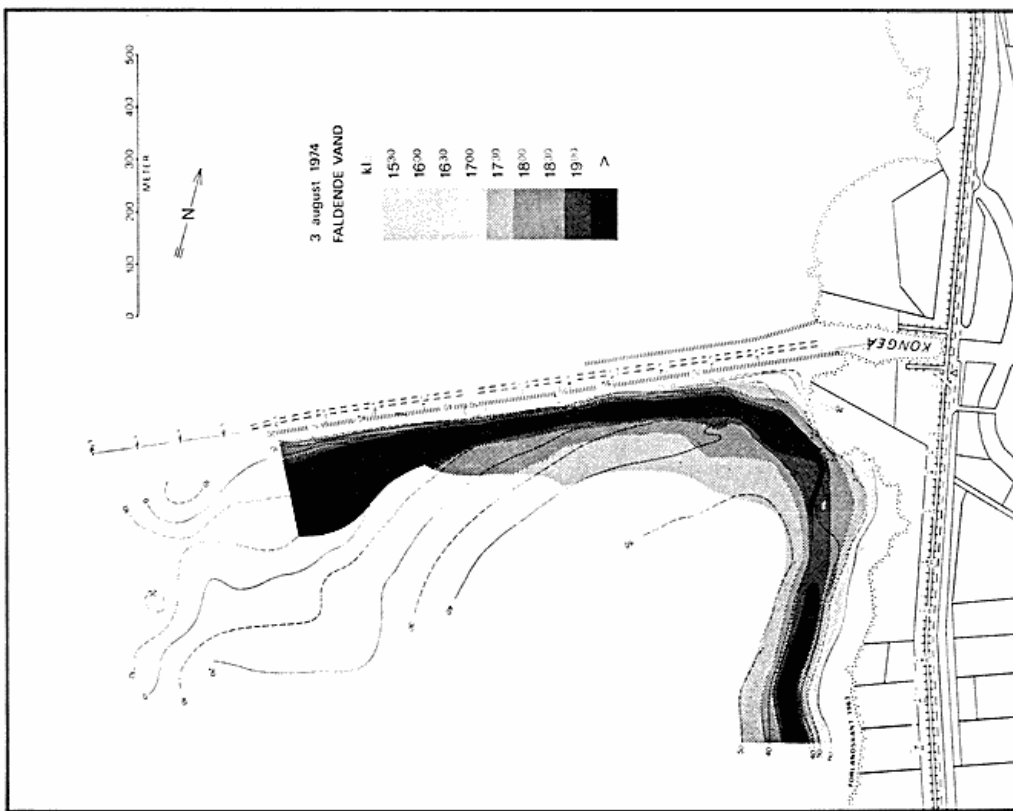


Fig. 7. Undersøgt område (Nilaus Rende) ved faldende vand 3/8 1974 med angivelse af vandkantens placering til de angivne tidspunkter, jfr. iøvrigt teksten.  
 Fig. 7. Water-covered areas, Nilau Rende, at falling water 3/8 1974. The water-front was marked on both sides of the flood-scar each 30 minutes. The level was indicated by pegs within 15 minutes and corrected in relation to the utmost of each stretch 7-8 minutes after the observation started for that stretch and period.

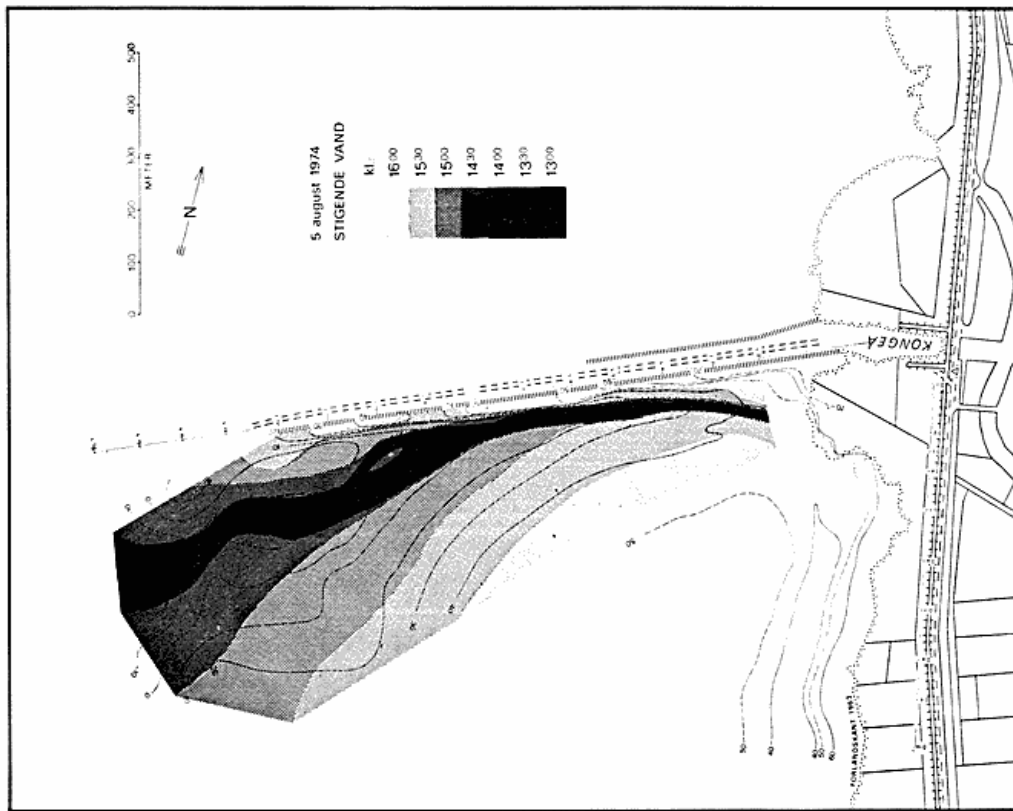


Fig. 8. Undersøgt område (Nilaus Rende) ved stigende vand 5/8 74 med angivelse af vandkantens placering til de angivne tidspunkter, jfr. iøvrigt teksten.  
 Fig. 8. Water-covered areas, Nilau Rende, at rising water 5/8 1974. cfr. fig. 7.

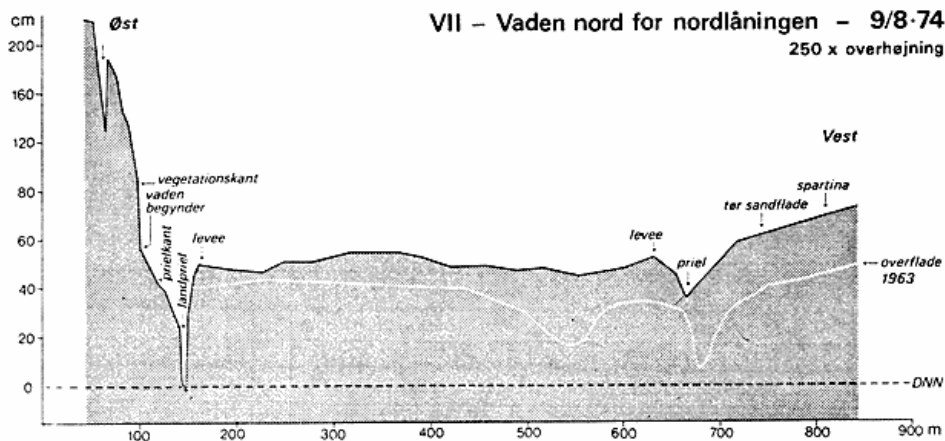


Fig. 9. Profil af linjen VII, jfr. fig. 6.  
Fig. 9. Profile of the tidal flat N of the canal, cfr. fig. 6. The old surface 1963 is indicated and the mentioned accumulation of material S of the canal (fig. 6) can be registered here too.

hvor vandstanden er faldet til kote  $+ 0,04$  m DNN, repræsenterer udstømningen fra Kongeåen stort set alene de udgående vandmængder gennem kanal 1600's profil, dvs. at den egentlige ebbeperiode varer 3 timer og repræsenterer et fald på 65 cm. Floden starter kl. 13:30 og når koten  $+ 40$  cm DNN kl. 14:45, dvs. den varer kun  $1\frac{1}{4}$  time, selv om den derefter fortsætter, omend med reduceret hastighed (15–10 cm/sek. mod op til 38 cm/sek. i den indledende, egentlige fase). Vandstandskurven når sit laveste niveau allerede omkring kl. 11:00 ( $-0,10$  m DNN), hvor også såvel strømhastigheden (20 cm/sek.) som udgående vandmængder (10 m<sup>3</sup>/sek.) er nogenlunde karakteristiske størrelser.

Station ndr. landpriel, fig. 11 C, viser den samme karakteristiske vandstandskurve med en stejl flodkurve i 2 tempi, stejlest kl. 14:30–15:00, derefter kraftigt stigende kl. 15:00–17:00, hvorefter toppen er nået. I alt en flodperiode på  $2\frac{1}{2}$  time. Ebber er derimod konstant faldende i  $3-3\frac{1}{2}$  time, kl. 5:30–9:00, hvorefter den viser konstant vandspejl i kote ca.  $+ 0,20$  m DNN. Strømhastigheden er nogenlunde lige stærk under flod og ebbe, men holder sig i en længere periode på afgørende størrelse ( $> 30$  cm/sek. under ebber  $2\frac{3}{4}$  time, kl. 7:15–10:00) og 0 timer for flodens vedkommende, dvs. at vi helt tydeligt står over for et ebbeskår. Den udgående vandmængde er da også større end den indgående,  $24 \times 10^3$  m<sup>3</sup> mod  $19 \times 10^3$  m<sup>3</sup>, et tilskud til udstømningen gennem kanalprofilen på i alt  $5 \times 10^3$  m<sup>3</sup>. Denne mekanisme er resultatet af en flodstrøm via Darum Løb, der passerer ind over det nord for kanalen liggende opvækstområde. Overskuddet af vand søger så ud gennem ebbeskåret i ndr. landpriel, jfr. fig. 14 hvor det omtalte flodskår er indlagt på indtegningen af flyfoto 19/4 1974, der iøvrigt er gengivet i fig. 1.

Det af sdr. landpriel registrerede kurveforløb for vandstandsvariationer kl. 5:00–7:00 og kl. 15:30–18:00 svarer til ndr. landpriels.

I opgørelsen over passerede vandmængder er der lavet en beregning på basis af målingerne i Nilaus Rende over de mindstemål af vand, som sydlåningen under ebbe hin-

drer adgang til kanalløbet før vest for barren:

) 0,5	m DNN	$7 \times 10^3$ m <sup>3</sup> vand
0,5 – 0,4	–	$33 \times 10^3$ m <sup>3</sup> –
0,4 – 0,3	–	$43 \times 10^3$ m <sup>3</sup> –
0,3 – 0,2	–	$27 \times 10^3$ m <sup>3</sup> –
0,2 – 0,1	–	$22 \times 10^3$ m <sup>3</sup> –
0,1 – 0,0	–	$21 \times 10^3$ m <sup>3</sup> –
0,0 – -0,1	–	$34 \times 10^3$ m <sup>3</sup> –
-0,1 – -0,2	–	$17 \times 10^3$ m <sup>3</sup> –
-0,2 – -0,3	–	$1 \times 10^3$ m <sup>3</sup> –
		<hr/>
		$205 \times 10^3$ m <sup>3</sup> vand

Et realistisk skøn må regne med udløb via sydlige landpriel, indtil tærsklen ca. ved kote  $+ 0,4$  m DNN træder i kraft, således at den faktiske vandmængde, der på grund af sydlåningen afspærres fra at søge det egentlige hovedløb, kanalløbet, og som nu benytter Nilaus Rende, er ca.  $160 \times 10^3$  m<sup>3</sup> eller af samme størrelsesorden som kanalløbet den pågældende dag.

Det må konstateres, at der også i dag er foregået bankedannelse for enden af den 1200 m lange låning med dertil hørende tærskel, der bestemmer den udvendige vandstand ved slusen, fig. 13. Årsag: sedimentation ved møde mellem flod- og ebbeskår.

Ved stigende strømhastighed over en sandflade nås den kritiske hastighed, hvor sandskornene begynder at rulle hen over bunden for dernæst ved stadig stigende strømhastighed at springe, hoppe eller helt løsrive sig fra bunden. En del af det ophvirvlede sand falder ned igen, men en anden del føres bort af turbulente strømme i højere liggende vandlag. Afhængig af om den mængde sand, der falder tilbage til bunden, er større eller mindre end den del, der blev ført op, taler man om sedimentation eller erosion. Erosion afhænger af strømmens hastighed og turbulens, af kornstørrelsen, vægtfylden samt af stedets morfologiske karakter. Sedimentationen afhænger primært af sandskornenes faldhastighed og af turbulensen og kan udtrykkes som en simpel eksponentiel funktion, hvor vandets temperatur og saltholdighed ligeledes spiller en rolle.

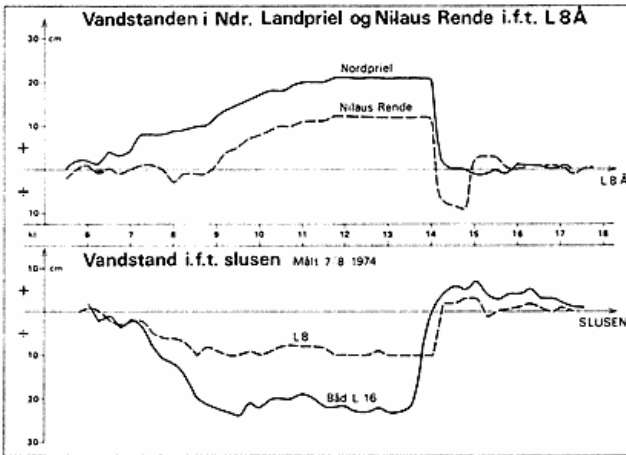


Fig. 10 A. Vandstands-differencen 7/8 1974 kl. 5,45-17,30 mellem slusen og kanalen henholdsvis i 800 m og 1600 m afstand. B. Vandstands-differencen 7/8 1974 kl. 5,45-17,30 mellem kanalen (800 m V for slusen) og ebbskåret Nordre Landpriel N for kanalen samt flodskåret Nilaus Rende S for kanalen, jfr. teksten. Fig. 10 A. The water-level difference between the sluice and the canal 800 m and 1600 m W of the sluice 7/8 1974 at 5,45-17,30 o'clock. B. The water-level difference between the canal 800 m W of the sluice and the ebb-channel to the North (Nordre Landpriel) and the flood-schar to the South (Nilaus Rende) 7/8 1974 at 5,45-17,30 o'clock.

Turbulensen afhænger endvidere af stedets vanddybde. Ved materialevandringen har strømmen en dobbelt funktion: ophvirvling af materialet og selve transporten. Tidsfaktoren spiller ind som faseforskydning: ved samme strømhastighed haves mindre sandindhold ved acceleration end ved bremsning, hvilket sidste giver anledning til dannelsen af sandbølger eller revledannelser.

Tidevandsbølgen er typisk asymmetrisk. Vandet stiger meget hurtigt den første halvanden time, dernæst noget langsommere de næste to timer. Indgående vand konstateredes i alt kun i 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> time i renden 300 m vest for syd-låningen, mens vandet faldt i 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> time ligeledes stærkt i en noget længere indledende fase (3<sup>1</sup>/<sub>4</sub> time). Selve lavvandet varede nævnte dag (7. august 1974) ca. 1 time, hvorefter vandet steg momentant (jfr. fig. 11). Allerede fem kvarter efter lavvande er vandspejlet steget til halvdelen af sin højde den pågældende dag (55 cm à 110 cm). Efter flodkæntringen ved lavvande tiltager strømstyrken efter en stejl flodstrømhastighedskurve i den første time, hvorefter den falder til ca. 1/4, hvor den så holder sig. Dette skyldes, at løbene da er vandfyldte, og at floden breder sig over fladerne. Netop dette strømforløb er stærkt befordrende for tilsanding. Den indledende stærke flodstrøm bevirker lokal erosion, der fører materialet videre ind i vadehavet. Ved en å-munding i vadehavet, hvor man står over for en vandudveksling karakteriseret af en kort flodtid og en lang ebbevarighed, kombineret

med foranliggende store vadestrækninger, vil tilsanding af å-mundingen være resultatet.

Det er forholdet

$$\frac{V_e \text{ max.}}{V_f \text{ max.}} = k,$$

der er afgørende. Ved  $k > 1$ , sker der en udkolkning. Ved  $k < 1$  en tilsanding af å-lejet. Her er der netop balance. Der er allerede peget på, at de maksimale hastigheder er af afgørende betydning for strømmens udkolkende virksomhed og således hører til de vigtigste faktorer ved opstillingen af en sandbalanceligning. 3 timer  $\times$  30-40 cm/sek. kontra 1 time  $\times$  30-40 cm/sek., overskuddet registrerer uden tvivl åens virkning.  $k = 1$  viser ligevægt, hvil-

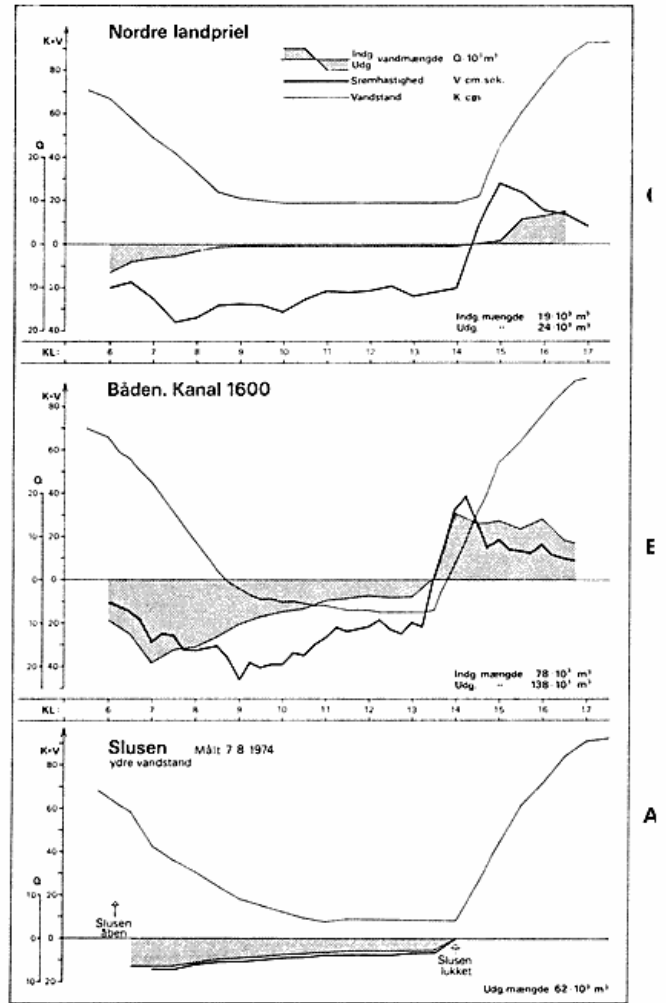


Fig. 11 A, B, C. Målinger af ind- og udgående vandmængder ved henholdsvis slusen, kanal 1600 og Nordre Landpriel den 7/8 1974.

Fig. 11 A, B, C. Outflow and inflow of water ( $Q \cdot 10^3 \text{ m}^3$ ) at the sluice, the canal 1600 m W of the sluice and at the ebb-channel Nordre Landpriel 7/8 1974. Further are indicated current velocities ( $V$ , cm/sec.) and water-level ( $K$ , cm DNN).

VANDSTANDSKURVER for:

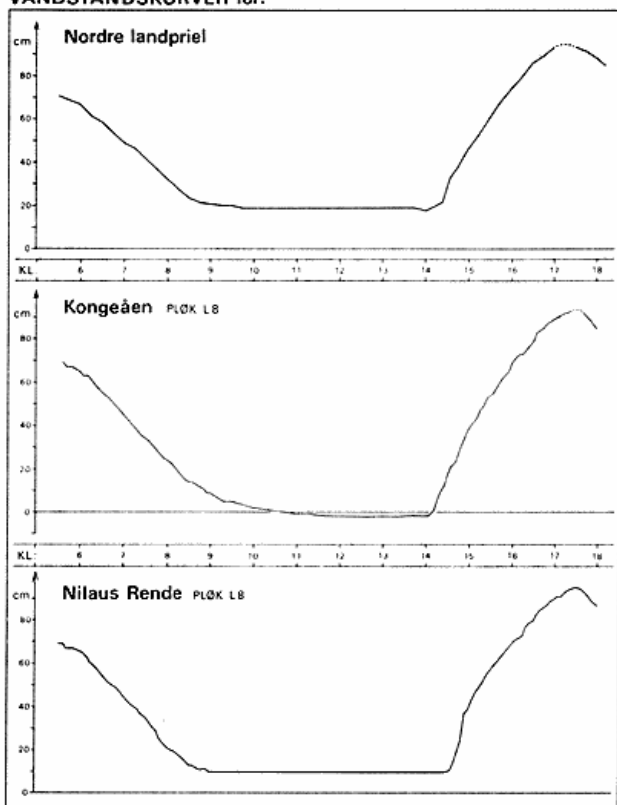


Fig. 12 A, B, C, Vandstandskurver for kanalen 800 m V for slusen (B) sammenlignet med flodskåret Nilaus Rende S herfor (A) og ebbeskåret Nordre Uandpriel N herfor (C) den 7/8 1974.  
 Fig. 12 A, B, C. Water-level at the canal 800 m W of the sluice (B) in comparison with the flood-schar to the S, Nilaus Rende, (A) and the ebb-channel to the N, Nordre Landpriel, (C) 7/8 1974

ket må siges at modsvare situationen her, k-værdier alene er imidlertid ikke tilstrækkelige for vurdering af sandbalancen. Sedimentationstiderne omkring flodkæntingen er også af stor betydning, specielt for de finere fraktioner. Og endelig må man bemærke, at målinger et enkelt sted ikke altid er karakteristiske for et større område. Endvidere giver de samme hastighedsprofiler for flod- og ebbestrøm forskelle i udkolknings-effekt på grund af forskelle i saltholdighed. Een indikator er således ikke tilstrækkelig til at besvare de stillede spørgsmål. Alle involverede geografisk-morfologiske og hydrologisk-dynamiske faktorer fra hele undersøgelsesfeltet er af betydning for at kunne angive en løsning på problemet. Vandstandskurven viser med stor tydelighed, at flodstrømmen og dens virkning er udpræget forstærket, og at ebbestrømmen og dens virkning er afsvækket.

På fig. 14 er der på grundlag af flyfoto den 19. april 1974 givet en situationsskitse af vadetyperne fra stjerter

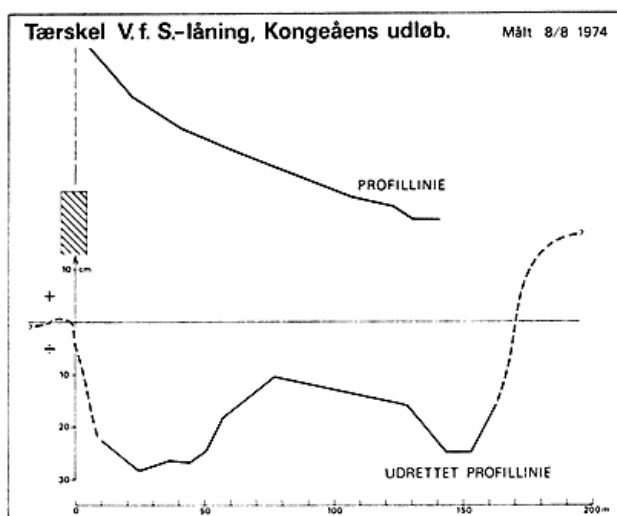


Fig. 13. Bankedannelse for enden af sydlåningen vist på udrettet profilinje.

Fig. 13. Cross-section of the canal immediately W of the fascine-fence indicating the formation of a bar, the sedimentation of material where the ebb- and flood-currents are crossing each other.

via normalvader til lavere liggende vader, af flod- og ebbeskår samt af den byggede kanal. På figuren er der på samme grundlag indtegnet flodstrømme.

Det fremgår heraf, at det var en rigtig beslutning at føre Kongeaen mod vest ud i Skodborg Løb. Ved at føre den gennem den sydlige landpriel, Øksen Lo, ville man blot få et længere løb, men de samme vanskeligheder, da Øksen Lo syd om Læggen ligeledes skal kæmpe sig vej mod vest, imod og inden for et flodskår.

Der er derimod sket en beklagelig misforståelse ved at lade sydlåningen være ledende. Låningen bør placeres langs ebbeskårets kant, dvs. langs den højeste (stejleste) nordvadestrækning (naturligvis så med gennemløb for såvel ndr. landpriel som for den vest for liggende nordlige priel). Herved ville såvel vandmængderne fra ndr. landpriel, fra Kongeaen og fra Nilaus Rende være forenet i et rigtigt placeret ebbeskår, der ganske vist skulle meandrer sig frem til vadens sydkant ca. 2 km fra land, men det ville vandmængderne let kunne klare med den gradient på ca. 1:2.000, der naturligt står til rådighed og med de langt større vandmængder, som en forening af de 3 løb ville betyde.

Kongeåens udløb

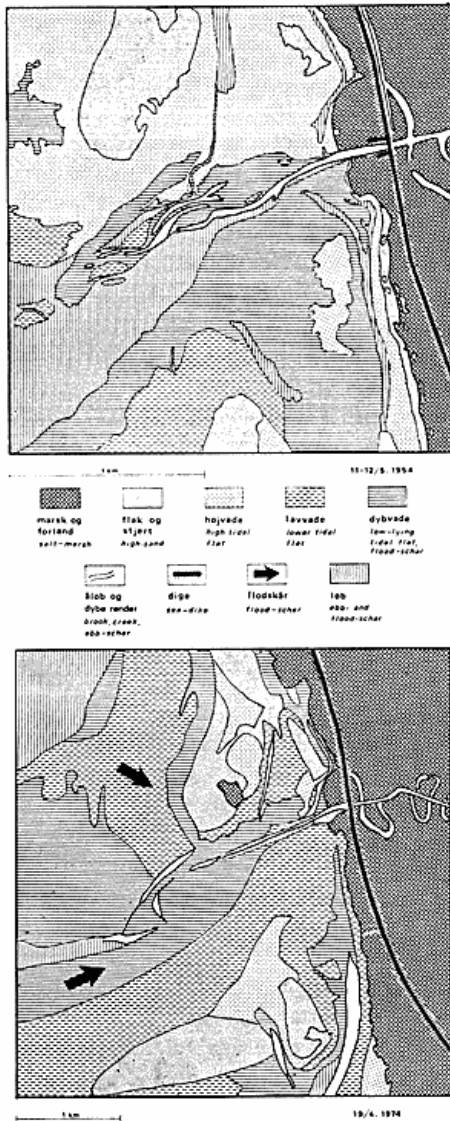


Fig. 14. Kongeåens udløb i Vadehavet, udtegnet på grundlag af flyfoto 11-12/5 1954 og 19/4 1974. Bemærk målestok.  
 Fig. 14. The outlet of Kongeåen drawn after airphotographs 11-12/5 1954 and 19/4 1974. Note the different scale.

**SUMMARY**

The problem investigated is the formation of sand bars at the outlet of streams in the Danish Wadden Sea. Outside the sluice of Kongeåen a canal was established 1963 by construction of fascine-fences North and South correspondingly 450 m and 1200 m to the W to guarantee drainage i.e. a low water table at the sluice at low tide. This arrangement has not been successful, why an investigation in two short campaigns: nov. 1973 (3 men 1 week) and aug. 1974 (4 men 2 weeks) was carried out to map the topography of the tidal flat, make cross sections, and on 7/8 1974 to measure water-level changes, current velocities, and the inflow and outflow of water through the system. 5 single channels must be taken in consideration: 1) the stream itself inside the sluice, 2) the canal which was covered by 3 stations a) just outside the sluice, b) in the middle of the canal 800 m W of the sluice and c) in the open ebb-channel, 1600 m W of the sluice and about 400 m W of the end of the Southern fascine-fence. 3) The ebb-channel to the N 4) the flood-schar to the S of the canal (Nilaus Rende) and 5) the ebb-channel to the S.

As a mean Kongeåen has a run-off of 10 l/sec./km<sup>2</sup> and a discharge of ab. 200.000 m<sup>3</sup> at each tide. If the water level at the outside of the sluice could be lowered 1/2 m, this amount could be raised considerably and especially could the water-level behind the dike be lowered. Fig. 1 and 14 outline the area from air-photographs, Fig. 6 indicates location of the profiles and levels of the tidal flat. On Fig. 7-8 the watershed between the flood-schar Nilaus Rende and the Southern ebb-channel is given as well as the falling and rising water in Nilaus Rende. Fig. 10-12 show all the results of the hydrographical campaign 7/8 1974.

As a result it is pointed at that the Southern fascine-fence as an artificial established bar hinder the water from Nilaus Rende to use as an outlet the ebb-channel, which the stream itself (Kongeåen) and the ebb-channel from the N make. On a rough calculation (p. 64) it is 7/8 1974 ab. 160 × 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup> water, which now is hindered to enter the stream system, an amount of the same size as the stream itself. A solution will be to place the fascines to the N in the channel to shore up this side against the flood-schar from the NW. (Cfr. Fig. 14).