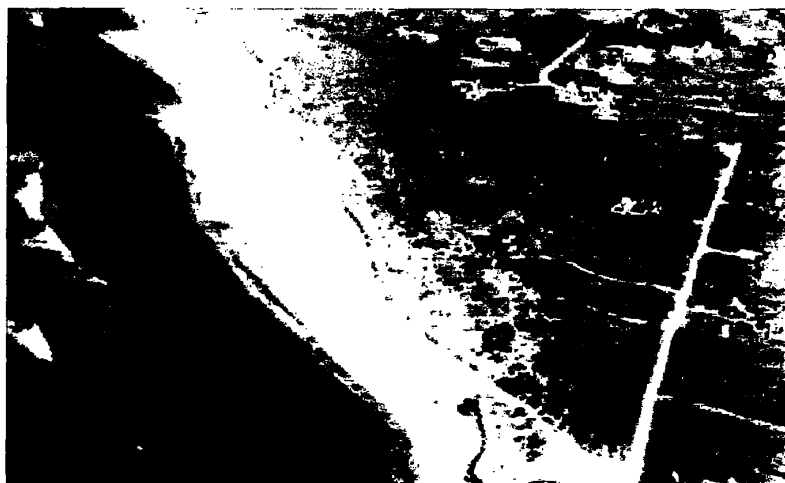


Miljøvenlig kystbeskyttelse

baseret på

trykudligningsmoduler



Kystdræning med trykudligningsmoduler skaber ligevægtsprofiler, så baglandet beskyttes mod kysterosion, som vi ser her på ovenstående billede nord for Gl. Skagen, hvor høfden har ligget inde på stranden i 8 år

SIC systemet sammenlignet med høfder, bølgebrydere og sandfodring ved Søndervig

Poul Jakobsen

SIC

Skagen Innovation Center
Dr. Alexandrinesvej 75
DK-9990 Skagen
Denmark

Phone : +45- 98445713
Mobile: +45- 40401425
E-Mail : sic@shore.dk
WEB: www.shore.dk

Indholdsfortegnelse	side
Priser og leveringsbetingelser	3.
Baggrund	4 - 5.
Resultat af kontrolleret feltforsøg ved Gl. Skagen 1999 – 2004	6 - 7.
Status	8.
Mårup Kirke – bilag 1	9.
SIC systemet sammenlignet med høfder Gl. Skagen bilag 2	10 - 11.
Dokumentation/opmåling Gl. Skagen	12 - 13.
SIC systemet sammenlignet med bølgebrydere Lønstrup bilag 3	14 - 15.
Revefodring Hvide Sande 2004 – bilag 4	16 - 17.
Sandfodring Søndervig – bilag 5	18 - 19.
Årsag/Virkning – Søndervig	20 - 23.
Anvendelse af faskiner	24 - 25.
Funktion og effekt af lodrette dræn	26 - 31.
Reference liste	31 - 33.
Pilotprojekt - Nørlev Strand	34 - 35.
Pilotprojekt - Accra Beach Ghana	36 - 37.
Pilotprojekt - Smidstrup Strandvej	38 - 39.
Pilotprojekt - Ribersborg Strand Malmø	40 - 41.
Strandprojekt - Teluk Chempedak Malaysia	42 - 44.
Anbefaling	45.

SIC Skagen Innovationscenter

Dr. Alexandrinesvej 75 – DK 9990 Skagen Denmark

Tlf: 45 98 44 57 13 – Mobil 45 40 40 14 25 - Mail: sic@shore.dk - WEB: www.shore.dk

Skagen april 2005

Our /ref. Pj/cp

Vi har hermed fornøjelsen, at tilbyde SIC systemet til kystbeskyttelse af kyststrækninger, hvor stranden består af sand.

Anlæggene etableres i egen regning og lejes ud incl. drift og vedligeholdelse.

Grundejerne undgår på denne måde fejlinvesteringer i dyre kystbeskyttelses anlæg, som efterfølgende viser sig at øge kysterosionen på sin egen og nabogrundene, som vi har set talrige eksempler på.

SIC systemet har det primære formål, at bevare stranden som en sandstrand.

SIC systemet er i dag verdens mest miljøvenlige kystbeskyttelsesmetode, som er baseret på bølge og vindenergi.

På vestkysten er prisen kun 250.000,00 kr. pr. km. pr. år incl. drift og vedligeholdelse.

På indenlandske kyster er prisen 125.000,00 kr. pr. km. pr. år.

Anlægget kan med fordel kombineres med faskiner på den jyske vestkyst, idet den primære vindretning er vestlig, så sandet kan fanges med faskiner i klitfoden, så klitterne også styrkes og kan modstå stormsituationer med højvande.

I kritiske områder hvor bygninger eller infrastruktur ligger tæt på kystlinien, kan systemet kombineres med mindre en skråningsbeskyttelse, som normalt vil være dækket ned i sand.

Faskiner og skråningsbeskyttelse er ikke inkluderet i priserne, som er excl. moms.

De er meget velkommen til at indhente råd og vejledning uden forbindende.

SIC forestår alt nødvendig sagsbehandling med myndighederne.

SIC systemet er i dag etableret i stor målestok i Danmark, Sverige, Ghana, Malaysia og er under installation i yderligere 15 lande.

Rapporterne på de enkelte anlæg kan down loades på www.shore.dk

Skagen d. 1 april 2005.

Poul Jakobsen

Baggrund.

SIC systemet er nu afprøvet i Danmark og i udlandet i 5 år, og sælges nu på verdensplan, som et færdigt koncept baseret på leasing.

SIC systemet er udviklet ved Gl. Skagen i forbindelse med forskningsprojektet "Grundvandets indflydelse på kysterosion."

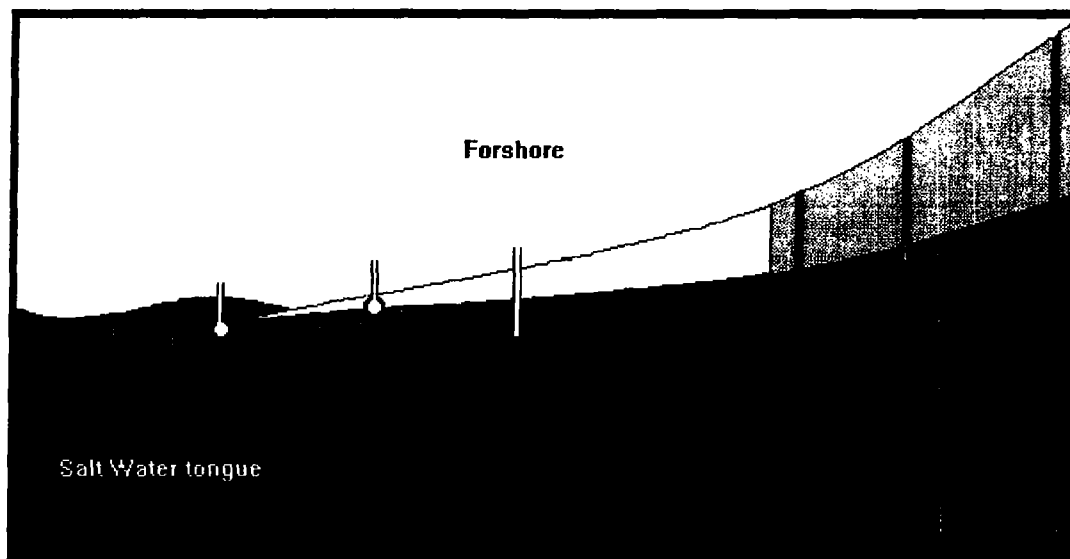


Fig. 1
SIC - Yamba 2000

I dette projekt blev der nedsat filterrør med 10 meters afstand på tværs af stranden og ind gennem klitterne nord for Gl. Skagen, så man kunne måle vandspejlet og dermed trykgradienten mod havet.

Målingerne viste, at ferskvandet stod 1,9 meter over havet kun 70 meter bagved kystlinien, samt at klitterne ikke påvirkede vandspejlet.

SIC registrerede imidlertid meget hurtigt et stort kystillæg ud for trykudligningsmodulerne, som vi ser på det øverste billede på næste side.

Efterfølgende blev der etableret trykudligningsmoduler i hvert andet høfdemellemrum nord for Gl. Skagen, som viste samme resultater.

Sideløbende blev der etableret et lignende forsøg på sydkysten nord for havnen, hvor resultatet vises på det nederste billede på næste side.

SIC kontaktede derfor Hedeselskabet i Danmark, hvor Jørgen Bisgaard kunne oplyse, at vertikaldræning var et anerkendt princip, som var benyttet af Hedeselskabet i mange år i forbindelse med dræningsprojekter i Vestjylland.

Forsøg på udenlandske Universiteter viser nu, at de samme forhold kan genskabes under kontrollerede forhold og dokumenteres rent videnskabeligt.

GROUNDWATER EFFECTS ON SEDIMENT TRANSPORT: A MODELLING STUDY OF THE MECHANISMS UNDERLYING BEACH DEWATERING FOR EROSION CONTROL

L. Li and D. A. Barry School of Civil and Environmental Engineering, The University of Edinburgh, Edinburgh, EH9 3JN, U.K.

Effekten af trykudligningsmoduler



Fig. 2
Sandhøfde nord for Gl. Skagen 1998

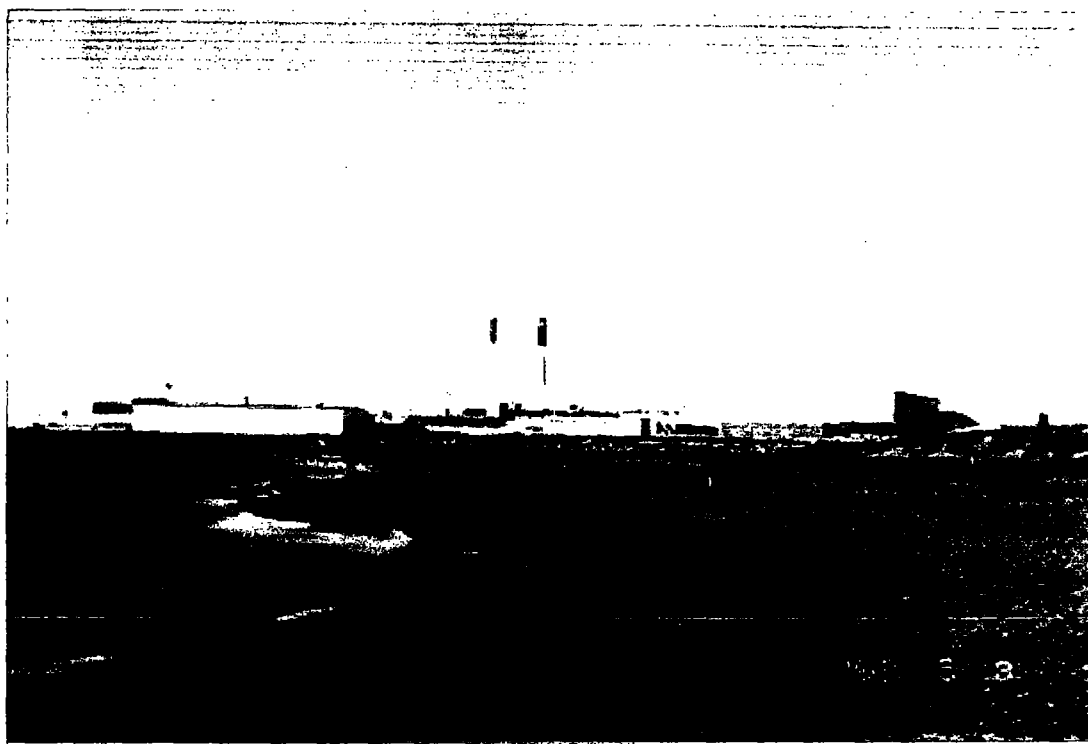


Fig. 3
Sandhøfde på Skagen Sydkyst nord for havnen 1999.

Kontrolleret forsøg Gl. Skagen 1999 – 2004.

Fakta.

Rådata fra ingeniørfirmaet Carl Bro A/S viser, at stranden foran skrænten i forsøgsområdet efter 5 år er gennemsnitlig 63, cm højere end reference område 1 og 47 cm højere end referenceområde 2.

Volumen.

Rådata viser, at sandvolumen i forsøgsområdet er forøget med $5,5 \text{ m}^3$ pr. meter, mens erosionen har været henholdsvis $-9,2$ og $-2,3 \text{ m}^3$ pr. meter i henholdsvis referenceområde 1 og 2.

Resultatet skal evalueres med grundlag i udgangstidspunktet og i relation til referenceområderne og resultater er således henholdsvis $14,7$ kubikmeter og $7,8$ kubikmeter.

Strandbrede.

Den gennemsnitlige strandbrede i forsøgsområdet i forhold til referencelinien er gennemsnitlig forøget med 3,0 meter, men tilbagerykningen har været henholdsvis 3,0 og 1,3 meter i referenceområde 1 og 2

Strandbrede er en meget diffus faktor, idet kystlinien påvirkes stærkt af vind/bølgeretning og dermed strømretningen.

Konklusion.

Østkysten og Vestkysten kan sikres med SIC metoden kombineret med faskiner eller skræntfodsbeskyttelse, som skal sikre stranden i højvandssituationer.

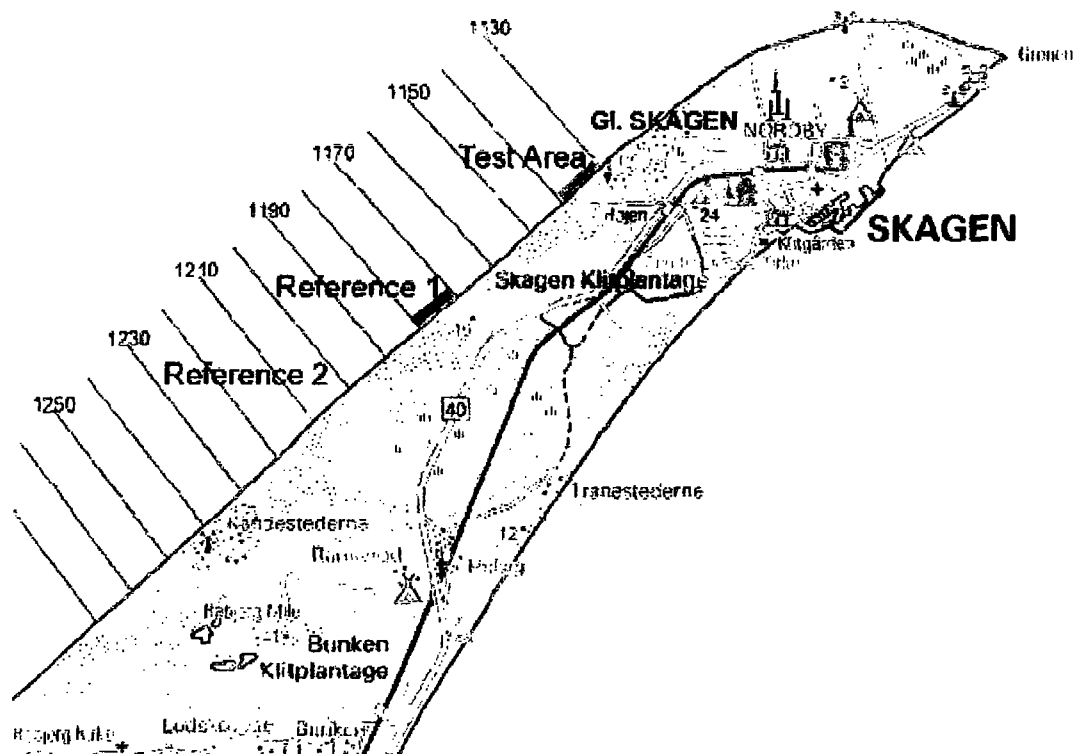
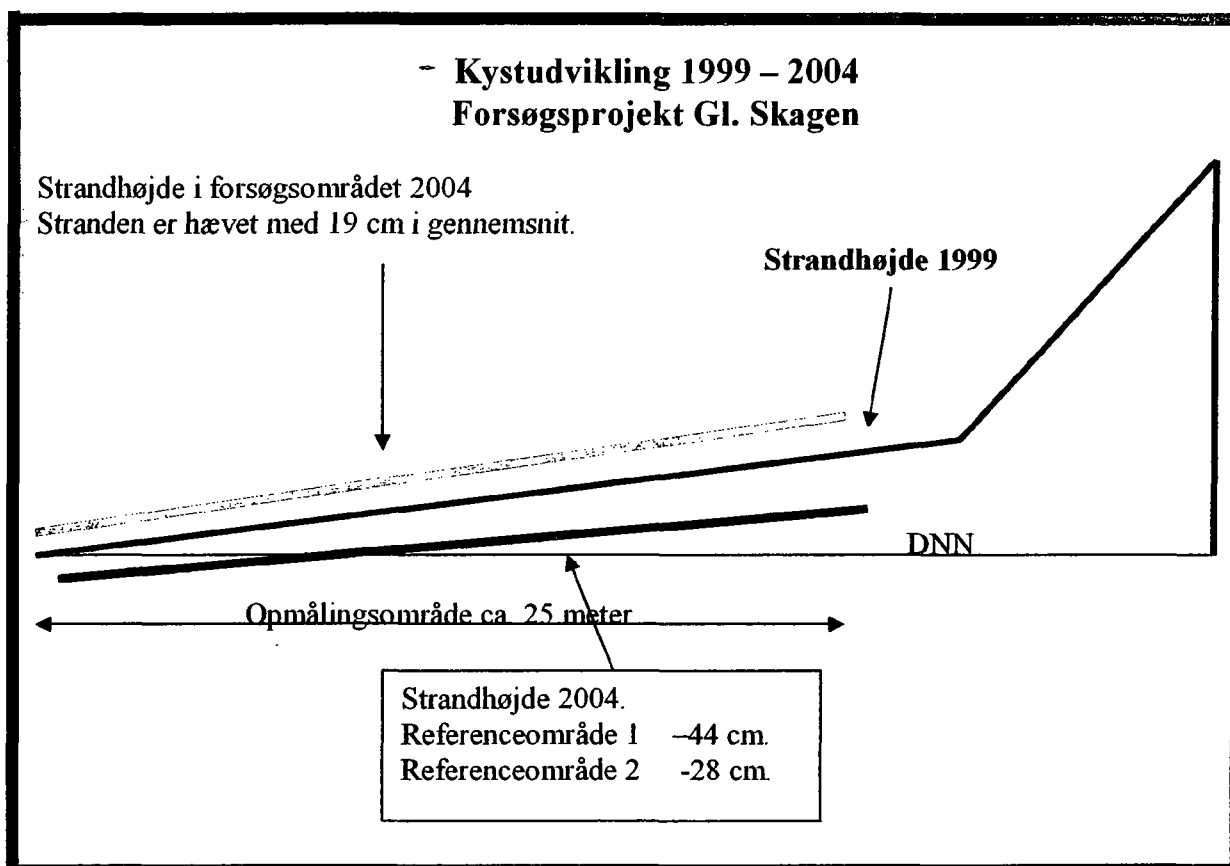


Fig. 4

Flank 1	1128 - 1131
Test area	1132 - 114250
Flank 2	114350 - 114650
Reference 1	1170 - 1180
Reference 2	120134 - 121134

Strandudvikling baseret på gennemsnitlig strandhøjde



Resultatet skal sammenlignes med Nourtec 2, hvor KDI har sandfodret med 900 kubikmeter sand pr. meter over 5 år i perioden 1997 – 2001 på Torsminde Tange.

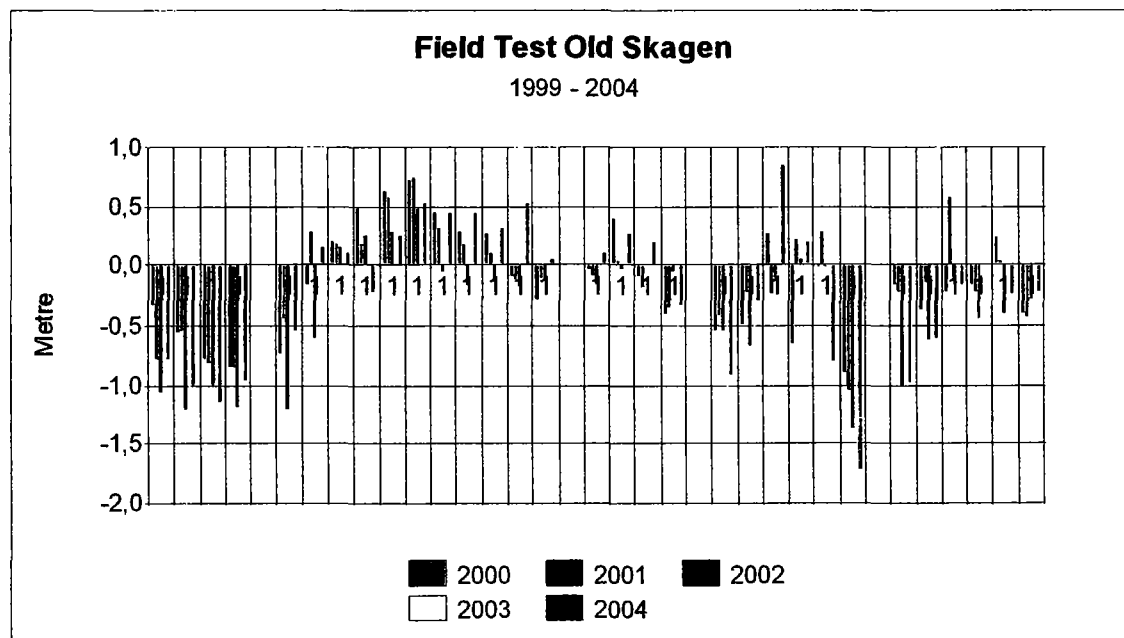


Fig. 6

Opmålingerne i de enkelte målelinier viser, at strandprofilen i forsøgsområdet er stabilt modsætningsvis referenceområderne, som viser alm. fluktuation og generel erosion, som kan relateres til den historiske udvikling på kysten over de sidste 150 år.

Status

Med baggrund i de foreliggende resultater er der d. 10 juni 2004 indgået en aftale med Trafikministeriet om, at SIC systemet etableres på en 10 km lang strækning på den jyske vestkyst. Samtidig er det aftalt i kontrakten, at resultaterne af SIC systemet skal sammenlignes med eksisterende kystbeskyttelsessystemer baseret på høfder, bølgebrydere samt sandfodring og revlefodring.

Sammenligning med høfder er vist i bilag 2.

Sammenligning med bølgebrydere er vist i bilag 3.

Resultatet af revlefodring ved Hvide Sande i 2004 er vist i bilag 4

Resultatet af sandfodring ved Søndervig i 2004 er vist i bilag 5

Mårup Kirke.

Projektet ved Mårup kirke er omtalt i hele verden i aviser og på TV og følges med meget stor interesse.

Projektet har til formål at beskytte kirkegården og Mårup Kirke. Det har imidlertid været en kamp med myndighederne, at få lov til at sikre Mårup Kirke.

Der er imidlertid medspillere og modspillere i denne sag.

Mårup Kirkes Venner samt Hjørring byråd og pressen bakker op omkring sikringen af kirkegården og Mårup Kirke.

Modsætningsvis har kystdirektoratet med mange midler forsøgt at hindre sikringen af Mårup Kirke.

Nordjyllands amt har også været inde som en aktiv modspiller sammen med embedsmænd i Skov og Naturstyrelsen.

Trafikminister Sonja Mikkelsen skar imidlertid igennem i sagen og Kystdirektorat blev pålagt at udstede en midlertidig tilladelse, som efterfølgende er forlænget med 2 x 3 år.

Gammelt nag ruster imidlertid ikke i Kystdirektoratet og i forbindelse med et møde med Fredningsnævnet for Nordjyllands Amt i marts måned 2003 påstod Kystdirektoratet at projektet ved Mårup kirke var et forskningsprojekt, og at man kunne ikke kombinere SIC metoden med en højvandsbeskyttelse bestående af raller, for så kunne man jo ikke se om det var rallet eller trykudligningsmodulerne som virkede.

Fredningsdommeren fulgte Kystdirektoratets forkerte vejledning, og sagen er nu indbagt for Naturkagenævnet.

Samtidig har Danmarks Naturfredningsforening i Hjørring anket tilladelsen til fortsat drift af anlægget ved Mårup Kirke, idet lokalforeningen ønsker Mårup Kirke styrtet i havet.

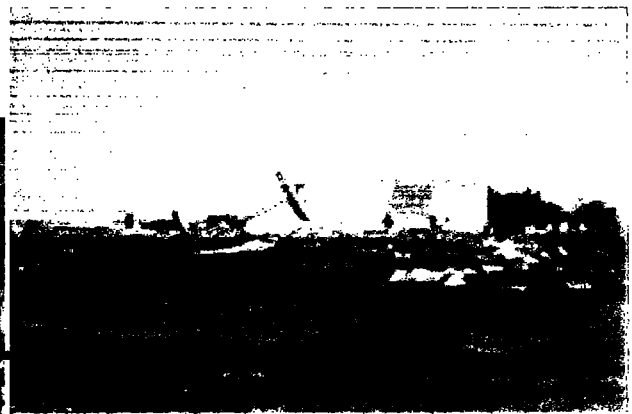
Den samme holdning har formanden og næstformanden i TMU i Hjørring kommune, som det har fremgået af lokalpressen.

Det er meget svært at forstå, at nogle mennesker ikke har respekt for en kirke og en kirkegård, men udelukkende kæmper for retten til at bestemme !!!!!!!!!!!.

Bilag 1 - Mårup Kirke



Fig. 7
Mårup Kirke juli 2002



Der er i 2005 ca. 80 meter fra kystlinjen til hjørnet af Mårup Kirke

SIC har sikret Mårup Kirke med SIC systemet, så der opbygges en sandstrand oven på det underliggende blåler.

Sandlaget kan være op til 1.5 meter tykt. Sandet ligger som en buffer foran skrænten og beskytter klinten, så erosionsraten nu er mindre end 0,5 meter pr. år.

Den sidste erosion skyldes, at SIC ikke har kunnet få tilladelse til at etablere en skræntfodsbeskyttelse, som skal sikre skrænten i højvandssituationer.

Miljøminister Hans Chr. Schmidt besluttede på et møde i juni måned i 2003 at inventaret skulle sættes tilbage i Mårup Kirke, og inventaret er nu sat tilbage i Mårup Kirke.

Bilag 2 - GL. Skagen - SIC systemet sammenlignet med høfder.



Fig 9

Høfderne lå 5 - 15 meter ude i havet i 1998 før SIC systemet blev etableret.

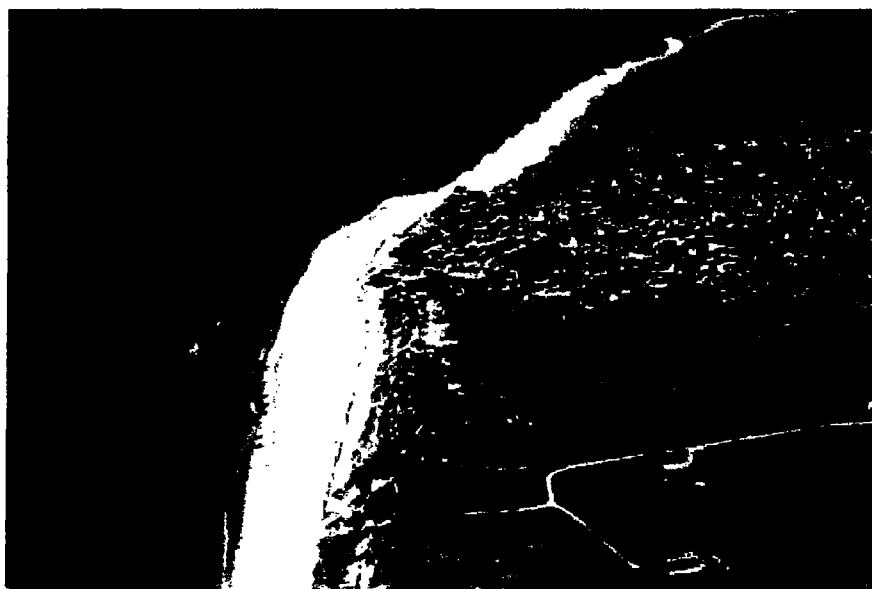


Fig 10

SIC systemet blev etableret umiddelbart før påske i 1999 og høfderne var efter 1 år totalt dækket ned i sand og lå 5 - 10 meter inde på stranden ved normal vandstand

Gl. Skagen fortsat.

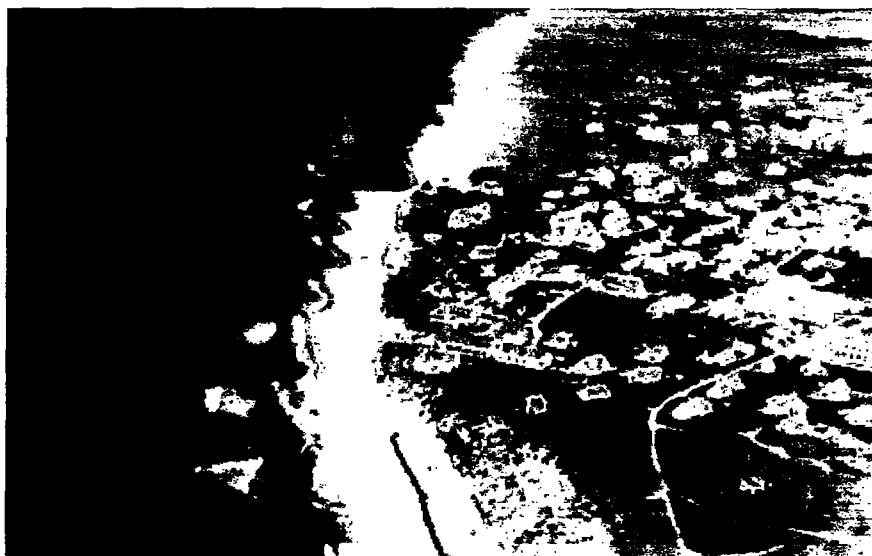


Fig. 11

Gl. Skagen juli 2002 efter at SIC systemet er fjernet.

Efter en længere diskussion med Kystdirektoratet tog SIC trykudligningsmodulerne op ved Gl. Skagen i november 2001. Fotoet fra juli 2002 viser at kystlinien er rykket 15 – 25 meter tilbage.

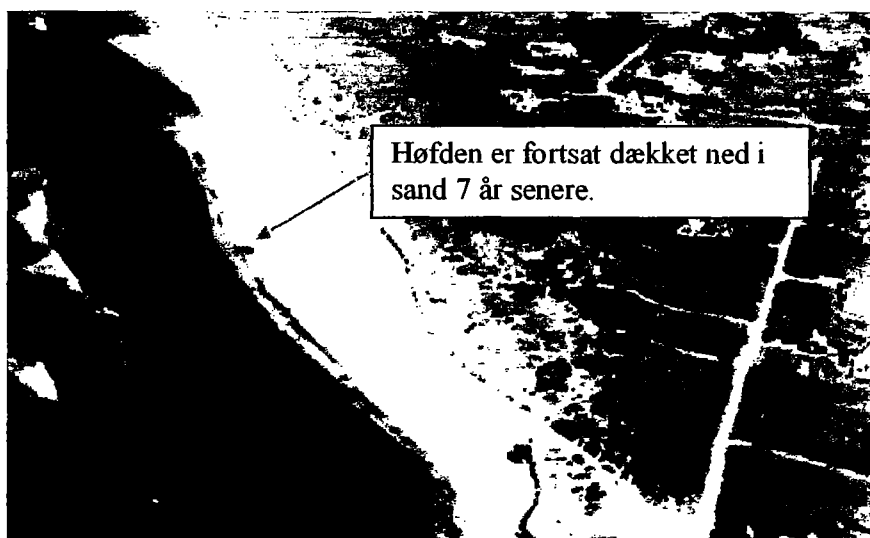


Fig. 12

Gl. Skagen one PEM was accidentally left

SIC glemte imidlertid at fjerne 1 række trykudligningsmoduler nord for Gl. Skagen i november 2001. Den første hofde nord for Gl. Skagen ligger derfor fortsat inde på stranden, og er et godt bevis på effektiviteten af SIC systemet.

Bilag 2 a - Opmåling Gl. Skagen 1999 – 2003.

an 106

SIGNATUR:

- 1.12.1999 Flyve kyst inspektør med nr. og kode
- 2.12.1999 Flyve kyst inspektør med nr. og kode
- 3.12.1999 Tegning af et område med nr. og kode
- 4.12.1999 Tegning af et område med nr. og kode

0.00	OPMÅLING den 3 - 4 maj 1999	0.00	OPMÅLING den 18 marts 2003
0.00	Terrænmåling med kote	0.00	Terrænmåling med kote
0.00	Markering af afløb	0.00	Markering af afløb
0.00	Vandets Kote 0.0	0.00	Vandets Kote 0.0
0.00	OPMÅLING den 5 - 6 oktober 1999	0.00	OPMÅLING den 18 - 19 januar 2000
0.00	Terrænmåling med kote	0.00	Terrænmåling med kote
0.00	Markering af afløb	0.00	Markering af afløb
0.00	Vandets Kote 0.0	0.00	Vandets Kote 0.0
0.00	OPMÅLING den 18 - 19 januar 2000	0.00	OPMÅLING den 25 - 26 marts 2002
0.00	Terrænmåling med kote	0.00	Terrænmåling med kote
0.00	Markering af afløb	0.00	Markering af afløb
0.00	Vandets Kote 0.0	0.00	Vandets Kote 0.0

0.00 Tøskant af ejerskab / hofier

Opmåling 19 februar 2003	FOJATIK	25.02.03
Opmåling 18 - 19 januar 2000	FOJATIK	25.02.03
Opmåling 5 - 6 oktober 1999	FOJATIK	07.12.99
Revisión/Tekst	ing./Tegn. Kontrol	Godkendt Dato

Carl Bro as Rådgivere og anlægsgivere, F.R.L.

vst
1-1600

fas

Skagen

Kystforingsprojekt

Emne

Forsøgsområde

Opmåling 3 - maj 1999

Gl. Skagen ved højderna

nr. og kode



ing./Tegn.
FOJATIK

Kontrol

Softhardsvej 94
8200 Ålborg SV
Telefon: 99 79 99 00
Telefax: 99 79 99 01

Godkrevet Dato
19.02.03

Sig. nr.

25.9900.51

Tegn. nr.

an 106

Gl. Skagen.



Opmålingerne dokumenterer at kystlinien rykkede 15 – 25 meter tilbage, da trykudligningsmodulerne blev fjernet ved Gl. Skagen i november 2001

SIC systemet er fjernet i november 2001.

Bilag 3 - Lønstrup – SIC systemet sammenlignet med bølgebrydere.



Fig. 13
Lønstrup med SIC systemet i 1999

SIC etablerede trykudligningsmoduler ved bølgebryderne ved Lønstrup i foråret 1999. I løbet af få måneder var bølgebryderne dækket ned i sand inde på stranden.

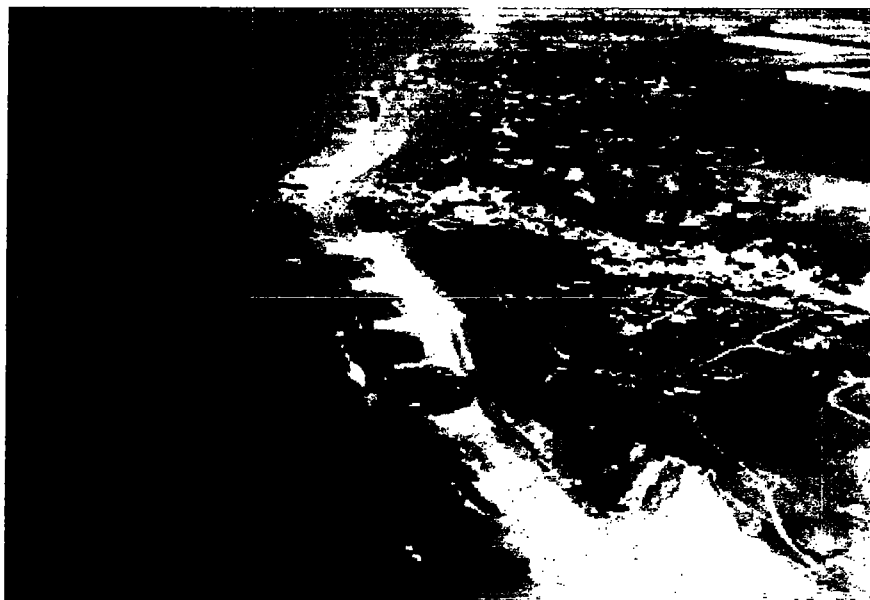


Fig. 14 Lønstrup 2002

Kystdirektoratet krævede imidlertid trykudligningsmodulerne fjernet, så de kunne fortsætte sandfodringen.

Kystdirektoratet genoptog derefter sandfodringen, og man ser herefter resultatet efter at KDI har sandfodret bølgebryderne for 25,0 mio. kr. i perioden 1982 til 2002.

Lønstrup Juli 2005.



Fig. 15

SIC genetablerede SIC systemet på syd stranden i Lønstrup d. 9 marts 2004.
Bølgebrydere blev dækket ned i sand i lighed med situationen i 1999.

Bilag 4 - Revlefodring

I 2004 baserede Kystdirektoratet kystbeskyttelsen på vestkysten på revlefodring ude i havet, hvor der blandt andet blev revlefodret på en 3,0 km lang strækning syd for Hvide sande havn.

Der er ingen synlige tegn på en positiv effekt af denne revlefodring, idet klitterne rykkede ca. 20 meter tilbage syd for havnen under stormen d. 8 januar 2005.

Sandfodringsrør nr. 2, som benyttes til strandfodring syd for havnen kollapsede således under stormen, som det fremgår af modstående fotos på side 17, som er taget d. 9 januar 2005.

Kystdirektoratet har ikke ønsket en opmåling af kystprofilen, selvom der er økonomiske midler til rådighed i SIC projektet mellem Hvide Sande og Nymindegab.

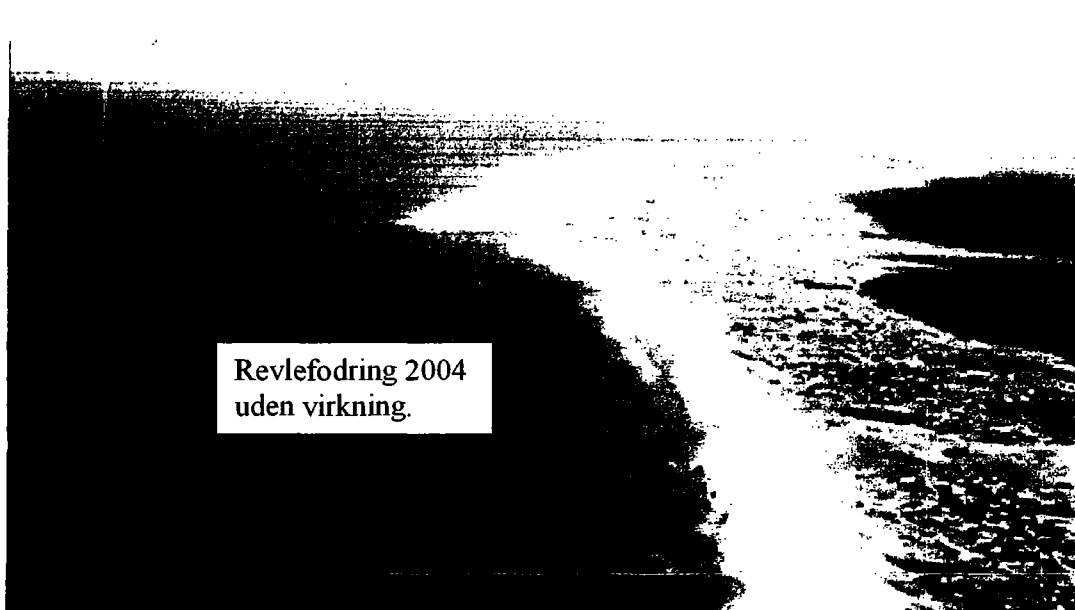


Fig. 16

Billedet viser dækmolen og indsejlingen til Hvide Sande havn samt stranden 3,0 km mod syd

By passing systemet syd for Hvide Sande Havn



Fig. 17

Klitterne rykkede ca. 20 meter tilbage syd for Hvide Sande under stormen d. 8 jan. 2005.

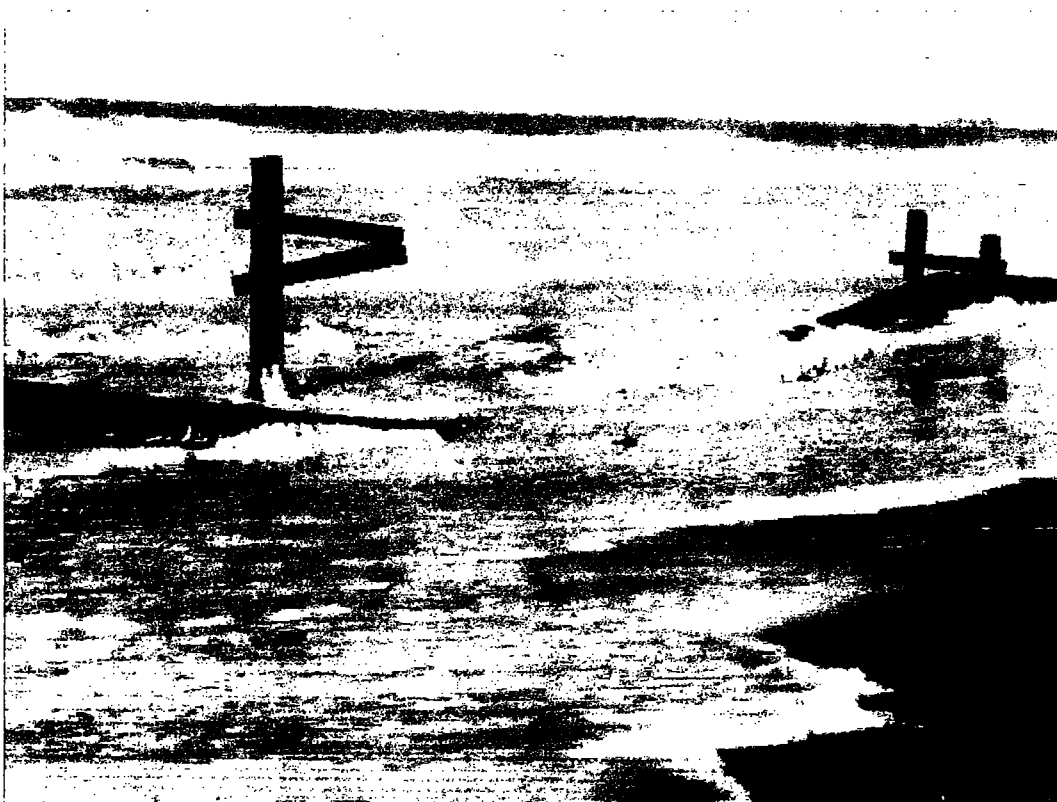


Fig. 18

Sandfodringsrør nr. 2 syd for Hvide Sande Kollapsede under stormen d. 8 jan. 2005

Bilag 5 - Sandfodring ved Søndervig 2004

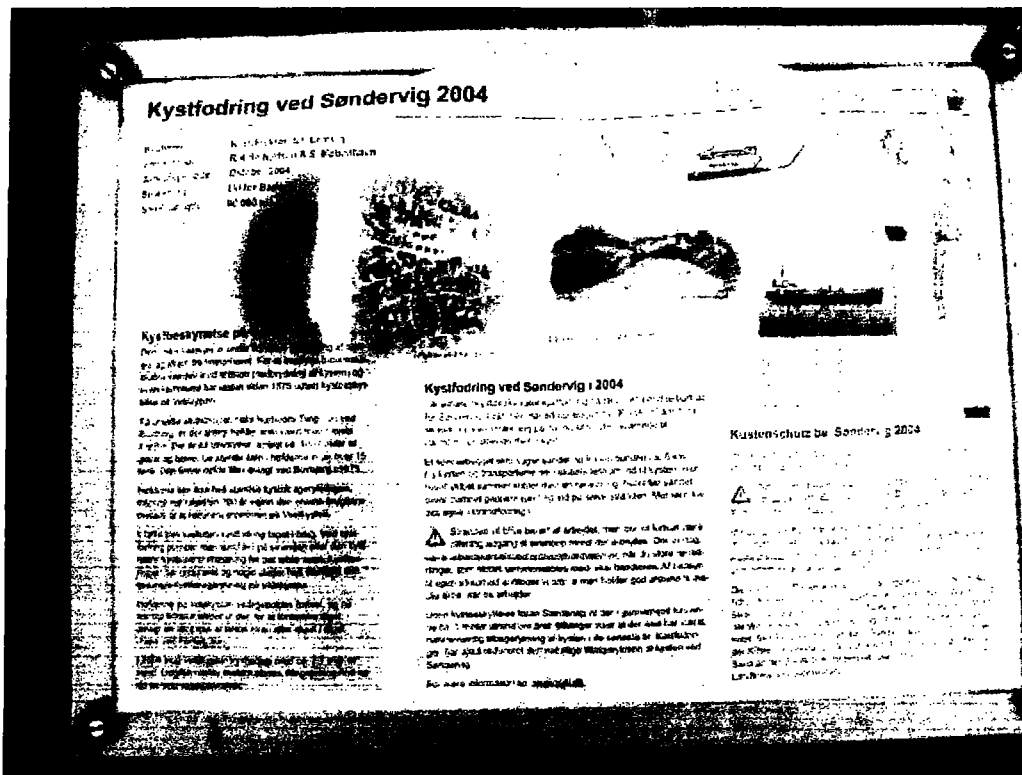


Fig. 19

Abstract.

Efter en periode med højvande og kuling fra d. 11 sep. 2004, kom det frem i den danske presse, at der var store kysterosionsproblemer ved Søndervig på den jyske vestkyst.

Som det fremgår af det øverste foto fra d. 29 september på side 19, var nedkørslen til stranden skyllet væk mens bunkeren bagerst i billedet fortsat står oppe i klitten.

Lokalbefolkningen var naturligvis bekymret over udviklingen, og Kystdirektoratet besluttede derfor at indpumpe 90.000 kubikmeter sand på stranden over en 1,0 km lang strækning med det formål at beskytte klitterne foran Søndervig.

Sandet blev pumpet ind på stranden i perioden 15 – 20 oktober (96.000 m³), men allerede en uge senere d. 27 oktober var de 92.100 m³ skyllet i havet.

Prisen på forsøget med sandfodring var 3.995.000,00 kr.

Efter stormen d. 9 januar 2005 var klitten rykket yderligere 25 meter tilbage, og bunkeren står nu 10 meter ude på stranden. i forhold til klitfoden.

Klitterne er gennemsnitlig 10 meter høje og erosionen efter sandfodringen kan derfor beregnes til yderligere 250.000 m³.

Dette giver en effektivitet på minus 360 % efter en investering på ca. 4,0 mill. kr. på 1,0 km.

Søndervig.



Fig. 20
Søndervig d. 29 september 2004



Fig. 21
Søndervig d. 9 januar 2005 efter sandfodring med 96.000 m³
Tilbagerykningen i klitten har været 25 meter efter en sandfodring til ca. 4,0 mill kr.

Virkningsgraden af sandfodringen har været minus 360 %, og det må derfor formodes at sandfodringen har forstejlet profilet og dermed øget erosionsraten på kysten i forhold til den naturlige erosion, som Kystdirektoratet opgiver til ca. 1,0 m om året.

Årsag/virkning

SIC's undersøgelser viser, at det er vandtrykket i forstranden, som er øget ved Søndervig efter mange større byggerier i området.

Lokale beboere fortæller således at erosionen er tiltaget efter 2001/02, hvilket bekræftes af oplysninger i pressen ultimo september 2004.

I denne periode er blandt andet det store byggeri "Klitten" bygget.

Regnvandet fra tagene afledes nu til faskiner, som er nedgravet i undergrunden, og det bekræftes nu af lokale entreprenører, at ferskvandet nu afstrømmer til havet modsætningsvis tidligere hvor vandet afstrømmede til Ringkøbing Fjord.

Vandspejlet stod således 2,28 meter over havet ved udgravningen på badevej d. 11 februar 2005 og entreprenøren kunne oplyse at vandet strømmede mod havet, da udgravningen blev foretaget.

Det er derfor indiskutabelt at vandskellet er flyttet, og at det er årsagen til den store kysterosion ud for badevej.

Dette medfører et stejlere strandprofil, som medfører refleksioner i bølgerne og en større del af bølge energien afsættes ude i revlesystemet.

Dette medfører igen et hul i revlen og der opstår en helt naturlig "rip current", idet vandet mellem revlerne skal tilbage i havet og det sker naturligvis på et svagt sted i revlen.

Kystdirektoratet tror fejlagtigt, at det er dette hul, som medfører erosion på stranden.

Det er det ikke.

Her diskuterer vi ikke hvad der kom først hønen eller ægget, men elementær bølge teori, som vi kender fra feltteori og bølgeledere inden for elektronikområdet.

I samme øjeblik vi igen har et balanceprofil på stranden vil hullet i revlen automatisk blive lukket.

Denne konklusion kan dokumenteres med KDI's egne opmålinger ved bølgebryderne ved Lønstrup d. 1 oktober 2005.

Det er derfor en fejlinvestering af dimensioner, at bygge en skråningsbeskyttelse ved Søndervig for 8,0 mill. Kr. og indpumpe sand for 25,0 mill kr. efterfølgende.

Det vil for øvrigt blive det største byggeri på stranden siden 2. verdenskrig, som vil genere badelivet på stranden i sommeren 2005 til stor gene for turistindustrien.

Vi anbefaler derfor at projektet med skråningsbeskyttelse og indpumpning af sand stilles i bero indtil efteråret, og at stranden vertikal drænes i begyndelsen af april måned, så badestranden kan være klar til turistsæsonen.

Det er derfor meget interessant for Trafikudvalget og danske kommuner at følge udviklingen ved Søndervig i 2005, idet man allerede nu kan se resultatet af en sandfodring til 4,0 mio kr. på 1 km. i forhold til SIC's resultater.

Søndervig



Fig. 22

Nybyggeri ved Søndervig har ændret vandskellet således,
at regnvandet nu afstrømmer til Vesterhavet

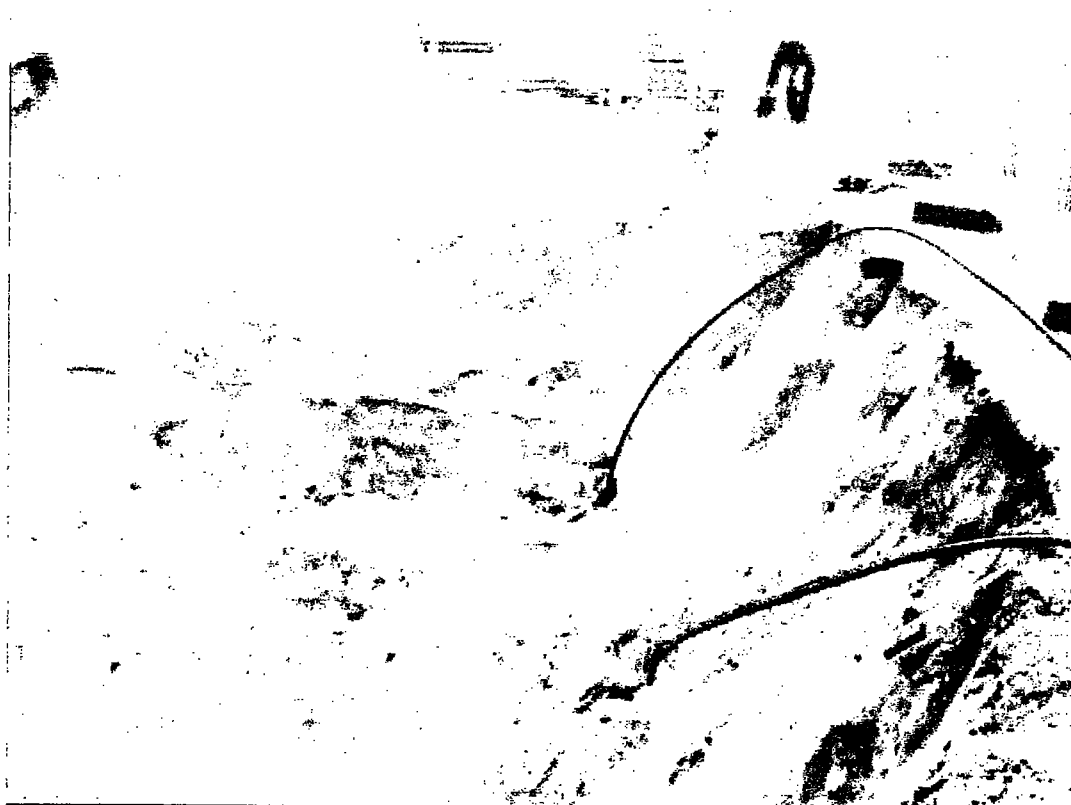


Fig. 23

Grundvandet står nu 2,28 meter over havet ved Badevej og afstrømmer til Vesterhavet

Strandbrede/Middelstrandhøjde.

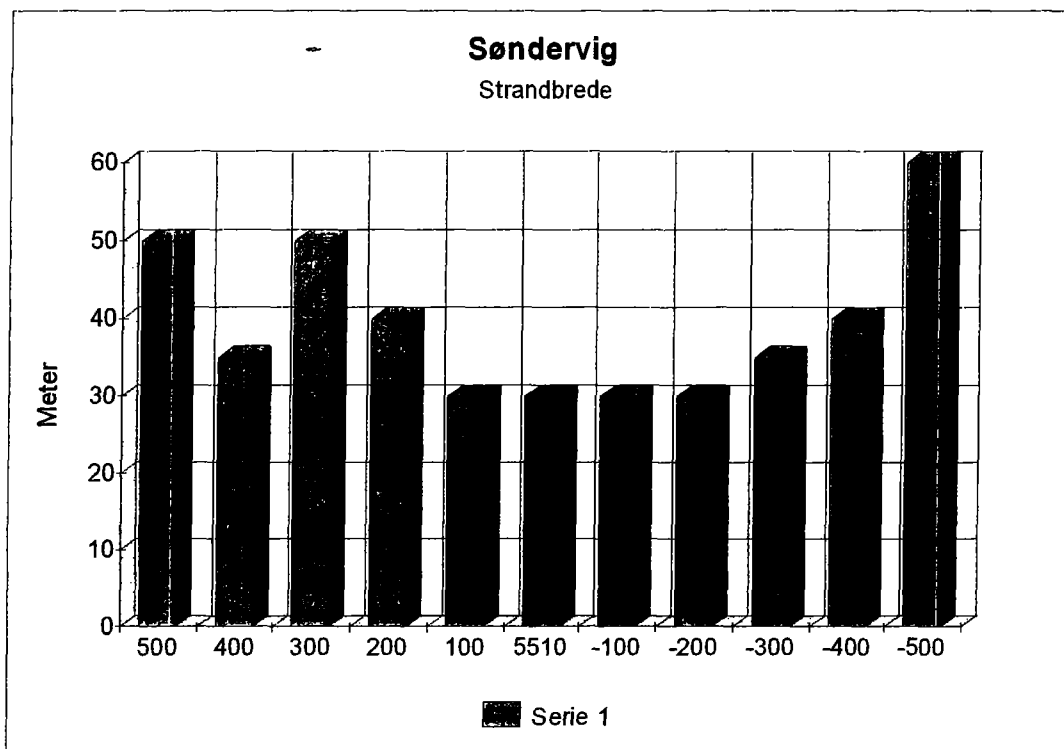


Fig. 24
SIC's opmålinger viser at stranden er katastrofal smal ud for Søndervig

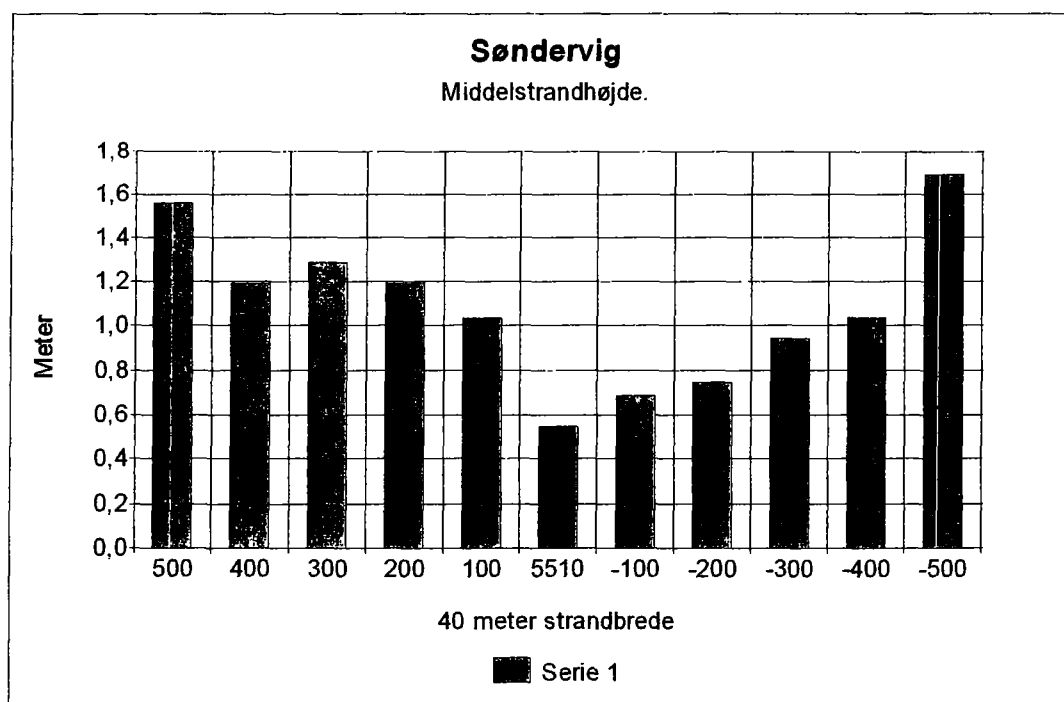


Fig. 25
SIC's beregninger viser at stranden er katastrofal lav ud for Søndervig på grund af vandtrykket i kystprofilen.

Volumenberegninger

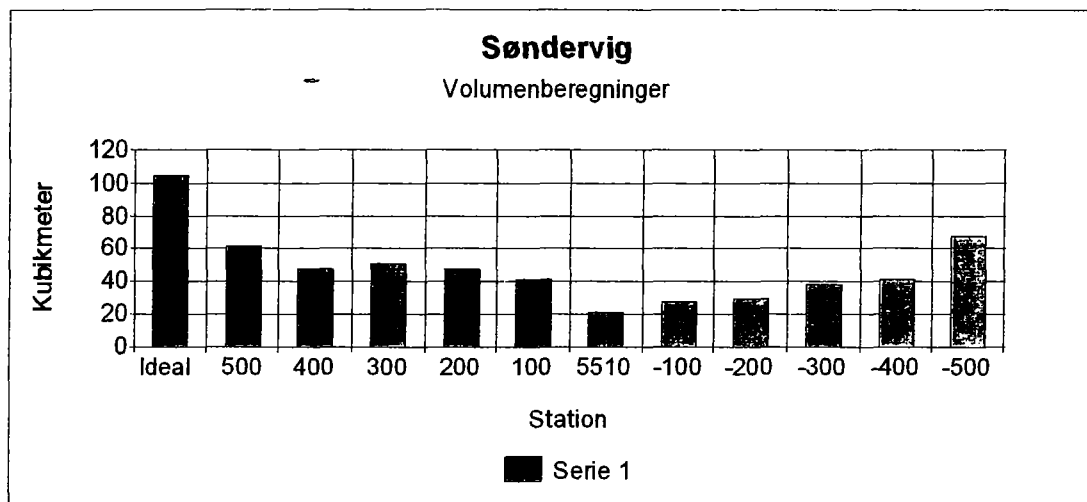


Fig. 26

Strandprofilet skal mindst være 70 meter bredt og 3 meter højt i skræntfoden.

- 1.0 Skrænt/Klit
- 2.0 Forstrand
- 3.0 Kystnær zone Kystlinie til kote - 3,0 Dnn.
- 3.1 Kystnær zone Kote -3,0 - kote - 6,0

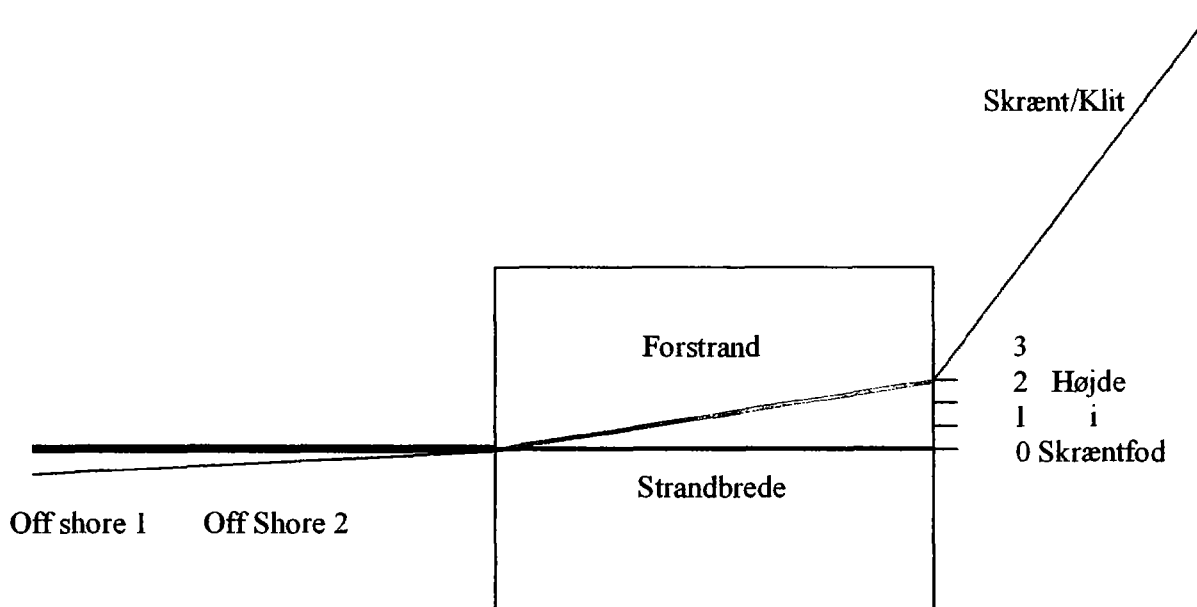


Fig. 27



Nøgle tal ved Hvide Sande:

$$\begin{aligned} \text{Areal} &: 3 \times 70/2 = 105 \text{ m}^2 \\ \text{Volumen/km} &= 105.000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bilag 6- Faskiner ved Gl. Skagen



Fig. 28

Klitfoden bygges op med faskiner i klitfoden ved Gl. Skagen



Fig. 29

Klitfoden er opbygget efter 1 år med faskiner

Faskiner Holmsland Klit



Fig.30

Faskinerne sættes på toppen af klitterne på Holmsland klit



Fig. 31

Sandet mistes på stranden og hæver klitterne til ingen nytte

Vi ser her at KDI,s fixpunkter næsten er begravet i sand og på vej til at forsvinde.

Funktionen af SIC systemet.

Funktionen af SIC systemet kan beskrives ganske kort med baggrund i den videnskabelige litteratur, som er tilgængelig på nuværende tidspunkt. (Referencelist side 32 - 34)

Lodrette drænrør, dræner stranden, så der skabes et ligevægtsprofil, hvis højde og brede er relateret til tidevandsforskellen i området.

Lodrette dræn er en kendt teknik ifølge Hedeselskabet, og dræner stranden på den måde, at der skabes forbindelse mellem de forskellige lag i stranden fig. 32, så vandet under stranden lettere løber i havet mellem højvande og lavvande.

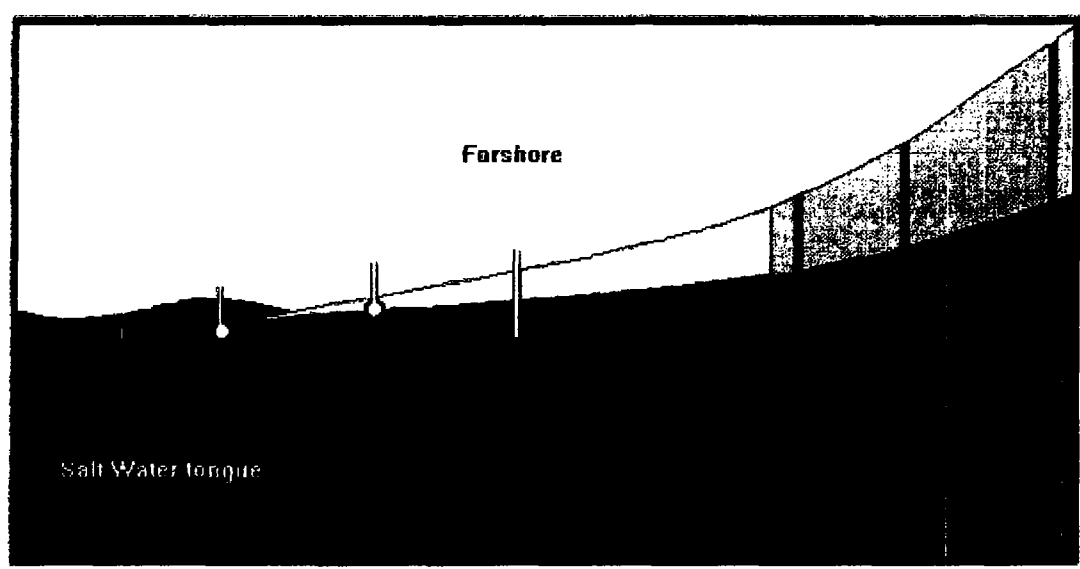
Dræning af stranden medfører samtidig at silt og småpartikler skylles ud af stranden, så effekten bliver selvforstærkende modsætningsvis BMS systemet, som er baseret på pumper med stor elektricitetsforbrug.

Hertil kommer det atmosfæriske tryk, som også er en faktor i relation til vandspejlet.

Modulerne etableres med 50 eller 100 meter mellem rækkerne langs stranden og 10 meter i tværprofilet.

De drænede områder skaber hermed sandhøfder fig. 33, som fanger sand fra den langsgående materialetransport.

På denne måde opbygges stranden i et balanceprofil, som beskytter baglandet.



Effekten af SIC systemet ses helt tydeligt ude i Australien, hvor tidevandsforskellen er ca. 2 meter.

Hævet havbund ved Gl. Skagen.

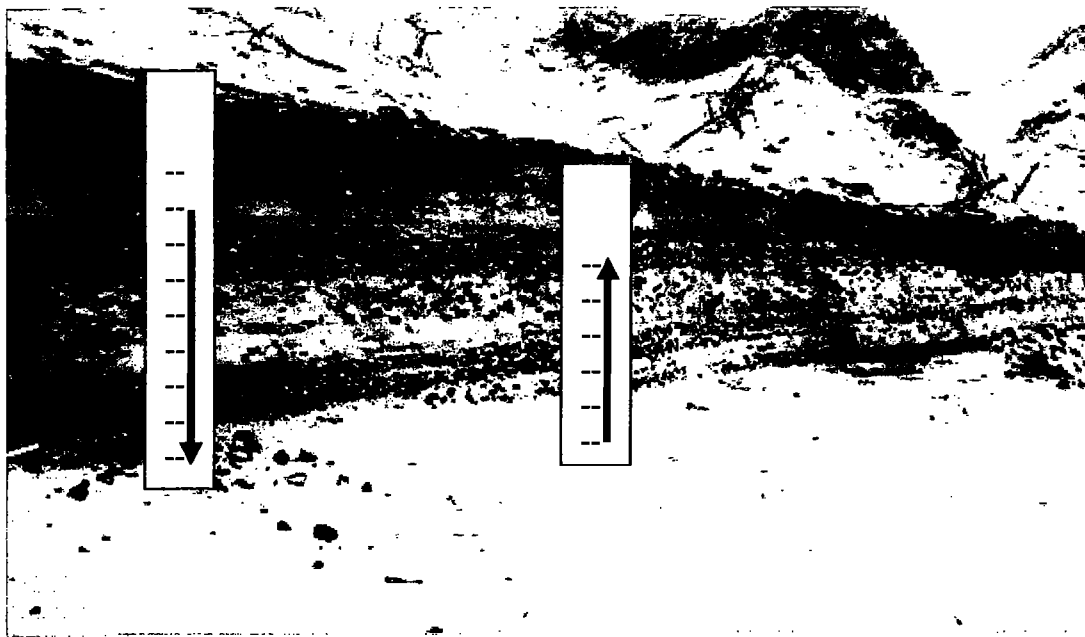


Fig. 32

Lodrette drænrør giver forbindelse mellem de forskellige lag i stranden og dræner stranden. Vandstrømmen kan være opadgående eller nedadgående i relation til vandtrykket i stranden



Fig. 33

Trykudligningsmodulerne kan danne sandhøfder på stranden. Sandhøfderne fanger sand fra den langsgående materialetransport så stranden bliver høj og bred.

Hervey Bay Australien



Fig. 34
1. juni 2001.
Forstranden er meget våd.

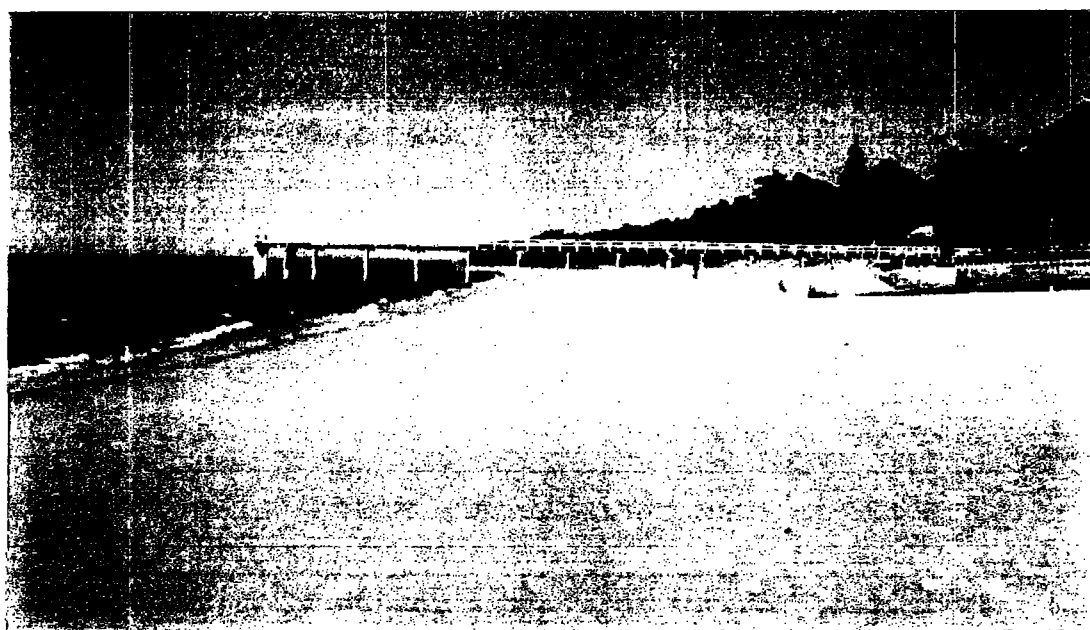


Fig. 35
Oktober 2001
Stranden er hævet med op til 55 cm og er tør.

Hervey Bay Australien



Fig. 36
1. Juni 2001.
Forstranden er meget våd.



Fig. 37
Januar 2002
Jettien står nu inde på stranden

Nørlev Strand

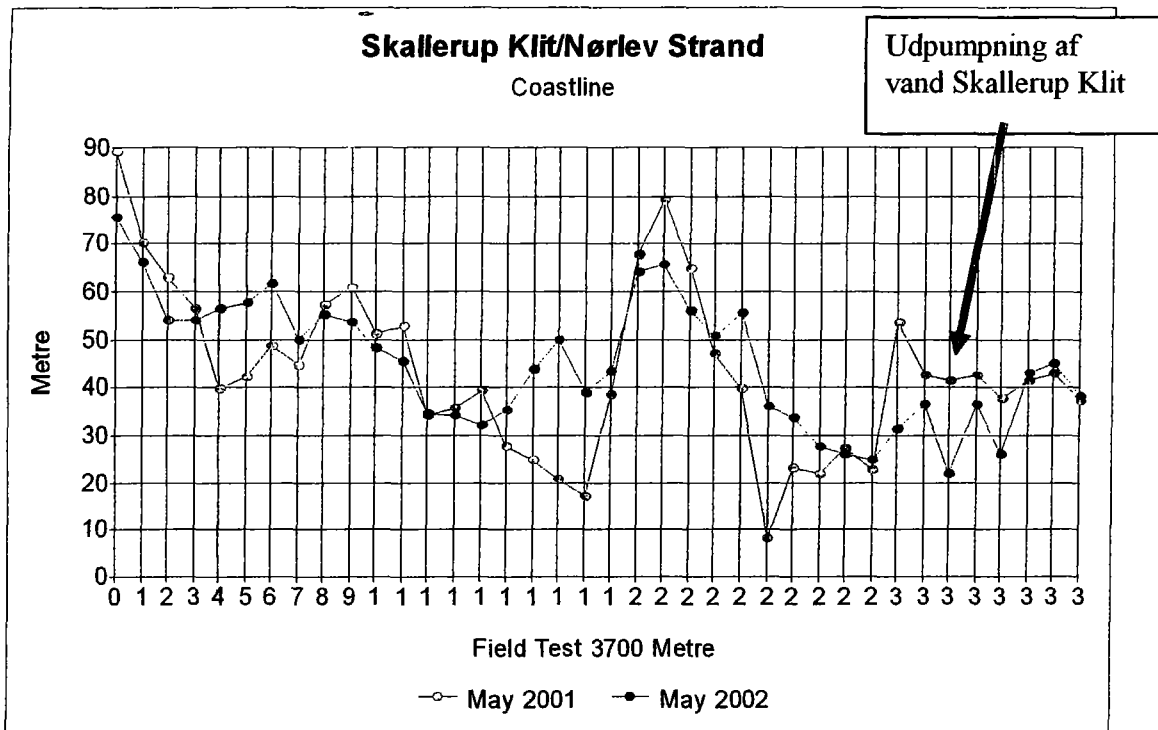


Fig. 38

Det ses meget tydeligt på ovenstående graf at profilet nu er inde i en meget positiv udvikling, idet bredden på stranden nu bliver mere retlinet.



Fig. 39

Samtidig ses det meget tydeligt at vandudpumpningen bag klitterne i foråret 2002 ved Skallerup Klit har haft en meget negativ indvirkning på profilet mellem de 3 nordligste høfder, hvor stranden

er meget våd. Det er samtidig konstateret at høfderne har forøget erosionen med en faktor 3

GROUNDWATER EFFECTS ON SEDIMENT TRANSPORT: A MODELLING STUDY OF THE MECHANISMS UNDERLYING BEACH DEWATERING FOR EROSION CONTROL

L. Li and D. A. Barry

School of Civil and Environmental Engineering, The University
of Edinburgh, Edinburgh, EH9 3JN, U.K.

Abstract: *Field and laboratory observations have shown that a relatively low beach groundwater table enhances beach accretion while a high water table promotes beach erosion. These observations have led to the beach dewatering technique (artificially lowering the beach water table) for combating beach erosion.* The aim of this study is to quantify the interactions between the ocean and coastal aquifer. Such interactions affect swash sediment transport and beach profile changes. A process-based numerical model is developed to simulate the interacting wave motion on the beach, coastal groundwater flow, swash sediment transport and beach profile changes. The non-linear shallow water equation is modified to simulate swash/backwash motion interacting with the beach groundwater. Saturated flow in the coastal aquifer is governed by the Laplace equation. An additional term is added into the free surface boundary conditions for the water table to incorporate capillary effects. The instantaneous cross-shore sediment transport rate is calculated according to Bagnold's sediment transport model. The net sediment transport rate is obtained for every swash/backwash cycle and is used to calculate the resulting beach profile changes. Results of model testing demonstrate that the model replicates (1) bar/berm formation at beaches under different wave conditions, (2) the equilibrium state of a beach exposed to constant wave conditions, and (3) accretionary effects of a low beach water table on beach profile changes.

References

- Bagnold, R. A. 1966. An approach to the sediment transport problem from general physics, Technical Report Prof. Pap. 422-I, U.S. Geol. Survey.
- Duncan, J. R. 1964. The effects of water table and tidal cycle on swash-backwash sediment distribution and beach profile development, *Mar. Geol.*, 2, 186-197.
- Flick, R. E., Guza, R. T., and Inman, D. L., 1981. Elevation and velocity measurements of laboratory shoaling waves, *J. Geophys. Res.*, 86, 4149-4160.
- Grant, U. S. 1984. Influence of the water table on beach aggradation and degradation, *J. Mar. Res.*, 7, 655-660.
- Guza, R. T., and Thornton, E. B. 1982. Swash oscillations on a natural beach, *J. Geophys. Res.*, 87, 483-491.

- Hardisty, J., Collier, J., and Hamilton, D. 1984. A calibration of Bagnold beach equation, *Mar. Geol.*, 61, 95-101.
- Hibberd, S., and Peregrine, D. H. 1979. Surf and run-up on a beach: A uniform bore, *J. Fluid Mech.*, 95, 323-345.
- Horn, D. P., and Mason, T. 1994. Swash zone sediment transport modes, *Mar. Geol.*, 120, 309-325.
- Hughes, M.G., Masselink, G., and Brander, R.W., 1997. Flow velocity and sediment transport in the swash zone of a steep beach. *Marine Geology* 138, 91-103.
- Kobayashi, N., Otta, A. K., and Roy, I. 1987. Wave reflection and run-up on rough slopes, *J. Water, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 113, 282-298.
- Larsen, M. 1988. Quantification of beach profile change, Report 1008, Lund University, Lund.
- Lax, P., and Wendroff, B. 1960. Systems of conservation laws, *Comm. Pure Appl. Maths.*, 13, 217-237.
- Li, L., Barry, D. A., Parlange, J.-Y., and Pattiaratchi, C. B. 1997. Beach water table fluctuations due to wave run-up: Capillarity effects, *Water Resour. Res.*, 33, 935-945.
- Li, L., and Barry, D. A. 2000. Wave-induced beach groundwater flow, *Adv. Water Resour.*, 23, 325-337.
- Li, L., D. A., Barry, Pattiaratchi, C. B., and Masselink, G. 2000. Sediment transport and beach profile changes in the swash zone: Model simulations of groundwater effects, Submitted to *J. Water, Port, Coastal, Ocean Eng.*
- Liska, R., and Wendroff, B., 1996. Composite schemes for conservation laws, Tech. Rep. LA-UR96-3596, Los Alamos.
- Masselink, G., and Hughes, M. G. 1999. Field investigation of sediment transport in the swash zone, *Continental Shelf Res.*, In press.
- Mizumura, K., Nishimoto, T., and Tsutsui, H., 1992. Numerical simulation of coastal changes, in Brebbia, C. A. (ed) *Computational modelling of free and moving boundary problems*, Southampton, Computational Mechanics Publ.
- Nielsen, P. 1992. *Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport*, World Scientific, Singapore.
- Packwood, A. R. 1983. The influence of beach porosity on wave uprush and backwash, *Coastal Eng.*, 7, 29-40.
- Peregrine, D. H. 1972. Equations for waves and the approximations behind them, In *Waves on Beaches and Resulting Sediment Transport* (ed. R. E. Meyer), Academic, New York.
- Richtmyer, R. D., and Morton, K. W. 1967. *Difference Methods for Initial-Value Problems*, Interscience Publishers, Inc., New York.

Titov, V., and Synolakis, C. M., 1995. Modelling of breaking and nonbreaking log-wave evolution and run-up using VTCS-2, *J. Water, Port, Coastal, Ocean Eng.*, 121, 308-316.

Turner, I. L. 1995. Simulating the influence of groundwater seepage on sediment transport by the sweep of the swash zone across macro-tidal beaches, *Mar. Geol.*, 125, 153-174.

Turner, I. L., and Leatherman, S. P., 1997. Beach dewatering as a "soft" engineering solution to coastal erosion – a history and critical review, *J. Coastal Res.*, 13, 1050-1063.

Turner, I. L., and Masselink, G. 1998. Swash infiltration-exfiltration and sediment transport, *J. Geophys. Res.*, 103, 30813-30825

Søndervig strand efter sandfodring i 2004



Fig. 40

Inspiration Poul Winther Skagen

Foto Poul Jakobsen

Nørlev Strand. SIC vertical drain system compared with groins and breakwaters combined with beach nourishment.

Poul Jakobsen, Skagen Innovation Center, Dr. Alexandrinesvej 75, DK 9990 Skagen, Denmark

SIC carried out a field test on the west coast of Jutland, Denmark together with council Hjørring from 2000 – 2003.

The objective of the project was to compare the SIC pressure equalisation system with groins and breakwaters combined with beach nourishment at Lønstrup. Lastrup C 1988

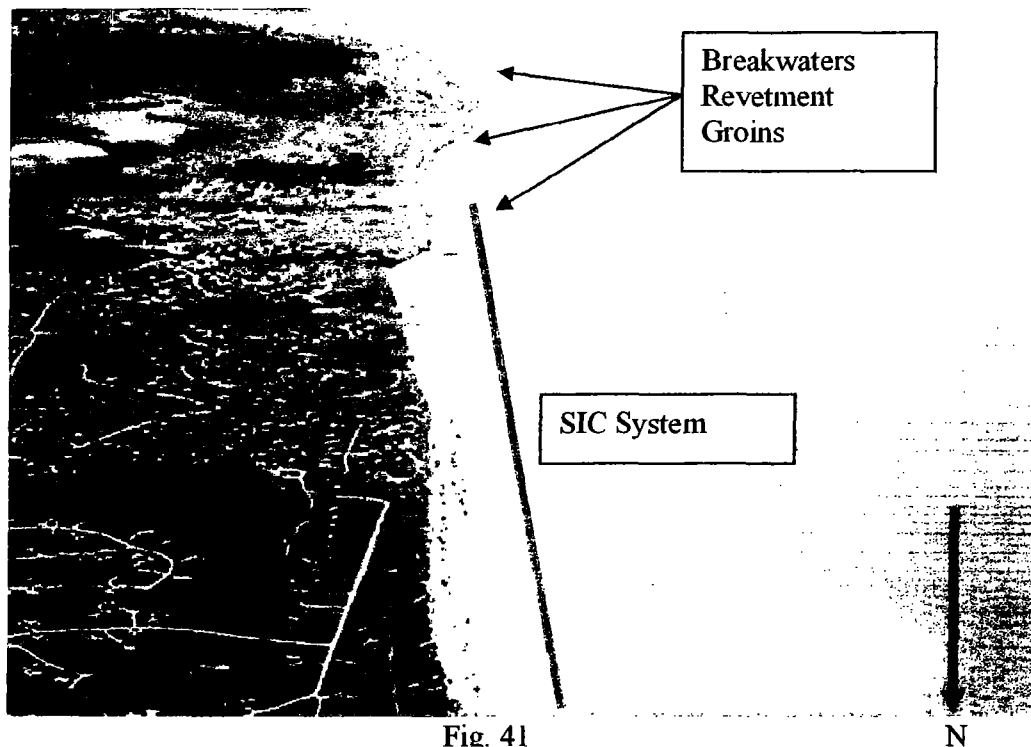


Fig. 41

Introduction.

The SIC system of Pressure Equalising Modules (PEM) is a vertical drain system placed in a matrix along the coastline with a distance between the rows of 100 metre along the coastline, and 10 metre between the modules (in the cross) Burcharth H. F. April 2000

The SIC system was installed on a 3700 meter long beach from the groin's in south to the Hirtshals county border in north.

Monitoring.

The beach profile was controlled by an independent survey company before the installation of the SIC system in June 2000, and yearly until June 2003.

PEM system from SIC

The sand loss from level 2.5 meter in the dune foot to the shoreline is over three years 740 cubic metre per kilometre.

Groin's

In the area with groin's the erosion on 1150 metre over 15 years has been 33.000 cubic metre per year incl. dune erosion. The groins have tripled the erosion in relation to the natural erosion rate in this place.

Breakwaters



Fig. 42
Lønstrup with the SIC system
July 1999

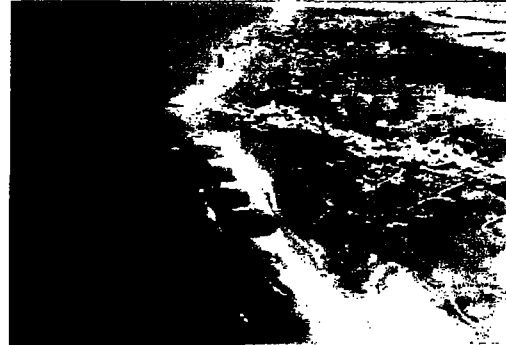


Fig. 42
Lønstrup with beach nourishment.
July 2002

The beach with breakwaters at Lønstrup was protected with the SIC system in 1999 and the breakwaters were placed passive inside the beach.

The Coast Authority in Denmark insisted to have the SIC system removed, so they could continue the yearly beach nourishment with 22 000 cubic metre per year, but lost the beach.

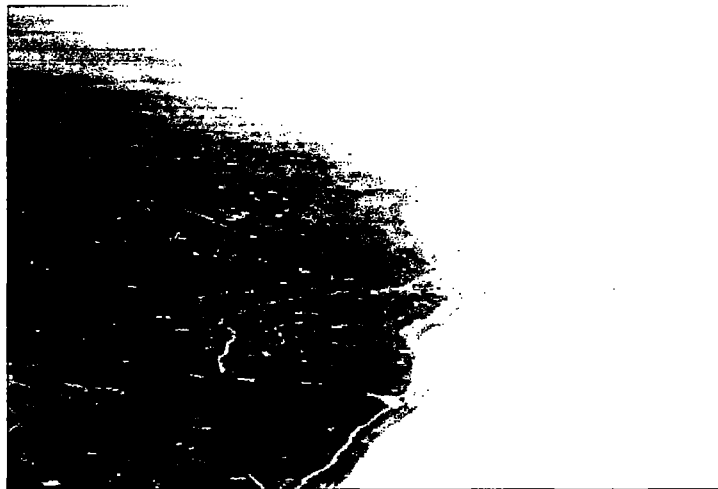


Fig. 43
Leaside erosion caused by breakwaters at Lønstrup July 2002

The breakwaters have resulted in extreme leaside erosion, and the beach is totally lost, and the owners of the land try to protect their property with rocks on the cliff.

Conclusion.

In the test area over 3700 metre with the SIC system, the erosion was limited to 740 cubic metre per km over 3 years or 250 cubic metre per Year.

In relation to the West coast of Jutland (100 km) the yearly need of beach nourishment will only amount to 25.000 cubic metre per year, *if most of the groins and breakwaters are removed* and the west coast of Jutland is stabilised with the SIC system.

Christian Laustrup estimated in his summary in 1988, that the need for beach nourishment combined with breakwaters on the west coast of Jutland, would be 620.000 cubic metre a year, but the erosion is now 4.1 mill cubic metre per year or 700 % more than estimated.

FIELD TEST ACCRA BEACH GHANA

Poul Jakobsen Skagen Innovation Centre, Dr. Alexandrinesvej 75, DK-9990 Skagen, Denmark
Enor Homiah NDA Construct, Dansoman, Accra, Ghana.

Abstract

Land-based activities and natural physical processes have resulted in significant modifications of the shorelines in many countries, with drastic effects on the coastal geomorphology as well as on the coastal infrastructures. There is an urgent need to introduce new and cost-effective measures that can reduce and mitigate the impacts on the shorelines.

SIC Skagen Innovation Centre has invented an environmentally friendly coastal protection system. The SIC system is based on pressure equalisation modules and fascines. A long-term and comprehensive test of the efficiency has been carried out on the West Coast of Denmark.

Furthermore, a twelve-month scientific research programme was performed in 1999. The results obtained show that the system is far more efficient than conventional methods such as groynes, breakwaters and sand nourishment. Due to the well-known lee side erosion effect, groynes and breakwaters create even greater erosion in adjacent coastal areas. Sand nourishment by dredging is in general terms a very expensive approach (about 130,000 USD / km / year in Denmark), but unfortunately it is an inefficient solution since usually the sand will disappear during the first spring tide.

Summary

With background in the above SIC established in July 2000 in cooperation with ABC Hansen A/S and NDA Construct an environmental friendly pressure equalisation plant in Ghana. The plant was established on a 1,000 m stretch on Accra Beach west of Independence Square.

The purpose was to explain the possibility to achieve positive results under very different conditions than tried before.

The test is very successful indeed. The final result from the measurements carried out during the period shows an increase of 17.76 m³ per running metre of new sand on the coastline. Compared to the successful plant in Old Skagen, monitored by Carl Bro, Denmark, where the increase is 6.5 m³ per running metre, the plant in Ghana is without any doubt the most successful plant installed so far.

The test area at Accra Beach is considered rather difficult with four freshwater outflows mainly rainwater and sewage from the hinterland. This combined with lee side erosion from the Accra harbour mole causes heavy erosion on the beach.

During the test period we experienced a very heavy storm in October 2000 which caused severe erosion and lowered the coastal profile by up to 1.10 m.

We find the final result very satisfactory, as a new and wide beach is now visible as can be seen from the following pictures from Accra Beach. The pictures before and after are not technically photographic directly comparative but show the development on the beach and documented with levelling carried out before and after.

The measurements are made by the engineering company Rudan/Carl Bro A/S.

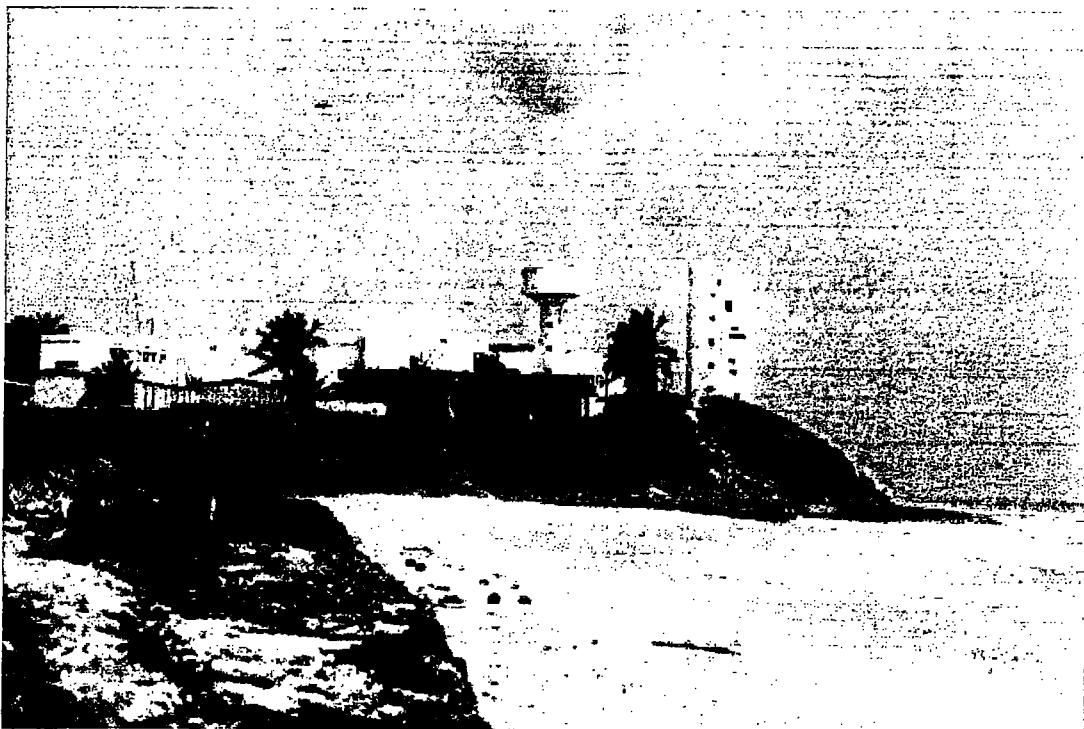


Fig. 44

Christiansborg Accra Beach 1999



Fig. 45

Christiansborg Accra Beach 1 year later

Smidstrup Strandvej.

Vi har besøgt stranden d. 8-oktober 2002 og finder opbygningen på stranden som yderst positiv. Det betyder at den sandopbygning, som begyndte allerede i vinter er fortsat over sommeren.

Ved etableringen af trykudligningsanlægget sidste år d. 27 oktober besøgte vi stranden sammen med arkitekt Gert Mikkelsen og direktør Jakob Skadesgaard og konstaterede at der ikke var så meget som et sandkorn på stranden.

Der er i dag så meget sand på stranden at sandet fyger op i skræntfoden, som nu også er under opbygning, som det ses på efterfølgende billeder.

Vi skal derfor advare imod at enkelte grundejere bygger skræntfodssikring af brud eller marksten, idet hårde konstruktioner ødelægger den foranliggende strand.

Skræntfodssikring alene er direkte skadelig, idet forstranden forsvinder samt at konstruktionen giver læsideerosionsskader på ejendomme nedstrøms i retning af Gilleleje efterfølgende.

Kystteknisk er det meget kritisabelt at Kystdirektoratet har givet et utal af tilladelser til skræntfods sikring alene på Sjællands nordkyst.

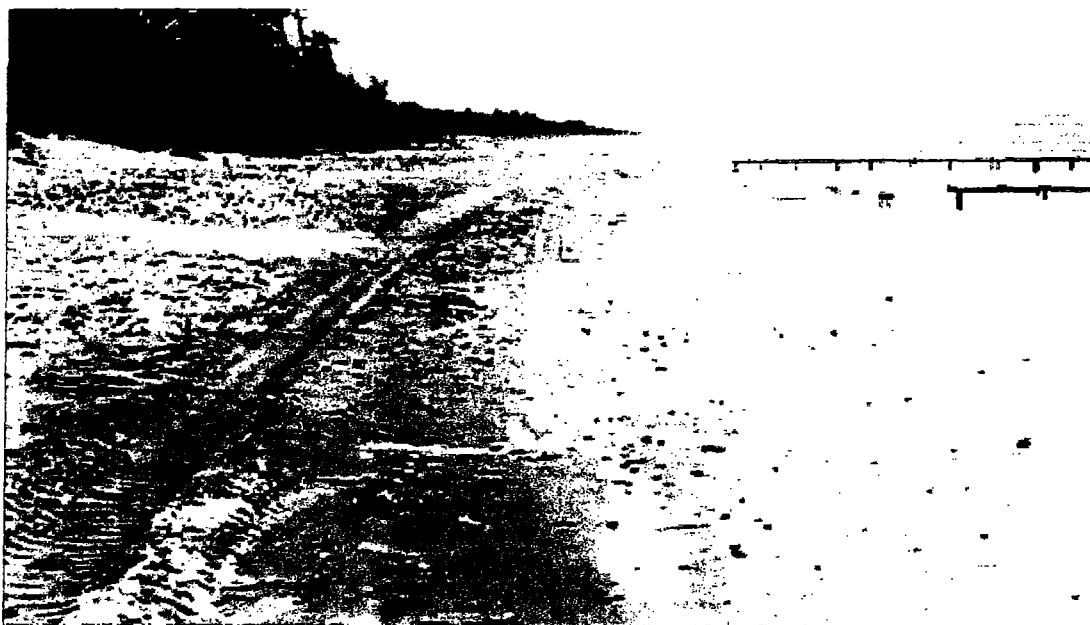


Fig. 46

Billedet er taget d. 8 oktober ved 15 cm højvande og frisk kuling fra øst. Der ses meget tydeligt at forstranden er konveks og at sandet aflejres på stranden, idet stranden er veldrænet.



Fig. 47

Sandlaget er d. 8 oktober 2002 10 – 30 cm tykt på stranden, når vi ser bort fra strækningen umiddelbart øst for den fremskudte skråningsbeskyttelse, som ses på sidste billede.

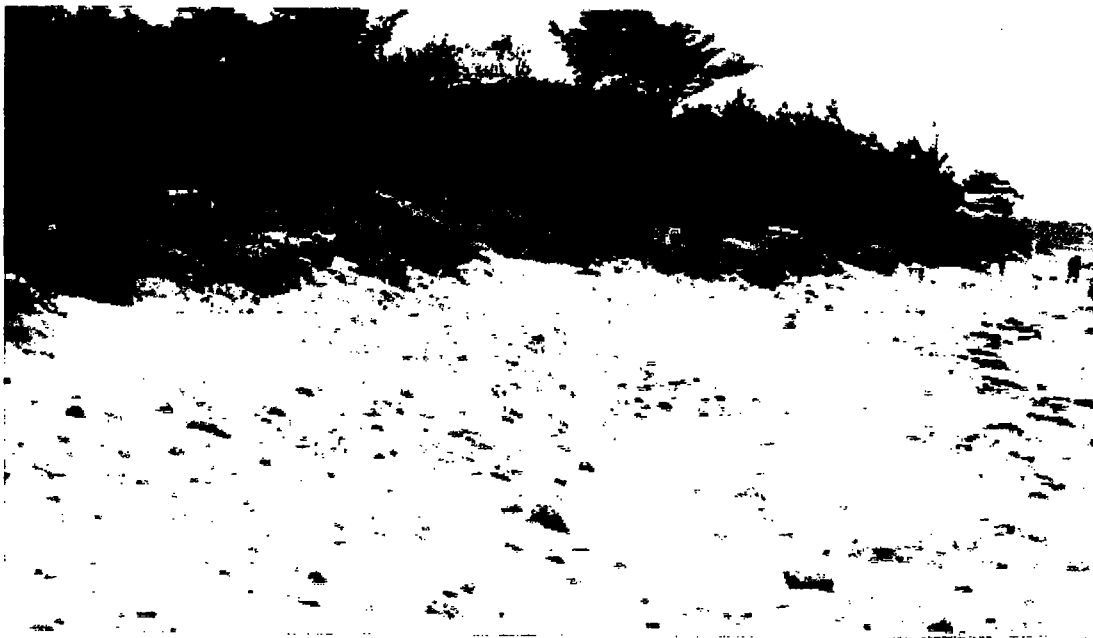


Fig. 48

Det ses meget tydeligt at sandet fra forstranden nu fyger op i skræntfoden, så skræntfoden genopbygges over sommeren.

Ribersborg Strand - Malmö.



Fig. 49

Stranden er beliggende i midten af Malmö og benyttes af tusindvis af badegæster over sommeren, samt som et meget aktivt fritidsområde i den øvrige del af året.

Den kysttekniske undersøgelse dækker området fra hundebadet til handicapbadet.

Området er markeret med blå på ovenstående bykort.

Anlægget blev etableret d. 27 oktober 2001 med en afstand mellem modulerne i længdeprofilet på mellem 50 og 100 meter og ca. 10 meter mellem modulerne i tværprofilet.

Modulerne er 1,75 meter lange og er nedgravet i plan med stranden, hvor det er muligt, så modulerne er næsten usynlige i stranden.

De enkelte moduler består af 1,0 meter 60 mm filterrør og 0,75 meter stålrør, som er lukket i toppen med et låg med ventilationsfilter.

Som det ses på efterfølgende billede fra d. 30 november 2001 skete der meget hurtigt en opbygning af stranden med hvidt strandsand ude fra havet, som aflejrede sig på stranden så stranden blev konveks.

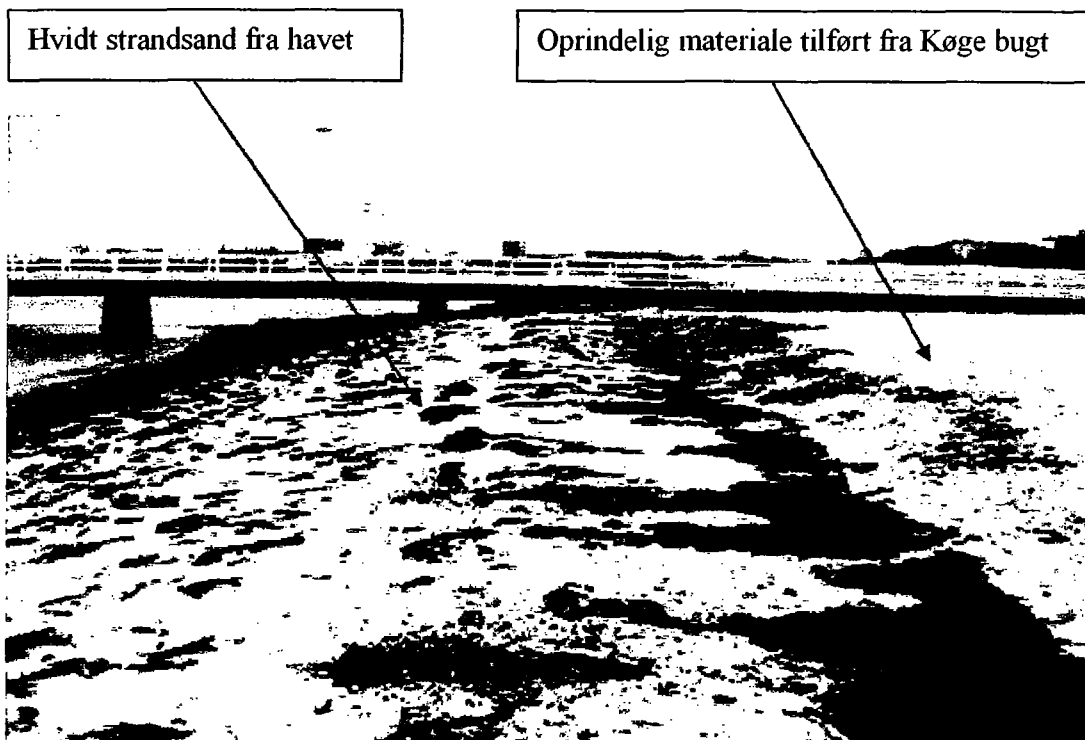
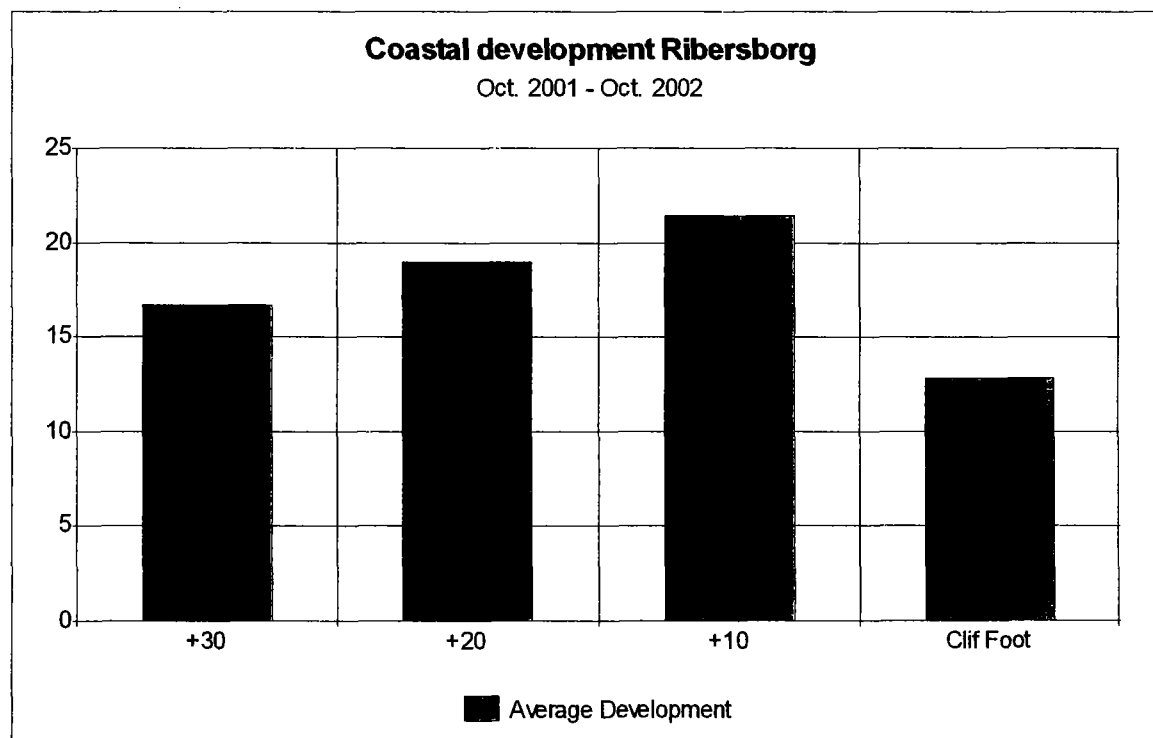


Fig. 50

Billede fra Ribersborg strand d. 30 november 2001

Det ses meget tydeligt at der sker en opbygning i stranden med hvidt sand, som kommer ind fra havet.

Det hvide sand er efterfølgende også føget op i baglandet, så man ikke længere ser en farveforskel på sandet i stranden.



Der er et gennemsnitligt kysttillæg på Ribersborg strand på 6,1 kubikmeter pr. meter det første år baseret opmålingen i et 35 meter bredt kystprofil.

Teluk Chempedak -Malaysia.




Fig. 52

SIC samarbejder via SIC Malaysia med Malaysia's største entreprenørfirma MRCB, som bygger motorveje, jernbaner og flyvepladser.

Det første projekt i Malaysia var, at bygge en sandstrand foran Hyatt og Sheraton hotels i Teluk Chempedak på Malaysia's østkyst i tæt samarbejde med den malaysiske regering.



MINISTERI KEKALAMBUHATAN DAN KEKALAMBUHUTAN
MALAYSIA



MRCB

PROJEK PERINTIS PEMULIHAN PANTAI TELUK CEMPEDAK,
KUALA LUMPUR, SELANGOR DARUL MAKMUR MENGGUNAKAN
TEKNOLOGI 'PRESSURE EQUALISATION MODULES' (PEM)

AWAS!
PAIP PAIP TERKANDAM SEPANJANG PANTAI
BERHAUT-HATI APADILA ANDA BERADA DI SINI

CAUTION!
PIPES BURIED ALONG THE BEACH
BE EXTREMELY CAUTIOUS WITH YOUR ACTIVITIES HERE

MINI-ENVIRONMENT SPMI PRO

Fig. 53



Fig. 54
Hyatt Hotel

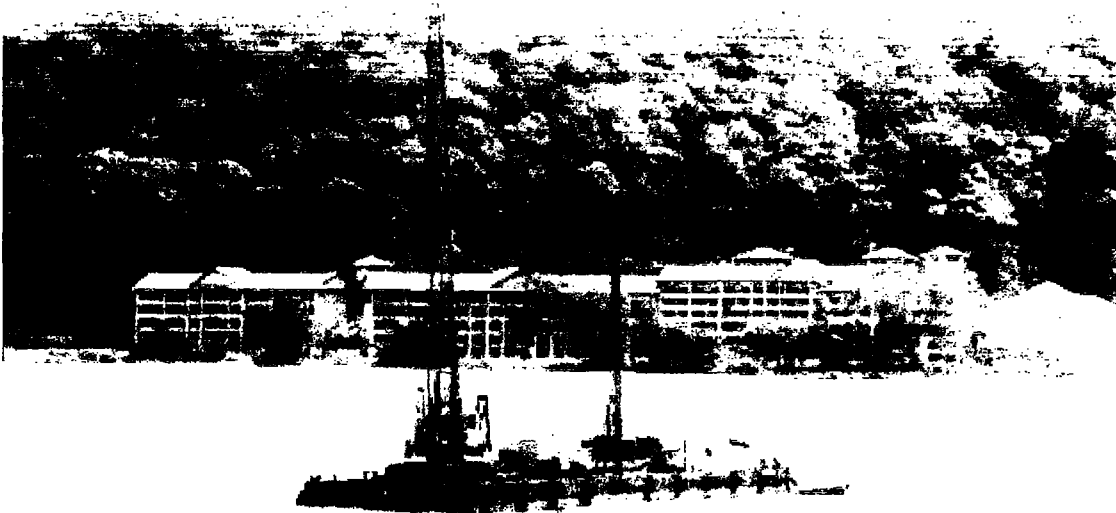


Fig. 55
Sherraton Hotel

Der er nu indpumpet 160.000 kubikmeter sand på stranden, som er stabiliseret med SIC metoden for at fastholde sandet.



Fig. 56
Indpumpning af sand på stranden i Teluk Chempedak



Fig. 57
Der ligger nu en 60 meter bred sandstrand foran hotellerne ved højvande

Anbefaling

Med baggrund i de foreliggende resultater er kommunerne nu i stand til selv at vurdere de foreliggende kystbeskyttelsesmetoder, som nu er tilgængelig i markedet.

- Som situationen ser ud for nærværende, er SIC metoden den mest effektive og miljøvenlige samtidig med at metoden er prisbillig.
- Det er samtidig konstateret at høfder og bølgebrydere er direkte skadelige og forøger reelt kysterosionen.

Vi ser helt klart dominoeffekten på Sjællands nordkyst, hvor der i disse år fejlinvesteres millionbeløb i høfder og bølgebrydere.

Vi har derfor indstillet til Trafikministeriet at høfder og bølgebrydere forbydes i Danmark, så man undgår yderligere kystskader.

Efter at det nu er besluttet, at amterne skal nedlægges bliver det nu kommunerne, som skal administrere kystbeskyttelsesloven, og vi kan hermed tilbyde vor assistance, idet SIC nu har stor erfaring på verdensplan

SIC benytter de mest moderne metoder på området inden for entreprenørarbejder og opmåling.

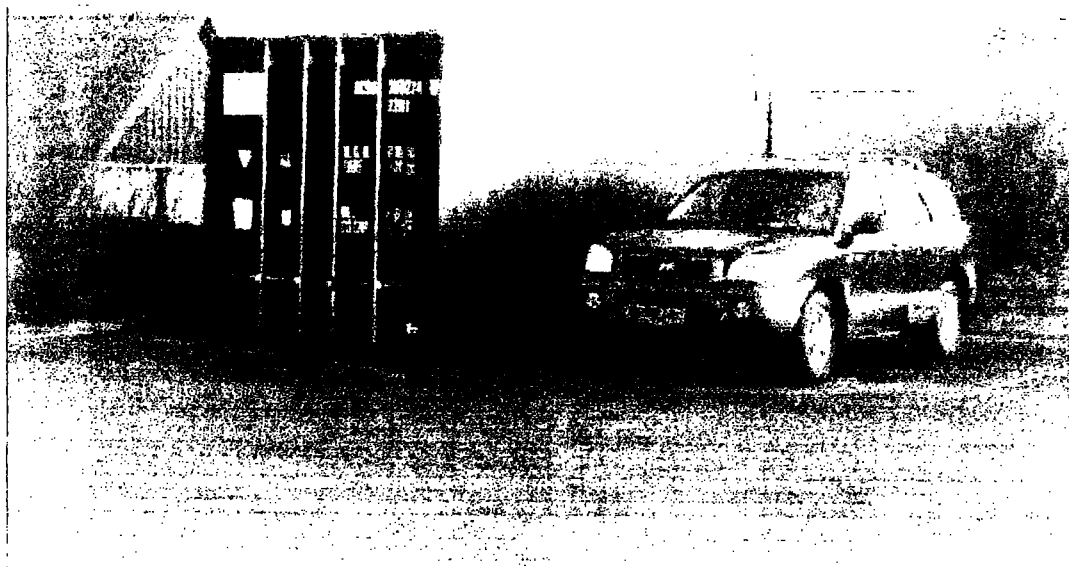


Fig. 58

SIC arbejdsplads på vestkysten



Fig. 59
Opmåling på Holmsland Klit

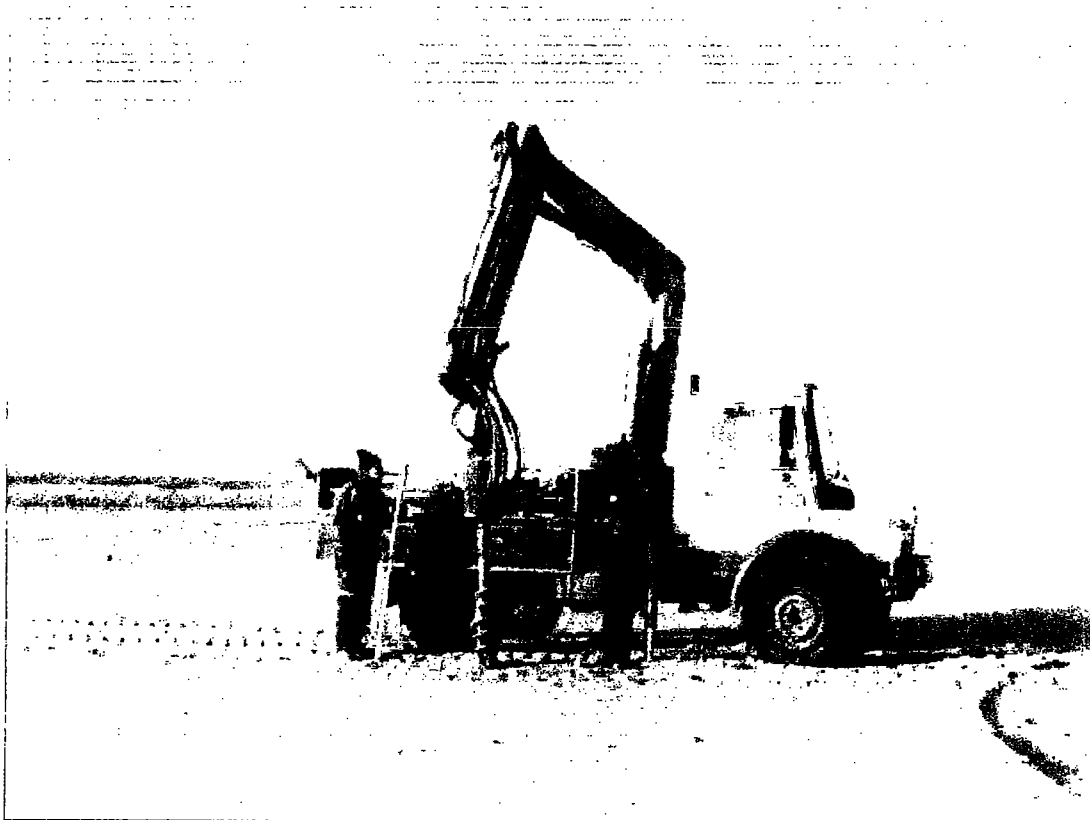


Fig. 60
Nedsætning af trykkudligningsmoduler på Holmsland Klit.

Kystudvikling Vestkysten - Skodsbjerge

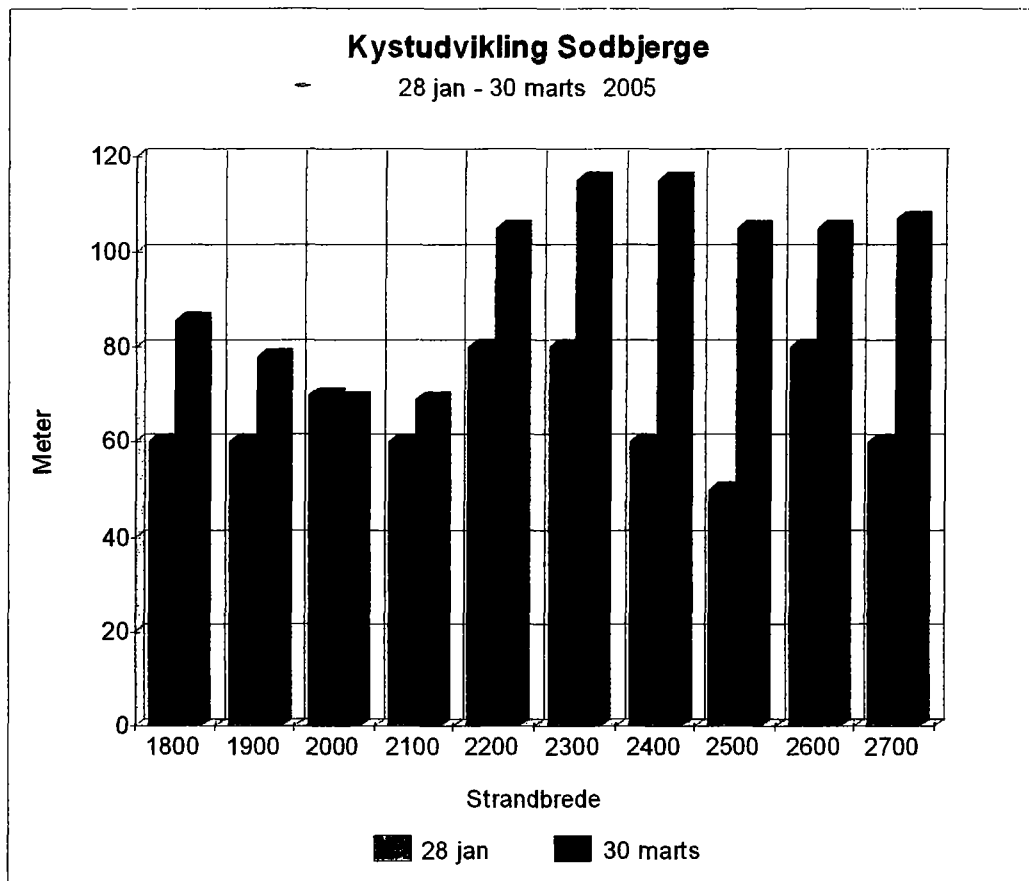


Fig. 61

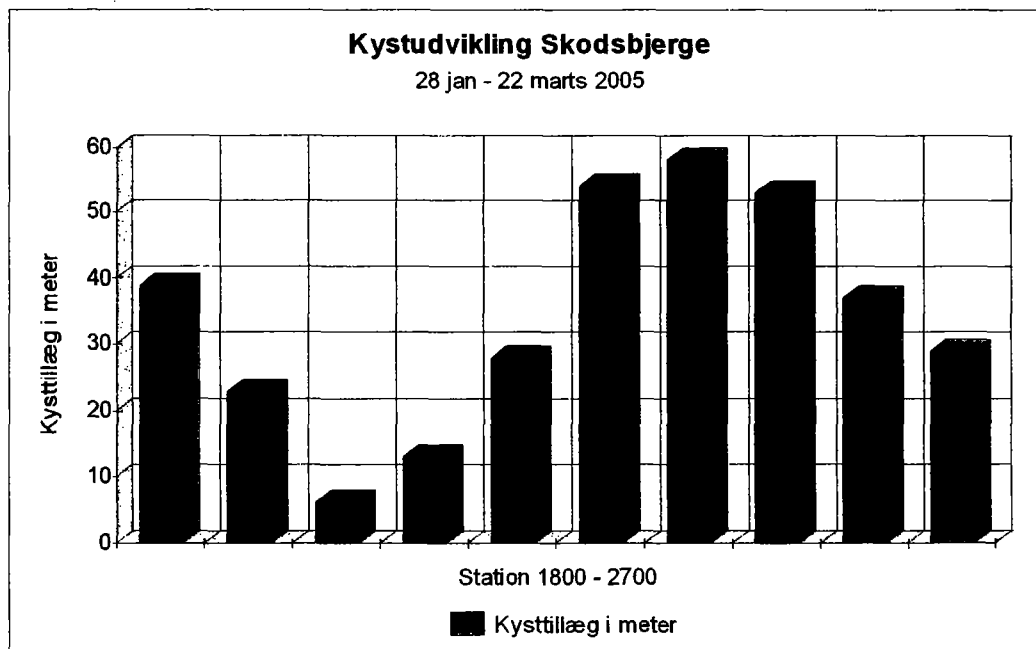
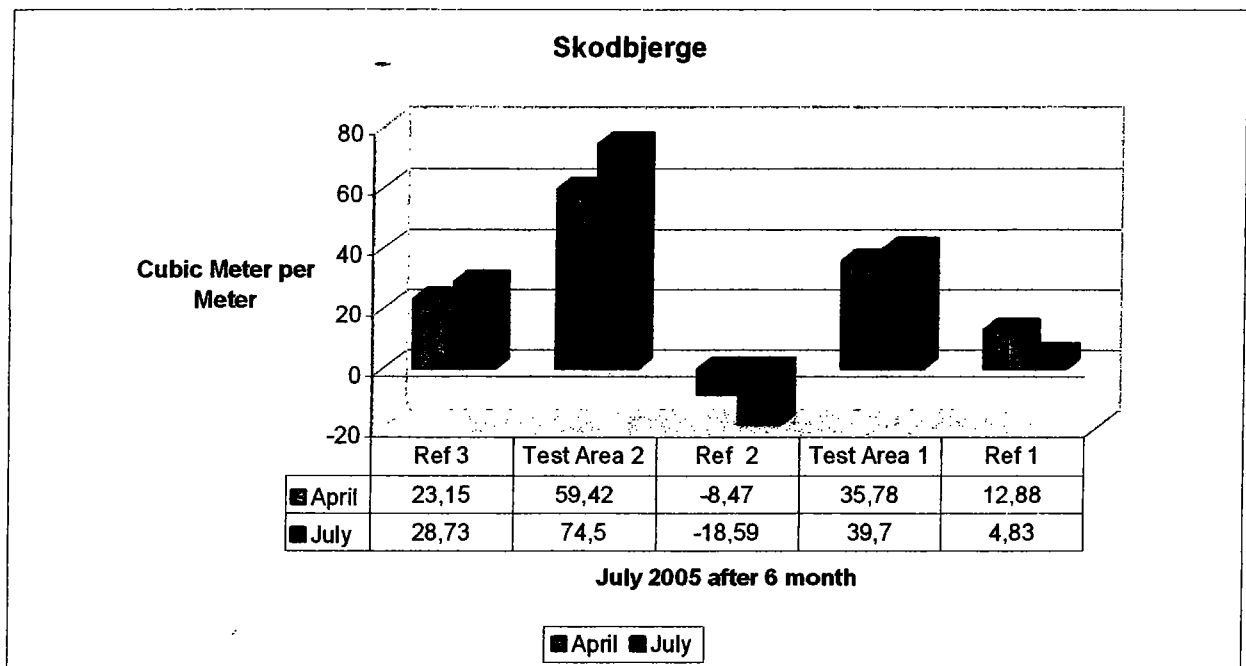
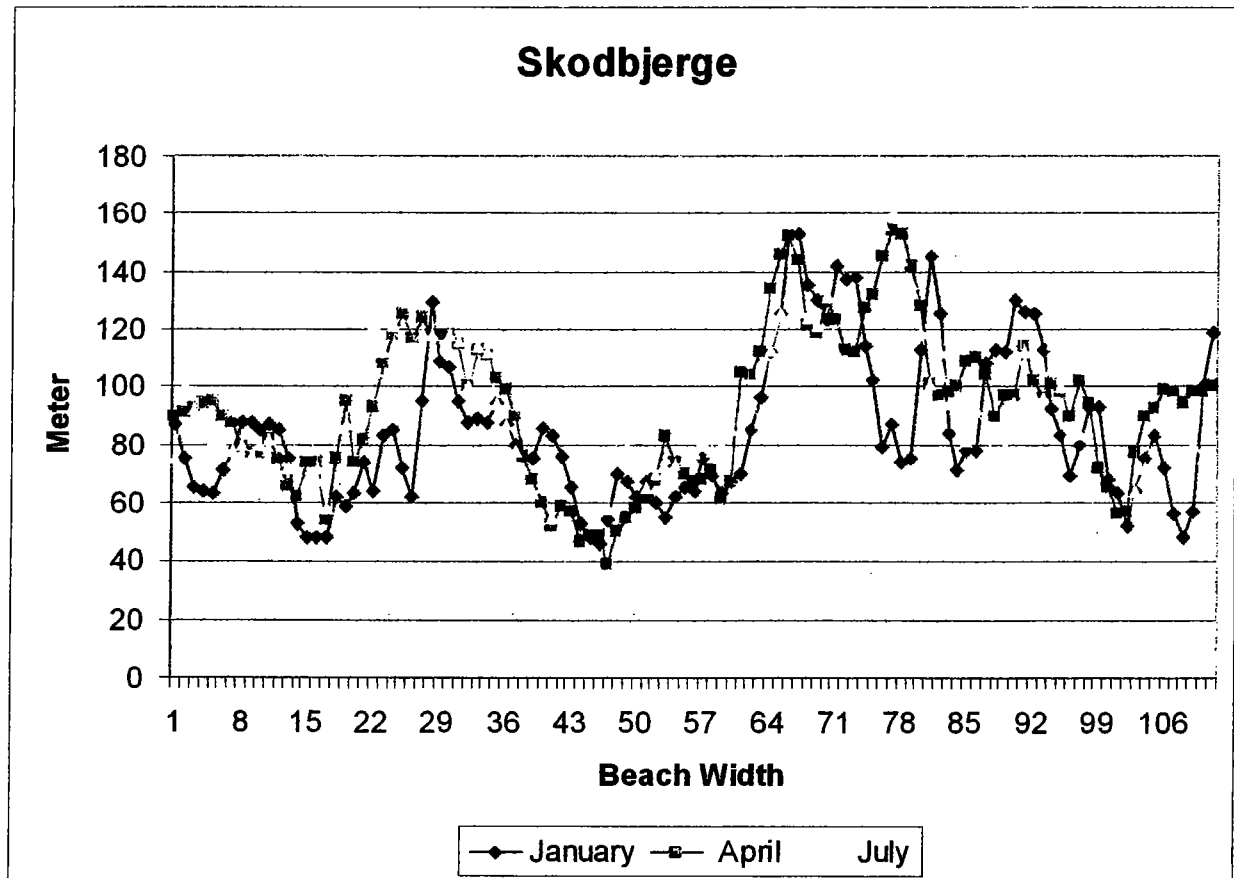


Fig. 62

Tillægget i station 2400 og 2500 er 55 meter, som er mere end en fordobling af strandbredden i station 2500. Der er en materialetransport på 2,3 mill. kubikmeter i sydlig retning.

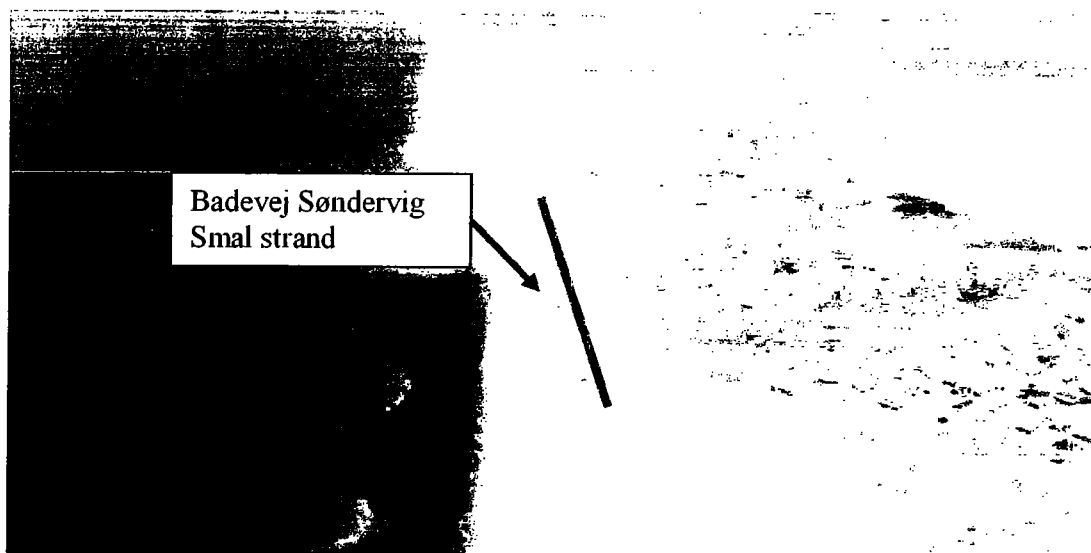


Halvårsresultatet på vestkysten er nu kendt, og der har været en volumentilvækst i test område 1 på 39,7 kubikmeter pr. meter langs stranden, og 74,5 kubikmeter per. meter i forsøgsområde 2.



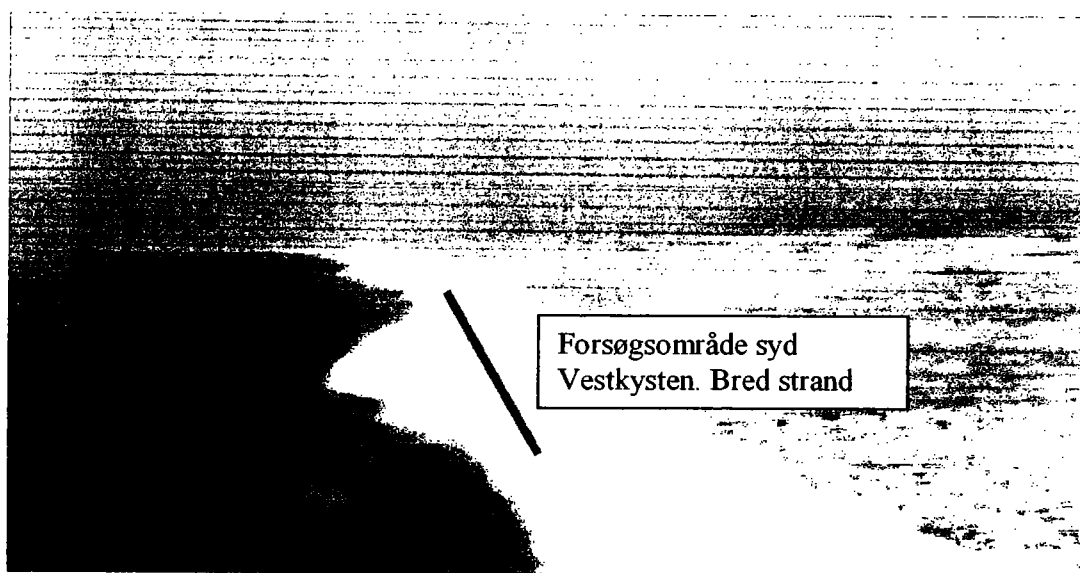
Forsøgsområde 1 med rør ligger mellem station 4500 – 9200.
 Forsøgsområde 2 med rør ligger mellem station 1800 – 2700.

Status rapport Søndervig - april 2005.



SIC kan genopbygge stranden ved Søndervig på 2 – 3 måneder.

Skodbjerg



Beviset ligger allerede ved Skodbjerg, hvor SIC etablerede trykudligningsmoduler i stranden i slutningen af januar måned 2005.

Der er kysttillæg i forsøgsområdet på op til 55 meter på 2 måneder.

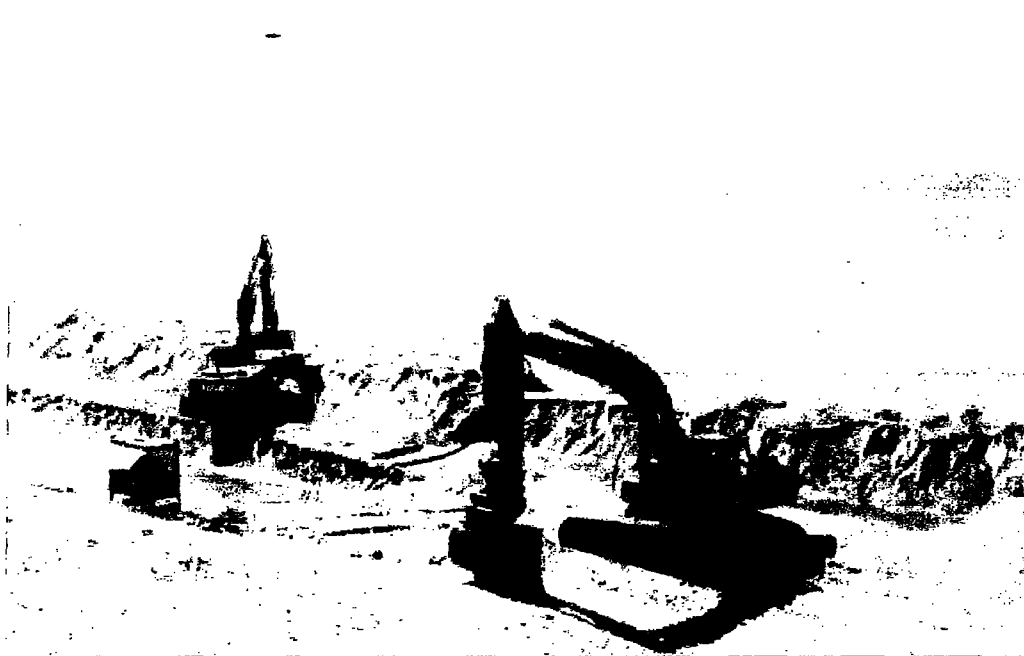
Historien er ganske kort at KDI sandfodrede med 90.000 m³ i mellem d. 15 og d. 20 oktober 2004 ved Badevej i Søndervig.

Sandet var skyllet i havet en uge efter at sandfodringen var afsluttet, og havet har yderligere taget 250.000 m³ fra d. 29 september 2004 til d. 8 januar 2005.

Det er en effektivitet på minus 360 % efter en investering på 4,0 mill. Kr.

Modsætningsvis er der kysttillæg på over 50 meter i forsøgsområdet mellem Hvide Sande og Nymindegab på 2 måneder efter at stranden blev trykudlignet d. 28 januar 2005.

Søndervig April 2005.



Kystdirektoratet bygger nu en skråningsbeskyttelse til 8,0 mill. kr. foran Søndervig og pumper sand ind for 25,0 mill. kr.

Skagen d. 15 maj 2005

Poul Jakobsen