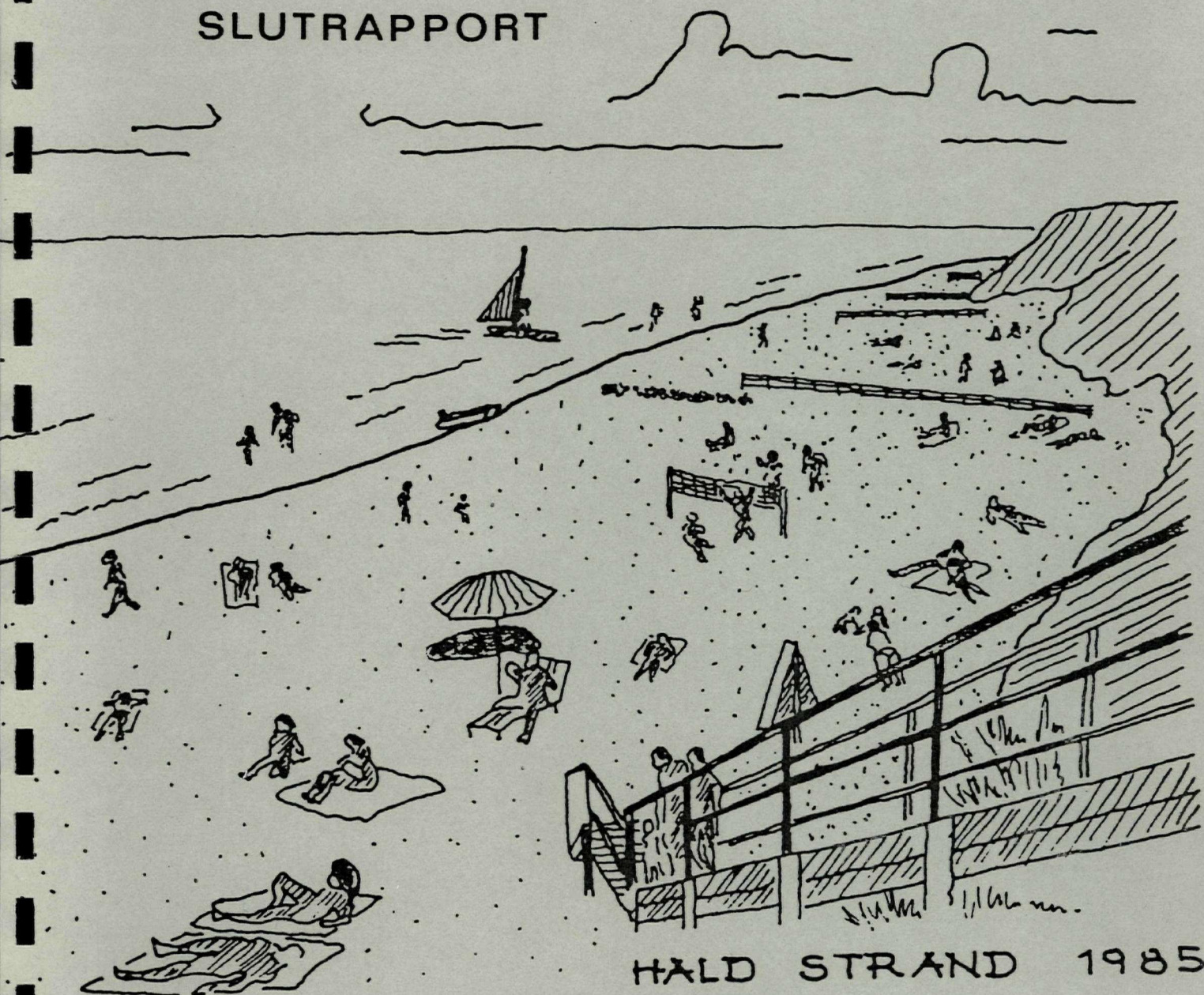


SJÆLLANDS NORDKYST

STRANDFODRINGSFORSØG

1984-1986

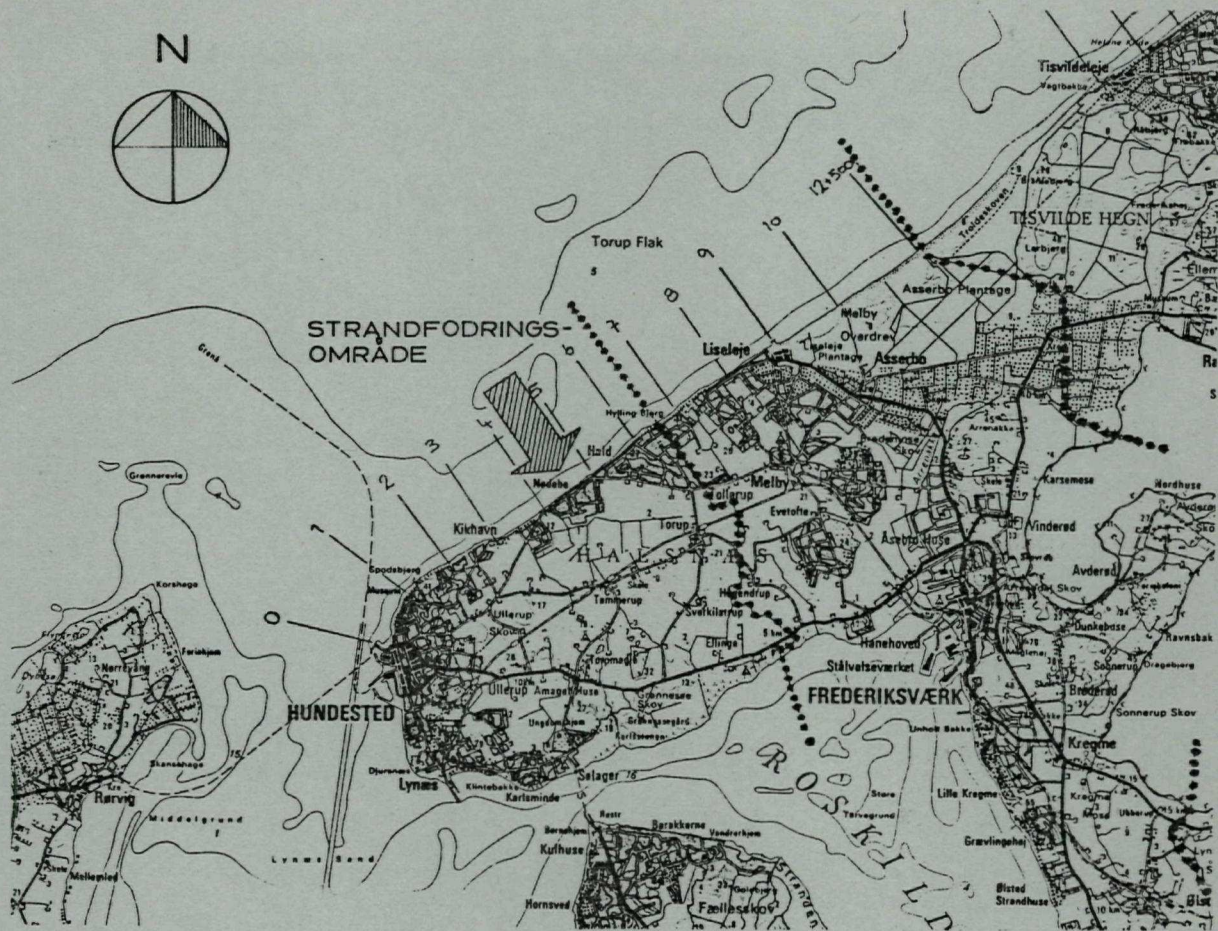
SLUTRAPPORT



HÅLD STRAND 1985

FÆLLESUDVALGET FOR KYSTPLEJE
OG KYSTSIKRING AF NORDKYSTEN

APRIL 1987



KORTUDSNIT
MÅL CA. 1:140000

FÆLLESUDVALGET FOR KYSTPLEJE OG KYSTSIKRING AF NORDKYSTEN

- HUNDESTED KOMMUNE
- FREDERIKSVÆRK KOMMUNE
- HELSINGE KOMMUNE
- GRÆSTED - GILLELEJE KOMMUNE
- HELSINGØR KOMMUNE
- FREDERIKSBORG AMTSRÅD

KONSULENTER

- HØSTRUP - SCHULTZ & SØRENSEN
RÅDGIVENDE INGENIØRER A/S
ØSTERBROGADE 156, 2100 KBH. Ø
01 - 263500
- GEOGRAFISK CENTRALINSTITUT
LABORATORIUM FOR KYSTMORFOLOGI
KØBENHAVNS UNIVERSITET
ØSTERVOLDGADE 10, 1350 KBH. K
01 - 132105
- DANSK HYDRAULISK INSTITUT
AGERN ALLE 5, 2970 HØRSHOLM
02 - 868033

INDHOLDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	
0. RESUME OG ANBEFALINGER	0-1
0.1 Baggrund	0-1
0.2 Strandfodring	0-1
0.3 Målsætning	0-2
0.4 Forsøgets forløb	0-3
0.5 Resultater og erfaringer	0-5
0.6 anbefalinger	0-11
1. INDLEDNING	1-1
2. FORMÅL	2-1
3. FORBEREDELSE OG UDFØRELSE	3-1
3.1 Forsøgsforberedelser	3-1
3.2 Arbejdets udførelse	3-4
4. OPFØLGNING	4-1
4.1 Vind	4-1
4.2 Vandstand	4-2
4.3 Bølger	4-2
4.4 Strøm	4-4
4.5 Kystobservationer	4-5
4.6 Fotoflyvning	4-6
4.7 Pejlinger og bundundersøgelser	4-7
4.8 Kystmorfologiske undersøgelser	4-8
4.8.1 Formål	4-8
4.8.2 Kortlægningen af den indpumpede sandmasse	4-9
4.8.3 Undersøgelser på strandplanet	4-10
4.8.4 Strandfodringens nabokyststrækninger	4-12
4.9 Oversigtsdiagram	4-15
5. RESULTATER	5-1
5.1 Metode/udførelse	5-2
5.1.1 Udførelse	5-2
5.1.2 Sammenligning med andre kystbeskyttelsesmetoder	5-2
5.1.3 Fremtidig anvendelse af strandfodringsprincippet	5-5
5.2 Kystpåvirkninger	5-7
5.2.1 Vindforhold	5-7
5.2.2 Vandstandsforhold i forsøgsperioden	5-9
5.2.3 Bølger	5-10
5.2.4 Strøm	5-12
5.2.5 Beskrivelse af ekstreme højvandssituationer	5-13

	Side
5.3 Naturlig kystudvikling	5-20
5.3.1 Hald Strands morfologi før deponeringen	5-20
5.3.2 Kystudviklingen 1945-1984	5-23
5.3.3 Indre og ydre strandplan	5-30
5.3.4 Hald Strand - materialebudgettet	5-34
5.4 Fodringsområdets udvikling	5-36
5.4.1 Deponeringens volumen udvikling	5-36
5.4.2 Profiludvikling i forsøgsområdet	5-40
5.4.3 Den morfologiske udvikling	5-44
5.4.4 Den morfodynamiske udvikling	5-50
5.5 Den morfologiske udvikling udenfor fodringsområdet	5-53
5.5.1 Strandplanet søværts for fodringsområdet	5-53
5.5.2 Nabokyststrækningerne	5-66
5.6 Særlige erfaringer	5-74
5.6.1 Stormsituationerne i 1985	5-74
5.6.2 Isens effekt i strandfodringsområdet	5-80
6. BEREGNING AF SANDTRANSPORT	6-1
6.1 Baggrund	6-1
6.2 Måleprogrammet	6-2
6.3 Beregningsmodeller generelt	6-3
6.4 Afprøvning og tilpasning	6-7
6.5 Beregning for udvalgte perioder	6-19
6.6 Status og videreudvikling	6-28
6.7 Afsluttende bemærkninger	6-31
6.8 Efterskrift	6-31
7. STRANDFODRINGSFORSØGETS NØGLETAL OG ØKONOMI	7-1
7.1 Nøgletal	7-1
7.2 Strandfodringsforsøgets økonomi	7-2
8. DEFINITIONER	8-1

BILAG 1 - Hald Strand, Strandfodringsforsøgets forløb

FORORD

"Fællesudvalget for Kystsikring og Kystpleje på Nordkysten" har i løbet af sit mere end 15 års virke formidlet og iværksat en række initiativer, der netop i disse år bliver stadig mere konkrete.

Denne rapport redegør for forløbet og udbyttet af strandfodringsforsøget ved Hald Strand nordøst for Hundested.

Nordkystens kystpåvirkninger er nok en størrelsesorden mindre end de findes langs Jyllands Vestkyst, men er formentlig de største på de indre danske kyster, der bl.a. omfatter Kattegat- og Østersøkysterne.

Forsøget ved Hald finder sted på en kysttype - en morænekyst under nedbrydning - der ikke alene forekommer hyppigt langs Nordkysten, men som genfindes langs hovedparten af de indre danske kyster. Resultaterne fra det omfattende forsøg har derfor en betydning, der rækker langt videre end lokalområdet betinger.

Dette har da også medført inddragelse af en bredere kreds ved forsøgets gennemførelse. Udover fællesudvalgets medlemmer i Nordkystkommunerne, Frederiksborg Amtsråd og Hovedstadsrådet har Geomorfologisk Institut ved Københavns Universitet samt Dansk Hydraulisk Institut hver især ydet et ekstraordinært bidrag til forsøgets gennemførelse.

Fællesudvalget føler endvidere trang til i særlig grad at rette en tak til Ministeriet for offentlige arbejder - repræsenteret ved Kystinspektoratet - for den generelle interesse og kontante støtte, der er givet til dette arbejde.

Forsøget har haft et vellykket forløb og dets resultater bør få stor betydning for de kommende års aktivitet på de danske kyster.

Fællesudvalget marts 1987



Erik Madsen
Formand

0. RESUME OG ANBEFALINGER

0.1 BAGGRUND

Fællesudvalget er gennem årenes arbejde blevet overbevist om, at strandfodring er et attraktivt alternativ eller supplement til traditionelle kystbeskyttelsesmetoder, ikke mindst når det drejer sig om samtidigt at genskabe de natur- og rekreative værdier, der i stadig højere grad er ved at gå tabt på Nordkysten.

Konsekvent kystpleje i form af strandfodring har imidlertid ikke tidligere været afprøvet på udsatte kyster i indre danske farvande, og udvalget har derfor fundet det rigtigt at gennemføre et fuldskala forsøg som forløber for større og langsigtede programmer. Strandfodringen ved Hald Strand er i sig selv af konkret betydning for en udsat kyststrækning og vil generelt få betydning for behandling af kystproblemer på indre danske kyster i fremtiden.

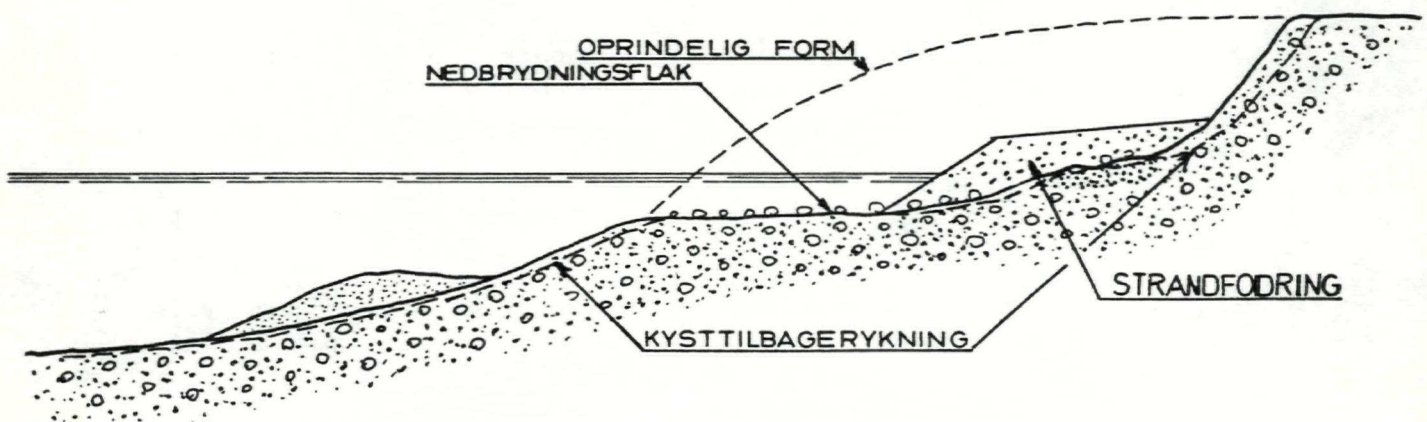
0.2 STRANDFODRING

Kystnedbrydning er i princippet udtryk for, at der fra en kyststrækning fjernes mere materiale end der tilføres fra nabostrækningerne.

Det er derfor en naturlig kystbeskyttelsesmetode at tilføre materiale til opvejning af dette underskud i sandhusholdningen.

Strandfodring er udlægning af materialer (sand-grus-ral) i kystzonen med det formål at nedsætte nedbrydning på de omgivende kyststrækninger samtidigt med at kystkvaliteten højnes.

Metoden, der i øvrigt er beskrevet i Nordkystrapporten September 1984, har imidlertid ikke før været afprøvet i det hyppigt forekommende nordkystprofil - klintkyst under nedbrydning:



Denne kysttype dannes ved havets nedbrydning af højere beliggende land bag kystlinien. Den dannes fortrinsvis på lokaliteter med udsat beliggenhed og hvor pålandsvinde forekommer samtidigt med højvande. Dette er netop tilfældet langs Sjællands nordkyst, og en stor del af strækningen er da også af denne type. Nedbrydningen foregår kraftigst på begrænsede vanddybder, hvorfor der ofte dannes et lavvandet stenet område ud for kysten, et nedbrydningsflak.

0.3 MÅLSETNING

Det overordnede mål for strandfodringsforsøget ved Hald har været:

- At demonstrere og undersøge virkningen af strandfodring med grove sandmaterialer ved foden af en klint på en kyst under nedbrydning.

Resultat af forsøget forventes at give bedre forudsætninger for i fremtiden at kunne:

- genopbygge kyster under nedbrydning
- projektere og anlægge nye strande for kystbeskyttelse og rekreation
- vurdere metodens økonomi og langtidseffekt.

De konkrete delmål til belysning af ovennævnte har været:

- Ved licitation og udførelse at få kendskab til anlægsomkostninger, egnede og uegnede arbejdsmetoder, hensigtsmæssige udførelsesperioder og problemer under udførelsen.
- At kunne vise strandfodringsmetodens kystbeskyttende og kystplejeforbedrende effekt og følge publikumsinteressen.
- At kunne lokalisere og beregne ændringer i den indfyldte sandmængde - nedbrydning og aflejring.
- At registrere hvor langt det udlagte sand kan følges langs kysten - den kystnære langstransport - og hvilke konsekvenser det har for kystkvaliteten.
- At registrere ændringer i sandets fordeling og mængde i kystprofilet - tværtransport - for derigennem at undersøge om det indfyldte sand 'går tabt til havs'.
- Gennemførelsen af et omfattende hydrografisk måleprogram til støtte for den ingeniørmæssige og morfologiske opfølgning af forsøgets forløb.
- Afprøvning, tilpasning og videreudvikling af matematiske modeller til beregning af sandtransporten.
- Erfaringsdannelse med hensyn til forståelse af kystprocesserne på de indre danske kyster og de særlige krav til modellering disse stiller.

0.4 FORSØGETS FORLØB

Tanken om at udføre et strandfodringsforsøg på Nordkysten tog form i begyndelsen af 1980'erne. Metoden var principielt beskrevet i skitseløsningerne der fulgte med Basisrapporten fra 1978.

Fællesudvalgets målsætning er som bekendt at foretage en balance-ret planlægning af hensigtsmæssige foranstaltninger til sikring af kyststrækningen Hundested-Helsingør mod nedbrydning, samtidig med at de vitale miljømæssige interesser, der knytter sig til denne kyststrækning, tilgodeses.

I erkendelse af at strandfodringsmetoden kunne indebære et attraktivt alternativ til traditionelle anlæg på Nordkysten og at metoden næppe ville blive afprøvet af andre, blev det besluttet at udføre et fuldskala forsøg ved Hald Strand.

Som juridisk ansvarlig bygherre forestås forsøget af Frederiksborg Amtsråd på Fællesudvalgets vegne.

Arbejdet med sandindpumpningen blev udbudt til offentlig licitation den 26. januar 1984.

Den lavestbydende - A/S Danena - fik arbejdet overdraget ved accept af 15. marts 1984.

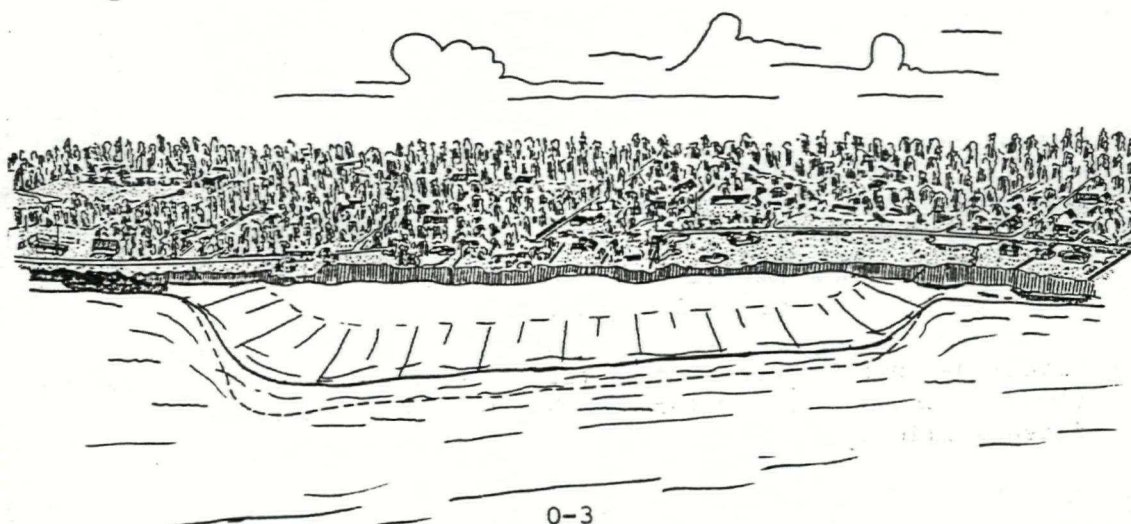
Tidsfristen for arbejdets aflevering blev fastsat til den 21. juni 1984.

Arbejdet blev påbegyndt således, at afleveringsterminen kunne overholdes, men vejrtilstandene og uheld med den interimistiske rørbro betød, at arbejdet blev forsinket.

En ny rørbro stod klar den 30. juli, hvor sandindpumpningen begyndte. Selve sandindpumpningen varede 7 dage og blev afsluttet den 5. august.

Der blev i alt pumpet 23.100 m^3 sand ind for at opfylde projektets krav. Sandet blev indvundet fra Grønne Revle. Der blev udtaget og analyseret prøver af sandet før, under og efter udlægningen.

Entreprisen blev afleveret den 30. august 1984.



I 1983 og 1984 blev der udført detaljerede opmålingsprogrammer i forsøgsområdet og i naboområderne mod SV og NØ. Opmålingerne skulle dels danne grundlag for projekteringen og dels tjene til reference for registreringer efter sandudlægningen.

Umiddelbart efter udlægningsentreprisens afslutning startede et omfattende opfølgingsprogram med deltagelse af

- Geografisk Centralinstitut, Københavns Universitet (KUGI)
- Hostrup-Schultz & Sørensen, Rådgivende Ingeniører A/S (HSS)
- en lokal kystobservatør

Hertil kom

- Dansk Hydraulisk Institut (DHI), der fik mulighed for at deltage ved at anvende Teknologirådets basismidler.

Opfølgingsprogrammet var tilrettelagt ud fra de forventninger, erfaringer og muligheder de deltagende parter havde ved forsøgets start og under hensyn til de afsatte midler fra Fællesudvalget.

I perioden 1985-1986 blev der af Ministeriet for offentlige arbejder stillet midler til rådighed til udvidelse af opfølgingsprogrammet.

Opfølgingsprogrammet var omfattende og er fyldestgørende beskrevet i rapporten. Her skal kort nævnes hovedaktiviteterne:

- Indsamling af data om vind- og vandstandsforhold fra Meteorologisk Instituts og Hedeselskabets stationer i Hornbæk, Nakkehoved, Spodsbjerg og Hundested.
- Daglige observationer med udfyldelse af skema.
- Ugentlig fotografering fra faste positioner.
- Pejlinger over en 2½ km lang kyststrækning til en afstand af 500 m fra kysten samt ved Stængehus i Asserbo plantage, 1-2 gange årligt.
- Serier af lodfotos fra luften.
- Bølgemålinger på ca. 8 m's vanddybde ca. 80% af perioden
- Strømmmålinger ca. 25% af perioden.
- Opmålinger af det udlagte sand ca. 1 gang pr. måned.
- Rekognoscering og kortlægning af nabostrækningerne.
- Måling i udvalgte profiler og indsamling af sedimentprøver.
- Ændringer i strandplansedimenternes karakter, udstrækning og mægtigheder blev registreret månedligt i 3 (senere 1) undersøisk observationslinie.

- Desuden er der udført undersøgelser i særligt interessante perioder f.eks. storme i efteråret 1985, isdannelser i vintrene 1984-85 og 1985-86.

Den meget omfattende datamængde er blevet bearbejdet og reduceret til et overskueligt omfang som præsenteret i denne rapport. Der kan selvsagt foretaget mange specifikke og interessante undersøgelser på grundlag af de indsamlede data.

Rapporten bliver præsenteret på mødet i Fællesudvalget den 2. april 1987 og strandfodringsforsøget afsluttes hermed. De involverede parter vil også i fremtiden holde området under observation, selv om det bliver i begrænset omfang.

0.5 RESULTATER OG ERFARINGER

Generelt

I det følgende er hovedvægten lagt på de forhold, der i særlig grad knytter sig til Nordkysten og forsøgsområdet ved Hald, der er karakteristisk for kystkarakteren mellem Spodsbjerg og Liseleje og en række strækninger langs Nordkysten.

Der er lagt vægt på at fremdrage de resultater, der vil finde umiddelbar anvendelse for de Nordkystprogrammer, der er under udarbejdelse i 1987-1988.

Det omfattende materiale indeholder imidlertid herudover en videnopbygning af væsentlig betydning for dansk kystforskning og teknik.

Metode/Udførelse

Arbejdet omfattende sandtilførsel, indpumpning og udlægning blev udbudt i offentlig licitation.

Den lavestbydende valgte i samråd med bygherren at etablere en fast anløbsplads, hvorfra et pumperør via en rørbro førte ind til kysten. Herfra kunne sandet ved omlægning af pumperøret grovfordeles. Den endelige fordeling udførtes med frontlæssere.

Perioder med dårligt vejr samt uheld med rørbroen forsinkede udførelsen væsentligt. Arbejdet blev afleveret i slutningen af august 1984 og forsøget fik herved en lidt skæv start, da den rekreative værdi af den første sæson blev stærkt reduceret.

Den valgte ilandføringsmetode er næppe optimal under alle forhold. Hvis der i fremtiden bliver strandfodring i lidt større stil på Nordkysten vil det muligvis være billigere at anvende en fleksibel flydeledning (pris ca. 2 mio. kr.) og afskrive denne over et antal projekter.

Ved små fodringer (ikke over 5.000 m³) vil det sandsynligvis være billigst med sand tilført over land med lastbiler eller dumpers, hvis adgangsforholdene tillader det.

Strandfodring som kystbeskyttelsesmetode kan ikke umiddelbart sammenlignes med traditionelle metoder.

Strandfodring har en kystplejeværdi som f.eks. kystværn aldrig vil få. Det udlagte materiale falder tillige sammen med det oprindelige og ødelægger derved ikke det æstetiske indtryk. Metoden giver tillige en lang kyststrækning, når udlægningslokaliteten kan vælges hensigtsmæssigt og mængden er stor nok.

Ifølge metodens natur forsvinder materialet efterhånden fra selve fodringsområdet og fordeler sig langs kysten. Fodringen må derfor vedligeholdes med års mellemrum.

Ved traditionelle kystværn i træ eller med sten har bygherren en fornemmelse af at anlægget er en permanent løsning på problemet. Dette viser sig næsten altid at være fejlagtigt. Strandbredden foran kystværnet forsvinder, stenene sandgår eller væggen undermineres. Vedligeholdelse er altså også påkrævet i disse tilfælde.

I rapportens hovedafsnit vises at man for et beløb på omkring 1,200 kr./lbm kyst hvert 5. år kan vedligeholde en beskyttelse og kystpleje efter strandfodringsmetoden. Et traditionelt kystværn koster typisk 4.000 kr./m i anlægsomkostninger og 500 kr./år (dvs. 2.500 kr./5. år) i vedligeholdelse.

Tanken om at bringe balance i forholdet mellem tabt gået materiale fra kysten og tilført ved strandfodringer er oplagt. Ud fra et skøn over mængden af materialer, der årligt "forlader" Nordkysten (100.000 m³) og en antagelse om at det er muligt at udvælge 6 positioner, hvor der på skift kan udlægges 100.000 m³, bliver omkostningerne pr. lbm af Nordkysten omkring 70 kr./år (1984-prisniveau). Denne vision vil dog næppe kunne realiseres uden faste anlæg til at kompensere for kystens mangartethed.

Kystpåvirkninger

I forsøgsperioden er der indhentet og bearbejdet oplysninger om de betydende meteorologiske og hydrografiske forhold i området. De forhold der tillægges den største betydning for kysten er

- vindens retning og styrke
- vandstanden
- bølgenes højde og perioder
- strømforholdene i den kystnære zone

Resultaterne af dataindsamlingen fremgår af oversigtsbilaget (bilag nr. 1 bagest i rapporten).

Periodens parametre er i muligt omfang sammenlignet med den "statistisk normalperiode" for at vurdere om belastningerne på fodringsområdet har været mindre, større eller som man kunne forvente.

Sammenligningsgrundlaget har for nogle forhold været veldokumenteret, f.eks. findes regelmæssige vandstandsobservationer fra Hornbæk fra perioden 1892 til 1968. Vindhastigheder og retninger er observerede i 30-års perioder fra fyrskipene i det sydlige Kattegat. Derimod er bølgehøjder og retninger dårligt belyst.

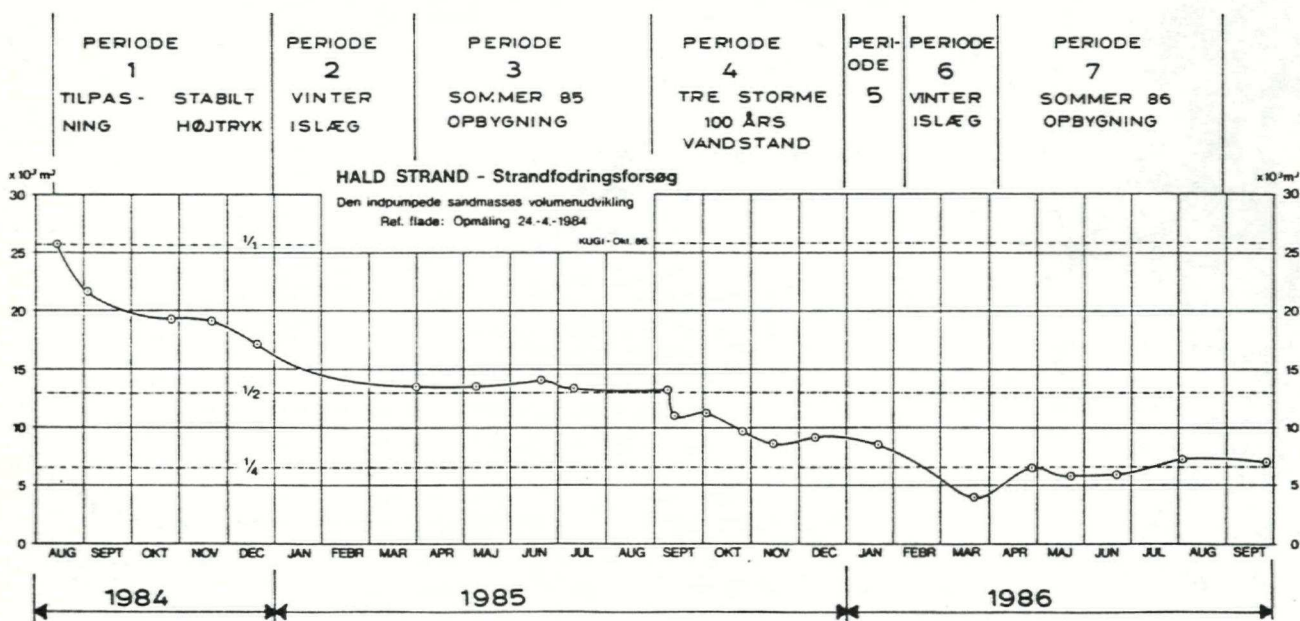
Ved en normal dimensionering af anlæg i kystzonen bliver bølgerne beregningsmæssigt ført fra dybt vand ind til den aktuelle vanddybde. Der har ikke tidligere været løbende registreringer af bølgehøjder og strøm i den kystnære zone ved Nordkysten.

Generelt har påvirkningerne på kysten været milde i forsøgsperioden, specielt i 1984 og 1986. I efteråret 1985 opstod til gengæld situationer langt udover det forventelige. Under novemberstormen i 1985 nåede vandstanden i Hornbæk op på +1,73 m o. DNN Hundested + 1,62 m, hvilket svarer til en statistisk 50-års hændelse. Herudover var der kraftige storme i både september og oktober 1985.

Periodens 2 vintre har begge været hårdere end sædvanligt. Sne og islæg på strandbredden har forsegleet sandet i dette område, men den stejle isfront ved havstokken reflekterede de indkomne bølger i en sådan grad, at sandet på det indre strandplan forsvandt.

Stort set alle kystpåvirkninger som kunne forventes på den sjællandske nordkyst har været repræsenteret.

Den indpumpede sandmasses volumenudvikling er vist på figuren.



Naturlig kystudvikling

Kysten ved Hald er en stejlkyst under nedbrydning. Den kan karakteriseres ved en 5-7 m høj klint og et foranliggende yderst sandfattigt nedbrydningsflak.

Generelt består klinten af materialer, der ved nedbrydning leverer materiale, der kan indgå i strandens sandhusholdning med 12.500 m³ over 40 år.

Klinten toppes af et op til 3 m flyvesandslag, hvilket tyder på, at der tidligere må have været en bred naturlig sandstrand ud for området; så sent som i 1920 var bagstranden dækket af delvis bevoksede småklitter.

Strandkvaliteten er altså gået ned!

En omfattende analyse af 13 luftbilledserier fra perioden 1945-1984 har vist varierende - tyndt - sanddække på den kystnære del af strandplanet med en klar tendens til reduktion i perioden 1978-84.

I basisrapporten (1984) er kystlinieændringer siden 1897 dokumenteret kartografisk langs hele Nordsjællands kyst. For strækningen Hundested-Gilleleje angives følgende gennemsnitlige tilbagerykning:

<u>1897-1949</u>	<u>1949-1967</u>	<u>1967-1983</u>
0,35 m/år	0,75 m/år	0,45 m/år

Specielt for området omkring Hald Strand er tallene i tilsvarende perioder (målt på samme grundlag som ovenfor):

<u>1897-1949</u>	<u>1949-1967</u>	<u>1967-1983</u>
0,20 m/år	0,11 m/år	0,38 m/år

Ved selve det offentlige område var nedbrydning 0,45 m/år fra 1945-1984.

Alt i alt er der de sidste 60-90 år blevet mindre og mindre sand til rådighed for den naturlige beskyttelse af kysten, dels som følge af Nordkystens særlige geologiske forhold, dels forværring af vejret i dette århundrede og da ikke mindst i det seneste årti, men sandelig også fordi de mange kystbeskyttelsesanstaltninger i stigende grad forhindrer at sand frigøres til vedligeholdelse af stranden.

Udviklingen i fodringsområdet

Transporten mod nordøst til gavn for strækningen op mod Bavnehøj var forventet, men det var en positiv kendsgerning, at sandet forblev i strandzonen.

Det blev bekræftet, at det grove indpumpede sand (0,4 mm/middelkornstørrelse) er mere modstandsdygtigt mod nedbrydning end det naturligt forekommende ca. 0,15 mm. Observationerne frem til slutningen af september 1986 viser en stabiliserende virkning af den resterende sandmængde, der da var 6-7.000 m³.

Meget omfattende undersøgelser af kystens revler og havbundens øvrige karakter har vist, at transporten af sand langs kysten finder sted i 'bånd' knyttet til revlernes beliggenhed og at der stort set ingen udveksling har været mellem det indpumpede sand og hovedrevlen på 1½-2 m vanddybde ca. 100 m fra kysten. Sandtabet på tværs har således været betydeligt mindre end forventet.

Det betyder på den anden side også, at det må foretrækkes fremover at levere sandet direkte på kysten indtil effekten af udlægning på strandplanet er undersøgt.

Udvikling langs kysten

Kystkarteringen og flyfotoanalyser dokumenterede en umiddelbar positiv effekt på det kystnære strandplan kort efter fodringen. Men feltmålinger viste, at langt hovedparten af strandfodringens sand vandrede mod Hyllingebjerg og forblev på stranden og de første 10-20 m af strandplanet.

Den kendsgerning, at sandet ikke forsvandt ud på dybt vand, men hele tiden var i kontakt med kystlinien bevirkede, at undersøgelserne blev udvidet til at omfatte observationer i 5 faste profilinier fordelt over en strækning på ca. 2,5 km nordøst for fodringen.

Beregninger af strandens sandvolumen i de 5 profiler afslørede, at sandmængden øgedes 50-100%, hvilket nøje korresponderede med kvalitative observationer af strandens kvalitet.

Sandtransporten mod Hyllingebjerg skete karakteristisk som store udbulinger i kystlinien, der langsomt bevægede sig mod nordøst. Tilsynekomsten af hver "bule" svarende til en erosionssituation i strandfodringens sandmasse.

Sedimentanalyser langs kysten, der blev foretaget som forsøg på sporing af sedimenttransportens retning og hastighed, gav kun svage indicier på disse forhold, grundet de voldsomme fysiske påvirkninger og dermed den voldsomme opblanding mellem sand fra fodringen og det oprindelige, finere sediment.

Under efterårsstormene i 1985 skete der betydelige skader langs Nordsjællands kyst, men kun ét sted mellem Hald Strand og Hyllingebjerg forekom der større klintskred. Stranden på nævnte strækning var på dette tidspunkt særdeles sandrig, hvilket formentlig var årsag til den begrænsede kysterosion netop her.

Kystforskningen ved Geografisk Institut har ved sit omfattende feltundersøgelelsesprogram i tilknytning til strandfodringsforsøget indhentet værdifulde erfaringer med hensyn til Nordkystens naturlige udvikling. Analyser af flyfotoserie, kystkarteringer samt alle eksakte opmålinger, volumenberegninger og kvantificering af sedimentomsætningen har bidraget til test og forbedring af metoder til udredning af kystens udvikling. Samtidig har tilvejebringelsen af præcise størrelser for erosions- og aflejringsforløb været centrale for kalibrering af sandtransportberegninger på kysten.

Beregning af sandtransport

Ved Hald Strand forsøgets begyndelse i 1984 havde DHI allerede gennem nogle år arbejdet med udvikling og afprøvning af en matematisk EDB model til beregning af naturlig transport af sand langs kyster.

Samtidigt stod man over for at skulle videreudvikle og afprøve modelberegningsværktøjet på konkrete situationer i naturen.

En sådan mulighed forelå efter indpumpningen af en velbestemt sandmængde i det i øvrigt sandfattige område ved Hald, der i øvrigt bød på særlige udfordringer på grund af det modstandsdygtige stenede flak der lå ud for kysten.

Afsnit 6 gør rede for de afprøvninger, tilpasninger og justeringer af beregningsmodellen, der er foretaget på baggrund af målinger udført under opfølgningen af forsøget.

En karakteristisk periode af forsøget - primo september 1985 til primo januar 1986 - der både indeholdt kraftige storme, hvoraf den ene medførte en vandstand på +1,73 m over daglig vande i Hornbæk, blev gjort til særlig genstand for beregning.

Sandtransporten ud af forsøgsområdet var i denne periode ca. 2.500 m³ sand dvs. ca. 10% af den indpumpede mængde.

Den første omfattende beregning gav som resultat en nettotransport ud af området på 8.000 m³ sand.

Den viste i øvrigt hvilken helt afgørende betydning de enkelte særligt store højvander har for flytningen af sandet i strandzonen.

En videreudvikling af programmet især på det grundlæggende fysiske område medførte en væsentlig reduktion af nettotransporten til omkring 1.600 m³ sand.

Ved den efterfølgende diskussion og sammenligning med tidligere resultater fra Jyllands vestkyst³ blev der fundet belæg for at hæve beregningsresultatet til 2.700 m³.

Dette resultat er utilsigtet "næsten for godt", men det viser, at udviklingen af beregningsmodeller af denne karakter går den rette vej og nogle af de forhold der er karakteristiske for Nordkysten har kunnet tages i regning på den rigtige måde.

DHI har derfor haft stort udbytte af sin deltagelse i forsøget og står i dag med en beregningsmodel, hvis forbedrede egenskaber lover godt for fremtidig anvendelse på Nordkysten og andre indre danske kyster.

0.6 ANBEFALINGER

Strandfodringsforsøget ved Hald har på alle afgørende punkter været vellykket. Det er derfor en teknisk metode, der i stor udstrækning vil kunne anbefales ved udarbejdelsen af Kystplejeprogrammet og Kystbeskyttelsesprogrammet i 1987 samt primo 1988.



Hald Strand sommeren 1986.

Tidligere var denne kyststrækning stenet og strandbredden smal. Den forbedrede strandkvalitet efter strandfodringen rygtedes hurtigt, og der udfoldede sig et rigt badeliv. (Foto: Niels Nielsen).

Hovedprincippet i forsøget har været direkte indpumpning på kysten i et begrænset område, hvorefter bølgerne har fordelt dette sand over en længere kyststrækning. Dette princip har vist sig principielt rigtigt.

- Anvendelsen af sand der er grovere end det naturlige har været rigtigt, idet sandet er forblevet i strandzonen og ikke er tabt til havs, hvilket ikke kunne vides på forhånd.

- Det grove sandmateriale har vist sig mere modstandsdygtigt mod nedbrydning end det der naturligt forekommer på stranden.

Den anvendte strandfodringsmetode har givet optimal udnyttelse af den tilførte sandmængde og kan derfor anbefales ved fremtidige fodringer.

- Planudformningen af den tilførte sandmasse er mindre væsentlig. Der vil hurtigt ske en tilpasning til den aktuelle kyststrækning.
- Af hensyn til publikum bør der ved strandfodring umiddelbart før en sommersæson ske udglatning af overflade og skråninger.
- Sammenlignende målinger af det naturlige sandkystprofil ved Stængehus antyder, at fodringsmetoden også kan anvendes i rene sandprofiler.
- Forsøgets resultater bør sammenholdes med Skov- og Naturstyrelsens nye undersøgelse af havbundsforholdene ud for kysten mellem Hundested og Gilleleje. Herved kan tilvejebringes en koordineret opfattelse af kystens langtidssudviklingstendenser.
- Forsøget har vist nødvendigheden af at have et indgående kendskab til den naturlige kystudvikling som grundlag for projektering af en strandfodring.
- Forsøget har givet gode muligheder for at skønne genfodringshyppigheden. Det optimale genfodringsstidspunkt kan bestemmes ved opfølgende profilopmålinger.
- Enhedsprisen pr. m³ udlagt sand vil kunne reduceres ved større fodringer og ved tilrettelæggelse af et fast program strækkende sig over en flereårig periode og for flere steder på kysten.
- Den meget store publikumsinteresse som strandfodringen har bevirket bør medtages ved planlægning af fremtidige anlæg på kysten.
- Ved planlægning af nye strandfodringsprojekter bør der i den økonomiske optimering indgå overvejelse om hvorvidt faste anlæg - høfder og bølgebrydere - vil kunne nedsætte vedligeholdelsesomkostningerne ved fodringen.
- Det nøje kendskab som strandfodringsforsøget ved Hald Strand har givet til kyststrækningen før og under forsøget bør efterfølges af en reduceret opfølgning. Strækningen kan betragtes som en generel indikator for den kystmorfologiske tilstand af kysten mellem Spodsbjerg og Gilleleje i almindelighed.