

ORIGINAL

Trafikudvalget (2. samling)
TRU alm. del - Bilag 106
Offentligt

SIC Skagen Innovations Center

Dr. Alexandrinesvej 75 - DK- 9990 Skagen - Phone 45 98445713 Mail: sic@shore.dk.

Folketingets Trafikudvalg
Christiansborg
1240 København K.

Skagen d. 10 Januar 2008.

Our ref. Pj/cp.

Miljøvenlig kystbeskyttelse på vestkysten.

Vi har hermed fornøjelsen at fremlægge resultatet af det miljøvenlige kystbeskyttelsesprojekt på vestkysten, samt en statusrapport for projektet.

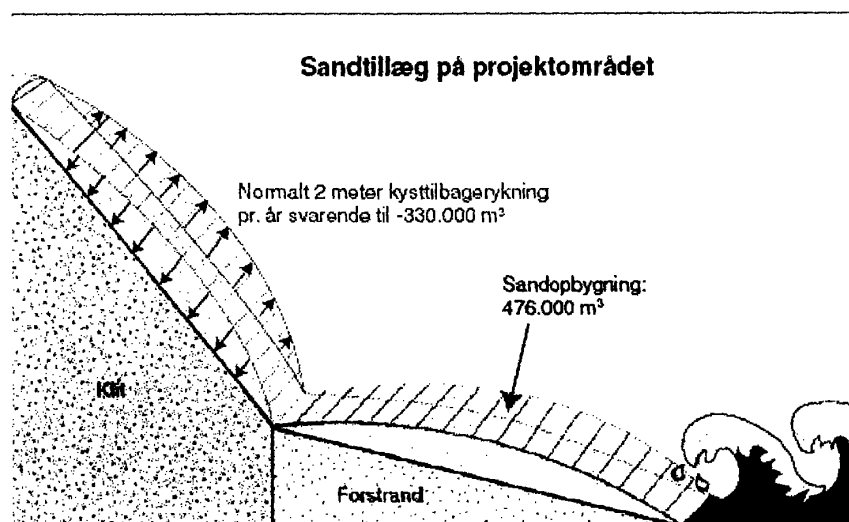
Resultaterne er korrekt beskrevet i Geologisk Nyt 01/07 samt 04/07, fra Erhvervsafdelingen på Århus Universitet.

Transport og Energiministeriet har bevilget ekstra penge til omskrivning af de rapporter, som Kystdirektoratet har skrevet sammen med professorerne.

Halvårsrapporten, som skulle være færdig i oktober måned 2005 er endnu ikke færdig her i 2008.

1. års og 2 års rapporter skal også skrives om, da de ikke beskriver de faktuelle forhold.

Allerede efter det første år var der en samlet effekt på ikke mindre end 800.000 kubikmeter på den 11 km lange strækning.



For det første var erosionen stoppet i de drænedede områder. Hertil kommer et kysttillæg på stranden og i forkanten af klitten på ikke mindre end 476.000 kubikmeter, idet der er et læsidedetillæg på 139.000 kubikmeter i referenceområde 3, som ligger sydligst i projektområdet.

Der er således ikke konstateret negative effekter ved metoden.

Det har derimod vist sig at metoden medfører en væsentlig større middelstrandhøjde i de drænedede områder og metoden er dermed en løsning i relation til den Globale vandstandsstigning på verdensplan.

Allerede efter de første 6 måneder i 2005 var middelstrandhøjden signifikant højere i de drænedede områder.

Resultatet efter 6 måneder.

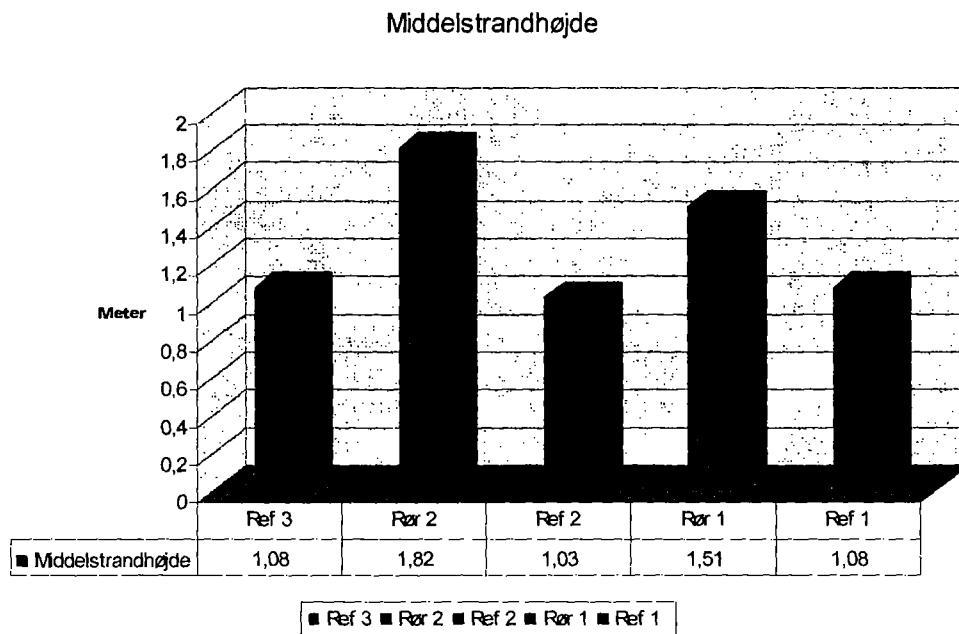
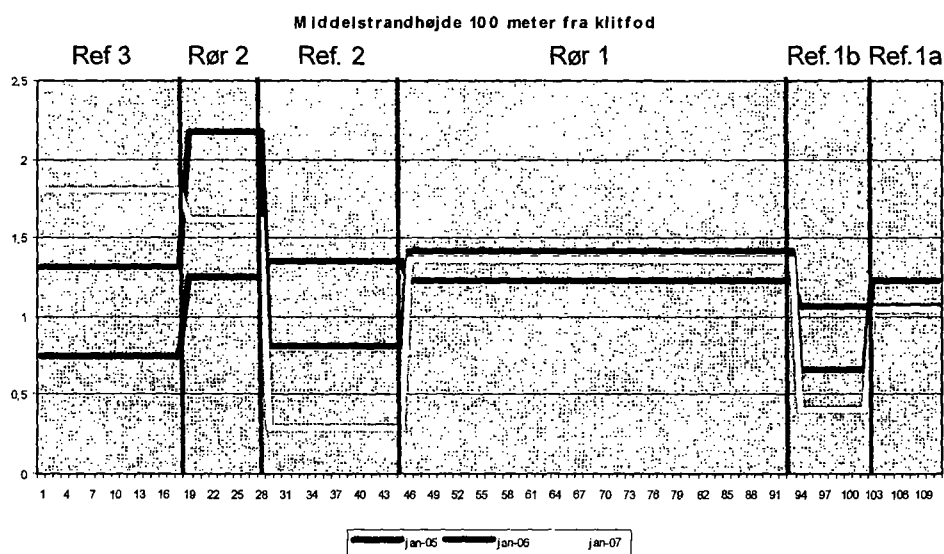


Fig 1

Der er bevilget penge således at KDI og professorerne kan rette deres rapport til de faktuelle data, som er vist i fig 1.

Resultat efter 2 år.

I år 2 blev vestkysten ramt af 5 voldsomme storme fra oktober 2006 til d.20. januar 2007. Middelvandstanden var 54 cm over DVR 90 i samme periode og effektiviteten af SIC systemet blev således afprøvet under de samme forhold, som svarer til den globale vandstandsstigning over de næste 100 år.



De enkelte linier blå, rød og gul viser middelstrandhøjden i de enkelte områder i januar måned i de enkelte år, og man ser tydeligt at middelstrandhøjden er signifikant højere i rør områderne samt ref. 3 hvor der er læsidedillæg.

Efter de voldsomme storme er stranden næsten totalt bortroderet i ref. 2 og ref. 1b. I ref. 1a er erosionen knap så stor, idet KDI har revlefodret for ca. 42 mio. kr. i området i projektperioden.

Konklusion.

Som det fremgår af konklusionen i artiklen i Geologisk Nyt 04/07 side 19 var den akkumulerede sandmængde på 476.000³ i projektområdet langt mere end nok til at beskytte baglandet i rør område 1 og 2 samt referenceområde 3, hvor der er læsidedillæg.

14,5 % af sandet fra de høje strande blæste ind i baglandet i forbindelse med de 5 voldsomme storme i vinteren 2006/07, mens der var en samlet hav erosion på ca. 250.000 m³ i reference område 1 og 2.

Vestkysten kan således sikres mere effektivt og miljøvenligt og hele Danmark kan kystsikres bedre og billigere for de samme penge som tidligere blev brugt på sandfodring i de 5 vestjyske kommuner Samtidig får man en holdbar løsning i relation til den globale vandstandsstigning.

Samarbejdet med Kystdirektoratet.

I forbindelse med indgåelse af aftalen på vestkysten med Trafikminister Flemming Hansen havde SIC store forventninger til, at der kunne skabes et fornuftigt samarbejde med Kystdirektoratet i løbet af projektperioden. Dette har slet ikke været muligt.

Det har været en meget stor belastning for samarbejdet, at Kystdirektoratet helt bevidst har konstrueret forkerte tabeller og grafer til eksperternes rapporter, så analyserne bliver faktuelle forkerte.

Men ikke nok med, at de af KDI konstruerede tabeller og grafer var forkerte og udført af Kystdirektoratet, men Per Sørensen fra KDI sammenskrev også de forkerte data og grafer sammen med professor Hans Falk Burcharth. Ekspertrapporterne er således slet ikke uvildige.

SIC har nu modtaget 135.000,00 kr. incl. moms for fejlretning i data og grafer i de såkaldte ekspertrapporter, men tekst og konklusioner er der imidlertid ikke rettet.

Hertil kommer at Kystdirektoratet har forøget revlefodringen uden saglig begrundelse 700 meter ned i referenceområde 1, så der i projektperioden er revlefodret for ca. 42.0 mio. kr. i og umiddelbart nord for referenceområde 1.

Rent videnskabeligt er der efter vor mening tale om hærværk på projektet, men professorerne har af ukendte årsager ikke grebet ind mod de forstyrrende revlefodringer 700 m ned i referenceområde 1.

SIC indbringer nu sagen for Udvalget for videnskabelig uredelighed.

Men det er imidlertid meget vigtigt at projektet på vestkysten sikres rent økonomisk, og der tilvejebringes økonomi til et større projekt ved Søndervig som beskrevet i Geologisk Nyt 0/07.

Prisen på videreførsel af projektet syd for Hvide Sande er 3,63 mio.kr årligt og 20 km ved Søndervig koster 6,6 mio. kr. årligt.

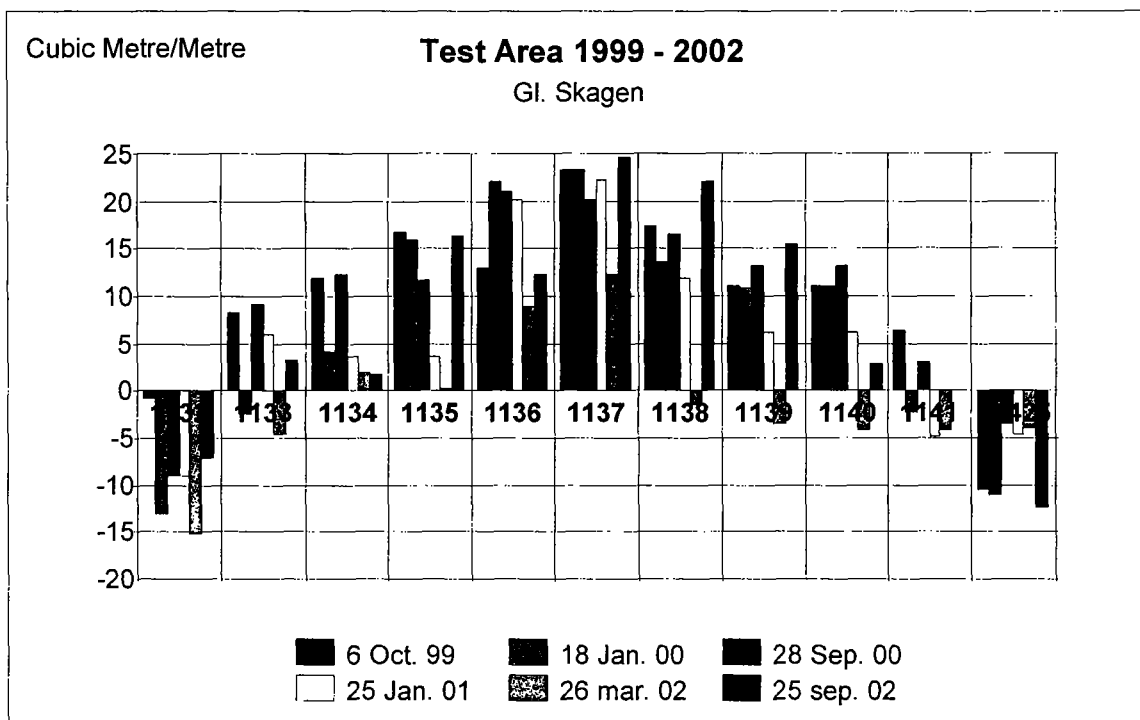
Danmark er som bekendt vært ved den verdensomspændende miljøkonference i 2009 og det ville være meget flot, hvis Danmark kunne vise en miljømæssig løsning på den globale vandstandsstigning.

Vi finder at der er tale om en skærpende omstændighed, når KDI samtidig nægter at udstede en ny tilladelse til kystbeskyttelse ved Mårup Kirke og helt bevidst nu styrter Mårup Kirke i havet.

Skagen d. 10 januar 2007.

Poul Jakobsen/Claus Brøgger

Gl. Skagen syd



Solnedgangspladsen Gl. Skagen



1997 før trykudligning

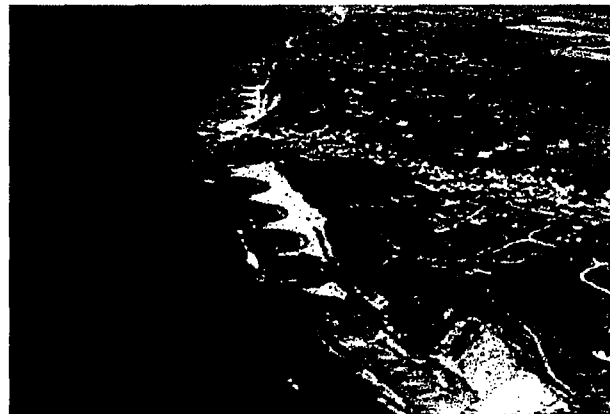


1998 med trykudligning

Sydstranden Lønstrup



1999 med Trykudligning

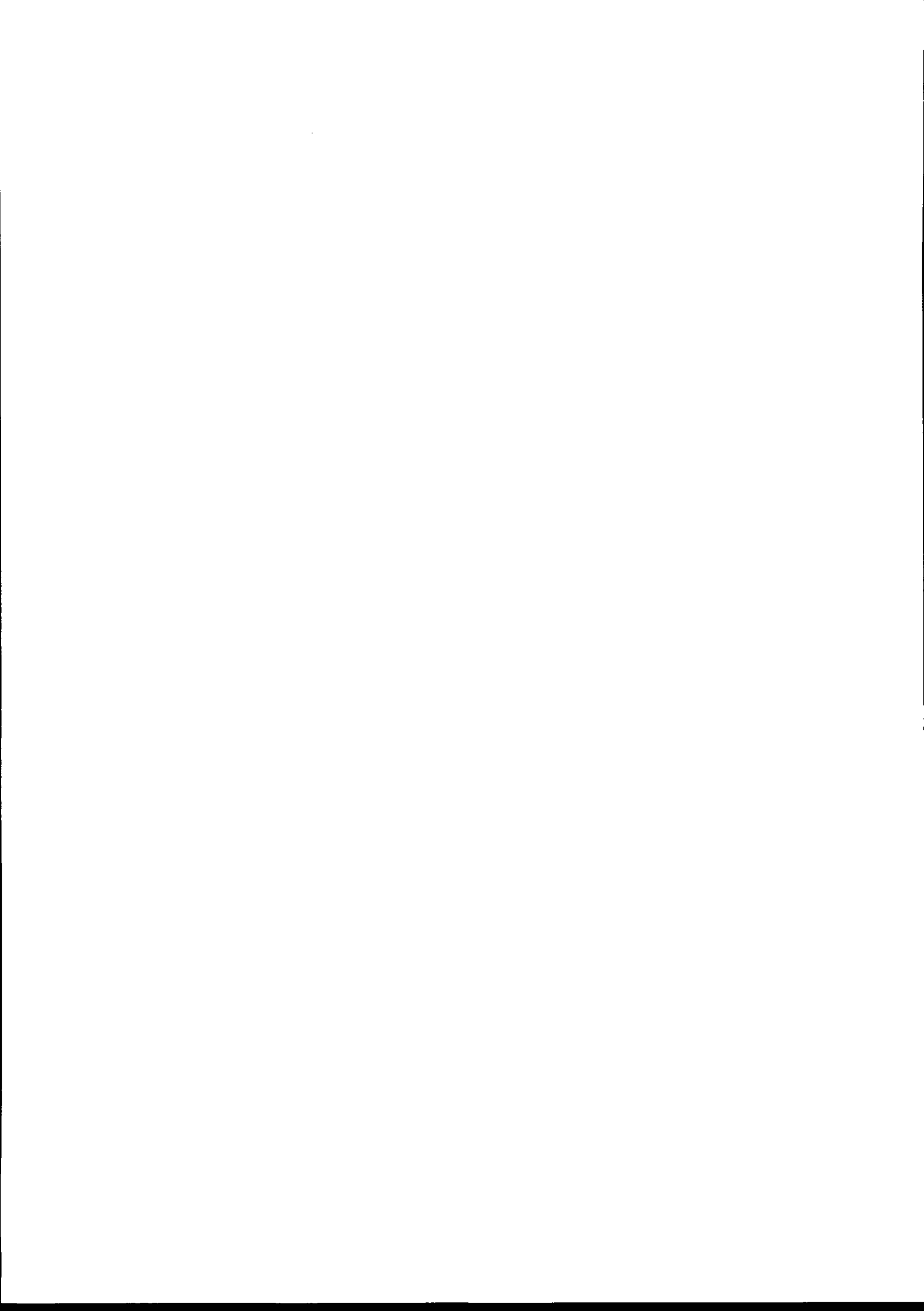


2002 uden Trykudligning men med sandfodring

Bilag 3.



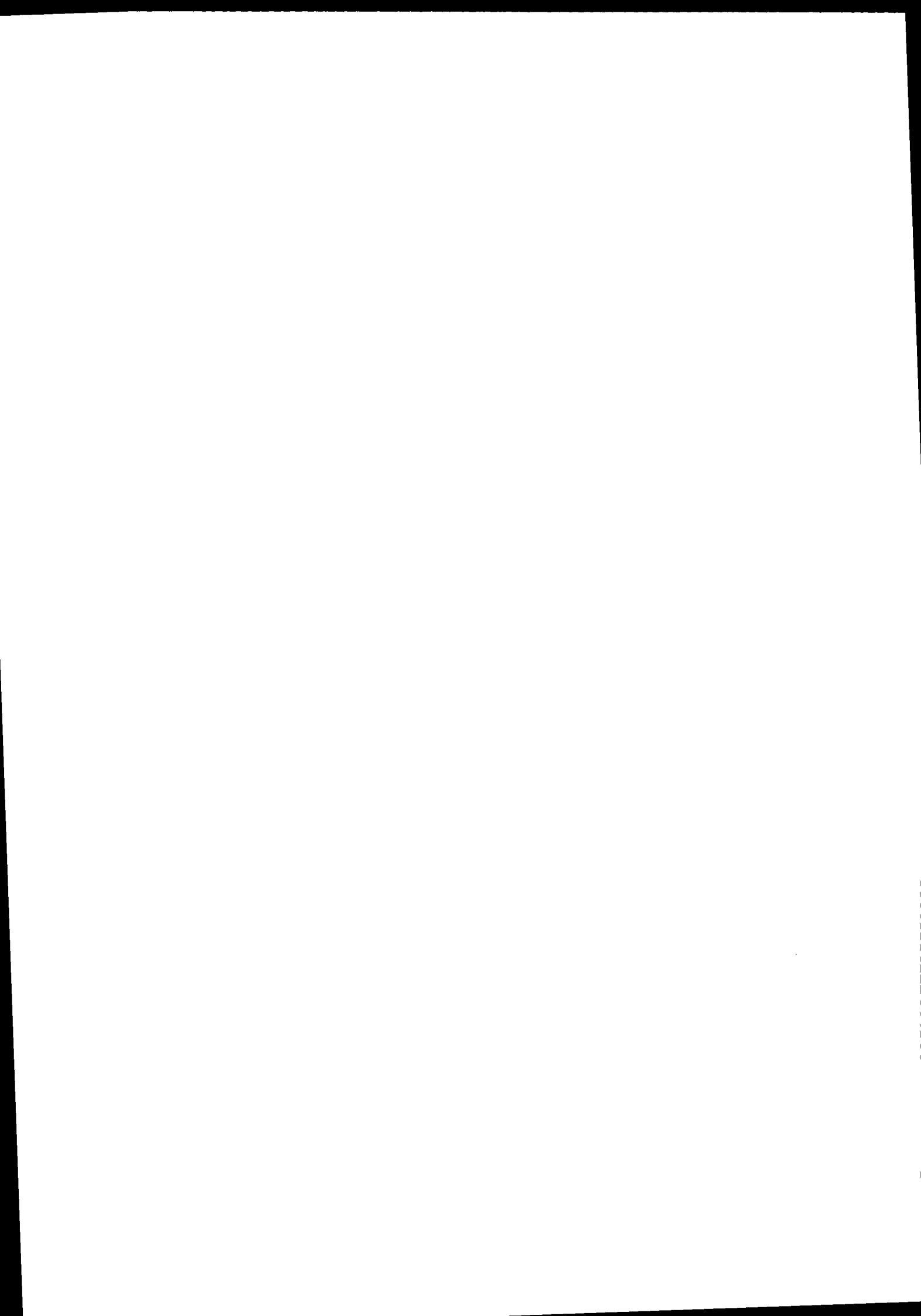
Lønstrup 2004 med trykudligning på sydkysten.



Bilag 3.



Lønstrup 2004 med trykudligning på sydkysten.



Treårigt forsøgsprogram med SIC-rør på Jyllands vestkyst

Referat af 13. projektmøde den 18. juni 2007 i Nymindegab

Deltagere:

Udpegede eksperter: Hans Falk Burcharth (HFB), Jørgen Fredsøe (JF) **Fraværende**
SIC: Claus Brøgger (CB), Poul Jakobsen (PJ)
Kystdirektoratet (KDI): Per Sørensen (PSO), John Jensen (JJ) **Fraværende**

Begrundelsen for indkaldelsen til mødet.

Som beskrevet i indkaldelsen dateret d. 15. juni 2007, har SIC fundet alvorlige fejl i det data materiale, som ligger til grund for eksperternes rapporter. Det er af afgørende vigtighed at projektgruppen bliver orienteret og at fejlene bliver rettet.

Besigtigelse af stranden.

Mødet startede mandag d. 18 kl. 08.30. KDI og HFB samt JF kom ikke til mødet.

PJ og CB besøgte stranden og besluttede at gensætte rør nr. 6 og 7 i række 2600 og 2700 samt rør nr. 7 og 8 i række 2500.

PJ og CB finder det stærkt kritisabelt at 2 års rapporten ikke var fremsendt i kladde inden d. 15. juni som aftalt på mødet d. 7. maj 2007.

Gennemgang af reviderede data fra KDI.

Der blev konstateret fejl i 50 linier ud af 111 linier i D1 beregningerne.

Der blev konstateret fejl i 86 linier i MBL ud af 111 linier.

Følgende tabel er modtaget fra KDI sammen med de reviderede data.

Opdatering af tabel side 8 i 1 års rapport

B udskiftet med E-parametre

Stretch	Length	Accretion (jan. 05-jan.06)			
		$\Delta E1$	$\Delta E2$	$\Delta E1+\Delta E2$	$\Delta E1+\Delta E2$
	m	m3/m	m3/m	m3/m	m3
Ref. I	1800	12,34	-9,77	3	4.620
Rør I	900	20,80	22,73	44	39.174
Ref. II	1800	17,09	-37,10	-20	-36.011
Rør II	4700	22,75	103,33	126	592.576
Ref. III	1800	20,39	59,11	80	143.110

Stretch	Length	Accretion (jan. 05-jan.07)			
		$\Delta E1$	$\Delta E2$	$\Delta E1+\Delta E2$	$\Delta E1+\Delta E2$
	m	m3/m	m3/m	m3/m	m3
Ref. I	1800	15,69	-39,38	-23,69	-42.650
Rør I	900	11,20	-0,92	10,28	9.253
Ref. II	1800	-1,11	-99,82	-100,93	-181.673
Rør II	4700	12,56	31,07	43,63	205.061
Ref. III	1800	7,17	107,72	114,89	206.800

Der er intet som er rigtigt beregnet

PJ og CB kunne herefter konstatere at der fortsat ikke er korrekte beregninger, som grundlag for halvårsrapport, 1 års rapport, 2 års rapport.

Referencelinien i klitten er flyttet fra punkt 2 i klitten til punkt 1 i klitten så der ikke efterfølgende kan laves erosionsberegninger i klitten i referenceområderne, hvor der er stor erosion i klitten.

Denne særdeles grove fejl kunne have været undgået, hvis der var fremsendt prøveberegninger som krævet utallige gange af SIC.

Hertil kommer at den aktuelle strandbredde slet ikke er beregnet i de fremsendte beregninger.

Der er slet ikke noget som hedder E beregninger. Det er frit opfundet af JJ.

Alle beregninger skal derfor laves om igen. PJ kræver at JJ fratræder i projektgruppen efter endeløse fejl i beregningerne og manglende samarbejdsevne.

PJ og CB besluttede igen at begære aktindsigt aktuelle data fra C beregningerne jan05, Jan 06, samt D beregningerne jan 05 og 06

Data bedes fremsendt in en DWG fil. _____

PJ og CB rykker igen for beregninger i revlefodringsområdet, som aftalt på sidste byggemøde d. 7. maj 2007.

PJ og CB rykker igen for beregninger af april data 2007, så man undgår supplerende opmålinger i stranden.

Materialeprøver.

I forbindelse med besigtigelsen af stranden blev der udtaget 11 materialeprøver på stranden og i klitterne.

Prøverne bliver analyseret hos Jysk Geoteknik i Esbjerg.

Prisen er 525,00 kr. pr prøve. Regningen sendes efterfølgende til KDI.

Prøverne skal anvendes i forbindelse med beregningerne af vindsorteringen af materialerne i forstranden, samt klitterne.

Vindsorteringen er en særdeles vigtig faktor i de drænedede områder, idet vinden sorterer ikke mindre end ca. 90 kubikmeter pr meter over 3 år, som lægger sig i forkanten af klitten samt baglandet.

De fine materialer blæser op i klitterne, mens de grove materialer forbliver på forstranden. Denne proces foregår ikke i samme udstrækning i referenceområderne med laverer middelstrandhøjde.

Timeforbrug ved fejlfinding i datamateriale.

PJ og CB besluttede at fakturere KDI for timerne til supplerende opmålinger i stranden, samt fejlfinding i A beregninger B beregninger, C beregningerne samt D og mystiske E beregninger.

**Field tests with vertical perforated drainpipes used for beach protection at
Southern Holmsland Barrier on the Danish North Sea Coast**

Second year report of 1 July 2007

By

Jørgen Fredsøe, Professor DTU.

And

Hans F. Burcharth, Professor AaU

DRAFT.

LIST OF CONTENT

1. Introduction :	p. 3
2. Preliminary conclusions :	p. 4
3. Dansk resumé:	p. 6
4. Planning of the tests:	p.10
5. Characteristics of the test site:	p. 16
6. The functioning of the tubes:	p.21
7. Presentation of surveys:	p.43

1. Introduction

In accordance with the agreement of 18 August 2004 between Skagen Innovation Center (SIC) and the Danish Governmental Coastal Authority (KDI) a field test with the purpose of demonstrating the efficiency of the SIC vertical drain method as a mean for coastal protecting was initiated in a meeting 24 August 2004.

The test period is three years after which a final report has to be presented. The report shall contain an evaluation of the drain system with respect to qualitative and quantitative efficiency and environmental impact, as well as a related comparison with conventional coastal protection methods.

Besides the final report yearly reports have to be presented as well as a report half a year after the start of the field test.

For the evaluation the following two experts were retained

Professor dr.techn., dr. h.c. Hans Falk Burcharth (HFB)
Professor Jørgen Fredsøe (JF)

The two experts were obliged to take part in the planning of the field tests including selection of the test location.

Besides the two experts the project group consists of

Director, engineer Poul Jakobsen, SIC
Engineer Claus Brøgger, SIC
Project manager, Per Sørensen, KDI
M. Sc. John Jensen, KDI

The present report, authored by the two experts, is the second year report, written as a stand-alone report for which reason it repeats substantial parts of the first year report of 20 November 2006.

This report cannot be used in citations without the permissions of the authors.

2. Preliminary conclusions

The changing wave and sea level conditions cause large natural fluctuations in the beach planform and volume. Moreover, coastline undulations moving along the coast in the direction of net sand transport might contribute to these fluctuations. The effect of the drains has to be detected from such "background noise" which is not easy during a short period, even if the drains might have a significant effect. For this reason the following conclusions are of preliminary character.

During the first one and a half year period the beach has increased its volume significantly in the two stretches where the SIC-drains have been installed. However, the most significant increase took place in Ref. III. Significant increase took place already in the first half of the one-year period. Out of three stretches without drains there has been significantly volume increase in one stretch, significant volume decrease in a second stretch, and balancing increase and decrease in volume in a third stretch. The storms, which occurred by the end of the second year period, caused erosion within all stretches with and without drains. The average changes in beach and dune volumes over each stretch are given in Table 1.

Table 2.1. Average changes in beach and dune volumes (m^3/m) in the period between July 2006 and January 2007 just after the storms.

Ref. III	Rør II	Ref. II	Rør I	Ref. I
+2	-49	-70	-40	-32

As seen there is not a clear correlation between the volume changes caused by the storms and the status of the stretches with respect to drains or not. It should also be noted that averaging over each stretch gives a too simplified picture of the performances as for example erosion of more than app. $90m^3/m$ took place in stations within all stretches. It is however clear that where in beforehand the beach is wider and higher there will be more resistance left after storm erosion.

A major effect in beach and dune development is caused by sand transport by the wind. This transport is both in cross shore and long shore directions which means that the sand, if not deposited on the beach and at the dune front, will be transported to the top and rear side of the dunes or along the beach not respecting the borders between the dedicated stretches. Due to lack of measurements of the dune top and rear slopes it is not possible to quantify the effect of wind-transport of sand not deposited on the beach and the dune front. We have to assume that the effect is almost equal for all stretches.

Although there seems to be some positive correlation between areas with beach volume increase and areas with drains, indicating a positive effect of the drains, it is too early to draw final conclusions. This is because a two-year observation period is still short seen in relation to the

timescale of natural beach fluctuations. Moreover, theoretically based considerations and specific detailed field investigations have not yet explained a significant effect of the vertical drains.

July 1th 2007

Jørgen Fredsøe

Hans F. Burcharth

3. Dansk resumé.

Denne rapport beskriver baggrunden for og resultaterne af forsøgene med PEM-rørene (Pressure-Equalization-Modules) ved Vestkysten ved Skodbjerg syd for Hvide Sande.

Først beskrives hvorfor vi har valgt lokaliteten ved Skodbjerg, dernæst forklares lidt om strandens bevægelser, så forklares lidt om de foreløbige resultater, og endelig beskrives hvorfor vi ikke helt forstår at det skulle virke.

3.1 Lokaliteten.

SIC har ønsket at udføre et storskala forsøg på den jyske vestkyst, for at vurdere rørenes funktion. Nogle steder er vestkysten sikret af høfder og lignende, andre steder er der mange turister. KDI (Kystdirektoratet) fandt i planlægningsfasen frem til nogle områder, f.eks. Husby og Skodbjerg. Desuden er Skallingen en mulighed. Der er problemer med alle områder, den første fordi der her er lerlag i stranden, det andet fordi der her foretages sandfodring, og Skallingen fordi der kun er 6-7 km uforstyrret område, hvor forsøget kan udføres. Til sidst valgtes en 11 km lang strækning ved Skodbjerg.

Dette område er som lige nævnt ikke uproblematisk: Ca. 10 km nord for forsøgsområdets nordlige ende ligger Hvide Sande, hvor der er forbindelse mellem Ringkøbing Fjord og Vesterhavet. Her blokerer molerne delvist for sandtransporten langs kysten. I dette område er sandtransporten sydgående, og har i et gennemsnitsår en størrelse på godt 2 millioner kubikmeter per år.

Hvis man blokerer for sandtransporten får man erosion syd herfor. Derfor er der lagt kystparallelle bølgebrydere langs stranden de første knap 5 km syd for Hvide Sande. Nedstrøms dette område kan man forvente erosion, da bølgerne kan gnave af kysten, der samtidigt ikke får tilført sand nordfra. Derfor sandfodrer KDI kysten syd for havnen ved at dumpe sand, dels ude på en revle godt 500 m fra kysten, dels på selve stranden for at kompensere for den manglende tilførsel af sand nordfra.

Uden denne sandfodring ville der på forsøgsstrækningen – over mange år – ske tilbagerykning - erosion - i den nordlige del og fremrykning - aflejring - i den sydlige (se nedenstående figur).

Det har aldrig været muligt at få en fornuftig forklaring på hvorfor systemet skulle kunne virke, se også afsnit 4. Vi har derfor i forsøget fokuseret på følgende 2 punkter:

- prøvet lokalt at se om rørene har nogen virkning, og
- prøvet i større skala at se på om rørene samler sand.

Før disse 2 punkter beskrives vil vi kort beskrive lidt om problematikken ved forsøget.

3.2 Erosion og aflejring.

Langs den jyske kyst er der visse steder erosion, andre steder aflejring (fremrykning af kysten). Disse 2 størrelser er tids-midlede værdier over mange år, og på en kyststrækning, der f.eks. generelt rykker frem, kan der godt i nogle år ske en erosion, d.v.s. tilbagerykning. Dette skyldes, at erosion/aflejring afhænger af bølge-strøm samt vandspejls forhold, samt tilførsel af sand.

Når man taler om erosion/aflejring af en kyst, vil man visuelt altid forholde sig til om stranden vokser eller bliver eroderet. Stranden er dog kun en del af det samlede system, idet der også sker store ændringer af bunden udenfor kystlinien, og det er vigtigt at betragte det samlede system. Under en stor storm eroderes en strand generelt. Da storme er hyppigst om vinteren opnår man det såkaldte vinterprofil. Erosionen skyldes først og fremmest at brydende og brudte bølger transporterer sand i en retning væk fra kysten. Under en storm gnaves der derfor af stranden - specielt hvis vandstanden er høj - og sandet transporteres et stykke væk fra kysten. Ofte kan man også iagttage, at revlerne samtidigt bevæger sig en smule væk fra kysten.

I mildere vejr-perioder er bølgerne mindre, og kan derfor nå helt ind til stranden, før de bryder. I disse perioder transporteres sandet ind mod kysten af bølgerne, men mængden af sand der transporteres af disse mindre bølger, er langt mindre pr. dag end den udadrettede transport fra stormbølgerne. De mindre bølger regenererer altså stranden (sommerprofil), men det kan tage meget lang tid, specielt efter en kraftig storm som den vi havde den 8 januar 2005, få uger før rørene blev sat i stranden.

En storm kan altså skabe et reservoir af sand ude i vandet, der kan bruges til at genopbygge stranden på et senere tidspunkt.

Ovenstående beskrivelse er meget simplificeret. Specielt skal det nævnes, at der også sker variationer i sandtransporten på langs af kysten forårsaget af en kraftig "bølge-genereret" strøm, der igen forårsages af bølgers brydning. Strøm gennem et hestehul i revlen er et eksempel på en bølgegenereret strøm. Bølgerne bryder normalt på revlerne, og er der hul i revlen kan bølgerne her nå helt ind til stranden før de bryder, og herved forårsage lokalt større angreb på stranden. Generelt betyder revlernes opførsel betyder meget for strandens udseende.

3.3 Rørenes virkning i stor skala.

På den pågældende lokalitet har vi altså 2 problemer: en storm lige før forsøget startede, og sandfodring nord for forsøgs-området. Siden forsøget begyndte er der sket en opbygning af stranden, men det samme er også sket mange andre steder langs den jyske vestkyst i samme periode.

Det er derfor vor opgave at kunne påvise, at rørene er (en del af) årsagen til den konstaterede opbygning. SIC ønskede en lang sammenhængende forsøgsstrækning for at vurdere rørenes effekt (på trods af at SIC implementerer systemet mange steder på meget kortere strækninger). På forsøgsstrækningen er kysten - over mange år - i tilbagerykning i den nordlige del og i fremrykning i den sydlige.

Rørene er anbragt på 2 strækninger, hhv 4.7 km (Rør 1, mod nord) og 0.9 km (Rør 2, mod syd) afbrudt af et område på 1.8 km (Ref 2) uden rør.. Nord for rørene er der er reference område 1, og

syd for reference område 2, begge områder uden rør. Ideen var at vi gerne skulle observere større aflejring i rør områderne end i reference områderne.

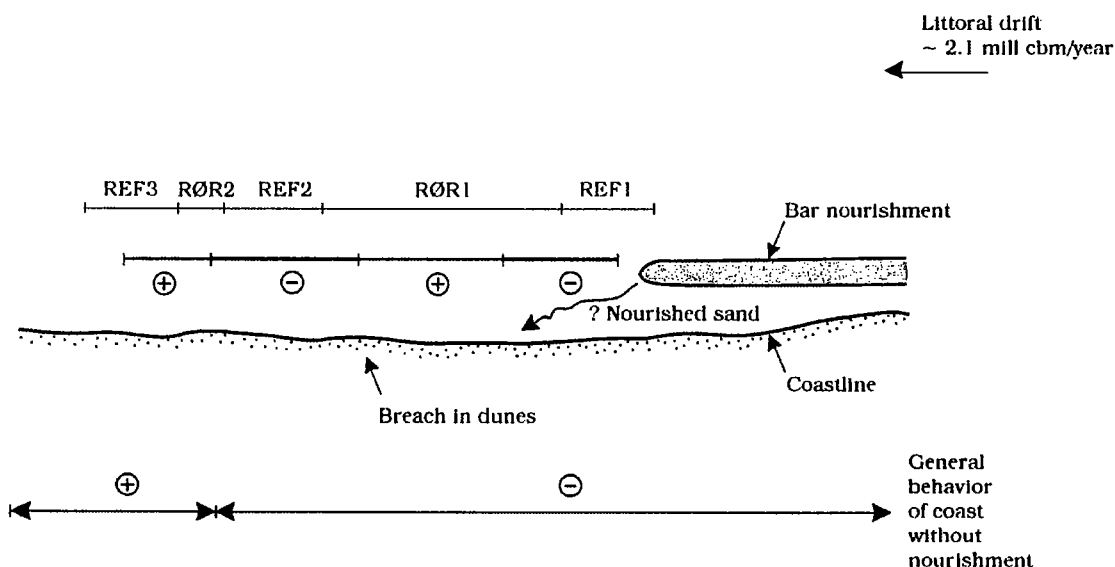
Efter 2 år er hovedresultaterne som beskrevet i tabellen, der angiver de gennemsnitlige niveau ændringer dels af en 100 m bred strimmel målt fra klitfod i januar 2005, dels af et udenfor liggende 600 m bredt bælte. Det kan nævnes at stranden stedvis er både bredere og smallere end 100 meter.

	Reference 1	Rør 1	Reference 2	Rør 2	Reference 3
"Strand": 100 m bredt bælte fra klitfod	-0.48	0.11	-1.02	0.47	1.04
"Hav" (600 m bælte udenfor de 100 m "strand")	0.41	0.05	0.57	0.43	0.35

Ændringer i niveau (m) af strand og havbund.

Går man mere i detaljer, giver observationerne efter to år et noget rodet billede af situationen. Der er mest aflejring mod syd, der i forvejen er et aflejningsområde. Her sker aflejringen både ud for rørene og syd herfor.

I det nordlige rør område sker der både aflejring og erosion, sådan lidt varieret, og ikke fuldt korreleret med rørenes placering, se også figuren (nourishment=sandfodring).



I vort reference-område 2 uden rør i midten er der tydeligvis erosion, hvilket kunne tyde på at rørene kan have en positiv virkning. Men stranden var her allerede smal på en kortere strækning før forsøget begyndte, og siden hen har havet her brudt gennem klitten. Et sådant brud øger vindens mulighed for at transportere sand fra stranden op i baglandet, så den smalle strand fastholdes. Det er derfor svært at relatere opbygning/erosion udelukkende til rørene.

3.4 Lokal virkning af rørene

Effekten af rørene er ikke tydelig helt lokalt omkring rørene. Der er 100 meter mellem hver rørrække, og det kunne forventes - hvis rørene har en positiv effekt - at der foran hver rørrække i første omgang blev dannet en lokal sandpude. Noget sådant er ikke iagttaget. SIC hævder at en sådan bule har en høldevirkning, hvilket vi har meget svært ved at forstå skulle være tilfældet. Når der end ikke kan konstateres lokal aflejring omkring hver rørrække er det svært at indse at der kan opstå en "høldeeffekt". SIC hævder at rørene har en skylleeffekt på det omgivende sand, således at det fine materiale bliver bortskyllet, og man får det såkaldte grovere "vaskede sand", der har større stabilitet. Årsrapporten indeholder et appendiks, hvori det vurderes, at rørene nok lokalt øger hastigheden af grundvandsbevægelsen, men det er så lidt, at det kan negligeres, nemlig mindre end en tiende-del promille. Denne vurdering af hastighederne er der vist enighed om i gruppen, vi har i det mindste gang på gang bedt om at få målt hastigheden af vandet indeni røret, men der har været generel enighed om at disse hastigheder er så små, at de ikke kan måles. Når hastighederne inde i røret er små, er de meget-meget mindre udenfor, da hastighederne aftager med afstanden fra de enkelte rør. Oveni dette kommer så at rørets areal af det samlede strandareal er utrolig lille (et rør pr. parcellushave).

Grunden til at vi ikke kan forstå, at rørene skulle have en drænende virkning er den simple, at rørene ikke er, som dræn normalt konstrueres, nemlig forbundet med et afløb, så vandet kan komme videre. For eksempel konstrueres et omfangsdræn omkring et hus konstrueres således, at vandet føres hen til en brønd (fagsprog: et område med lavt tryk). Et markdræn ledes normalt hen til en grøft, hvorfra vandet strømmer videre (fagsprog: et område med lavt tryk). Men PEM-røret ender blot dybt nede i sandet. Vandet der ledes gennem rørene skal jo også videre ud til havet, og der er der intet naturligt afløb (fagsprog: et område med lavt tryk) for enden af røret.

Man kunne forestille sig lag dybere nede med grovere materiale, hvorigennem vandet ville løbe lettere, men det ville vandet så også gøre uden rør. Her må man jo også forstå, at vand ikke har så svært igen ved at løbe gennem sand, hvad man sagtens kan forvise sig om ved at tømme en spand vand på stranden, vandet forsvinder med det samme. I øvrigt ville mellemrummene i et lag bestående af småsten hurtig fyldes op med sand i en strand, og så ville det ikke være lettere for vandet at strømme her end alle andre steder.

4. Planning of the tests

Project group meetings were held in the autumn of 2004 with the objective of selecting a test size and decide the positioning of the pipes and the methods of monitoring the response of the coast.

4.1 Selection of test site

According to agreement between SIC and the Ministry of Transport a stretch of approximately 10 km on the Danish North Sea Coast should be selected for the tests.

Conditions with respect to hydrographic and geomorphological conditions should be as homogenous as possible along the stretch. Moreover, influence of man-made interventions should be as small as possible.

Two potential sites were discussed: A 15 km long stretch at Skodbjerg just south of the part of Hvide Sande, and a 7 km long stretch at Skallingen north of the town of Esbjerg.

The net-sediment transport is southwards at both site, but much larger at the Skodbjerg site. The Hvide Sande jetties north of the Skodbjerg site create leeside erosion for which reason some beach parallel detached rock structures are placed just south of the jetties. This coastal protection has been supplemented with beach nourishment and nourishment at the offshore bar approximately 600 m from the shore, cf. Fig. 4.1. Erosion decrease to the south so that just south of the 15 km stretch the beach is stable. Further south accretion takes place. Beach nourishment will not take place in the three years test period, but nourishment at the offshore bar will continue.

A long groin at the northern boundary of the Skallingen site creates lee side erosion. Erosion takes place over the full length of the actual stretch of coast.

KDI and JF were in favour of inspecting and most probably selecting the Skallingen site as it seems more homogeneous, and no nourishment takes place.

SIC argued that the length was too short as a 10 km stretch was needed. Moreover, SIC regarded the influence of the long groin to be too disturbing for the tests. As SIC refused to use Skallingen it was decided to use the Skodbjerg site, despite the not ideal conditions because of the bar nourishment. SIC claimed however that the bar nourishment would have no or marginal influence on the test results.

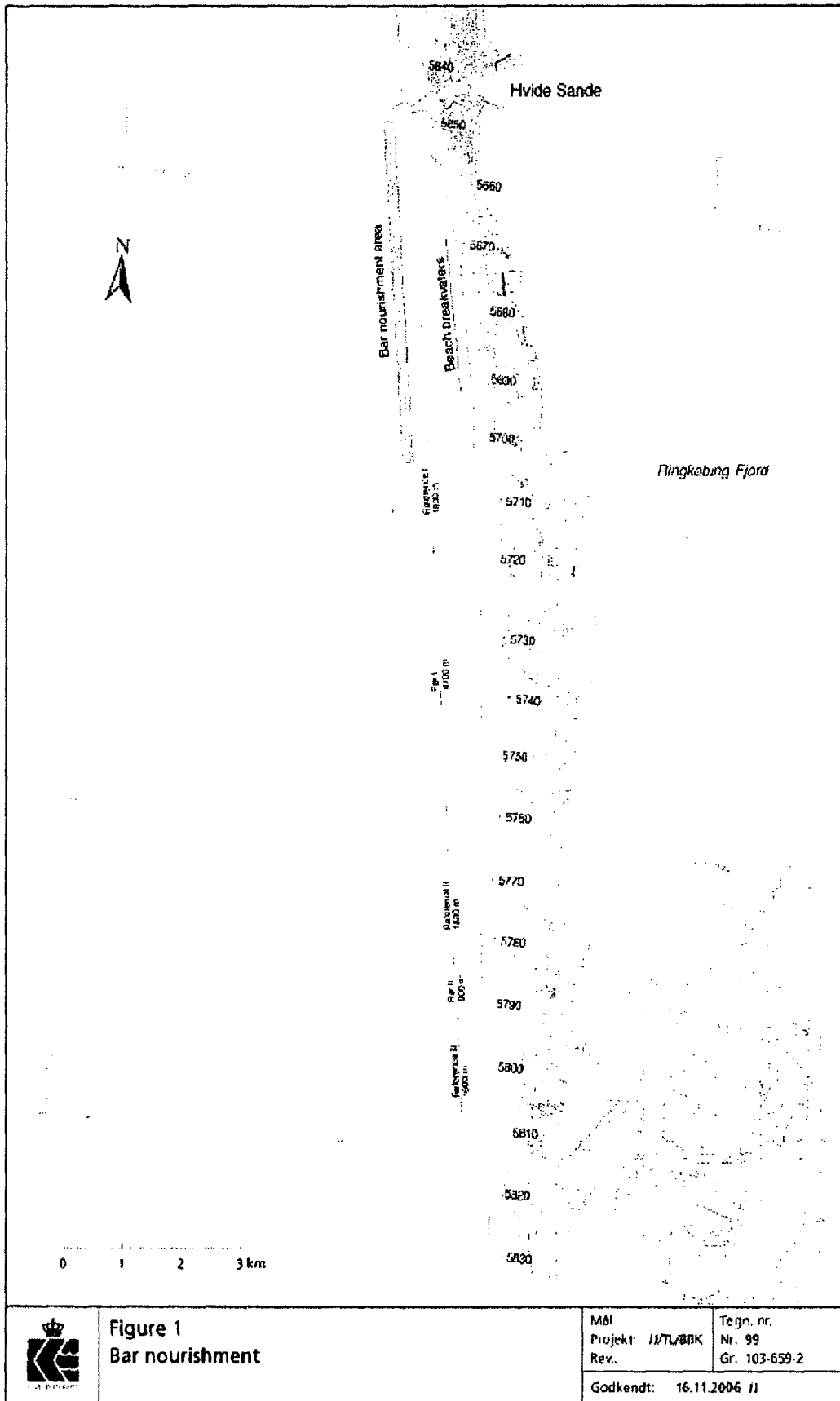


Figure 4.1 Bar nourishment

4.2 Planning of the test

The basis for the evaluation of the tests is a comparison of the morphological changes in stretches with and without drain pipes as well as more detailed investigations and calculations related to the function of the drains.

The total length of the Skodbjerg test site was limited to approximately 11 km in order not to come too close to the beach breakwaters to the North and the accreting coast to the South.

KDI and JF preferred a split of the site in a number of relatively short stretches (say 2 km) with alternating drains and no drains. SIC could not accept this as – based on experience – they wanted longer stretches, basically a 6 km stretch with drains and a 4 km stretch without drains. However, due to the gradient in erosion along the test site this was not acceptable and HFB proposed as a minimum stretches with no pipes on both sites of the drained stretch.

A compromise as shown in Fig. 4.2 was found in which two stretches of 4.7 km (Rør I, chainage 4019200 - 4014500) and 0.9 km (Rør II, chainage 4012700 - 4011800) respectively were drained, and three stretches of 1.8 km (Reference I, chainage 4021000 – 4019200), 1.8 km (Reference II, chainage 4014500 – 4012700) and 1.8 km (Reference III, chainage 4011800 – 401000) respectively were left undrained.

The drains were installed in January 2005. The positions and number of the drains and time of installation during the first two years are shown in Table 1. As seen from the table, drains have been added in some areas where increase in beach width made it possible.

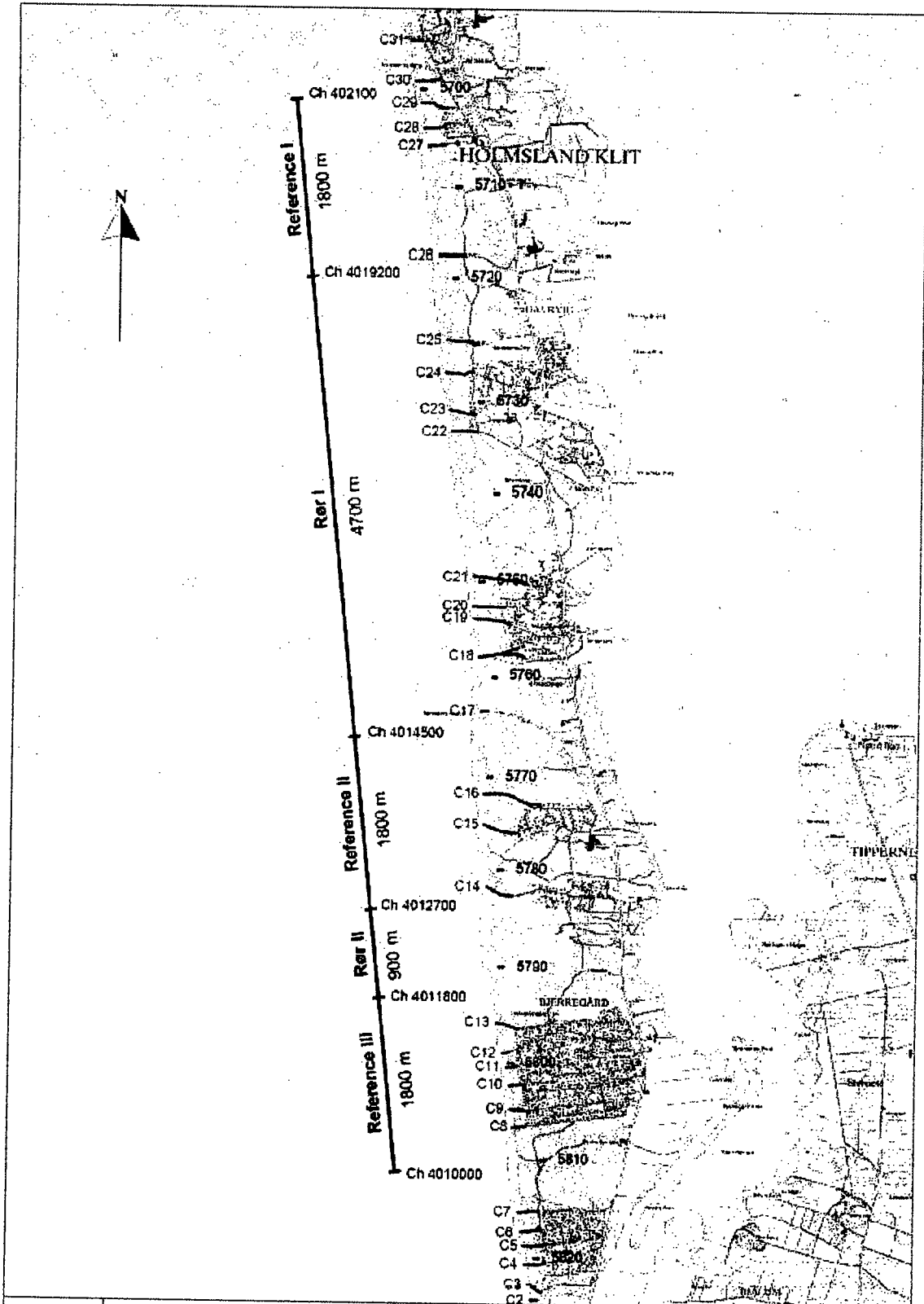


	Figure 2 Location of test stretches	Mål 1:50000 Prosjekt J4/TL Rev.: 05.10.2005	Tegnr. Nr. 100 Gr. 103-059-2
		Godkendt 11.05 2005	

Figure 4.2 Location of the test stretches.

4.3 Monitoring of the test site

4.3.1 Surveying

Profiling per 100 m of the beach including the dune front four times per year was decided as well as soundings per 200 m of the seabed within 600 m from the shoreline. The first profiling took place in January 2005 just after placement of the drains. Since then four surveys have been performed in April, July and October 2005, and January, April, July and October 2006, and January 2007. Carl Bro A/S performs the landward surveying and KDI the depth sounding. Moreover, KDI has performed depth soundings along the North Sea west coast three times every year in lines spaced 1 kilometre and covering the nearshore zone from the beach to app. 8 metre water depth. Five of these lines cover the stretch just south of the Hvide Sande inlet and thereby also the stretch where bar nourishment takes place.

4.3.2 Monitoring of ground water levels across the barrier spit

According to SIC the function of the drain relates to changes in the ground water flow caused by pressure equalisation in the surroundings of the drains. For this reason a comparison between pressure fields near the drains and far from the drains is of importance. The method of instrumentation is under discussion.

As it is generally accepted that ground water outflow in the beachface affects the sedimentation, it was decided in 2005 to monitor in one line the ground water table across the narrow land spit between Ringkøbing Fjord and the test beach. Application for permission to establish wells was forwarded to the authorities. However, the campaign was stopped in 2006 as SIC found that the actual ground water table variation across the land spit had no influence on/or could not enlighten the function of the drains.

4.3.3 Grain size analyses

In order to check the hypothesis of SIC that the drains increase the groundwater outflow through the beachface and thereby wash out the fine beach material, it was decided to investigate if changes in the composition of the beach material take place as a result of the installation of the drains. Five borings were taken app. three month after the installation of the drains in Rør I between chainage 4015500 – and chainage 401540. (SIC has raised the question if this was too late compared to the rapid development in accretion observed after placement of the drains).

Grain size analyses of the samples have been made and compared with samples taken in May 2006. The relative amount of very fine material with grain size smaller than 0.063 mm were determined from samples taken from each boring in three specific levels. The analysis revealed that in two of the five borings, one being located close to the drains, there was a clear decrease in the relative amount of fine material. In the other three borings, of which one was also close to the drains, there was not a clear picture, but the tendency was an increase in the amount of fine material. On this background no conclusion on the effect of the drains in terms of wash-out of fine materials could be made.

4.3.4 Satellite images, aerial photographs, and airborne laser photogrametry

Nine sets of satellite images covering the period 9.10.2004 – 11.9.2006 have been obtained. The varying quality of the images makes an analysis difficult. Airborne laser photogrametry was tried but without success. Aerial photographs have not been of a frequency and quality which allow more systematic analyses.

4.3.5 Pressure measurements in the beach

In order to get some insight regarding the physical functioning of the drain system, a field test program for measurement of water pressure variations in the beach and in the proximity of the drains were performed in the spring of 2006.

The programme was carried out with additional consultancy of Dr. Peter Engesgaard, Geological Institute of University of Copenhagen. The report of Peter Engesgaard, attached as Appendix 3, concludes that the no effect of the drains on the surrounding water pressures could be detected on the observed pressure variations would be expected also without the drains.

5. Characteristics of the test site

5.1 Geomorphologic conditions

The test site is on the southern part of a barrier spit separating the Ringkøbing Fjord lagoon from the sea. The spit is formed by sand deposition resulting from a decrease in the rate of southwards longshore sediment transport. The natural southwards shift of the opening between the lagoon and the sea has been stopped by the construction of a permanent sluice and a lock at Hvide Sande where also a fishing port is located. The entrance is protected by jetties of which the longest to the north built in 1962 at present extends approximately 450 m from the foot of the dunes.

As to the coastal profile along the test site, the distance from the coastline at level 0.0 m (equal to mean water level) to the 6 m depth contour is approximately 650 m over the full length of the test site, i.e. an average slope of app. 1:100. This slope has remained almost constant during the last 20 years according to the profiling by KDI. The coastline has in the same period shown large fluctuations with changes in position ranging from 50 m to 100 m.

Grain size analyses of the sand in the foreshore and in the beach top layers shows medium to very coarse sand with grain diameter in the range 0.3-2.5 mm. Deeper borings show fine sand down to approximately 10-12 m below the surface. Underneath is very fine sand or silt, and in some places clay.

Several shore parallel bars, typically three, are formed along the coast. The net sediment transport in front of the test site is southwards amounting to approximately 2.1 million m³ per year in average (ref. KDI). Most of the longshore transport takes place in the bar zones.

5.2 Hydrographic conditions

Water levels

At the coast the difference between mean high water and mean low water is 0.7-0.8 m. Storm surge caused by strong westerly gales and low pressures can give water levels of up to approximately 3.1 m above mean water level. Low water levels down to -2.0 m can occur during easterly winds.

In the Ringkøbing Fjord lagoon the water level varies between -0.5 m and +0.5 m, dependent on the operation of the sluices and on the wind set-up.

A very severe storm with westerly winds of more than 26 m/s occurred 8-9 January 2005, shortly before the first survey took place in January 2005. Water levels up to 3.03 m above M.S.L. were recorded at the head of the jetties at Port of Hvide Sande. Wave set-up might have caused an even higher maximum water level at the beach face of the test site. No severe westerly storms occurred in the first year period. The maximum water level recorded in this period was +1.44 m on the 26.10.2005 in a situation with only moderate wind. In 2006 occurred only one stormy situation on the 27.10 with maximum water level +1.54 m and westerly winds of app. 20 m/s. However, in January 2007 occurred three storm situations, 1.1.07 max. water level +1.75m with winds just over

21 m/s, 11-12.1.07 max. water level +2.14m with winds over 21 m/s, and 14.1.07 max. water level +1.78 m with winds over 21 m/s.

The January 2007 survey was performed after this row of January storms.

Waves

The prevailing westerly winds cause quite frequently storm waves with significant wave heights in the range $H_s = 3-4$ m offshore in 20 m water depth, and related peak periods of approximately $T_p = 10$ s. During more extreme events, say return periods of 5 years or more, H_s will exceed 6 m and T_p exceed 12 s. It is not often that H_s is less than 1 m and T_p less than 5 s during westerly winds. The waves are strongly seasonal as storms occur mainly in the autumn and during the winter.

The dominating directional sector of the larger waves reaching to actual stretch of coastline is West-North West, causing the net sediment transport to be Southbound.

Typical crest levels of the bars in the nearshore zone area round 2 m below MWL, limiting the significant wave height passing the inner bar to be approximately $0.6 \times (2,00 + \text{heigh water})$, i.e. around 3 m during the highest storm water levels.

Because of the protecting effect of the bars against beach erosion it is important to identify positions and holes in the bars, especially related to the inner bar. In case of holes much larger waves will reach the beach. It is therefore important to see if there is correlation between the bar topography and the beach erosion and beach accretion. It is however very difficult to get, within reasonable costs, information about the bar topography. Methods of obtaining this information are investigated. Fig. 5.1 and 2 show the one-year 2005 and 2006 statistics of significant wave height recorded by a directional waverider buoy in 15.5 m water depth offshore Nymindegab.

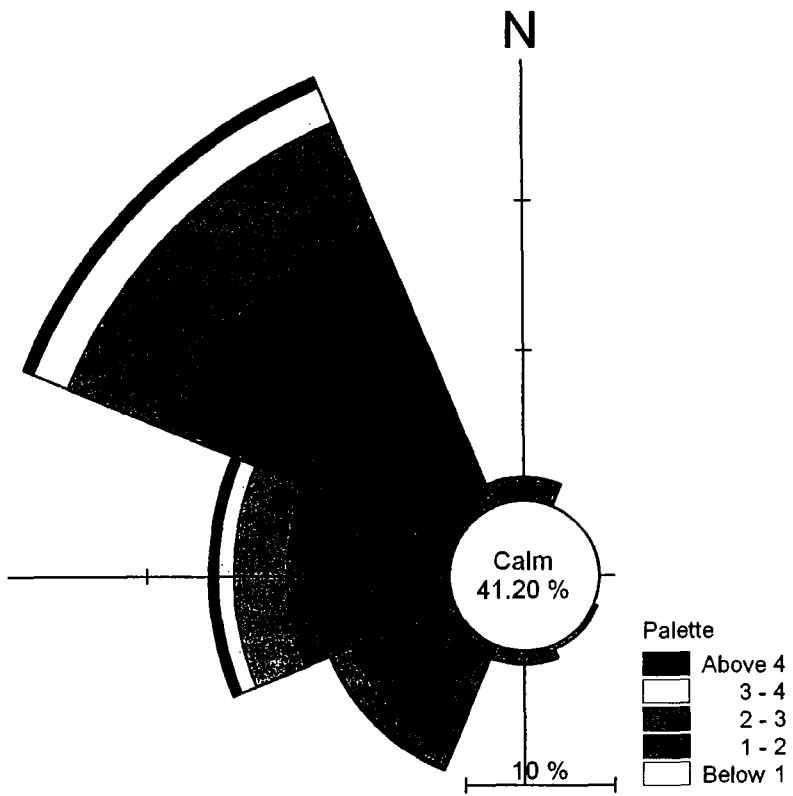


Figure 5.1 Wave rose year 2005

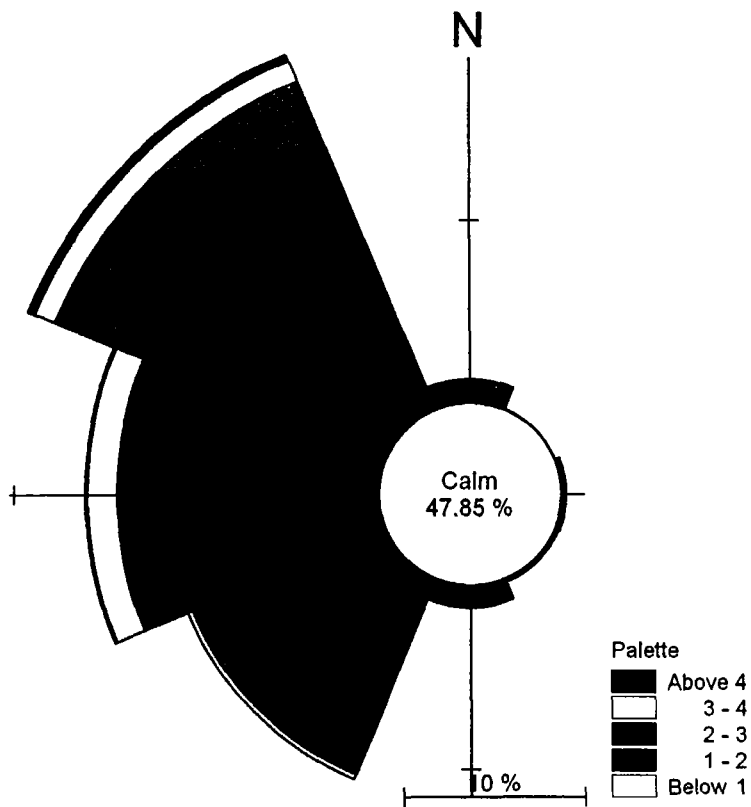


Figure 5.2 Wave rose year 2006

It is seen from Fig. 5.1 and 5.2 that the angle between the coastline and the dominating incoming waves is approximately 45°, thus causing a net-sediment drift in southern direction.

5.3 Former coastal changes and man-made interventions

The natural erosion (retreat of the coastline) is estimated by KDI to vary gradually from approximately 3.5 m/year just south of the Hvide Sande jetties to approximately 1.5 m/year at the southern end of the test site, calculated as averages over the years 1977-96.

The actual erosion is different due to man-made interventions. Actually the coastline has, apart from fluctuation, in average been stable over the last 5-10 years as documented by the KDI profiling of lines 5700-5810 (chainage 4010000-4021000). Table 5.1 lists the man-made interventions for the stretches Årgab (5 km stretch north of the test site), Havrvig (northern half part of the test site) and Skodbjerg (southern half part of the test site).

Table 5.1. Man-made interventions, 1977-2006

Volumes (m³)

	Argab					Havrvig			Skodbjerg	
	dumping at dune foot	beach nourishment	beach scraping	nourishment foreshore	bar nourishment	beach nourishment	beach scraping	foreshore nourishment	beach nourishment	beach scraping
1977	158.007									
1978	48.817			34.959						
1979	57.813			29.014						
1980	54.383			17.005						
1981	87.100									
1982	95.342									
1983	84.656									
1984	89.002		21.726							
1985	119.288		17.704	18.491						
1986	85.816		21.604	29.927						
1987	97.542		9.384	25.900						
1988	173.960		750	44.864						26.997
1989	165.361			41.336		4.410				21.182

1990	187.306			7.100			4.418		21.222	
1991	177.766			1.318			4.084		24.422	
1992	197.907			3.855		21.099		115.669		
1993	82.333	208.099		2.955		152.115	108.904		81.128	
1994	60.602	148.455	13.395	1.591		214.945	51.288	82.345	25.123	
1995	35.528	184.655	23.848	33.136			58.969			
1996	18.288	395.811		1.973		185.946	11.131		79.873	
1997	12.534	187.718	19.001	2.618			36.565		42.875	
1998	36.095	504.742		382		326.358	43.637		57.680	
1999	17.480	388.036				228.020	8.010	200.255	154.110	
2000	60.256	519.733		10.800		218.080	13.075		56.060	
2001	14.342	429.572					4.634		60.900	
2002		628.317					12.540		17.188	
2003	28.706	527.925			2.632		20.239		42.907	
2004		94.800	11.443		600.041		3.951		15.061	
2005		192.400			200.419					
2006		145.884			505.105					
Total	2.246.230	4.556.147	138.855	307.224	1.308.197	1.346.563	385.855	200.255	352.124	614.242

6. The functioning of the tubes

6.1 The near-tube flow.

Introduction

In this chapter we try to study the functioning of the tubes.

PEM stands for Pressure Equalization Modules, so as we understand it there must exist a pressure difference in the beach which can be equalized by the tubes. It is not easy to localize this point. In the following we restrict ourselves to consider where the tubes may improve the **drainage capacity** of the beach, since no pressure difference can be build up, because sand is able to breath .

It has not been possible for the experts to explain a significant drainage effect of the tubes.

In general a drain works as follows: The flow in the soil will always flow from a higher to a lower pressure. Such difference in pressure can be created within a drain, if this is connected to a low-pressure outlet like a well or ditch or similar. The functioning of a drain in a beach is illustrated by two examples in the section "Other drain systems".

Next it is explained and illustrated that the PEM-system cannot work in the same manner. For this reason we can not see why the system should have any kind of drainage effect.

The flow in the beach is usually quite complicated, and some simple cases will be outlined below and in the two Appendices 2 and 3 at the end of this report.

Water level variations in the beach.

If the water in the sea is calm, and there is no water supply to the beach from land, the water in the beach will have the same water level as that in the sea.

However, usually the Sea level change with time due to

- Wind waves
- Tide
- Wind set-up and changes in atmospheric pressure (storm surge).

The variation in the sea level will create flow in the beach, where the water level will move up and down with the same frequency as that in the Sea, but with a phase shift in time and with amplitude, which is smaller than the water level amplitude of the sea level.

Figure 6.1a-c shows a number of sequences of the ground water level in the beach:

In figure 6.1a and 6.1b, the effect of the ground water table in the beach caused by wind waves with a period of 1-15 sec is sketched. In such cases, also the groundwater in the beach will oscillate, but this oscillation can only be felt a few meters away from the sea.

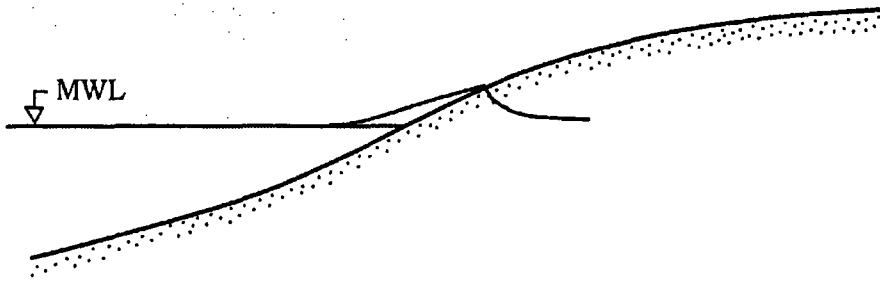


Figure 6.1a: Ground Water Level (GWL) during run-up of wind generated waves.

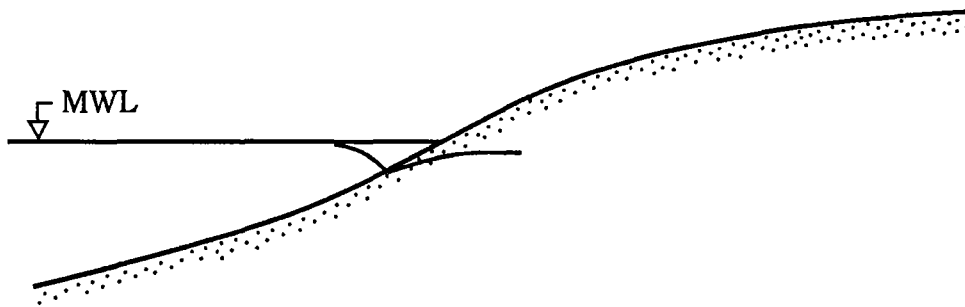


Figure 6.1b: Ground Water Level (GWL) during draw-down of wind generated waves.

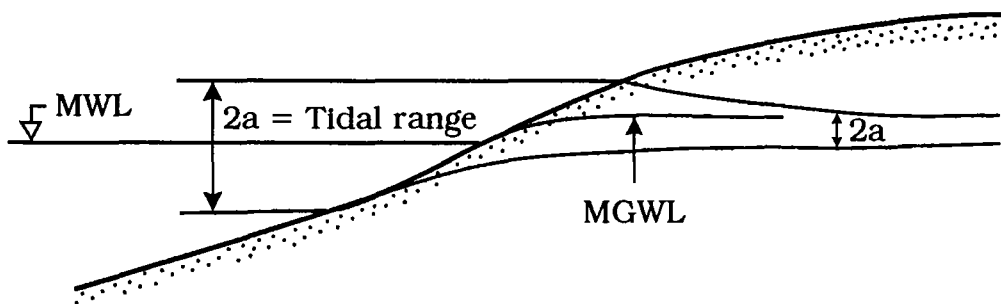


Figure 6.1c: Ground Water Level (GWL) due to long waves (tide) and storm surge. The dampening in the beach (the height of the tidal range $2a$ in the beach) is much weaker than in the case of wind generated waves.

In figure 6.1c the tidal flow with a very long wave period (around 12 hours) is shown: from this long period motion, the variation in the sea level penetrates much further into the beach, so the dampening of the motion is much smaller than in the case of wind generated waves..

It is of some importance whether the beach is filled with water or not. If there is a lot of water (high GWL (Ground Water Level)), the individual swash will be of equal size in the run-up and in the draw down period, resulting in nearly equal deposition and erosion of sand in the swash zone, figure 6.2a.

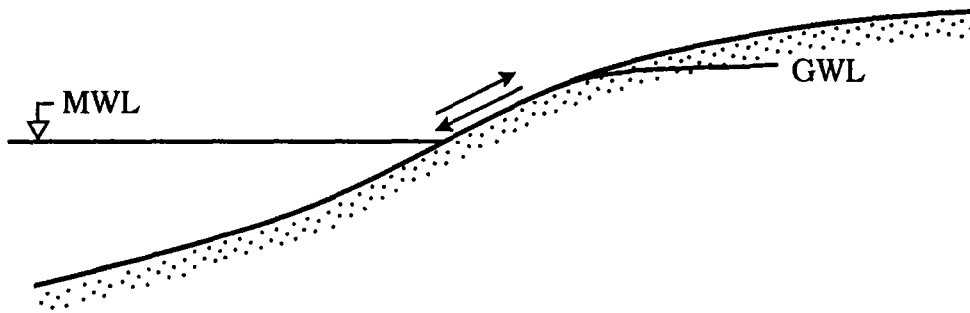


Figure 6.2a: The swash zone flow back and forth is more or less the same if the beach is saturated.

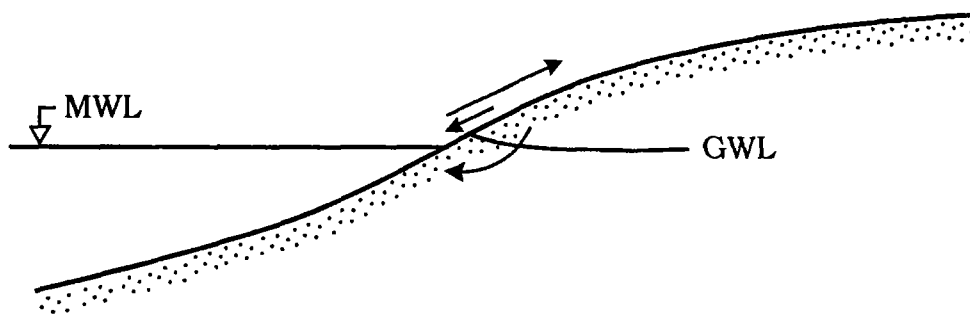


Figure 6.2b: The flow is stronger in the uprush-phase than in the downrush-phase if the beach is drained, because some of the uprush-water can filtrate into the beach..

If the beach is well drained, some of the water transported towards the beach in the run-up phase does not need to run down the slope through the draw down phase, but can instead be drained away through the beach as sketched in figure 6.2b. In this case some deposition of sand may occur leading to a stronger beach profile.

However, the importance of this effect is usually considered to be weak. Below we quote Peter Nielsen, Coastal Engineering 2002:

It is also reasonable to assume that the observed higher transporting efficiency of the uprush is due, in some part, to the presence of pre-suspended sediment from the bore collapse (Masselink and Hughes, 1998; Puleo et al., 2000; Butt et al., 2001). The importance of the pre-suspended is at present difficult to judge. It is very prominent when the process is viewed from above. However, it must also be kept in mind that sheet flow observations (e.g., Horikawa et al., 1982; Ribberink et al., 2000) show that the main contributions to the sediment transport come from a few millimetres around the undisturbed bed level where the concentrations are several hundred grams per litre. Very little is known about the dynamics of this layer in swash zones.

While pre-suspension may enhance the uprush transport, this may be partly balanced by the infiltration, which usually occurs during the uprush (Butt et al., 2001). However, the horizontal-bed-experiments of Nielsen et al. (2001) indicate that the infiltration effect is likely to be very weak. Their measurements showed a barely measurable effect although they used very strong infiltration, corresponding to head gradients of more than 2. Such strong head gradients are unlikely to occur in natural swash zones (cf. Baldock et al., 2001; Butt et al., 2001).

It is also not clear to what extent fluidisation plays a role in the swash zone sediment transport process. Fluidisation may be caused either by the horizontal pressure-head gradients near the uprush front, which seem quite likely to some times exceed the critical value of 0.6 suggested by Madsen (1974). It might also be caused by the mysterious upward pressure gradients which have been measured by Baldock et al. (2001), but not by Butt et al. (2001).

This reference suggests that the deposition in the swash zone is mainly due to presence of pre-suspended sediment, and not due to infiltration.

Other drain systems.

The idea of drainage has for instance been followed in the so-called Beach Management System (BMS), in which a tube is placed horizontally down in the beach as shown in figure 6.3. The beach water is drained to the tube, and the water is transported further away by using pumps, thus creating a low pressure in the tube. The BMS has demonstrated some success: a small berm of beach sand is accumulated in the neighbourhood of the tube. The size of the berm depends strongly on local conditions, but the magnitude of accumulated sediment is 1-10 cbm per meter beach. Such a berm is good for recreational purposes, but is unlikely to provide a real measure of coastal protection, because it will be eroded away in a very short time during a real storm. A negative part of the BMS system is that it requires electricity and maintenance of pumps.

Beach management system

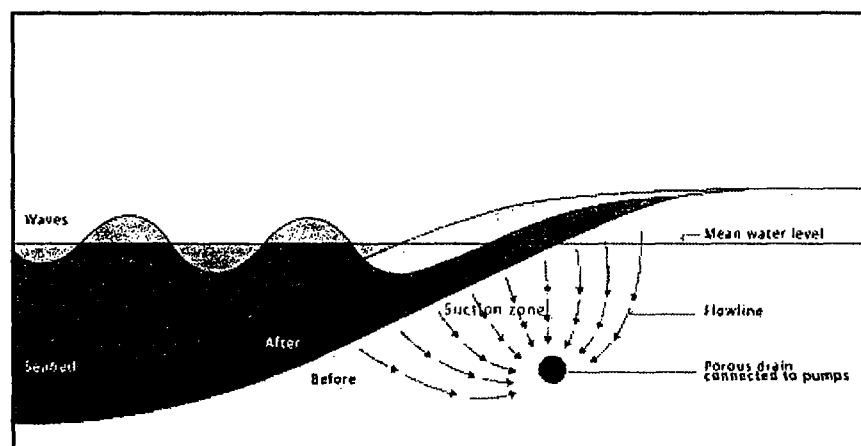


Figure 6.3. The Danish Beach Management System drains the beach by pumping through nearly horizontal tubes located parallel to the shore.

Another drain approach is Japanese, and shown in figure 6.4. In this concept, a permeable layer is placed in the beach reaching from a high level in the upper part of the beach to a level below the lower part of the beach with connection to the sea. In this way the system utilizes the slope of the beach to create a pressure gradient (from high to low pressure) within the permeable layers.

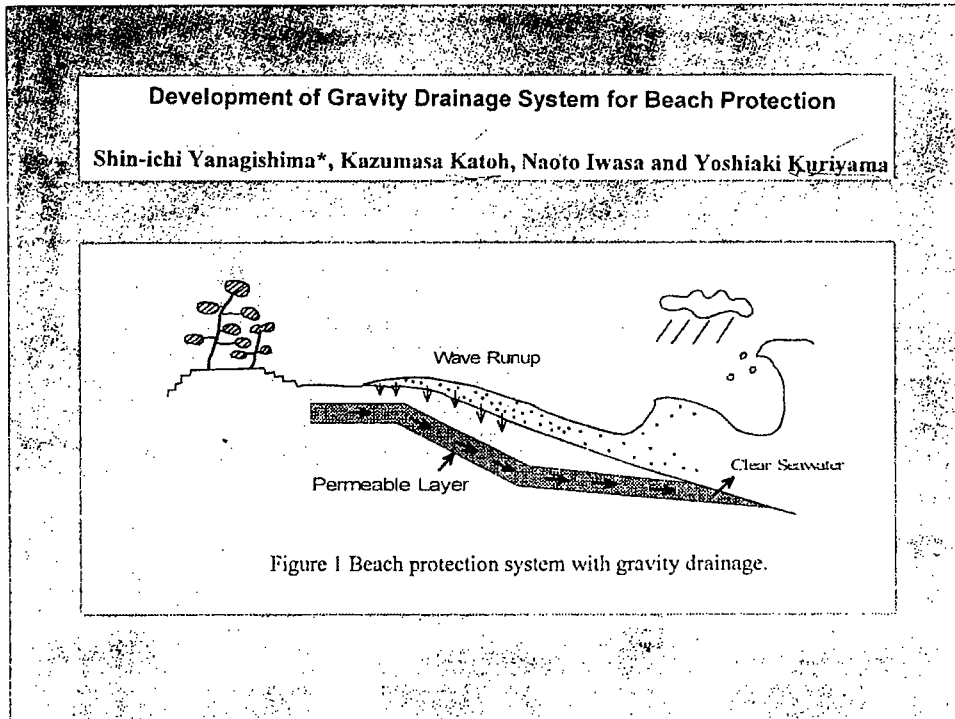


Figure 6.4. Japanese system to drain beaches: here the tubes are replaced by a highly permeable layer, which is emptied by gravity. Please note the sea-connection of the permeable layer.

In the gravity system shown in figure 6.4 accumulation of sand has also been observed, the magnitude being slightly smaller than that obtained by the BMS system.

The PEM-system

The flow in the PEM-system is as follows: A row of vertical perforated tubes is drilled down in the beach sand.

Figure 6.5 shows a single tube used in the present test, and figure 6.6 shows the dimensions of the slots in the tubes. The slots are only 0.2 mm wide in order to avoid penetration of sediment into the tube. From Figure 6.5 it might be noted that slots only are present only in the lower half of the tube. Where the slots are present water is allowed to flow in and out of the tube, so this part is called the "active part" of the tube. In all following drawings and sketches, only this active part of the tube is shown.

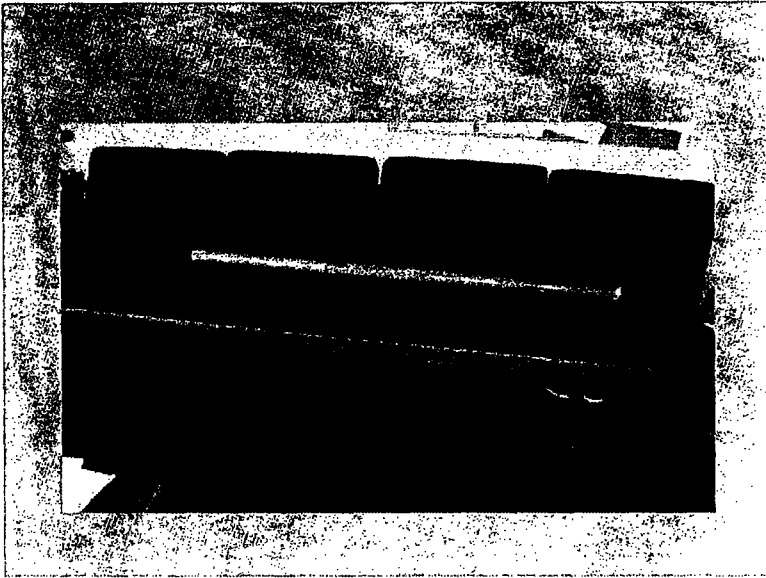


Figure 6.5: Photo of tube in full length. The tube is without slots in the upper half, but it is ventilated at top, so air can go through.

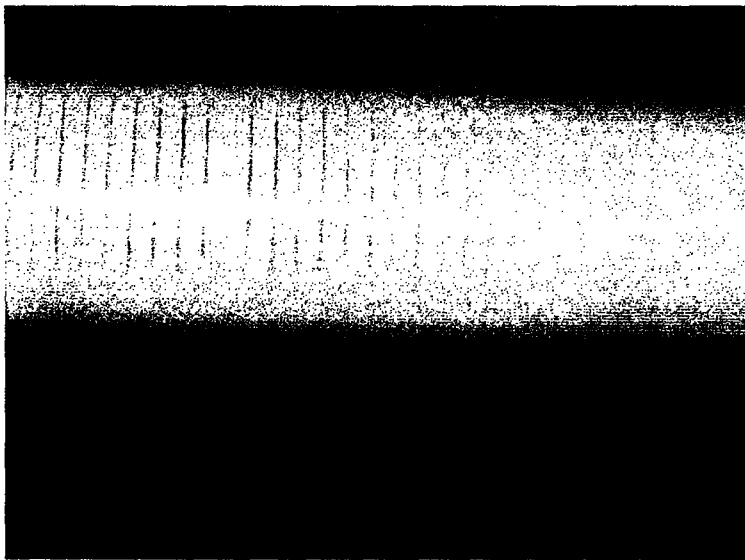


Figure 6.6 Blow up of the tube: Slots of 0.2 mm width are cut in the lower half of the tubes, so water can flow in or out.

The distance between each row of the tubes is 10 meter, and the distance in between the rows is 100 meters.

6.2. The homogeneous beach.

Let us consider beaches, which consist of permeable, sand all over, i.e. no impermeable layers are present. Usually the sand is characterized by an average size d and a geometric standard deviation σ . Very graded sand has a large content of sediment, which is much finer than the average size d . This sand is called *natural sand*. If you remove a lot of the fines, this will hardly change d , but will decrease σ . This is what SIC calls *washed sand*.

Because the different flow-resistance in the sand and in the tube, the water level will be different outside and inside the tube if a vertical pressure is present. This might be the case if the ground water motion in the beach is introduced by an oscillatory motion in the Sea. This motion can be caused by wind waves, for which we agree (the experts and SIC) that the PEM-system does not have any impact, The oscillations caused by the tide and storm surge for which much more water will infiltrate the beach because of the slow changes in water level, cf figure 6.1 is therefore considered in the following.

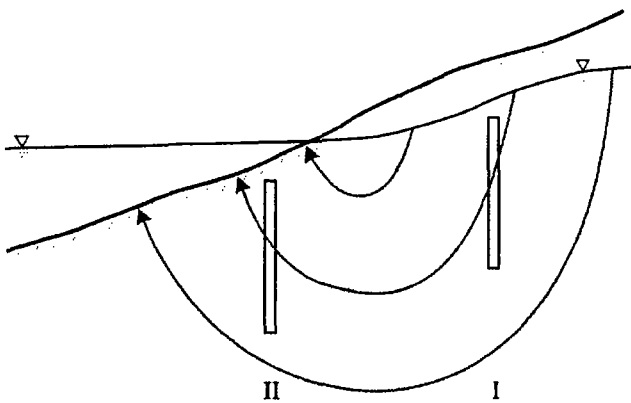


Figure 6.7: The flow introduced in the beach caused by tidal motion in the sea.

The analysis given in appendix 2 consider the tidal situation, where a vertical pressure gradient leads to a ground water motion very different from standing waves in front of a vertical wall, see figure 6.7. This will cause a negative vertical pressure gradient at tube I shown in figure 6.7, and a positive vertical pressure gradient at tube II. It has been measured (see appendix 3) that the water outside the tube has an amplitude in the order of 1 meter, and this result has been used in the analysis to estimate the vertical pressure gradient needed to create this strength of the groundwater flow. The analysis suggests that during *falling* groundwater level the water level outside the tubes must be higher than inside the tubes, leading to flow directed towards the tubes at the top, and away from the tubes at the bottom of the tubes. During *rising* water levels the opposite will be the case, see figure 6.8 a and b.

The reason why the experts don't understand that the PEM-system should work is that there are no connection of the tubes to a low-pressure region at the end of the tubes,

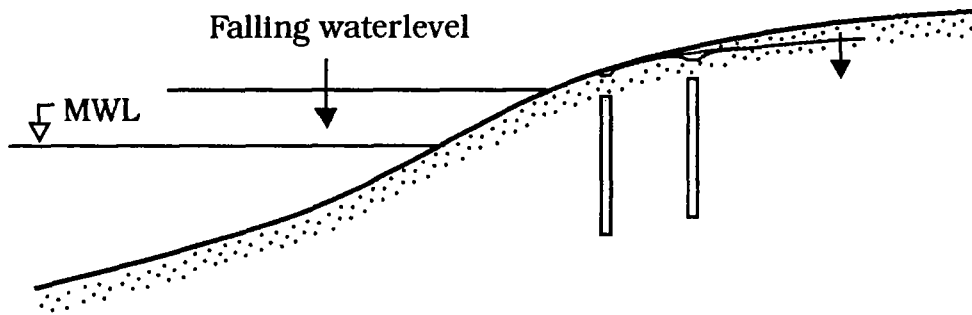


Fig 6.8a: During falling waterlevel (ebb flow or after a storm), the tubes will improve the drainage, the impact is however estimated to be insignificant, actually less than one per thousand.

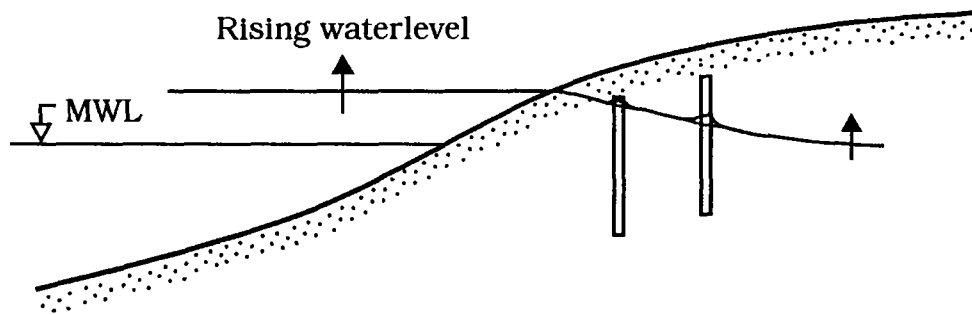


Figure 6.8b: During rising waterlevels (flood or storm surge), the beach is filled slightly faster with water, because the vertical tubes can lead the water easier to the beach. Like in the falling stage, the impact is insignificant; less than one per thousand.

So nearly no driving forces exist to activate the flow near the tubes. A simple estimate of the impact of the tubes is given in Appendix 2, in which it is demonstrated that there certainly is created a flow through the tubes because of the less flow resistance within the tubes than in the soil outside, but this flow is very small, less than 1 mm per second. Even though this is 5-10 times larger than the flow velocity in the surrounding soil if this soil is very fine, it will have no drainage effect because the tubes occupy a very small fraction of the area under consideration. If we assume that the tubes shall drain the surrounding area in a radius of 5 m only around each tube, the improved drainage will be 0.01% (in case of very fine sand, where the impact is largest), corresponding to a change in the tidal range from 1.0000 m to 1.0001m.

6.3. The in-homogeneous beach: presence of permeable layers.

A number of sketches are presented in the following, where the expected impact from the PEM-tubes are discussed. For simplicity only one tube is shown in the beach, and we are considering the case of a falling watertable in the beach.

Figure 6.8 shows the basic case: the water will locally easier flow through the pipe, so you get a faster speed from A to B, but the water still needs to flow from B to C, and there is no trigger for this, so not much has been gained by installing the tube, it is nearly just as easy to flow from A to C as from B to C.

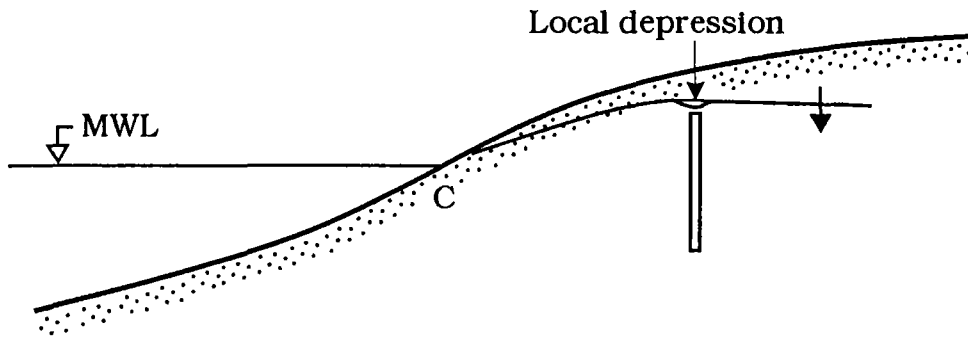


Figure 6.8: The drain will locally make a depression cone around the tube. However, the size of the cone is extremely small, and most of the beach water will flow directly rather through the tube towards the sea.

Figure 6.9 suggests that a trigger for the flow from B to C can be established by the presence of a permeable layer, see also the photo figure 6.9 from a SIC report.

Vertical drains

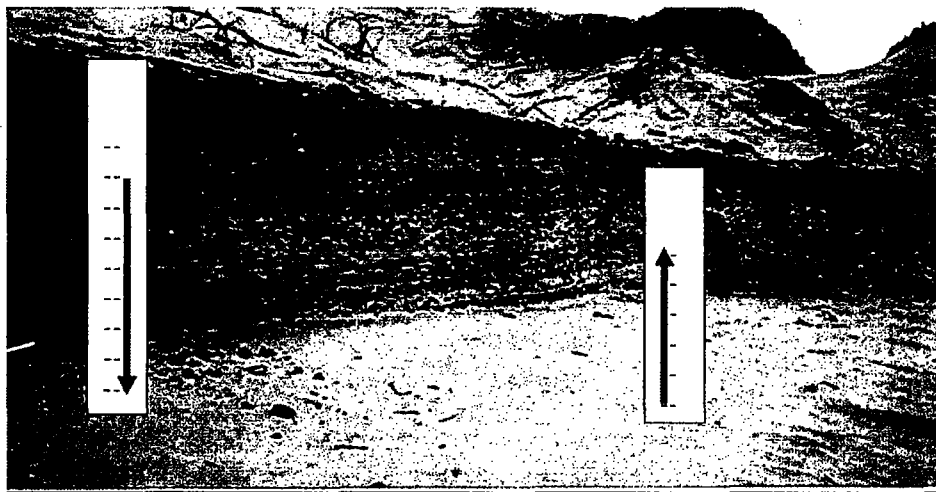


Fig. 3

The vertical drains connect the different layers in the beach and drain the beach. The water may move up or down inside the tubes depending on the water pressure in the beach and the swash zone.

Figure 6.9 SIC's explanation of trigger

Figure 6.9 illustrates one explanation given by SIC of the functioning of the drains in the presence of permeable layers.

As shown in figure 6.10, the presence of a horizontal-like permeable layer will in all cases improve the drainage of a beach, even without tubes installed. The requirement

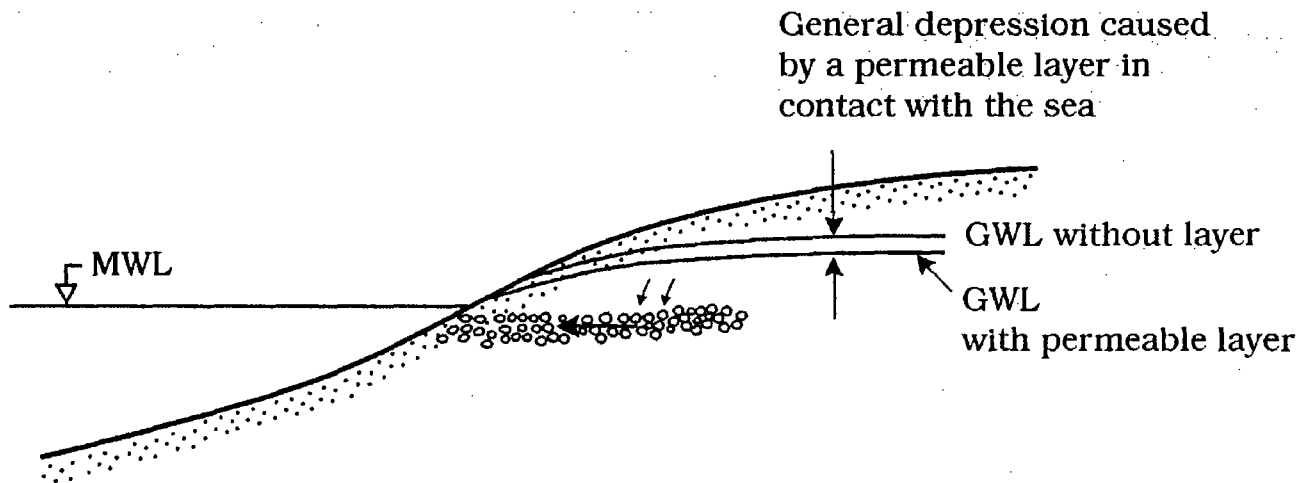


Figure 6.10: The presence of a sea-connected permeable layer will anyway improve the drainage of the beach.

will just be that the permeable layer will be sea-connected, so a low pressure can be established in the permeable layer. The layout in figure 6.10 is slightly different from the Japanese system shown in figure 6.4, because a sloping drain actually is not needed, just a pressure drop, which also can be created in a fully horizontal, but permeable layer.

Figure 6.11 shows the same situation as that in figure 6.10, but with a tube installed. Now

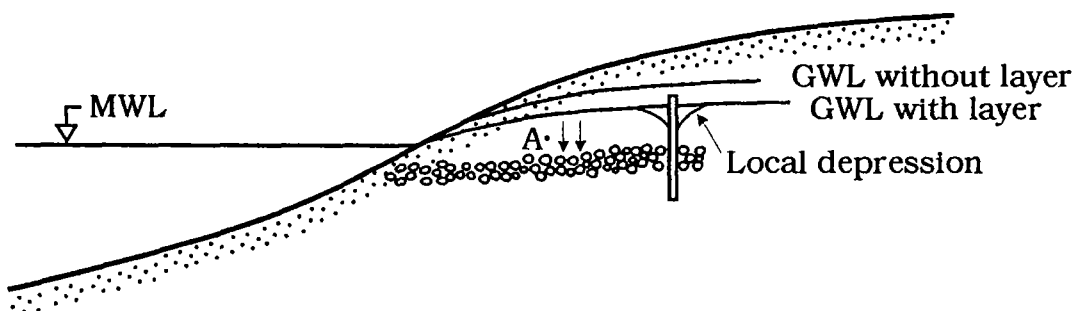


Figure 6.11: Tubes installed in a beach with sea-connected permeable layers will only have a local effect, because most of the water will go directly to the permeable layers.

next to the general lowering of GWL also a small local depression close to the tube is established. This depression can actually be expected to be larger in case of a permeable bed compared to the case of a homogeneous bed as explained in the following.

The presence of the permeable layer will anyway cause a general lowering of the water table, with or without tubes. Or, put in other words: it is easier for a water particle located far away from the tube (like in location A, figure 6.11) to move directly through the sand to the permeable layer, than to move from A to the tube (also through sand), and next further through the tube and the permeable layer to the sea.

Figure 6.12a-c illustrates this a little bit further: In figure a, we have a very permeable layer (like a PEM-tube) connected to the sea, and the drainage capacity is simply determined by the pressure drop ΔH equal to the difference in height between the actually GWL and the Sea Water Level.

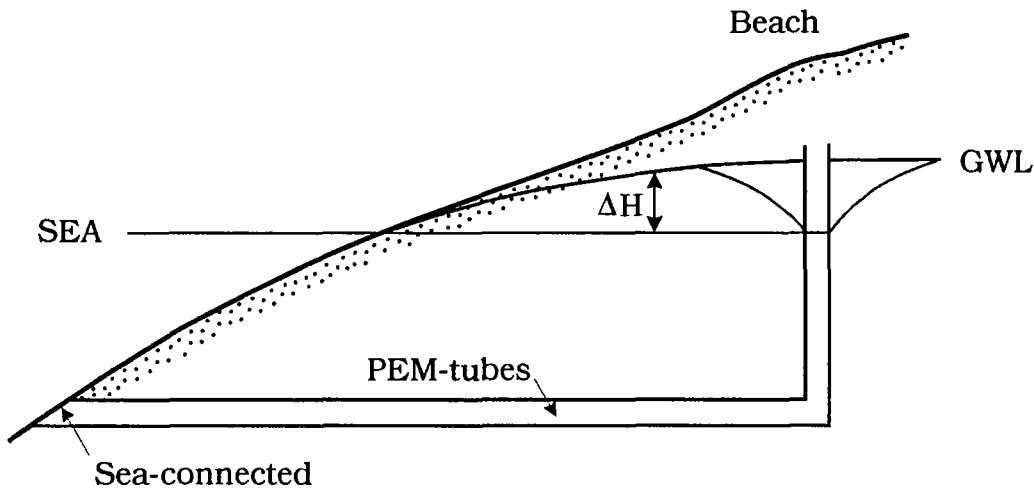


Figure 6.12a: An effective solution to drain the beach, if GWL is higher than Sea Water Level.

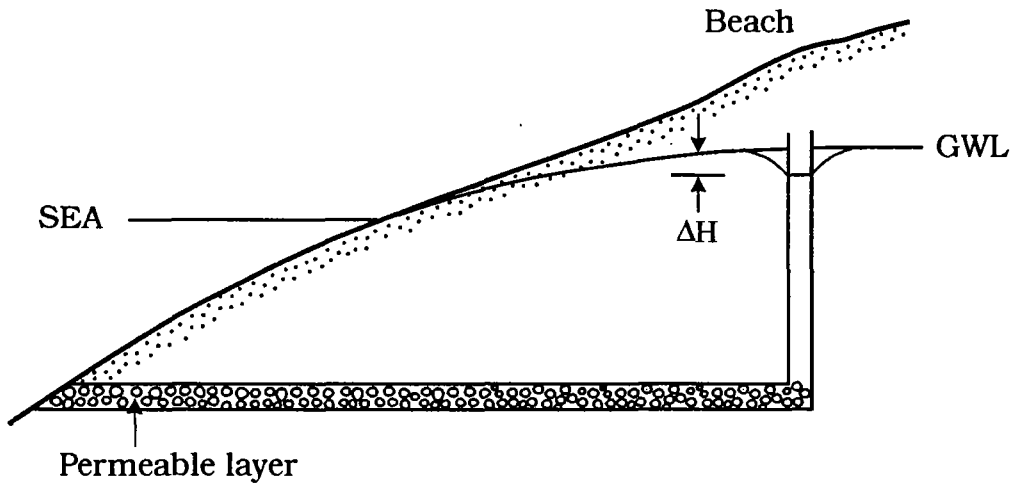


Figure 6.12b: the drainage capacity decreases if the sea –connection get a smaller permeability.

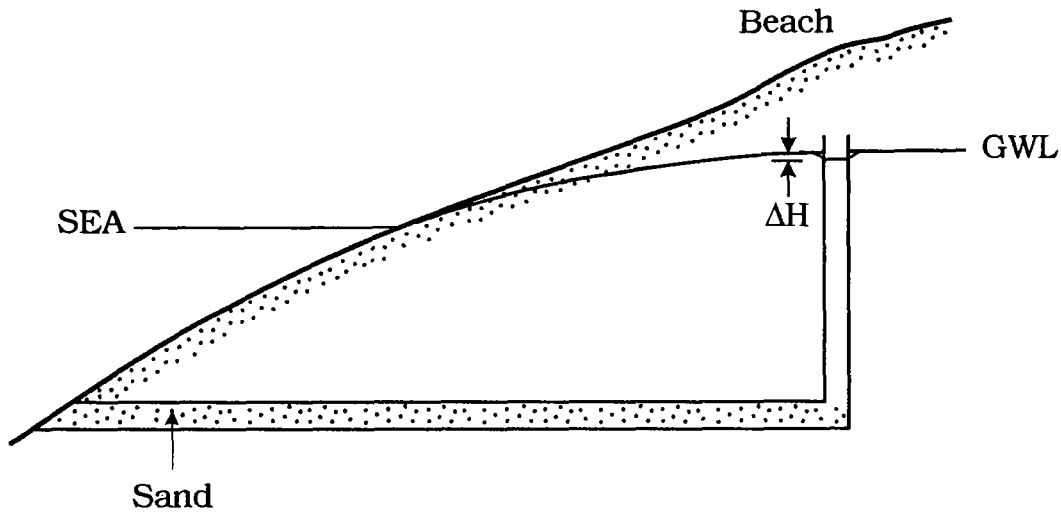


Figure 6.12c: in the case where the horizontal part of the drain simply consist of the same material as the original beach, the drainage effect disappear to be negligible.

In figure 6.12 b the highly permeable layer is replaced by a less permeable layer, but still more permeable than the surrounding sand. In this case there will be a certain energy loss through this layer, so ΔH becomes smaller because the water level in the tube must be higher in order to force the water through the permeable layer. In figure 6.12c the horizontal tube is filled with sand, and we are back to the situation shown in figure 6.8 with a very small local depression.

From the sketches in figure 6.12 it is realized that the drainage capacity strongly depends on the structure and permeability of the permeable layer.

If a permeable layer exists, it will be easier for the water limited within a circular cone around the tube as sketched in figure 6.13 to flow to the tube: The water confined within the dashed line will flow through the tube rather than directly to the permeable layer. This will certainly increase the impact radius, depending on the ratio k/k_p , where k is the permeability of sand, and k_p the permeability of the permeable layer.

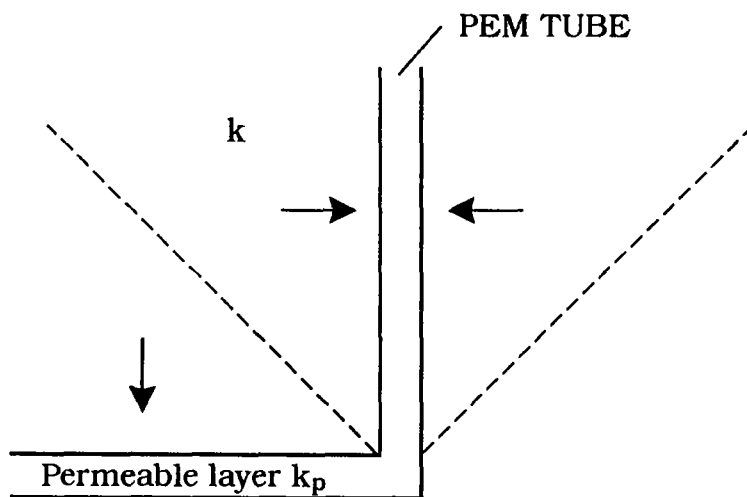


Figure 6.13: The water confined within the 45-degree cone will prefer to flow through the vertical tube if a sea-connected permeable layer exists.

Does permeable layers exists?

Permeable layers might be present in the beach, due to grain sorting by waves and wind. Figure 6.14 is a photo from the site, where layers of pebbles are present in isolated spots on the beach surface. One may ask what happens when these layers are covered by finer material? It is most likely that the voids in between the pebbles are filled with this sand from above, consequently the permeability of those layers will not be higher than that of the surrounding sand.



Figure 6.14: Layers of pebbles on the beach.

“Activation of Permeable layers”.

As seen from figure 6.14, the distribution of pebbles on the beach is quite “patchy” or 3-dimensional in its nature. So the situation as shown in figure 6.15a is a possibility: isolated layers of high-permeable layers (AB) may exist, which through the tubes can be connected to the sea through another high-permeable layer (CD).

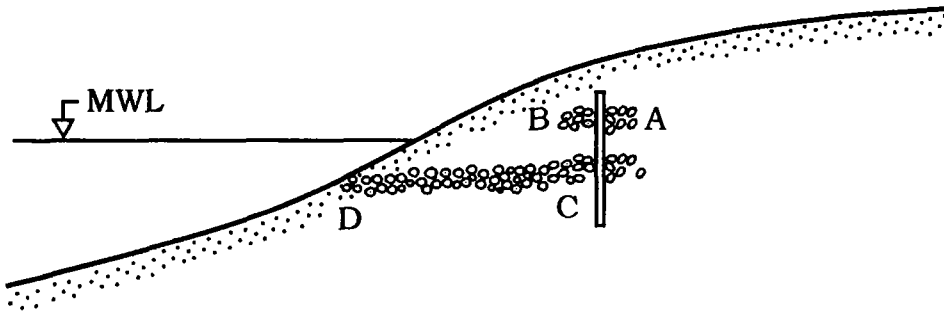


Figure 6.15a: The upper layer A-B will be drained better to the sea-connected layer CD by a vertical drain.

As sketched in the figure, the tubes can act as a vertical link in between the different permeable layers. At least it will mitigate the flow from A to C sketched in the figure, so there will be an improvement if this interconnection continues right to the sea, i.e. DC exists. If the interconnection does not exist, the flow through the tubes will still be very slow.

The row effect: it could be asked whether an interconnection between a number of tubes might improve the drainage as shown on the photo figure 6.9 and in figure 6.15b and c, where it is sketched how more permeable layers are activated. This is possible, but requires the high-permeable layers to be connected to the tubes, and further a connection from one of the tubes to the sea.

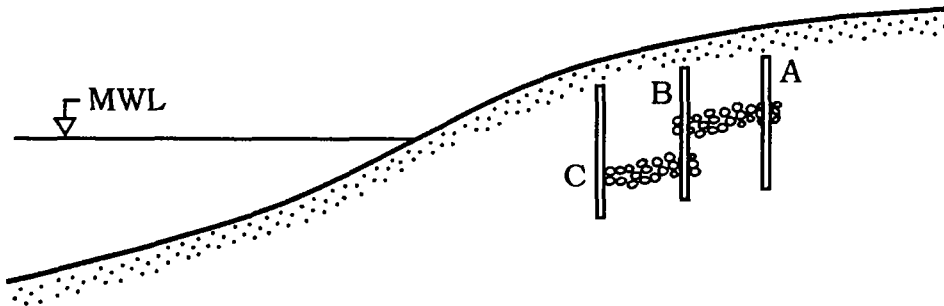


Fig 6.15b: A row of tubes can connect different permeable layers.

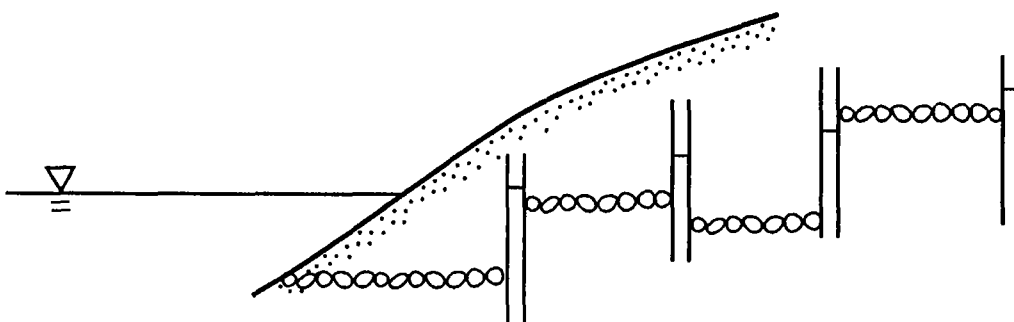


Figure 6.15c: To activate the different layers you need Sea-connection.

Will there be Sea-connection??

The situation with sea connection as sketched in figure 6.15a at point D may be possible. So the system may work, leading to deposition of sand. After this the Sea-connection has gone, the connection is blocked with the deposited sand, and the tube system stops functioning.

6.4. The in-homogeneous beach: Presence of impermeable layers.

Next we consider the presence of impermeable layers, formed by nearly horizontal layers of clay or other fines mixed with the sand.

Now the beach can't be drained as suggested in figure 6.7, because the impermeable layer with a nearly horizontal stratification prevents vertical motion. Instead the water entering the beach during high tide must be drained nearly horizontally to the sea. This will cause a higher average level of the groundwater in the beach as shown in figure 6.16.

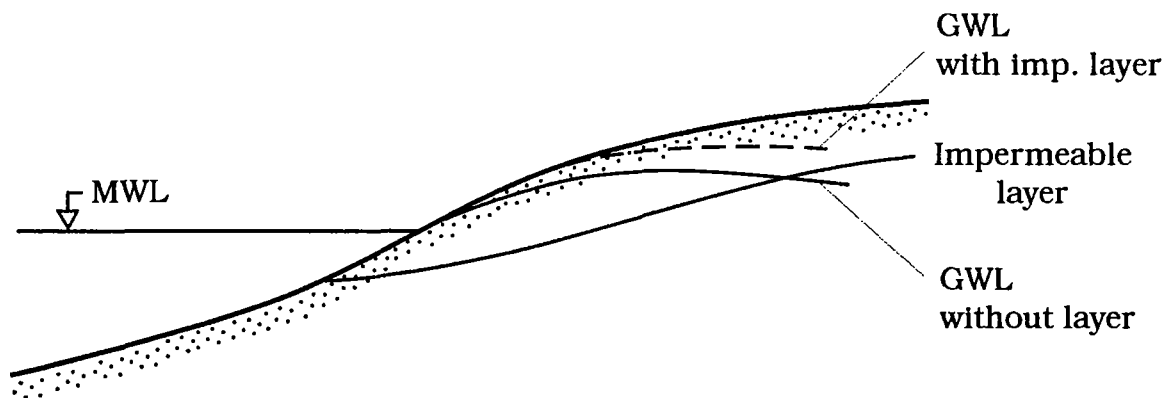


Fig 6.16: Impermeable layers will increase the ground water level in the beach during ebb flow because the flow will be more horizontally.

If a tube is installed, which penetrates the impermeable layer as shown in figure 6.17a, then the water can flow down through the tube if the pressure is lower below the impermeable layer than above.

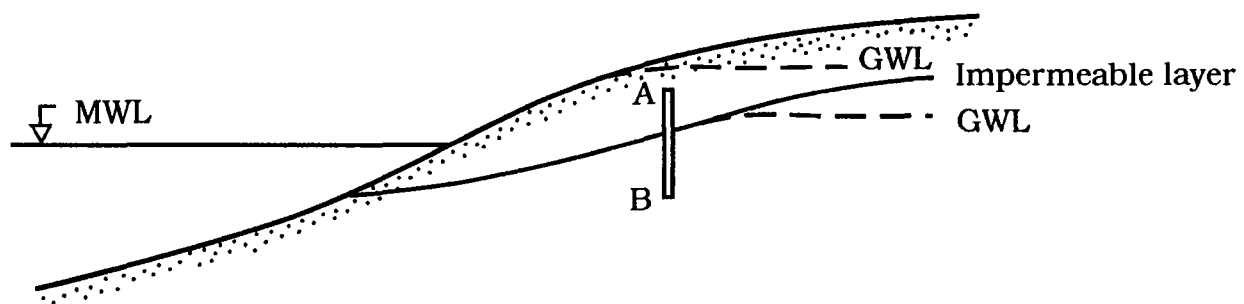


Figure 6.17a: The ground water level can be lowered if a tube penetrates the impermeable layer, and the pressure below this layer is lower than above the layer.

This will require that the extend of the impermeable layer along the coast is large, otherwise there will be a pressure-equilization through the sand outside the impermeable layer.

As sketched in figure 6.17a, the pressure below the impermeable layer is most likely to be lower than above. However, since the water flowing through the pipe still need to flow further from the end of the tube (B) to the Sea, it would be quite helpful for the drainage capacity if the flow below the impermeable layer enter a high-permeable layer as sketched in figure 6.17b. If not the drainage improvement will be insignificant.

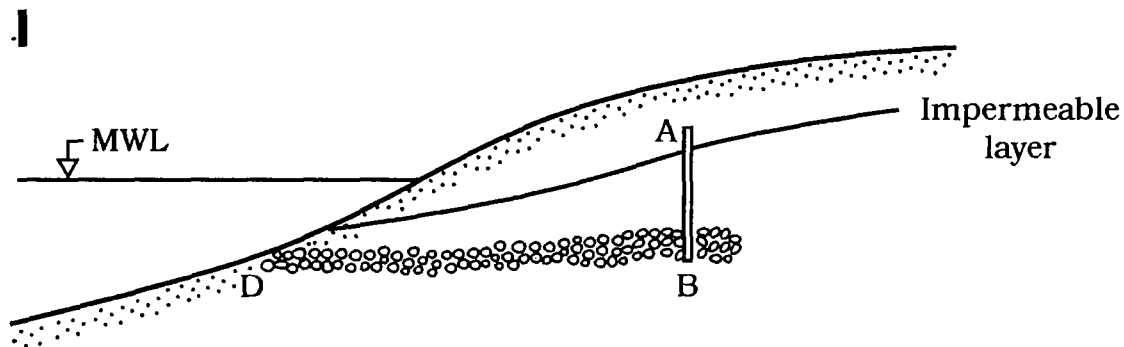


Figure 6.17b: a drain located in a Sea-connected high-permeable layer, and penetrating an impermeable layer above the permeable layer will improve the drainage above the impermeable layer. This will require a very special configuration in the beach.

6.5. Water supply from land.

One of SIC's major arguments for the functioning of the PEM-system is (or has been?) that it drains away the water running from land to the sea through the beach.

The arguments put forward above do not change significantly if the water inflow to the beach does not only originate from tide/storm surge, but also stems from out-flowing water from land. The major difference occurs in the case of the presence of impermeable layers, which in the case of a special configuration as sketched in figure 6.18 can lead to a higher pressure from below than above the impermeable layer. In this case the water will flow *up* through the tube, leading to more water in the beach (artesian pressure) So the most important thing which can be said about the inland water supply will be, that in this case you don't need tidal flow or storm surge to demonstrate any need for

draining the beach. One positive effect might be, that if an impermeable layer like that depicted in figure 6.18 exists, this will lead to a concentration of the flow of the fresh water below the impermeable layer. Here a drain might have a small positive effect by reducing this outflow concentration.

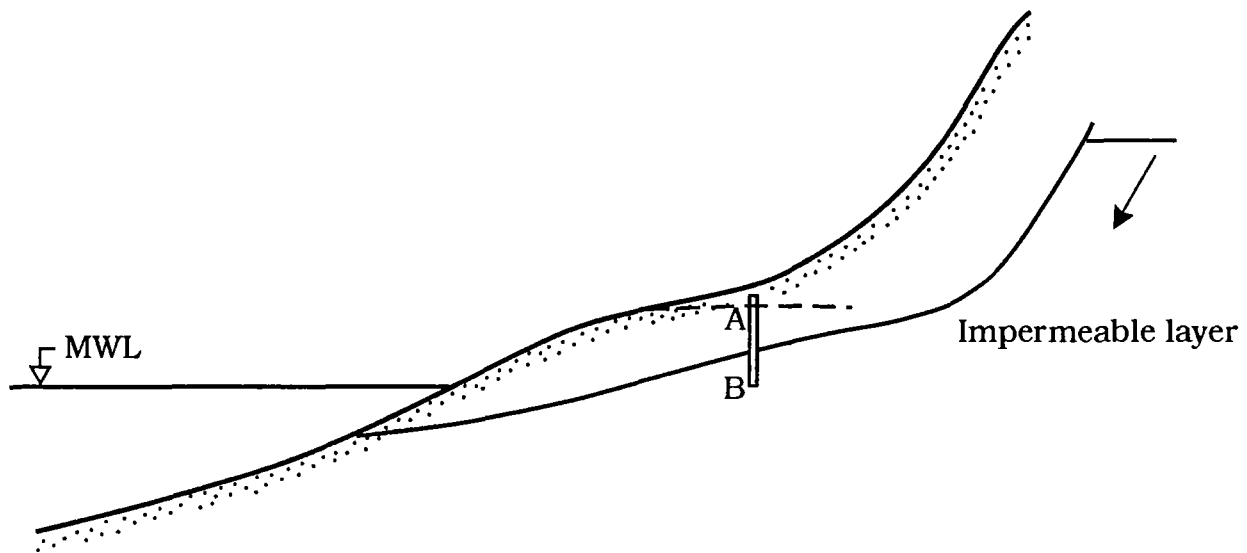


Figure 6.18: Supply of water from land will most probably flow *up* through the tubes (artesian pressure), and thereby make the beach more unstable.

6.6. Final remarks.

Finally here it must be mentioned that in the present test, the tubes only have slots in the lower half part of the tubes, while the upper part of the tube is impermeable. This means that you only have about one meter in height to make it possible to make a shortcut in between the high-permeable layers. Moreover in the case of impermeable layers, this must be located at the perforated part of the tube in order to function.

6.7 Field tests.

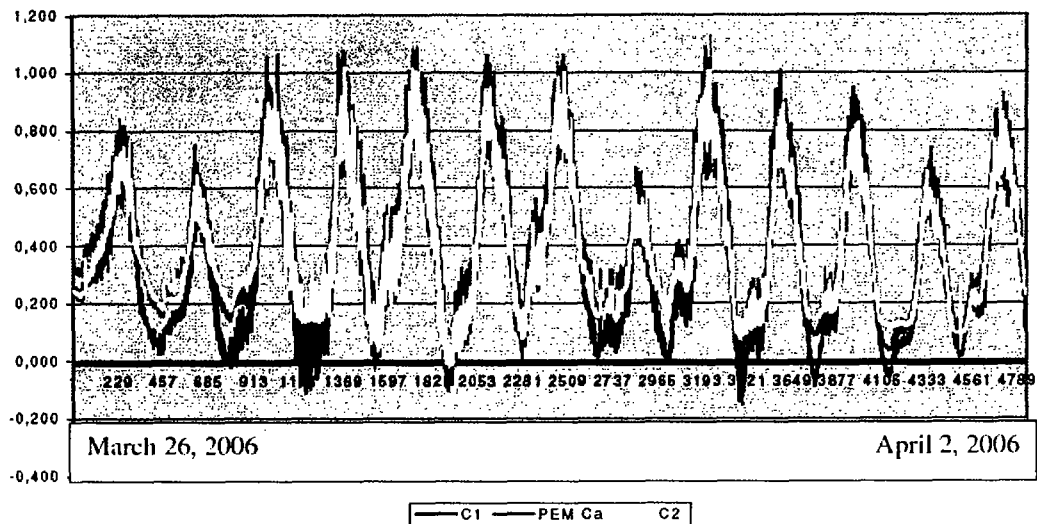


Figure 6.19: Example of Recording from the field test.

A field study just north of the test site was performed as part of this investigation to look at the pressure conditions in- and outside the tubes. The details and an analysis of these tests are given in appendix 3.

The idea behind the test was to measure the groundwater level variation in two lines perpendicular to the coastline in two different environment: in one week without the PEM-system installed, and in the following week with the PEM-system installed. Figure 6.19 shows an example of the pressure variation inside the tubes (pink, PEM) and outside the tubes (black: in between 2 PEM-tubes, C1 is 5 m nearer the Sea than the PEM-tube, the yellow tube C2 is located 5m further landward of the PEM-tube)..

First of all it is seen, that the waterlevel fluctuate partly due to the windwaves (high frequency fluctuations) but more clearly the level is seen to follow the tide. In the present case the tidal range is around 1m, and it is seen that the watertable variation is more or less the same at all three locations, so the flow does not seems to change radically near the tubes. This is certainly not in favour of having a lot of impermeable layers!

Taking a closer look of figure 6.19 it is further observed, that at high groundwater levels, the level is higher in- than outside the PEM-tube (up to 8-12 cm). This means that at high water levels, there is a flow into the tubes in the upper part of the tubes, and a corresponding outflow at the bottom of the tubes. This will improve the vertical drainage. This situation is considered in appendix 2, where the effect of a vertical pressure gradient is considered. Outside the tubes, the Darcy law determines the flow, while inside the tube the pressure is hydrostatic. For fine sand (0.10-.15 mm) it is demonstrated that the flow velocities might be 5-10 times as high as outside, but because the area of a tube is so small as compared to the area to be drained, the increase in drainage will be smaller than .1 per thousand, corresponding to a change in tidal range from 1.0000 m to 1.0001 meter.

Pressure Equalization Skodbjørge

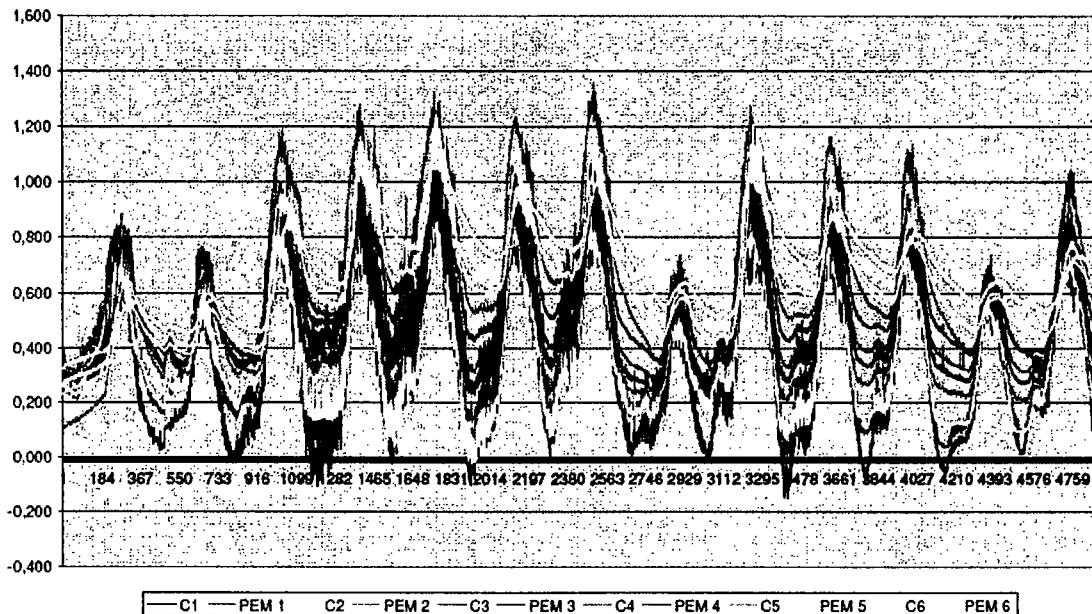


fig. 5

Based on the physical effects of the PEM tubes on the beach described above a separate test was made with water level sensors (Diver), to determine the effect of PEM on the water table in the beach. The test was carried out in the northern part of the Skodbjørge test area in control area I.

Figure 6.20: Time variation in the whole row of tubes and outside the tubes

Appendix 3 presents the gross-behaviour of the beach, i.e. the dampening of the tidal wave as function of the distance from the coastline as sketched in figure 6.11c.

There was a change in the mean Water Sea Level of 35 cm from the first week to the second, due to changes in the weather conditions. That means that the groundwater flow in the second week incorporated an additional 35 cm thick layer of the beach in its flow domain.

The analysis of the dampening shows that the dampening characteristics of the beach was the same before and after the implementation of the PEM-tubes, which demonstrates that the PEM-system has no significant drainage effect. The inclusion of the 35 cm layer of beach has not changed the characteristics as well, which demonstrates how uniform the composition of the beach actually is.

6.8: The near tube morphology.

It has been claimed by SIC, that due to drainage, accumulation will start to take place. An example provided by SIC is shown in figure 6.21, where a small salient is observed in the neighbourhood of some tubes. However it is just downdrift of other coastal structures (groins), so the morphological behaviour here is a little bit difficult to interpret.

We have observed no individual salients in front of each row in the present test. The coast line passes the individual rows without any local changes in width, and it has



The PEM modules create a groin that catches long shore sand transport.

Figure 6.21: Observed accumulation of sand in front of a row of tubes at Skagen.

been like that from the very beginning of the tests. It has puzzled us a lot, since this should be expected, - at least in the initial state.

SIC has suggested two explanations:

- There is an interaction between the initial salients which merge to one bigger coherent structure
- The increased flow velocity in the beach will remove the finer fractions and form “washed sand”. This washing will spread to all sand in the beach because of the down drift of the sand, so the tubes all the times has access to new sand.

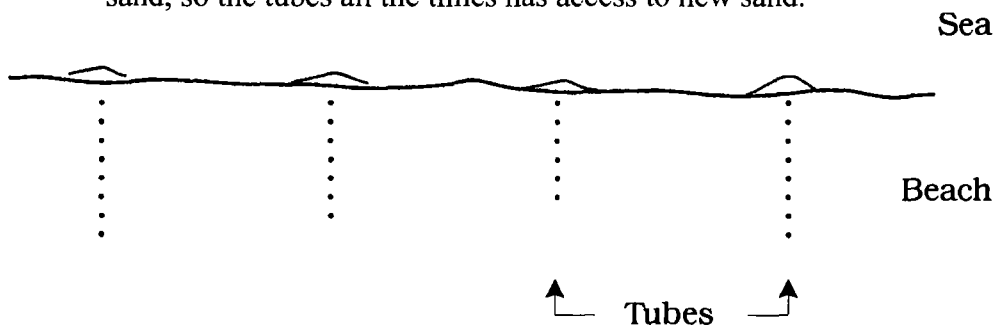


Figure 6.22: No individual salient are observed in front of the tubes just after installation.

If this is true it is still difficult to follow why it is so from the very beginning. The merging of the salient cannot occur before the individual salient has reached a certain size, maybe like the one shown in figure 6.21. And with regards to the washed sand, it certainly must take a long period of time (Years!) before all the fines have been washed away.

Also in Appendix 1, figure 2, an example is shown in which pumping provokes the drainage. In this case a very clear development of a local salient is seen, which demonstrates that such one actually should emerge if draining really took place.

7. Presentation of surveys

7.1 Preliminary evaluation of the accretion-erosion pattern in the beach and offshore

Now after two years, some considerations can be done regarding the behavior of the beach.

As described in the chapter 3, the idea behind the system is to improve the drainage and hereby get less erosion from the waves.

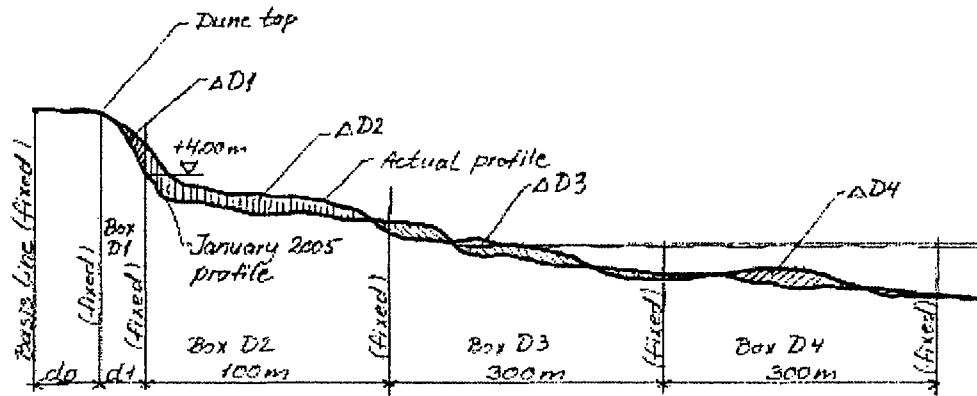
It must here be mentioned, that if the beach is more well drained, it will be drier, and thus more exposed to wind erosion. Eventually more sand will be accumulated in the upper part of the beach and in the dunes, so it can have a positive effect.

In this chapter we look at the erosion-deposition as measured since the experiment started in January 2005.

It was finally agreed to separate the profile in four fixed boxes and study the volume changes in these boxes. Moreover, it was decided to use parameters which makes it possible to follow the changes in positions of the dune foot and the coastline, and study the volume changes in dune and beach. For convenience the parameters used for the fixed box study are denoted D-parametres while the parameters used for the study of changes in the dune foot and coastline positions as well as dune and beach volume are denoted E-parametres. Both the D- and E-parametres are agreed upon in a project meeting.

Positions of the four fixed boxes of specific widths and fixed positions are related to the positions of the level +4.00m intersection with the first surveyed profile of January 2005, figure 7.1. The changes in sand volumes in each box $\Delta D1$, $\Delta D2$, $\Delta D3$ and $\Delta D4$, are calculated. Besides this is calculated the mean surface level denoted MBL in the 100m wide box as well as the changes in this level, Δ MBL. All measured values of D and MBL are included as an appendix after this section.

Professor Hans Burcharth wanted to follow both the changes in the position of the dune foot (dunes are the natural protection against violent storm erosion) as well as the changes in the coastline portion and dune and beach volumes. As the D-parametres do not provide this information it was necessary to supplement with additional parameters, here named E-parametres. The more detailed comments on beach changes are based on the E-parametres, and this is presented in section 3 of this chapter. Since SIC and also one of the consultants feel most familiar with a fixed system of reference, section 2 of this chapter is a very short description of what can be said about the beach behaviour based on the D-profiles. There are some overlap in between section 2 and 3, each section been made by the individual consultant. This only demonstrates the agreements in the evaluation in between the two experts.



Volume changes ΔD within each box are calculated positive in case of accretion and negative in case of erosion.

The mean surface level in Box D2 is denoted MBL. The changes in MBL from January 2005 is denoted ΔMBL .

Fig 7.1: Definition of D-parameters.

7.2: Changes in the beach-box (100 m box D2) based on the D-parameters.

The profiles are described in figure 7.1. In section 3 the total figures on volumetric changes for the all individual reaches are given, so tables 7.1-7.3, which are based on the measurements provided in appendix 4, instead provides figures on what have happened per unit length in the separate section with and without tubes ("rør") along the coast.

	Reference 1	Rør 1	Reference 2	Rør 2	Reference 3
Beach-box	1.25	45	-22	140	77
Offshore-box	-31	26	2.2	34	12

Table 7.1: Deposition(+) or erosion (-) in cbm/m from January 2005 till January 2006.

	Reference 1	Rør 1	Reference 2	Rør 2	Reference 3
Beach-box	-49	-34	-80	-93	32
Offshore-box	72	-21	55	9	23

Table 7.2: Deposition (+) or erosion (-) in cbm/m from January 2006 till January 2007.

	Reference 1	Rør 1	Reference 2	Rør 2	Reference 3
Beach-box	-48	11	-102	47	104

Offshore-box	41	5	57	43	35
--------------	----	---	----	----	----

Table 7.3: Deposition (+) or erosion (-) in cbm/m from January 2005 till January 2007.

Since the “beach-box” actually covers everything from the dune foot and 100-meter seawards (see fig 7.1), the average change in “beach-box”-height is found from the data in the row “beach-box” by dividing by 100 m.

7.3 . Method of presentation of surveys based on E-parametres

The E-parameters shown in Fig. 7.2 separates the beach profile in three parts: The dune defined by levels higher than the dune foot at level +4.00m, the beach defined by levels between +4.00m and 0.00m (coastline), and the foreshore which is the zone from the coastline to a line in the sea 400m from the dune foot in January 2005.

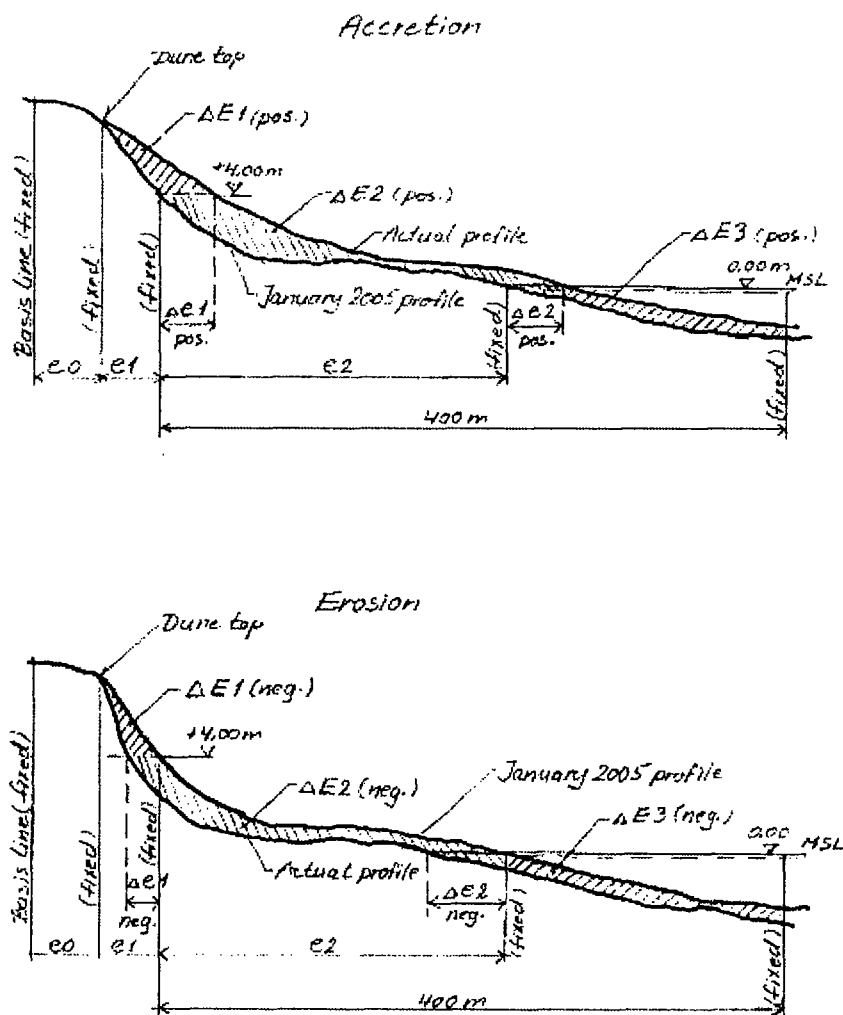


Figure 7.2 Definition of E-parametres

The changes in the position of the dune foot, Δe_1 , and the changes in the position of the coastline, $(\Delta e_1 + \Delta e_2)$, are identified as well as the changes in the dune volume, ΔE_1 , and the beach volume, ΔE_2 . Moreover, the changes in volume of the foreshore, ΔE_3 , is calculated as $\Delta D_1 + \Delta D_2 + \Delta D_3 - \Delta E_1 - \Delta E_2$.

Because the dunes over level +4.00 m were not fully surveyed in January 2007 it has not been possible to estimate ΔE_1 with high accuracy, as extrapolation has to be made between the highest measured point and the January 2005 measured top of the dune front face. As a consequence Δ MBL is not so well defined. However, the bias introduced by this omission is not very significant and does not change to picture of the development of the coastal profile.

Results of surveys January 2005 – January 2007

7.3.1. Changes in dune foot positions

Seaward changes in dune foot positions are due to transport of sand by the wind from the beach plane to the dunes.

The changes in the dune foot position (defined at level +4.00m) are shown in Fig. 7.3. A shoreward movement is observed for all stretches after the first year. Between October 2006 and January 2007 a considerable retreat of the dune foot took place in Ref. I and Ref. II and in the boundaries of Rør I. In the middle of Rør I and in the entire Rør II there was shoreward movement of the dune foot.

7.3.2 Changes in coastline positions

The evolution in coast line position calculated as the changes in e_2 , i.e. Δe_2 observed in the two-year period is shown in Fig. 7.4.

Very large changes are observed in some stations. For example in Rør I a total shift in some lines are app. 80m. After the two-years period there are consistent coastline retreat in Ref. II and retreat in a large part of Rør I. Ref. I and Rør II show both retreat and seaward growth. More consistent seaward growth is seen in Ref. III. In conclusion there is not a clear correlation between movements in coastline position and positions of drains.

The initial beach width e_2 as surveyed January 2005 is shown in Fig. 7.5 together with the beach width $e_2 + \Delta e_2$ in April 2005.

Fig. 7.6 shows the beach width in October 2006 and January 2007. From these two figures it is seen that the variation in beach width along the test site is more or less maintained from the initial survey in January 2005 until October 2006. Only hereafter there has been a change resulting in a more even beach width distribution along the site, but still with the more narrow beaches in parts of Ref. I and Ref. II although limited stretches of narrow beach also exist in Rør I and Ref. III.

7.3.3 Changes in dune and beach volumes

The approximate changes in dune volumes ΔE_1 are shown in Fig. 7.7. After one year there was accumulation in all stations with few exceptions. In the April 2006 survey was seen very large accumulations in the northern part of Rør I and southern boundary of Ref. I. Erosion was only seen in two stations in Rør I and one in Ref. I. After two years the large accumulations were still in the same locations, but erosion was seen in some stations within all five stretches, most severely in Ref. II.

Fig. 7.8 and 7.9 show the changes in beach volume. The first survey in April 2005 showed mainly accretion in Rør I, Rør II and Ref. III. Dominant erosion was seen in Ref. I and Ref. II, but also in the northern part of Rør I. By April 2006 the picture was very different in that deposition was in the middle of Rør I and Rør II and most pronounced in Ref. III, whereas almost no changes from the initial situation in January 2005 were seen in Ref. I and Ref. II. By July 2006 erosion had again taken place in a part of Ref. I and in Ref. II. Fig. 7.10 shows the further development in which the October 2006 situation corresponds closely to the April 2006 situation, but by January 2007 we see a picture of significant erosion in the southern part of Ref. I, in the northern part of Rør I, and in Ref. II. A large deposition in Ref. III is also noted.

Fig. 7.11 shows the total changes in dune + beach volumes, i.e. $\Delta E_1 + \Delta E_2$. By April 2005 there was significant accumulation in most of Rør I, Rør II and Ref. III, but more pronounced erosion in parts of Ref. I and Ref. II. This picture is more or less maintained in the later surveys and is also seen in the July 2006 survey. The only exception is that very pronounced deposition took place in Ref. III. The survey in January 2007 revealed that over the two-years period erosion took place in a part of Ref. I and in Ref. II, while in Rør I and Rør II a more variable picture of erosion/deposition (mainly deposition) is seen. Moreover, a very significant deposition took place in Ref. III.

Table 7.4 shows the approximate volume changes averaged over each of the five stretches. It should be noted that averaging over a stretch is a significant simplification because large variations occur within each of the stretches.

Table 7.4. Approximate average dune plus beach volume changes ($\Delta E_1 + \Delta E_2$) from January 2005 to January 2006 and January 2007. Positive values are deposition.

Stretch	m ³ /m coastline		Total m ³ over stretch	
	Jan 05-Jan 06	Jan 05-Jan 07	Jan 05-Jan 06	Jan 05-Jan 07
Ref. I	1	-0.2	2.578	-427
Rør I	44	0.1	205.998	494
Ref. II	-23	-101	-41.543	-171.580
Rør II	126	44	113.793	436.300
Ref. III	80	115	143.317	207.160

For the two years period Jan 05 – Jan 07 it is seen that significant net deposition has taken place in Rør II, but mainly in Ref. III whereas both erosion and deposition - almost equalizing each other - have taken place in Ref. I. and Rør I. Ref. II shows a significant erosion. The net increase in beach and dune volumes over the total length of the test site amounts to app. 1.100 m³ in total.

From Table 7.4 it is also seen that for the first year period Jan 05 – Jan 06 the deposition were larger and the erosion smaller. This is because the first-year period was relative quiet with no significant storms. In the second year however, four storms occurred, three of which took place in January 2007.

7.3.4 Dune, beach and nearshore volume

The changes in volume of the near shore zone as defined in Fig. 7.2 (calculated as $\Delta D1 + \Delta D2 + \Delta D3 - \Delta E1 - \Delta E2$) are shown in Fig. 7.6. As expected for this very dynamic zone there are many shifts between deposition and erosion along the test site and no correlation with drained and non-drained stretches. The only persistent configuration is a deposition in Rør I app. 1 km South of the northern border, seen in all the surveys.

7.3.5 Changes in mean level of a 100 m wide beach zone measured from position of level +4.00 m in the January 2005 profile

The initial values of MBL, in January 2005, shown in the top diagram of Fig. 7.7, are not evenly distributed over the test area. Large values of $MBL \geq 2.0$ m existed only in Ref. II near the border to Rør II. Values larger or equal to 1.5m were present mainly in Rør I and Ref. II. It is important to notice the extremely low MBL value of app. zero at the border between Rør I and Ref. II, as this “hole” is more or less maintained in the two years period as seen in Figs. 7.7 and 7.8. Thus this initial weakness of the beach was never repaired although accumulation took place until October 2005 in the southern part of Ref. II.

The initial “hole” in the northern part of Ref. III was repaired as significant accumulation took place in Ref. III. The changes in MBL, i.e. ΔMBL , are shown in Figs. 7.9 and 7.10. It is seen that after the two years the MBL increased mainly in the northern part of Ref. III and the southern part of Rør II as well as in the middle part of Rør I and northern part of Ref. I. Lowering of the MBL took part mainly in Ref. II and northern part of Rør I and southern part of Ref. I.

7.3.6. Influence of the bar nourishment on the morphological changes in the test area.

With the data in hand it is not possible to analyze the influence of the bar nourishment on the beach development in the test area. Only it can be said that the dumped sand will be transported mainly towards South. The uncertainty it causes for the analysis of the effect of the drains has been known and discussed from the stage of selection of the tests site, cf. §2.1.

7.3.7. Summary of observations including impacts of the storms

In the period January 2005 to January 2006 no significant changes have taken place in the beach planform as the coastline undulations have more or less maintained their positions except that in the southern part of Rør II and the northern part of Ref. III the coastline has significantly moved seaward and there seems to be a tendency that the undulations are moving southwards. It can be

observed that significant accumulation of sand has taken place within the two areas with drains, Rør I and Rør II, i.e. the beach level has been raised. The same or even stronger development is however observed in Ref. III with no drains, whereas Ref. I also with no drains exhibit both erosion and accretion. Ref. II generally shows erosion.

This observed development took place in the first year period with no severe storms and extreme high water levels after the very severe storm around 8 January 2005. At that occasion large quantities of sand was probably eroded from the beach. Usually part of this sand will be transported back to the beach in periods with milder wave climate, normally occurring in the spring and the summer. Also sand nourishment might contribute to the accretion of the beach. Actually, the migration pattern of the nourishment sand is not clear, it may go on-, off- or long-shore. However, twice as much sand was nourished as what was accumulated on the beach in the one-year period.

The second year was quiet with no storms until the occurrence of a moderate storm in October 2006 and three more severe storms in January 2007. Until the occurrence of these storms there was no significant changes shown in the beach morphology compared to the end of the first year. In order to investigate the effect of the storms are shown in Figs. 7.6 the conditions/strength in July 2006 of the stretches given by the beach width e_2 , and the mean level MBL of the 100 m width of beach, together with the erosion of dune and beach ($E\Delta_1 + E\Delta_2$) between July 2006 and January 2007 (just after the storms).

From Fig. 7.6 it is seen that severer erosion (say $\geq 90 \text{ m}^3/\text{m}$) took place over limited distances in all stretches. It is also seen that - as expected - there is a correlation between low strength of beach (low values of e_2 and MBL) and larger erosion, but this correlation is not very strong. This points to fact that also other conditions than beach strength influence the erosion in storms. The most likely factor is the nearshore bar formation, as explained in §3.2. The difficulty in dealing quantitatively with the effect of the bars is not only related to lacking information in more quiet periods but indeed to the rapid changes in bar topography during storms.

In order to see if there is correlation between beach erosion and nearshore deposition (assumes that the sediment transport is only in the cross-shore direction which - for sure - is not the case) are depicted in Figs. 7.7 and 7.8 the values of the changes in the box volumes (ΔD_1 , ΔD_2 , ΔD_3 and ΔD_4) averaged over each stretch. The boxes cover beach and sea to a distance of 700m from the foot of the dune, cf. Fig. 7.1. It seems that there is no stringent correlation as expected. Table 7.5 shows the total volume changes in the boxes at different times for each stretch. Although it should not be taken as a good measure of performance it is seen that Ref. III, Ref. I and Rør I have the best performance and Ref. II and Rør II the worst.

Table 7.5. Total volume changes in Boxes 1, 2, 3 and 4 in m^3 .

Period from Jan 05 to	Ref. III	Rør II	Ref. II	Rør I	Ref. I
Apr 05	26	21	16	23	65
Jul. 05	60	67	25	39	35
Oct. 05	86	157	8	37	16
Jan. 06	92	137	-68	34	47
Jul. 06	128	54	-31	41	87
Jan. 07	192	-43	-141	39	102

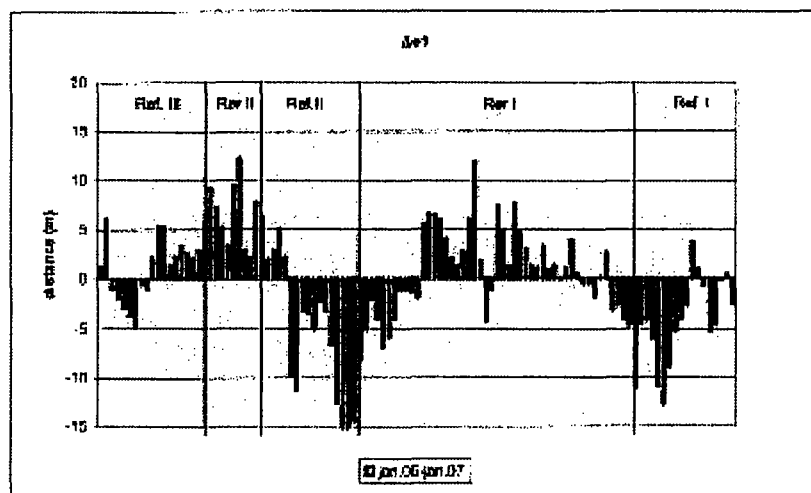
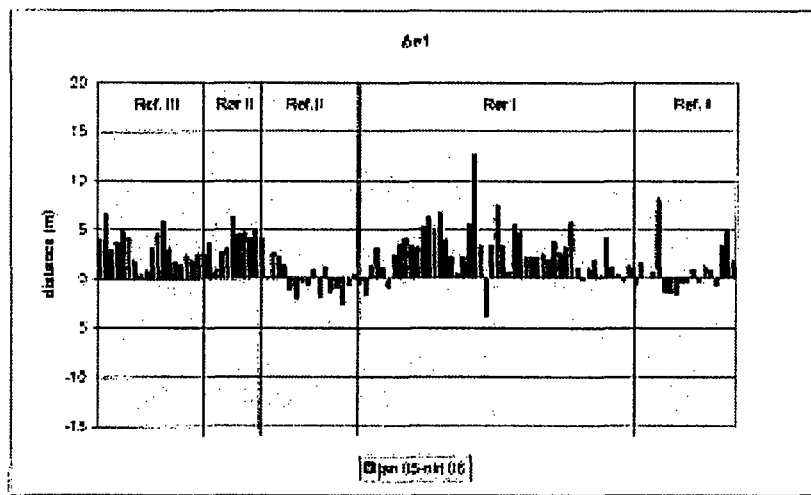
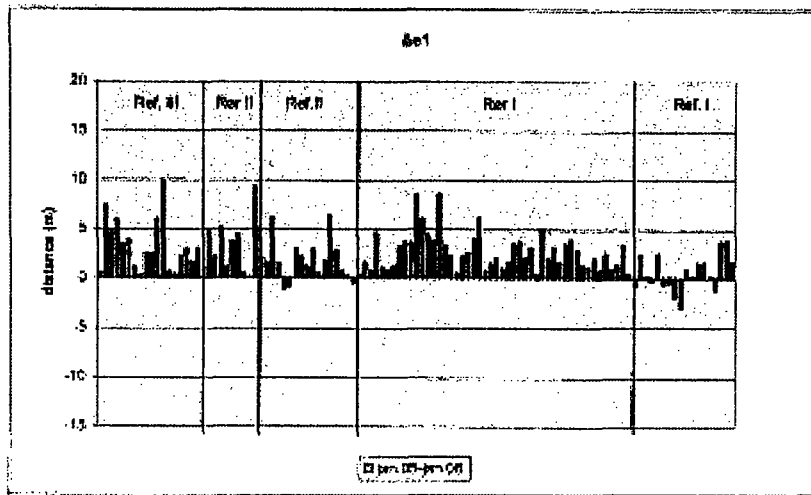


Fig. 6. Changes in dune foot position

Figure 7.3. Changes in dune foot position

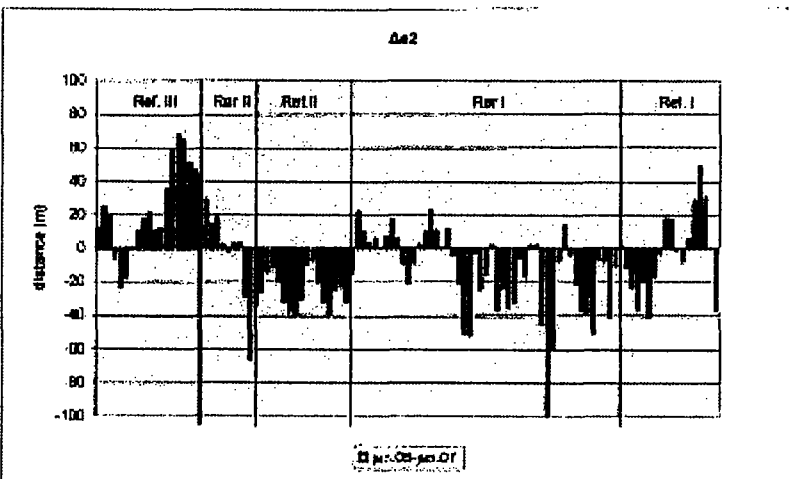
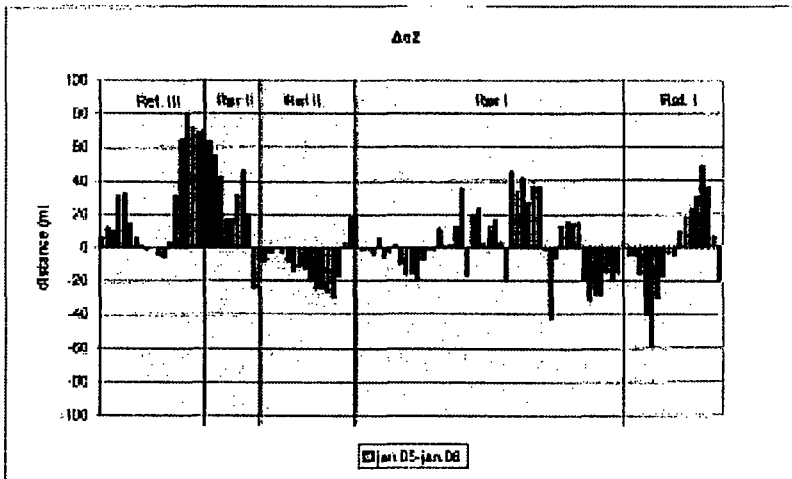
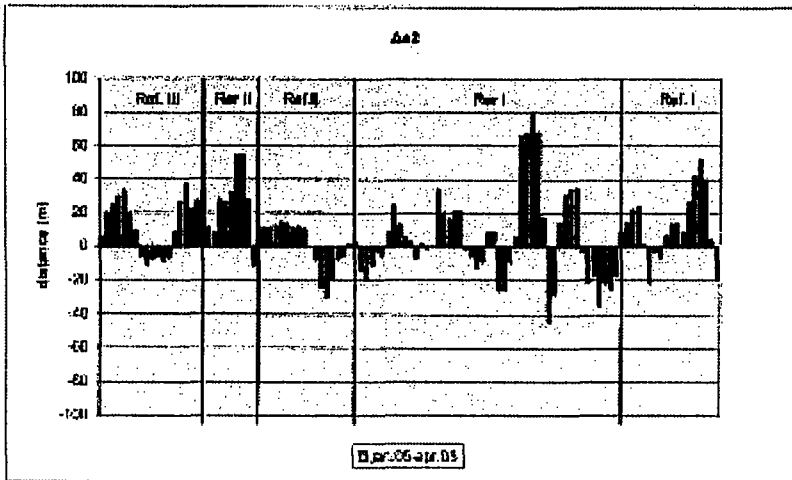


Fig. 7. Changes in position of shore line (level 0.00m)

Figure 7.4 Changes in position of shore line (level 0.00m)

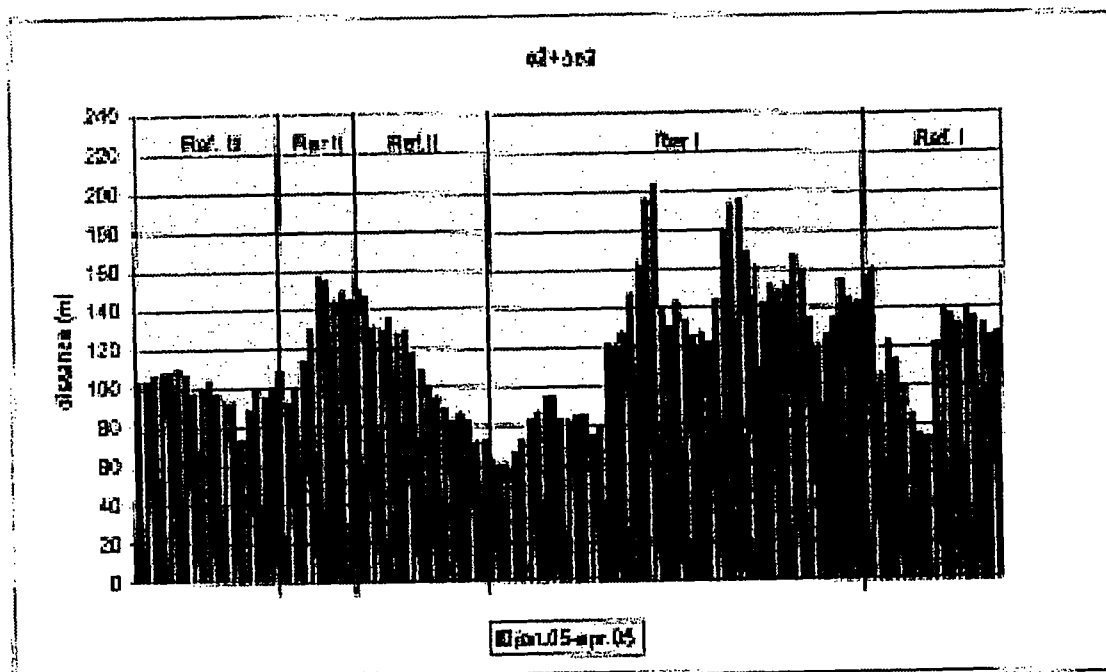
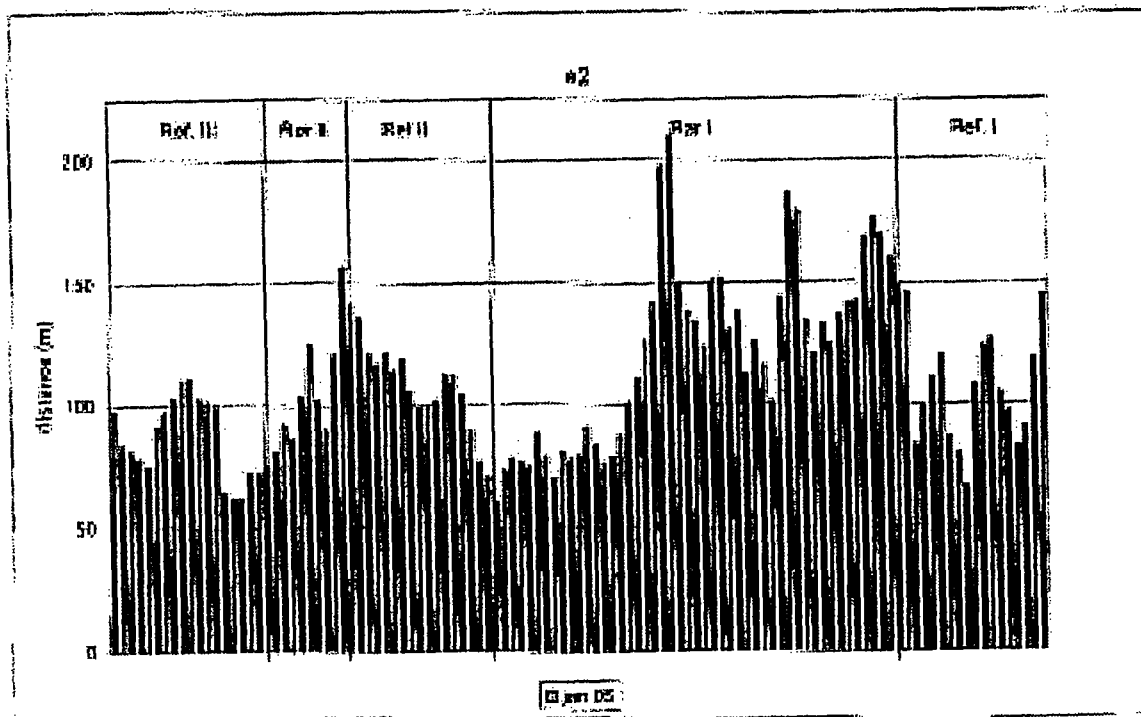


Fig. 8. Beach widths January 2005 and April 2005.

Figure 7.5. Beach widths January 2005 and April 2005

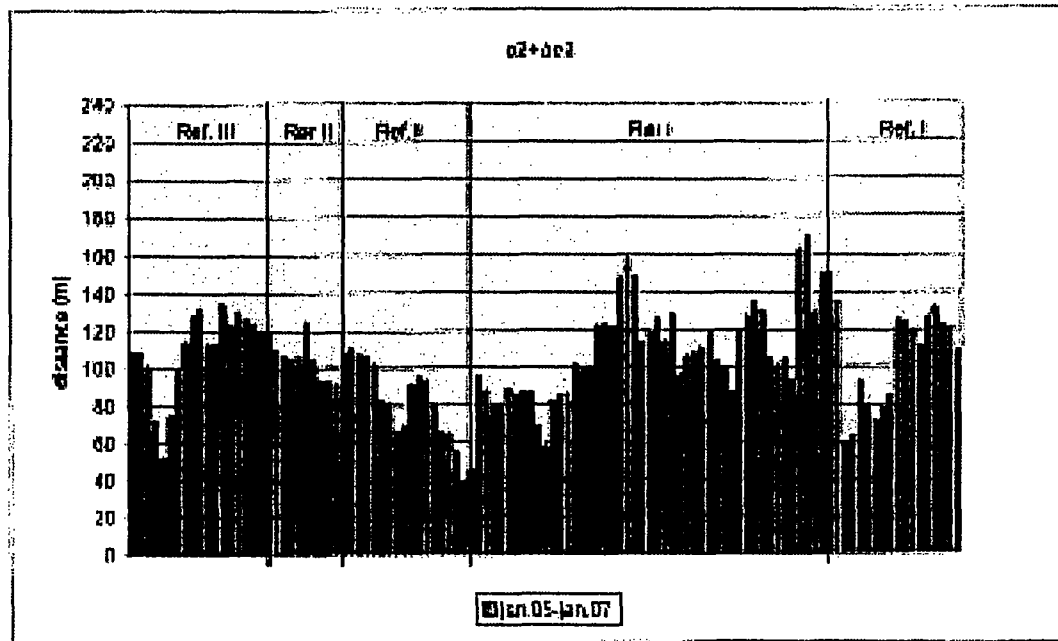
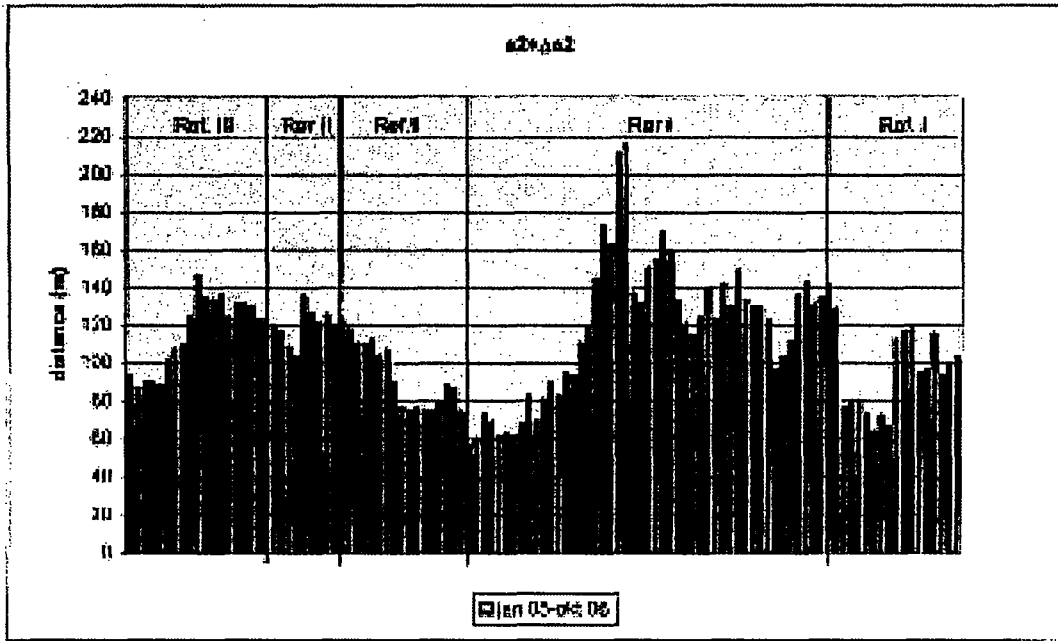


Fig. 9. Beach widths October 2006 and January 2007
 Figure 7.6. Beach widths October 2006 and January 2007

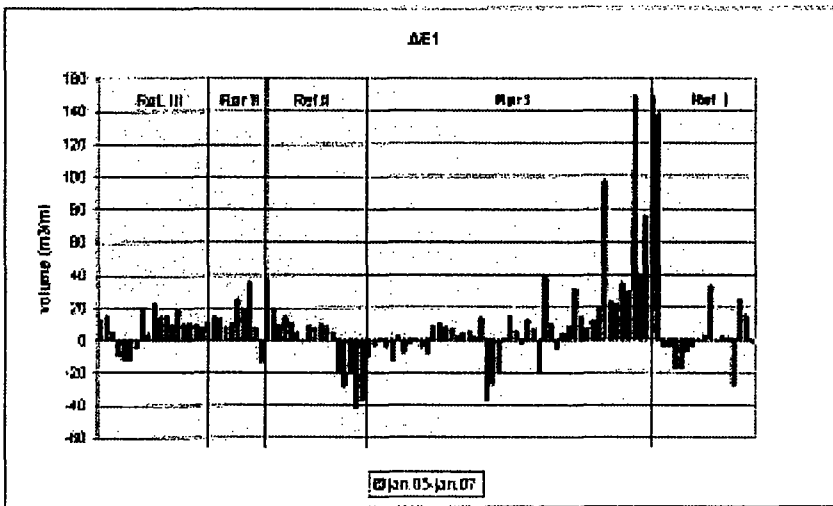
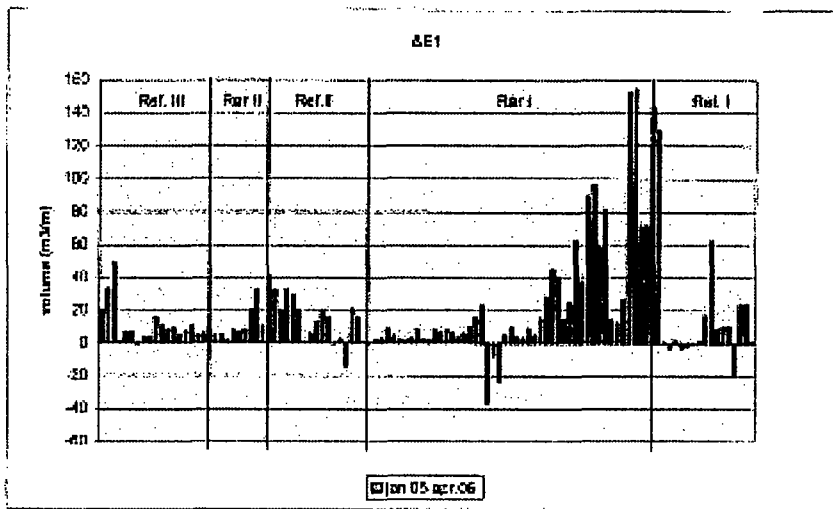
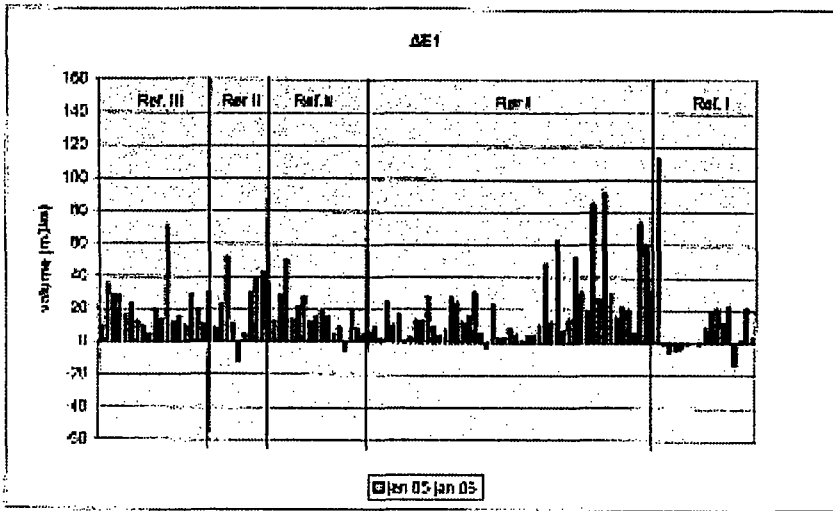
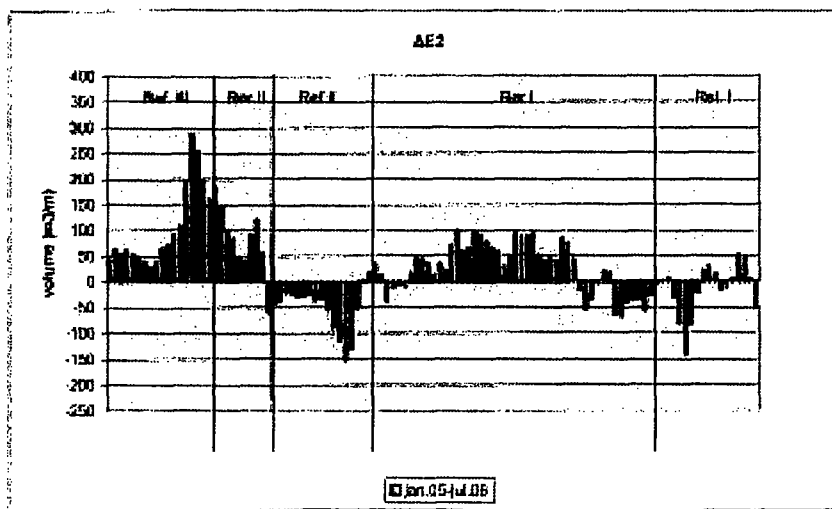
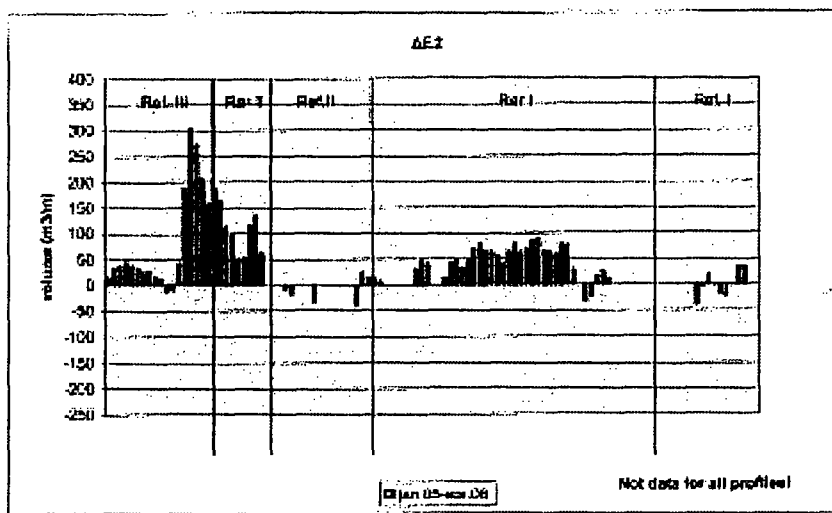
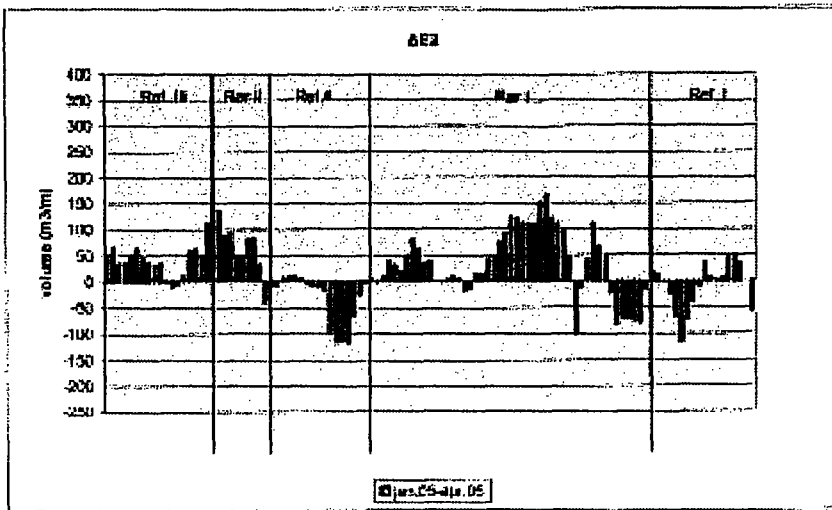


Fig. 10. Changes in dune volumes

Figure 15 Changes in dune volumes



Changes in beach volume from January 2005 to April 2005, April 2006 and July 2006.

Figure 7.7. Changes in beach volume from January 2005 to April 2005, April 2006 and July 2006

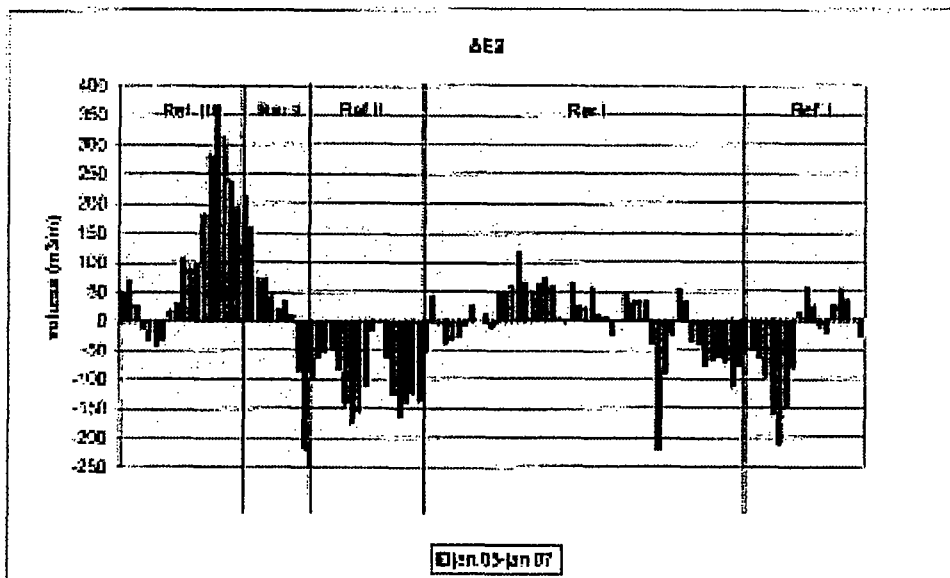
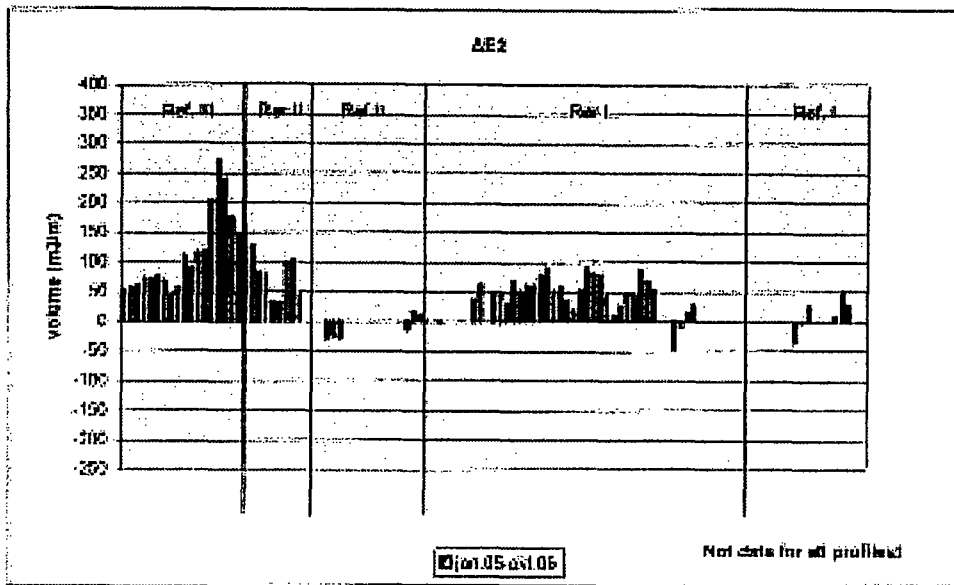


Fig. 12. Changes in beach volume from January 2005 to October 2006 and January 2007.

Figure 7.8 Changes in beach volume from January 2005 to October 2006 and January 2007.

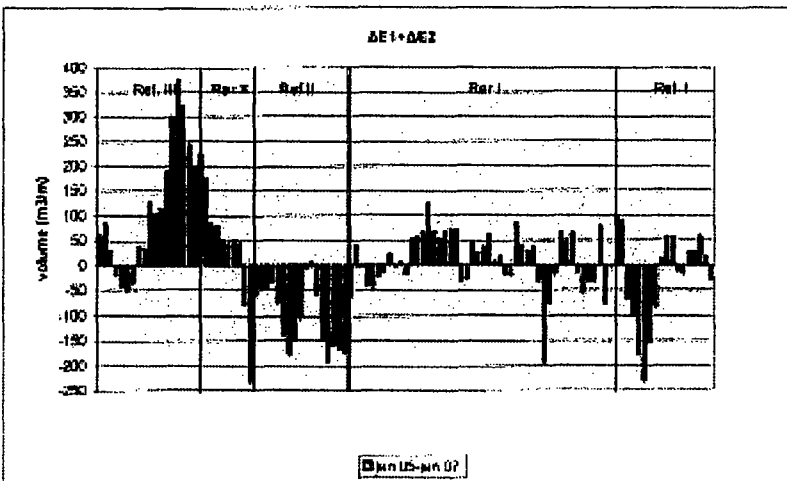
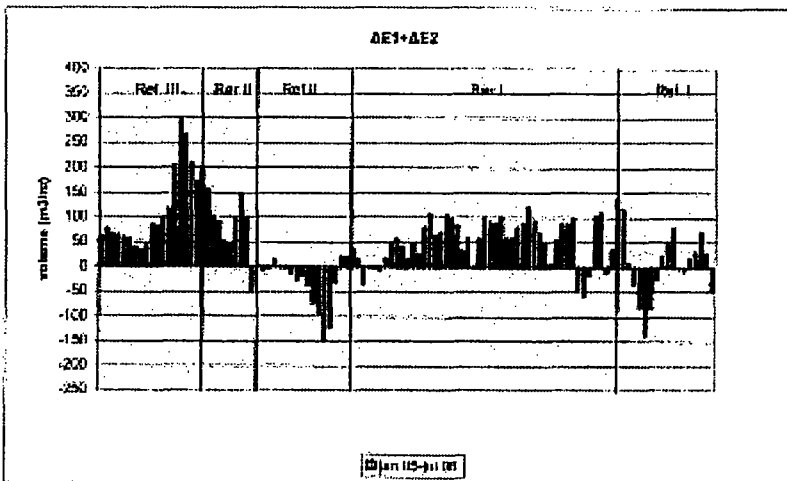
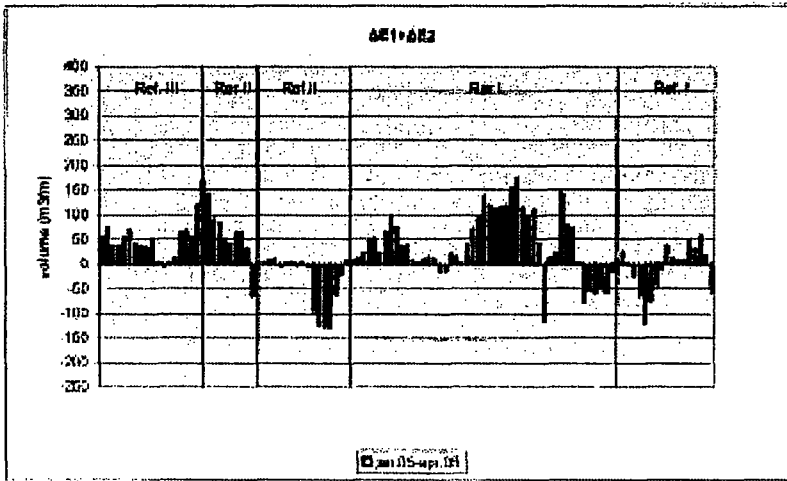


Fig. 13. Changes in total volumes of dune plus beach.

Figure 7.9 Changes in total volumes of dune plus beach.

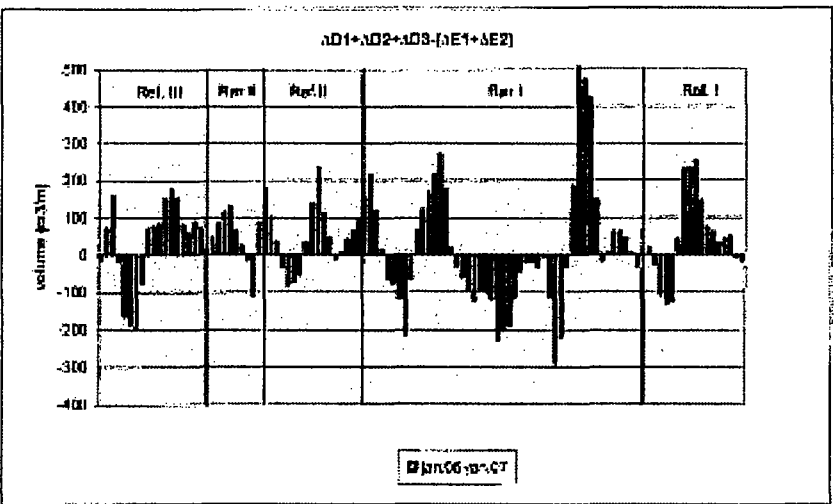
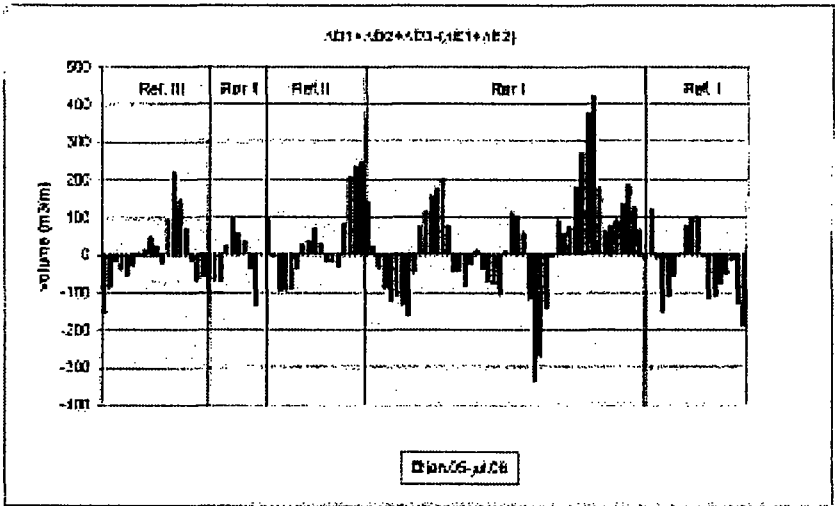
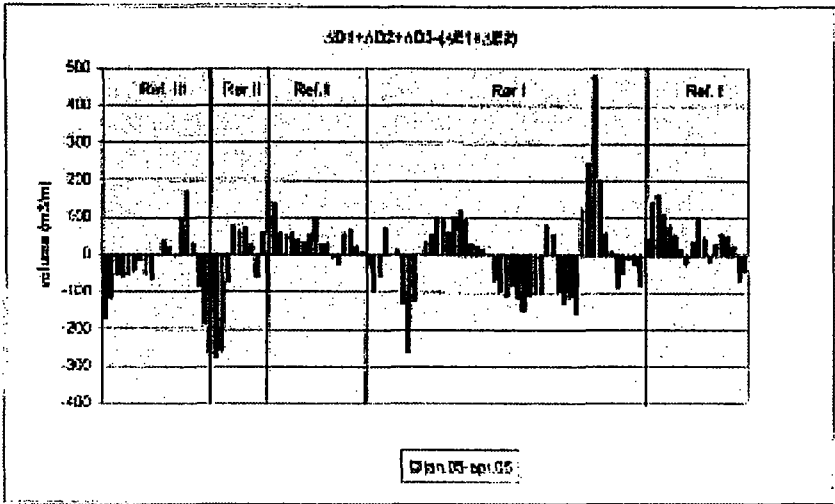


Fig. 14. Changes in volume of the near shore zone.

Figure 7.10 Changes in volume of the near shore Zone.

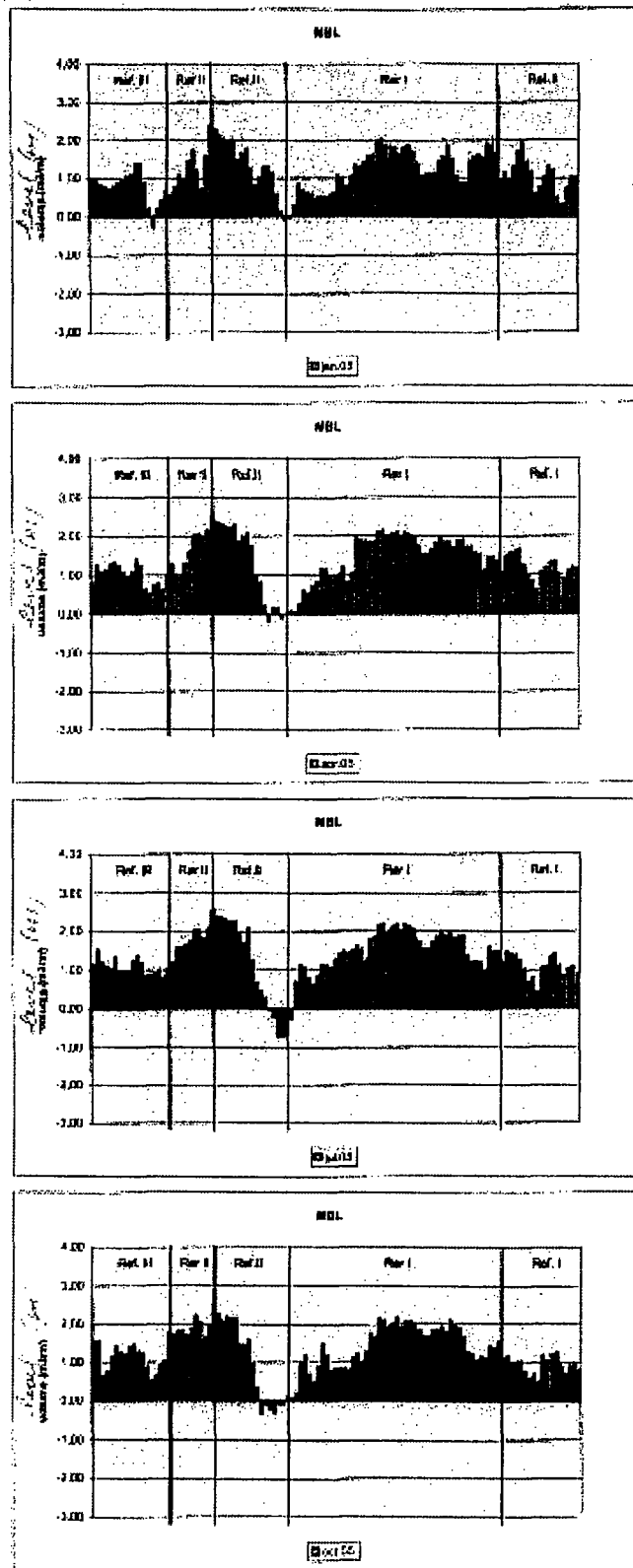


Fig. 15. Average beach level, MBL, of a 100 m wide zone seaward of the dune foot position of January 2005. January, April, July and October 2005.

Figure 7.11 Average beach level, MBL, of a 100 m wide zone seaward of the dune foot position of January 2005. January, April, July and October 2005.

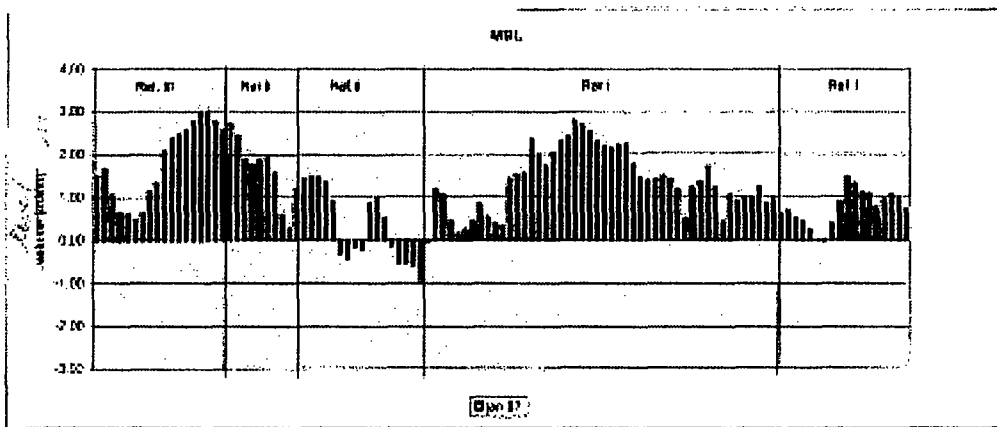
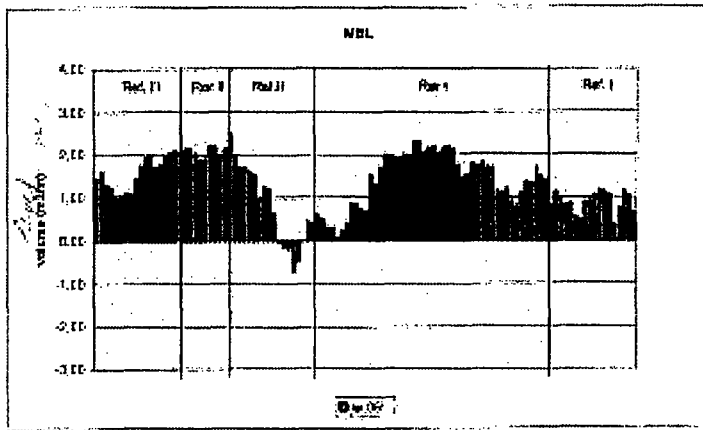
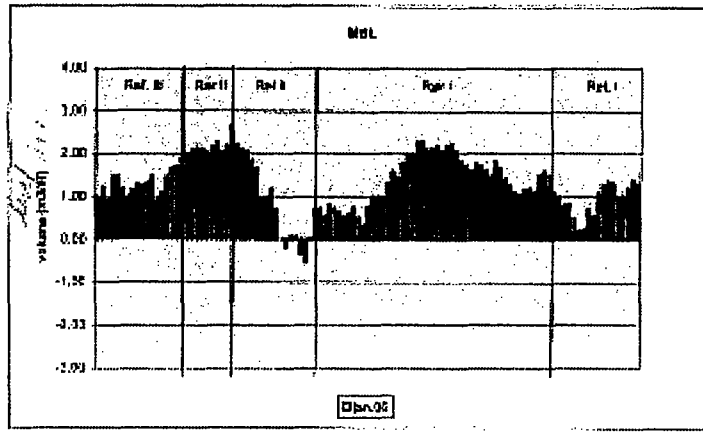


Fig. 16. Average beach level, MBL, of a 100m wide zone seaward of the dune foot position of January 2005. January and July 2006, and January 2007.

Figure 7.12 Average beach level, MBL, of a 100 m wide zone seaward of the dune position of January 2005. January and July 2006, and January 2007.

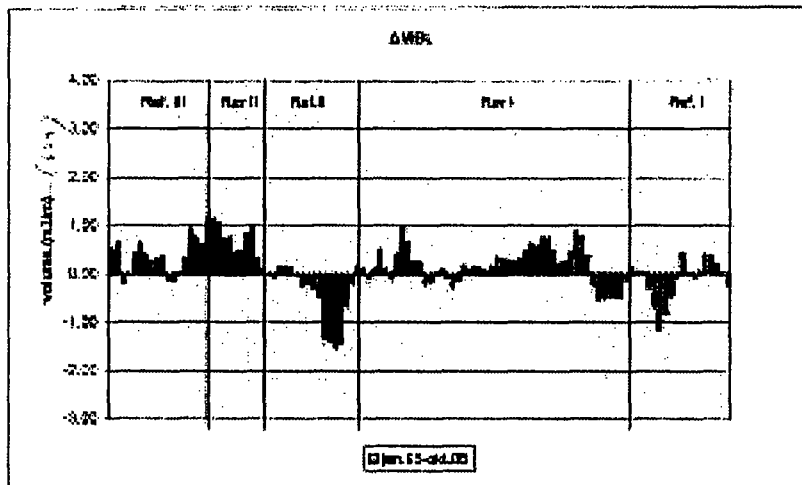
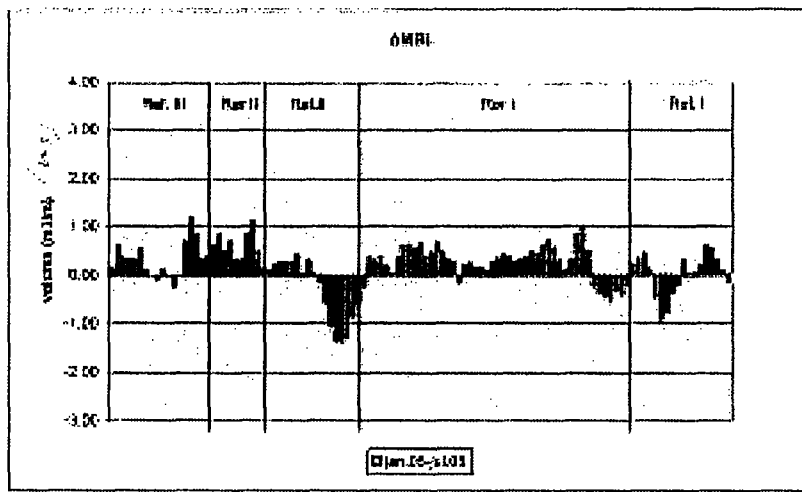
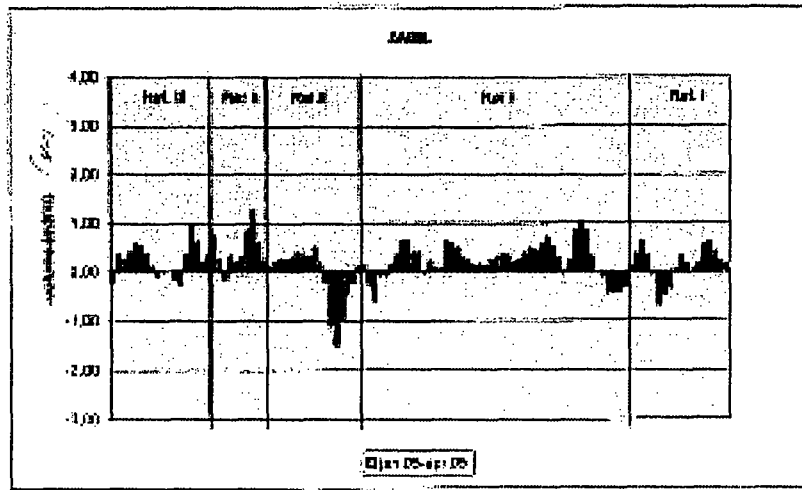


Fig. 17. Changes in MBL, ΔMBL, from January 2005 to July and October 2005.

Figure 7.13 Changes in MBL, ΔMBL, from January 2005 to July and October 2005.

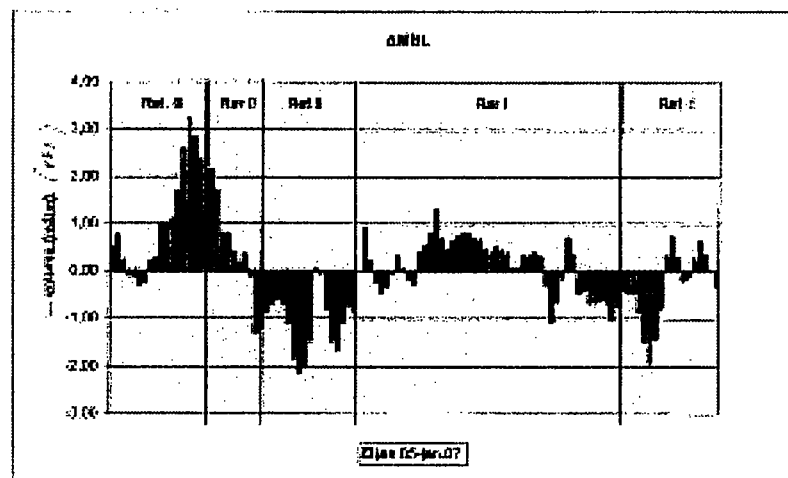
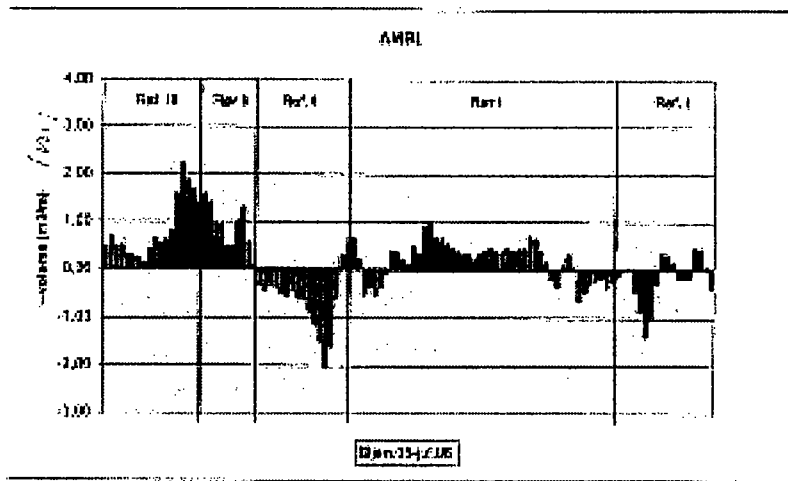
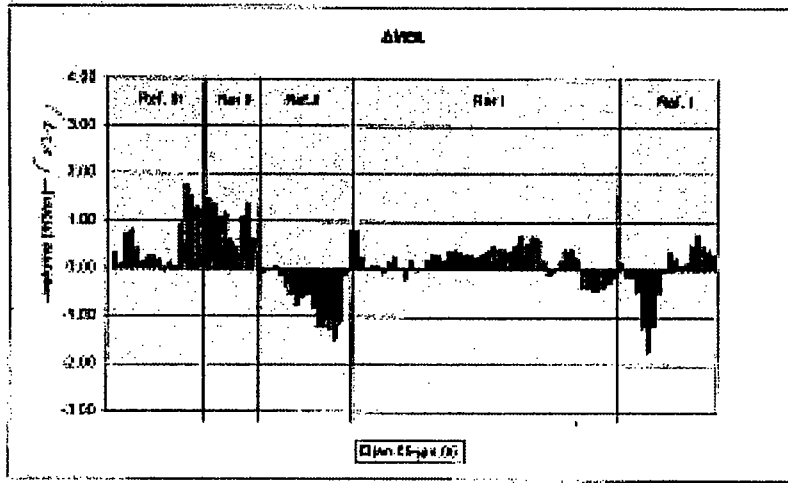


Fig. 18. Changes in MBL, ΔMBL, from January 2005 to July 2006 and January 2007

Figure 7.14 Changes in MBL, ΔMBL, from January 2005 to July 2006 and January 2007.

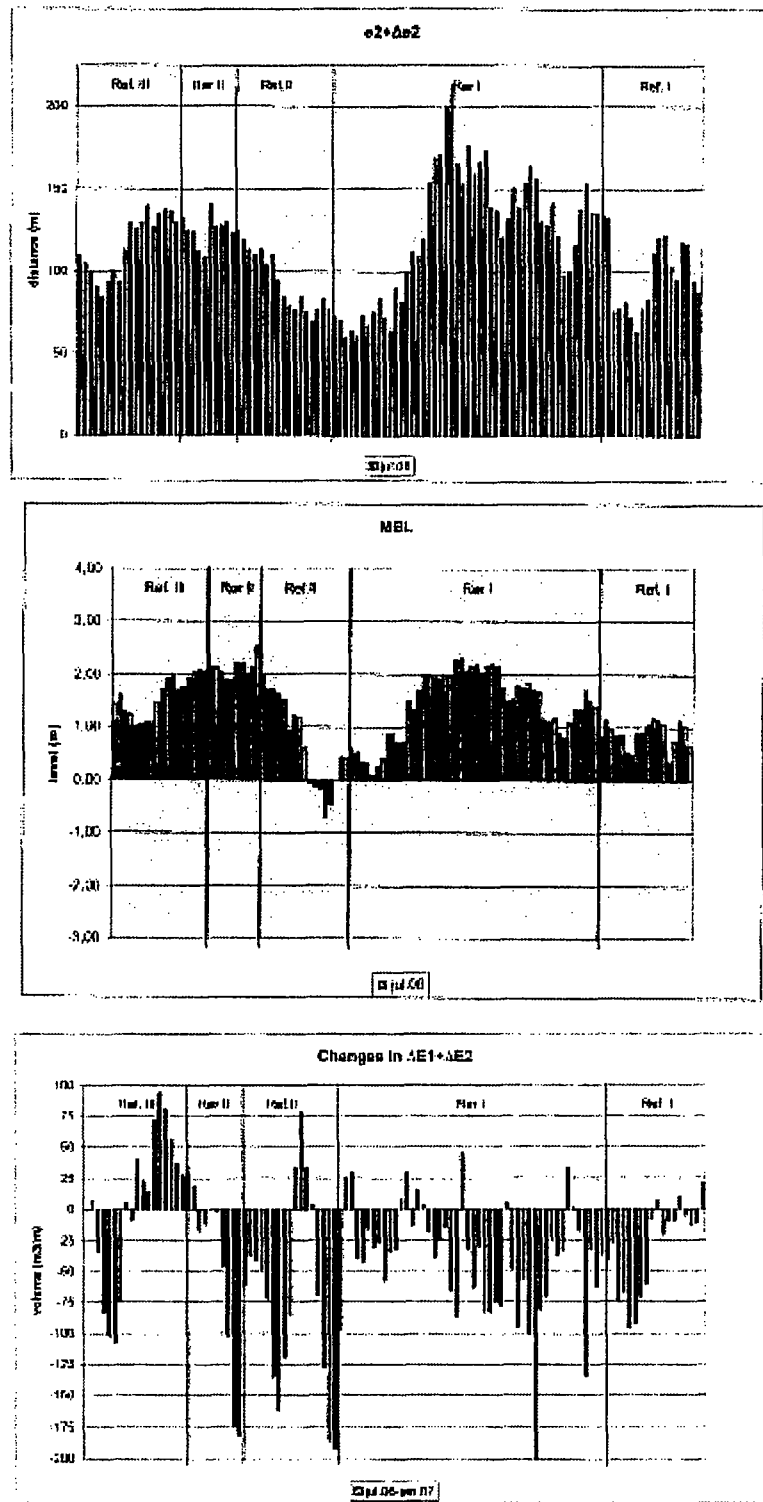


Fig. 19. Relative strength per July 2006 of the stretches and effect of the storms October 2006 and January 2007 in terms of dune and beach erosion.

Figure 7.15 Relative strength per July 2006 of the stretches and effect of the storms October 2006 and January 2007 in terms of dune and beach erosion.

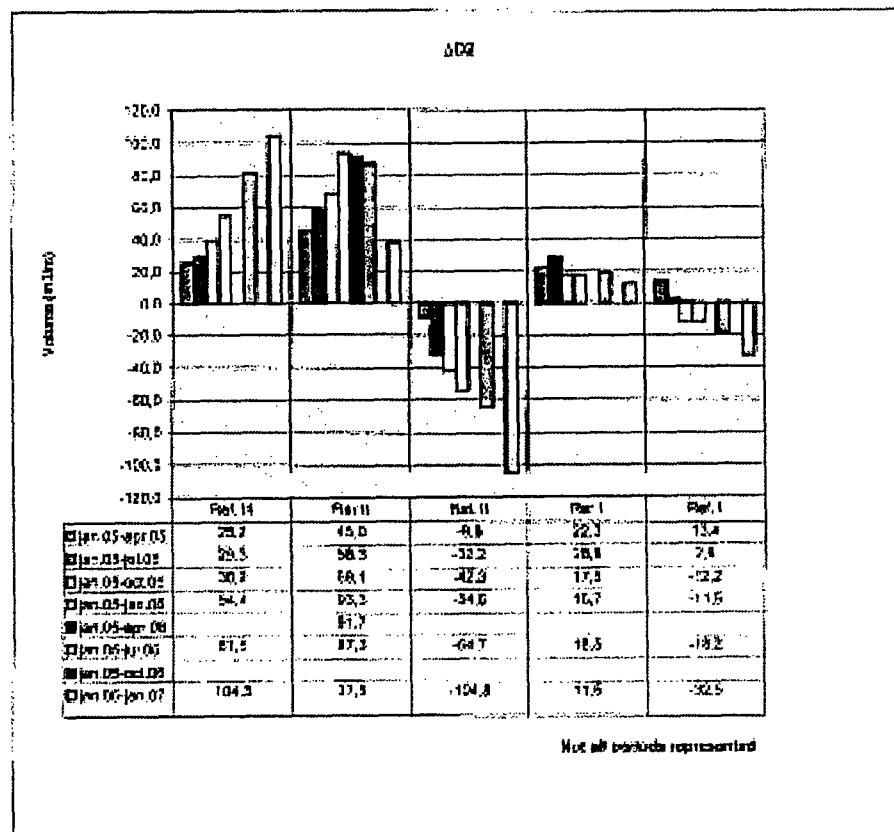
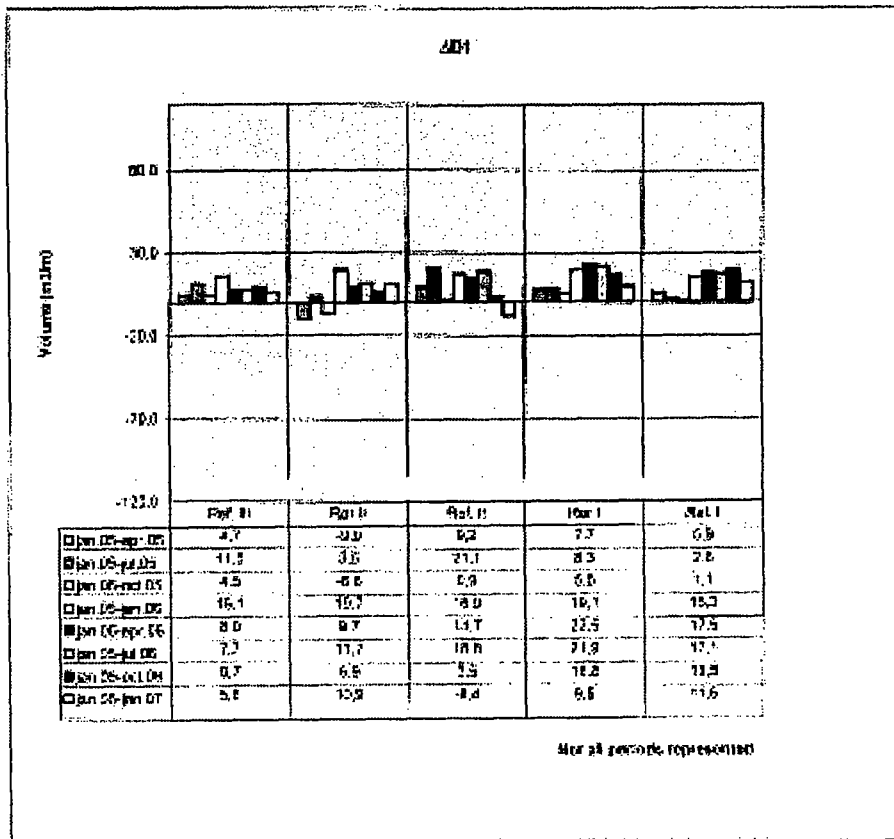


Fig. 20. Averaged volume changes in Box 1 and Box 2.

Figure 7.16 Averaged volume changes in Box 1 and Box 2.

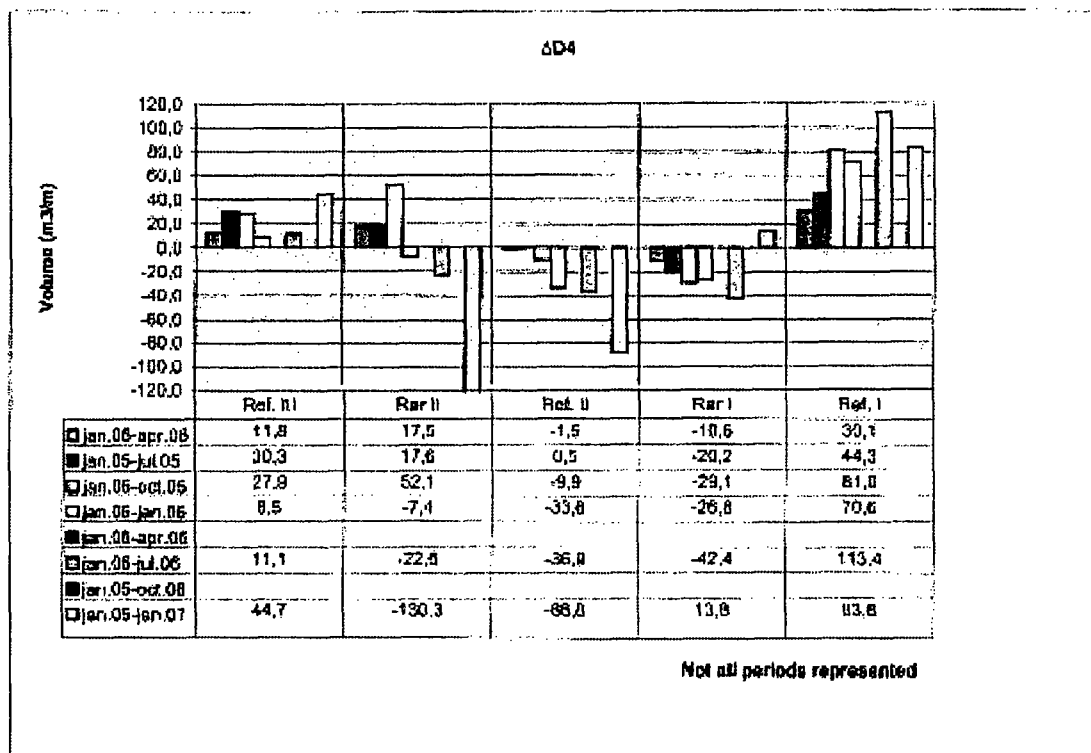
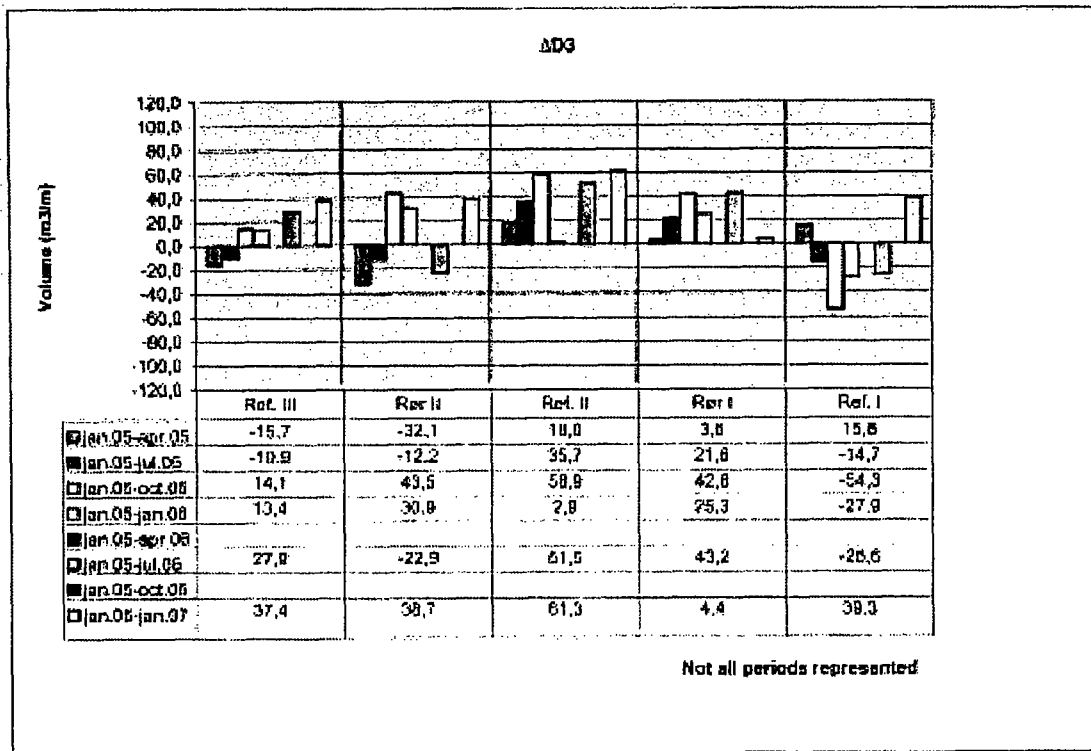


Fig. 21. Averaged volume changes in Box 3 and Box 4.

Figure 7.17 Averaged volume changes in Box 3 and Box 4.

7.4 Observed trends.

Only the upper part of the first page is related to D-parametres.

The observed trends are general observations not specifically related to parameter definitions. In table 7.1 it is not defined what are beach and offshore. It should be noted that Box D2 is not equivalent to what is the meaning of beach.

A. The beach.

After the first year (remembering that a large storm took place January 8th 2005, just before the system was implemented) we had significant accumulation in the beach in Rør 1 and 2 and in Ref 3. We had erosion in the Ref 2, located in between the two reaches with tubes, while ref 1 was neutral (neither erosion or deposition).

In the second year we had significant erosion in all stretches except in Ref 3. In this year severe storms occurred in January 07.

Over the two years we get the picture that we –with one exception – would have anticipated: Erosion at the northern part of the site, and more and more sedimentation as we move south: as mentioned in the introduction, we usually have erosion in the northern part, and accretion in the southern part, see also the sketch figure 7.9.

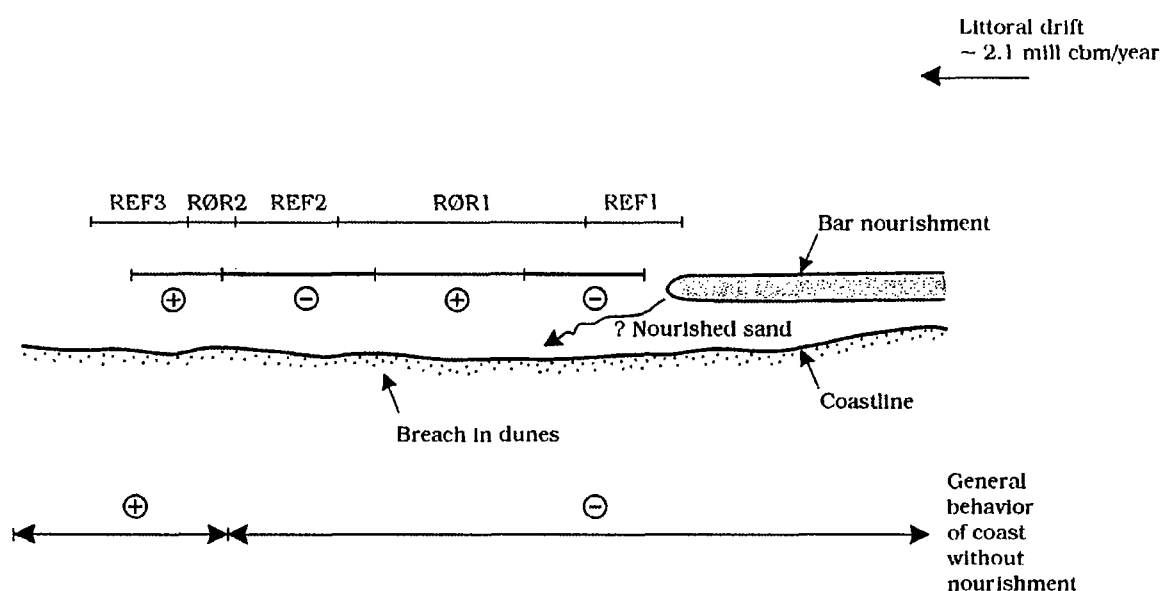


Figure 7.18: General behaviour at the site. Minus means erosion, plus deposition.

The exception is the large erosion at reference 2. It could be a proof of a positive impact from the tubes, since the erosion is so large at a location, where there are no tubes.

The question is whether it could be explained otherwise.

We would like to mention at least 4 things

1. Even though Ref 2 in average was quite robust (MBL=1.2In Jan 05), it was very thin and vulnerable in the transition in between Rør 1 and Ref 2, where MBL approximately was zero over more than 100 meters. Here the waves could attack the foot of the dunes and create a breach in the dunes (which actually happened). Such a lowering in the dune ridge will create a concentration of wind during storms, and this wind will transport a lot of

windblown sand landwards and hence accelerate the erosion of the beach locally as sketched in figure 7.20.

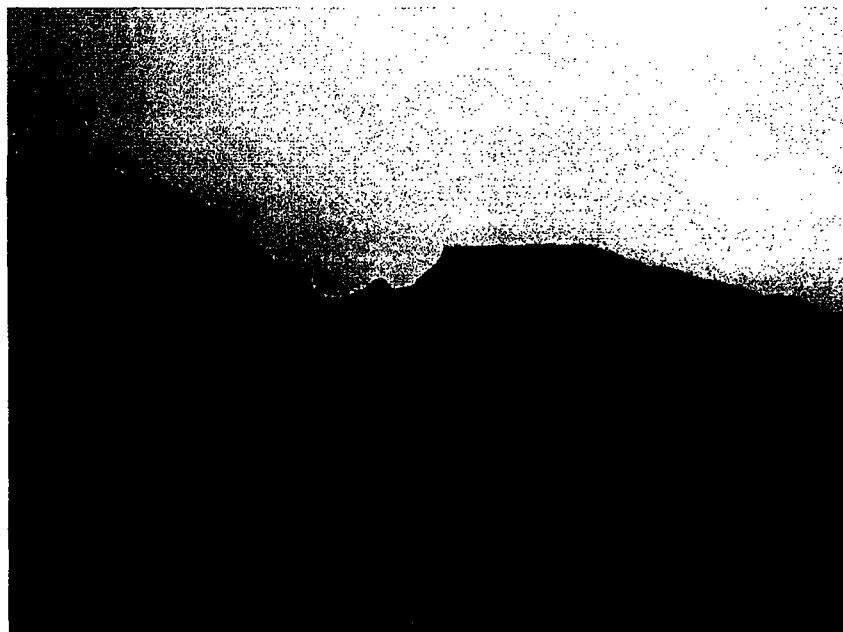


Figure 7.19: Observed breach in the dune close to the position between Rør 1 and Ref 2.

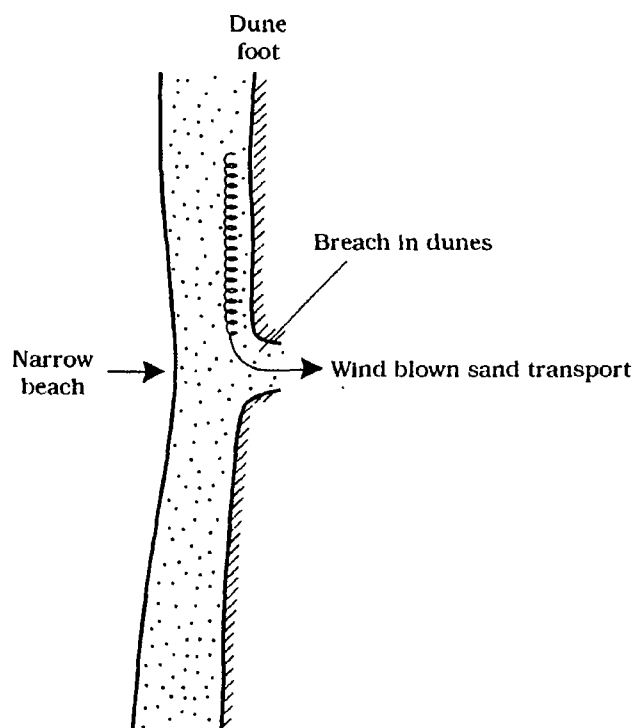


Figure 7.20: A breach will accelerate the wind born sediment transport through the dune system and will result in a narrowing of the beach.

2. The outer bar around 3-400 meter offshore seems to stop just outside the location, where the beach becomes narrow, see figure 7.21. The bar-behaviour in the entire region can be quite

strange because of the large nourishment on the bar just north of ref 1, see figure 7.18. A hole in the outer bar or termination of the bar can imply, that waves can penetrate more onshore without breaking (on the bar), and hence be the cause to the narrower beach, see the sketch figure 7.22. Figure 7.23, 7.24 and 7.25 illustrate other possible mechanisms which might be responsible for getting narrow beaches on some locations: concentration of the long shore current behind the bars, presence of rip holes in the bars, and migrating long shore undulations. These possible mechanisms will be studied in more detail during the last year of the project.

MIKE21 ved Skodbjerg

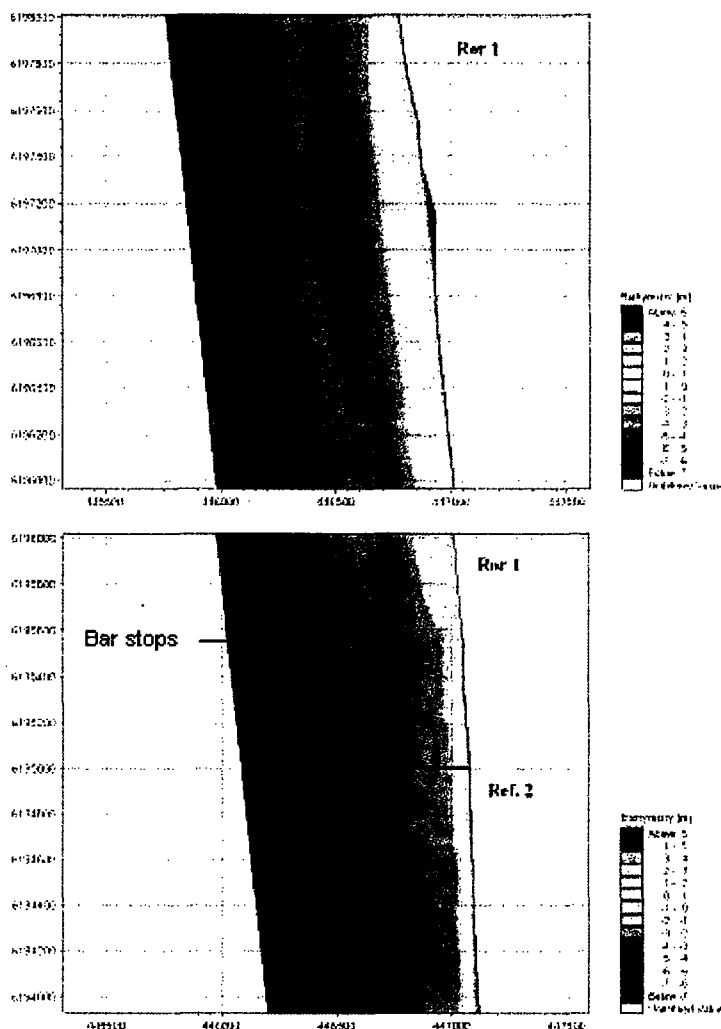


Figure 7.21: The bathymetry indicates that an outer bar disappear just in the transition in between Rør 1 and Ref 2. A more detailed survey will be performed this summer (2007).

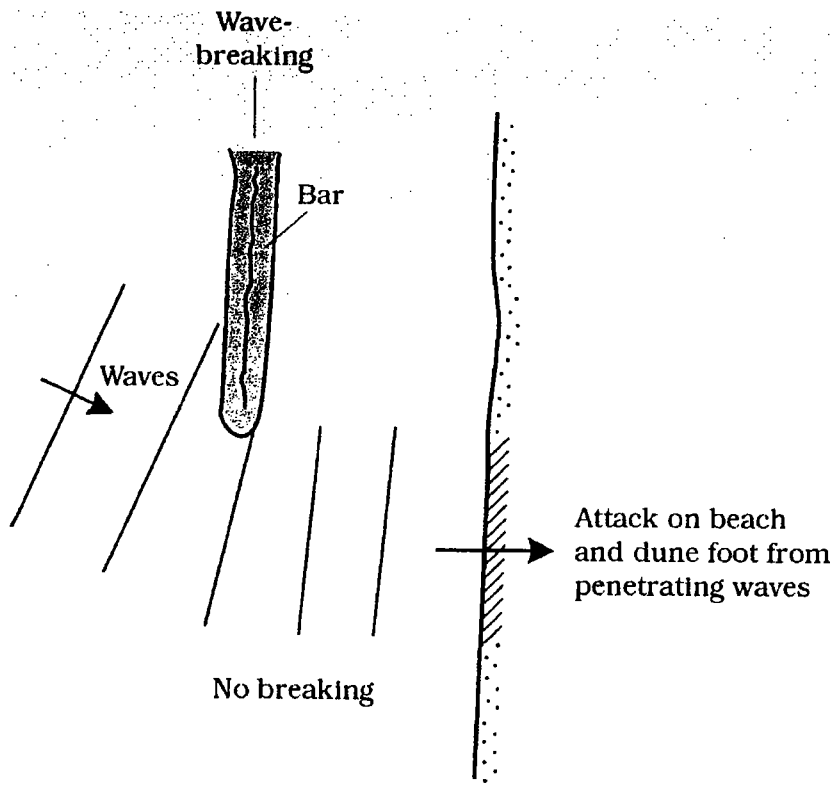


Figure 7.22: If the bar really disappears, the beach will be exposed to a larger wave attack.

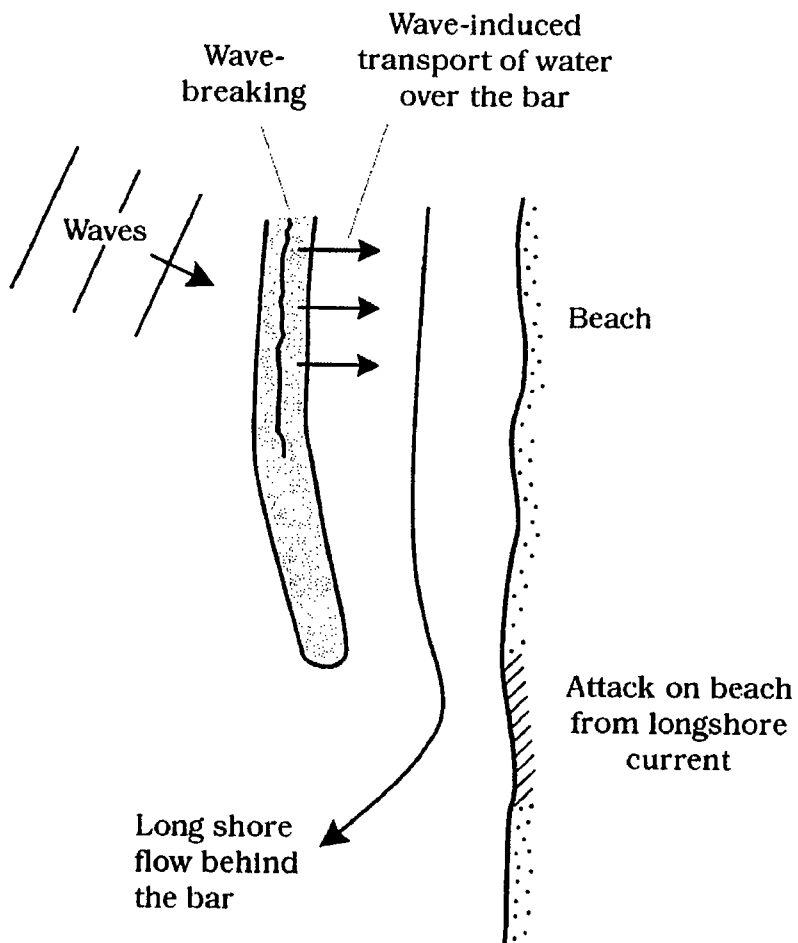


Figure 7.23: Another possible mechanism for a local narrowing beach is a concentration of the long shore current behind a crescentic long shore bar (originally suggested by Søren Knudsen, KDI).

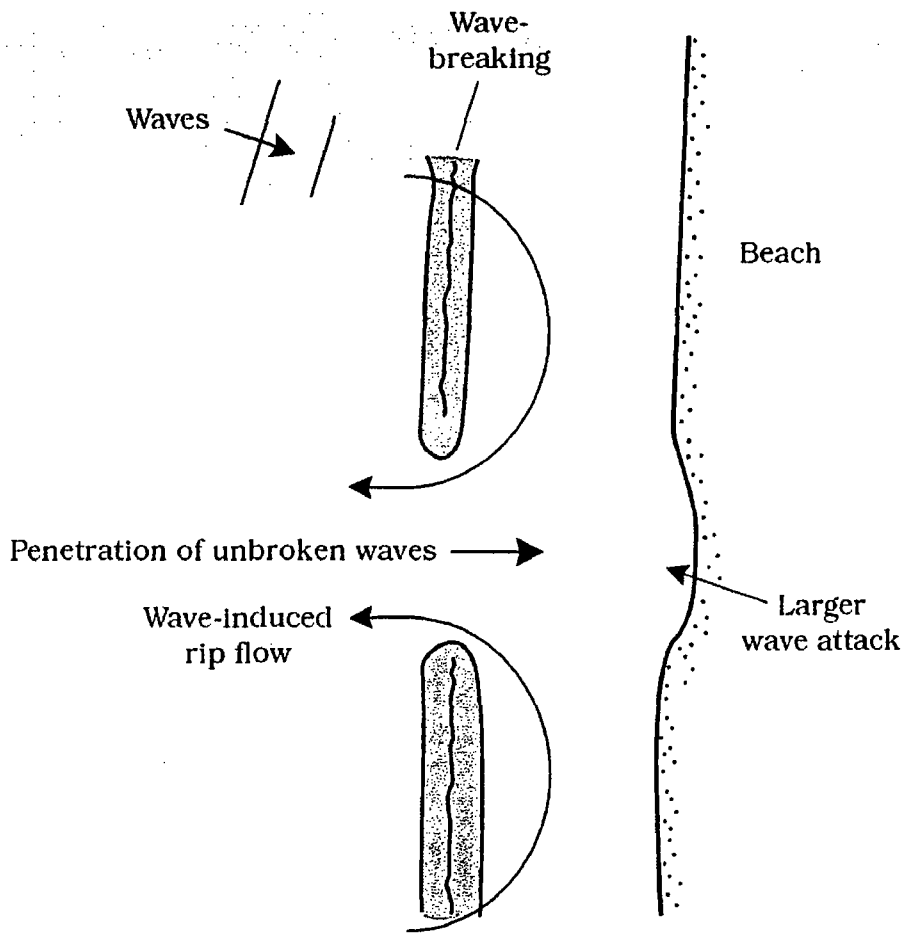


Figure 7.24: Also rip holes allow waves to attack the beach locally.

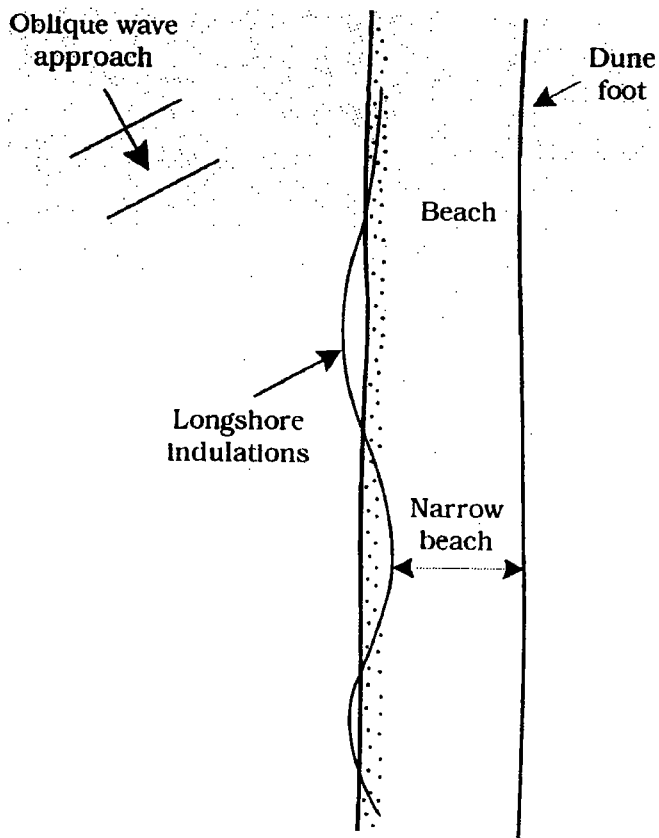


Figure 7.25: Obliquely approaching waves will form long shore undulations as described in the appendix 5.

3. The erosion in the beach is not only significant in Ref2 but also in several places where the tubes are located, see the sketch figure 2 and next section
4. There is no sign of erosion in Ref 3, on the contrary it grows and grows. SIC claims this is due to "washed sand", but then you can ask why is the sand not washed in ref 2, located down drift of more than 5 km tubes!!

8. List of appendices.

- 1:** Comments on the infiltration into the beach by Peter Nielsen (taken from his homepage).
- 2:** The drainage capacity of a tube in homogeneous sand and exposed to a vertical pressure gradient (by Jørgen Fredsøe)
- 3:** A field study at the site on the flow in the beach (By Peter Engesgaard, KU).
- 4:** D-profiles
- 5:** Undulations along the shore (by Jørgen Fredsøe)

SIC-systemet

- løsning på den globale vandstandsstigning



Projektet ligger i læsideerosionsområdet syd for Hvide Sande Havn (Foto: Poul Jakobsen)

Af ingeniørerne Poul Jakobsen og Claus Brøgger, SIC - Skagen Innovation Center

Resultatet af SIC-projektet med miljøvenlig kystbeskyttelse udført over 11 km på Vestkysten mellem Hvide Sande og Nymindegab viser, at den gennemsnitlige strandhøjde fra klitfoden i kote 4 og 100 meter ud mod havet er hævet op til 1,47 meter i forhold til referenceområde 2 uden trykudligningsmoduler.

Dette er endnu en bekræftelse på projektet ved Gl. Skagen, hvor middelstrandhøjden var 47 – 63 cm højere i testområdet i forhold til referenceområderne efter 5 år

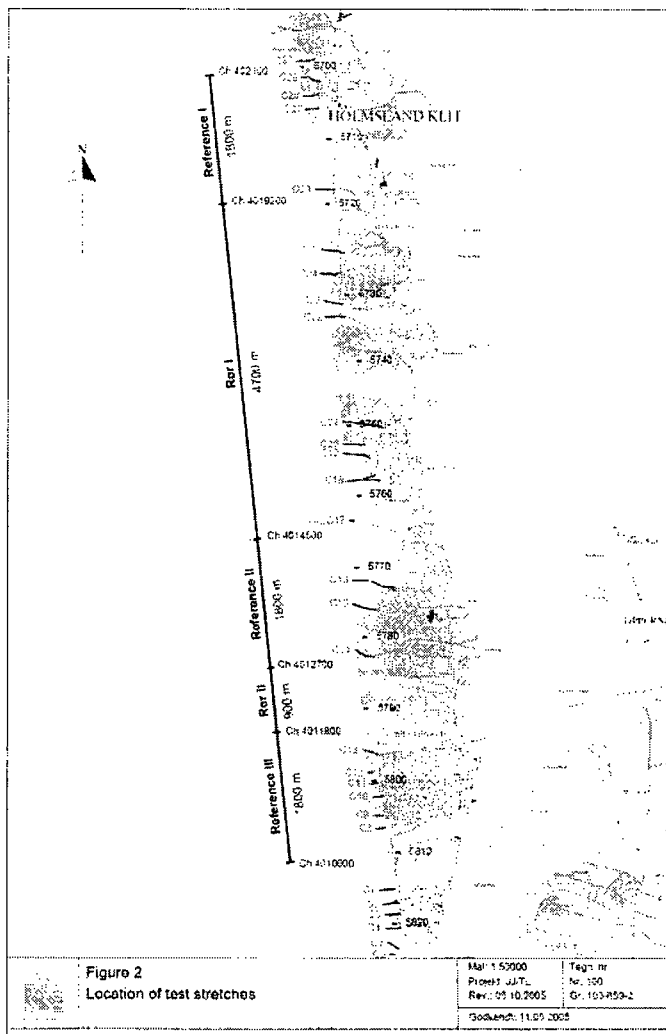
Projektområdet

Projektet er placeret 5 km syd for Hvide Sande havn på en 11 km. lang strækning i et meget typisk læside-erosionsområde syd for Hvide Sande havn (se kortet til højre og fotoet ovenfor).

Den gennemsnitlige kysttilbagerykning i projektområdet er 2 meter om året, svarende til 330.000 m³, idet klithøjden i området er ca. 15 meter.

Projektområdet er opdelt i 3 referenceområder (1.800 meter) uden trykudligningsmoduler og 2 områder med trykudligningsmoduler rørområde 1 og rørområde 2 på henholdsvis 4.700 meter og 900 meter. (se placeringer på kortet til højre)

Kortet viser projektområdet med dets inddelinger i referenceområder og rørområder. (Gengivet med tilladelse af KDI)



Måleprogram

Anlægget, som er baseret på lodrette drænmoduler, er etableret ultimo januar måned 2005, hvor der blev foretaget en initialopmåling af klittoppen, forstranden og 600 meter offshore ud i havet.

Opmåling af klitten samt forstranden er efterfølgende udført af ingeniørfirmaet Carl Bro A/S kvartalsvis med en afstand mellem målelinierne på 100 meter langs stranden og 10 meter i tværprofil.

Søopmålingen er foretaget med en afstand på 200 meter mellem linierne langs stranden og 600 meter ud i havet kvartalsvis i det første år og efterfølgende halvårsvis.

Formål med de fastlåste referencelinier

Formålet med de fastlåste referencelinier er at følge udviklingen i strandplanet volumemæssigt.

Man skal være meget opmærksom på, at vinderosion på stranden er en meget væsentlig faktor over et eller flere år, og den bliver meget større, når man dræner strandene, så middelstrandhøjden bliver højere.

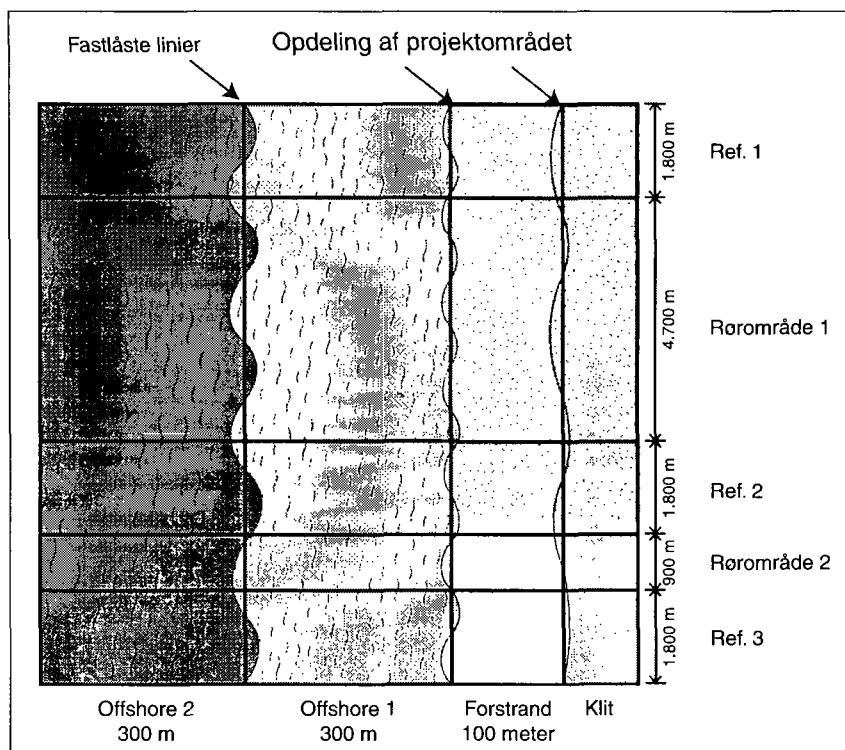
Ved højere og bredere strande bliver sandet mere tørt, hvilket medfører meget stor sanddrift til klitområdet. Man skal derfor skelne mellem vinderosion og bølge/strøm-erosion i stranden, som er de eroderende faktorer i forstranden.

Vinderosionen i forstranden kan kun beregnes, hvis vi kender sandtilvæksten i klitterne på den jyske vestkyst, hvor vindretningen primært er vestlig.

Første års resultat

Opmålingerne viser, at der er et samlet kysttillæg fra klittoppen til kystlinien i området på 475.940 m³.

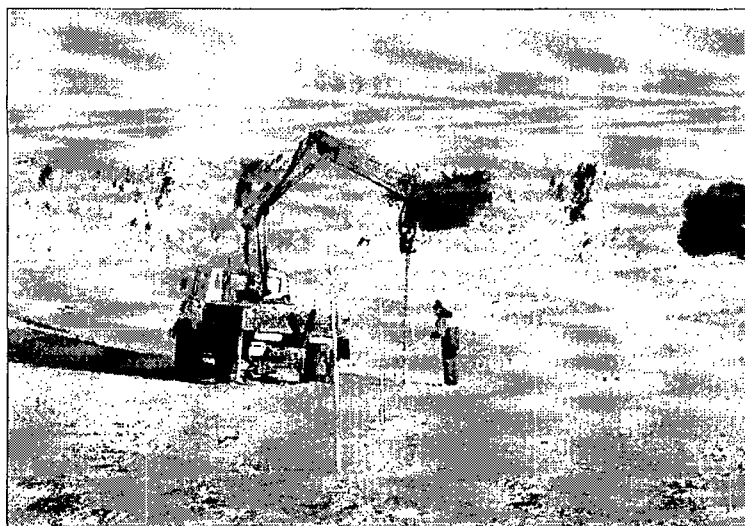
Hertil kommer den normale kysterosion på 330.000 m³, så den samlede effekt er 806.000 m³ (se beregning).



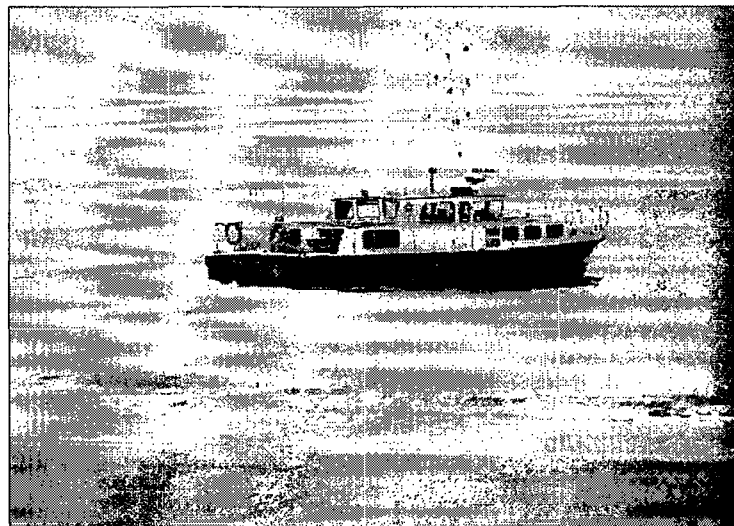
Klitten er defineret fra kote +4 i DVR 90 (Dansk Vertikal Reference 1990) til klittop. Forstranden er fra kote +4 i klitfod til kystlinien. Kote +4 i klitfoden er fastlåst til opmålingen i januar 2005, hvor anlægget er etableret. Gennemsnitlig strandhøjde beregnes fra kote +4 januar 2005 og 100 meter ud mod havet. Offshore 1 er 300 meter bred og fastlåst til referencelinien i kote +4 januar 2005. Offshore 2 er 300 meter bred og fastlåst til offshore 1 og dermed referencelinien i kote +4. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Resultatet kan opgøres, som følger:

Tillæg i rørområderne 1 og 2	336.640 m ³
Læsedetillæg i referenceområde 3	139.300 m ³
Tillæg i alt	475.940 m ³
<hr/>	
Erosion i referencelinerne 1 og 2	-36.820 m ³
Normal kysterosion med 2 m kysttilbagerykning	330.000 m ³
Samlet effekt af SIC-systemet (januar 05 - januar 06)	806.000 m ³



Trykudligningsmodulerne nedbores i stranden med 10 meters afstand i tværprofil fra Klitfoden til kystlinien max 11 moduler i hver række (dvs. strandbredde 100 m). (Foto: Poul Jakobsen)



Opmålinger fra kystlinien og 600 m ud i havet foretages med 200 meters afstand vinkelret på kysten med KDI's opmålingsfartøj DIGI. (Foto: Poul Jakobsen)

Samtidig viser resultaterne, at der er læside-tillæg ved SIC-systemet modsætningsvis hårde konstruktioner som høfder og bølgebrydere, som giver stor læsideerosion.

Opbygning i forkanten af klitten

Der er en meget nøje sammenhæng mellem vinderosionen i stranden og opbygningen af klitsystemet.

Analysen af forkanten af klitten fra klitfod kote +4,0 til klittop viser, at opbygningen i forkanten af klitten er ca. 55 % større i de drænedede områder i forhold til ref. 1 og ref. 2 (se figuren øverst til højre).

Ref. 3 er atypisk på grund af det store læsideditillæg.

Når opbygningen i forkanten af klitten alene er ca. 20 m³ pr. meter i det første år, kan man konkludere, at forstranden er sænket med minimum 20 cm i 100 meters bredde på grund af vinderosion.

Den årlige vinderosion i forstranden bliver nok nærmere 30 – 40 cm årligt, idet store sandmængder også lægger sig længere inde i klitterne. Dette forhold vil blive nærmere undersøgt senere.

Vi har imidlertid også registreret, at sandet fanges af den første vegetation, som sandet møder på sin vej ind i klitterne, og det er derfor formålstjenligt at plante hjælme fra kote 4 og 10 meter ud mod havet, så sandet fra forstranden ikke går tabt inde i klitsystemet. SIC har udvidet sit patent med denne løsning med en ny patentansøgning, som er indleveret i efteråret 2006.

Middelstrandhøjde

SIC har udviklet en ny evalueringmetode, som er baseret på middelstrandhøjden i en given bredde i relation til tidevandsforskellen i området.

Ved Hvide Sande er tidevandsforskellen ca. 1,0 meter, og der kan opstå højvands-situationer med vandstande helt op til 3,0 meter.

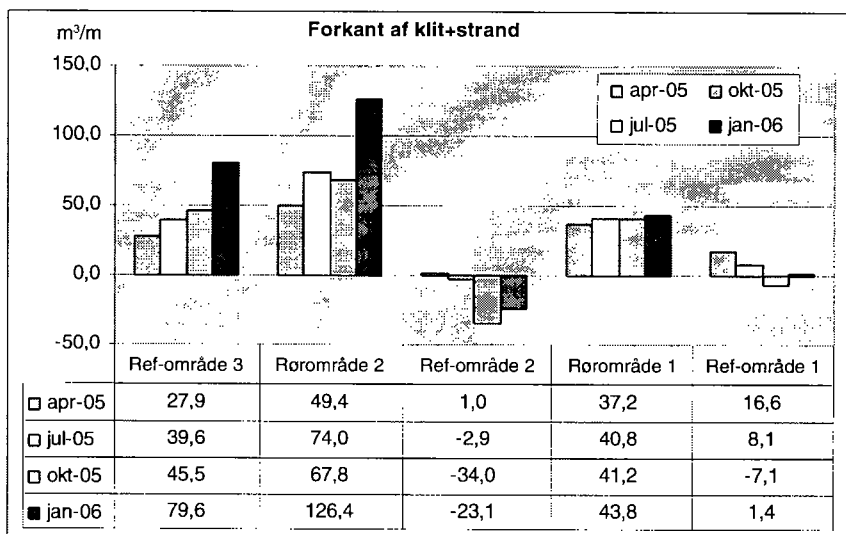
Målingerne over det første år viser, at SIC-systemet genererer ca. 100 meter brede forstrande mellem Hvide Sande og Nymindegab i et balanceprofil, når stranden er drænet med SIC-systemet.

Videnskabsfolk på området anerkender generelt, at det er forstranden, som beskytter klitterne og baglandet mod kysterosion.

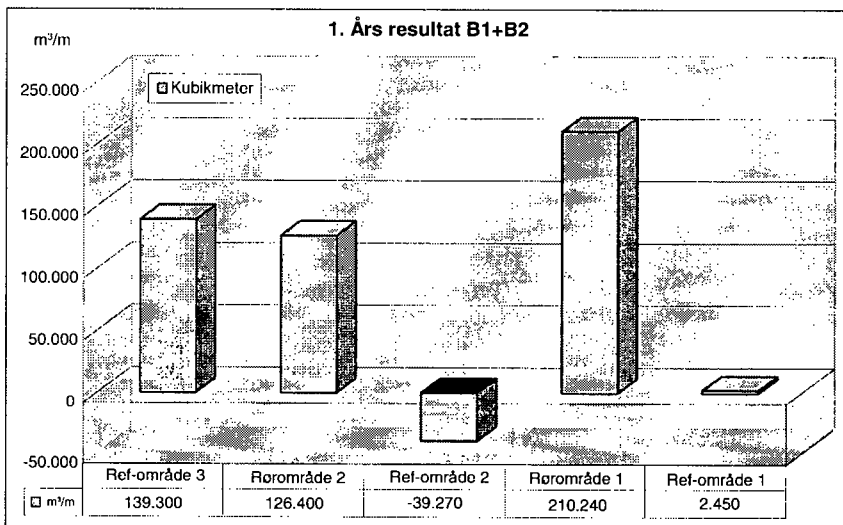
SIC har derfor fastlåst referencelinien til kote 4,0 meter januar 2005 og beregner middelstrandhøjden fra referencelinien og 100 meter ud mod havet (se figuren øverst på næste side).

Succeskriteriet er en middelstrandhøjde på 1,3 meter svarende til 130 m³ pr. meter langs stranden. I Tyskland regner myndighederne også med 130 m³ pr. meter på stranden på Sild uanset strandbredden.

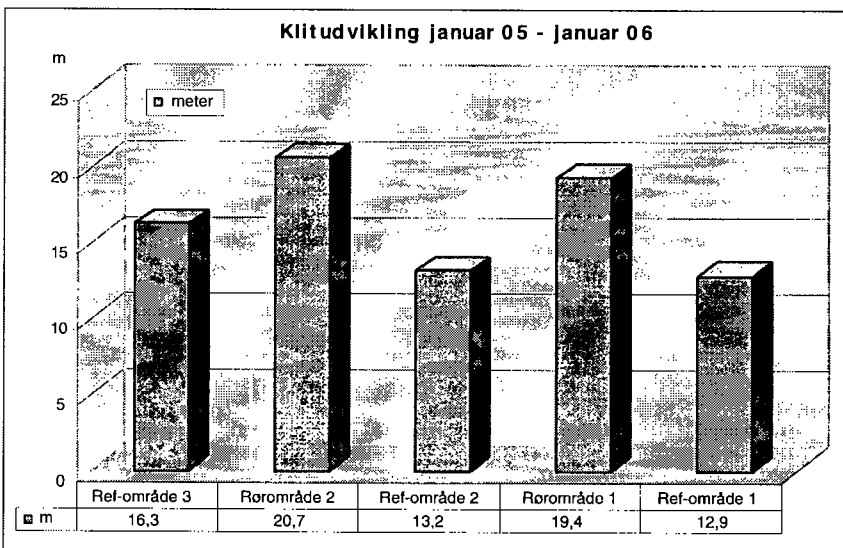
Sandfødringen på den jyske vestkyst er designet til 3,5 x 70 meter, hvilket svarer til 122,5 m³ pr. meter. (Badevej Søndervig)



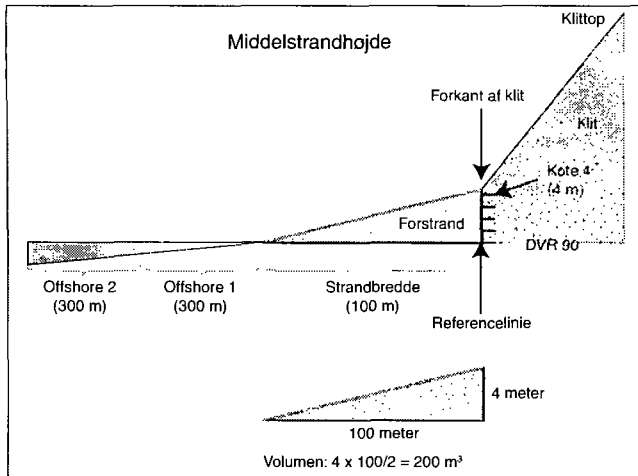
Grafen viser udviklingen på stranden og forkanten af klitten i m³ pr. meter langs stranden. Beregningerne er foretaget af ingeniørfirmaet Carl Bro A/S for projektgruppen. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



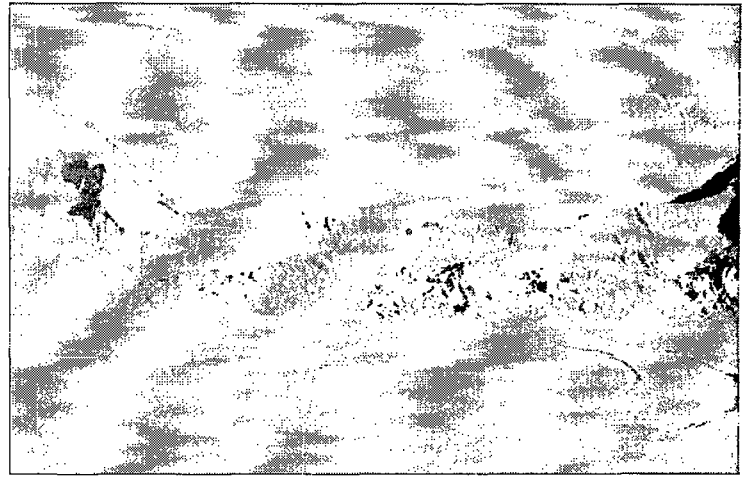
Grafen viser tillæg og erosion i forstranden (B2) og forkanten af klitten (B1) i rørområderne og referenceområderne i m³. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Grafen viser opbygningen i forkanten af klitten fra klitfod til klittop. Opbygningen er ca. 60 % større i de drænedede rørområder i forhold til ref. 1 og ref. 2. Ref. 3 er atypisk på grund af læsideditillægget. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Figuren viser tværsnittet af strandprofilen og grundlaget for beregningen af middelstrandhøjden i 100 meters bredde. Det er forstranden, som beskytter baglandet i en stormsituation. (Grafik: UV11 modificeret efter udlæg af forfatterne)



I referenceområde 2 er klifodden rykket hen mod 20 meter tilbage herved er klitten helt forsvundet. (Foto: Poul Jakobsen)

Analysen

I jan 2005 var ref. 2 det stærkeste profil med en middelstrandhøjde på 1,25 meter.

Ref. 2 uden drænrør er nu det svageste profil med en middelstrandhøjde på kun 0,81 meter, og havet er på vej ind gennem klitterne i ref. 2.

Modsætningsvis er strandhøjden hævet med henholdsvis 19 og 92 cm i rørområde 1 og rørområde 2.

Samtidig er der registreret læsideditillæg i referenceområde 3, som resulterer i en større middelstrandhøjde i den nordlige del af ref. 3.

Den højere middelstrandhøjde kompenserer for den globale vandstandsstigning, som er beregnet til 28 - 59 cm over de næste 100 år ifølge FN (ifølge UN's seneste rapport om den globale vandstandsstigning).

SIC-systemet kunne derfor være en mu-

lig løsning på den globale vandstandsstigning på verdensplan.

Transport- og Energiudvalget kommer på besøg i projektområdet d. 21 marts 2007, og SIC har anbefalet Trafikudvalget, at der sideløbende etableres et anlæg på 20 km ved Søndervig, som skal vise effekten i stor skala.

Læsidetillæg

Referenceområde 3 ligger umiddelbart syd for rørområde 2, hvor der meget hurtigt opstod et kysttillæg på helt op til 65 meter på kystlinien, efter at stranden blev drænet i januar 2005 (se foto på næste side).

Når man genererer en sandtunge på kystlinien med trykkudligningsmodulerne og presser kystlinien op til 65 meter ud i havet, forøger man strømhastigheden, hvilket medfører, at sandet udvasker de grove mate-

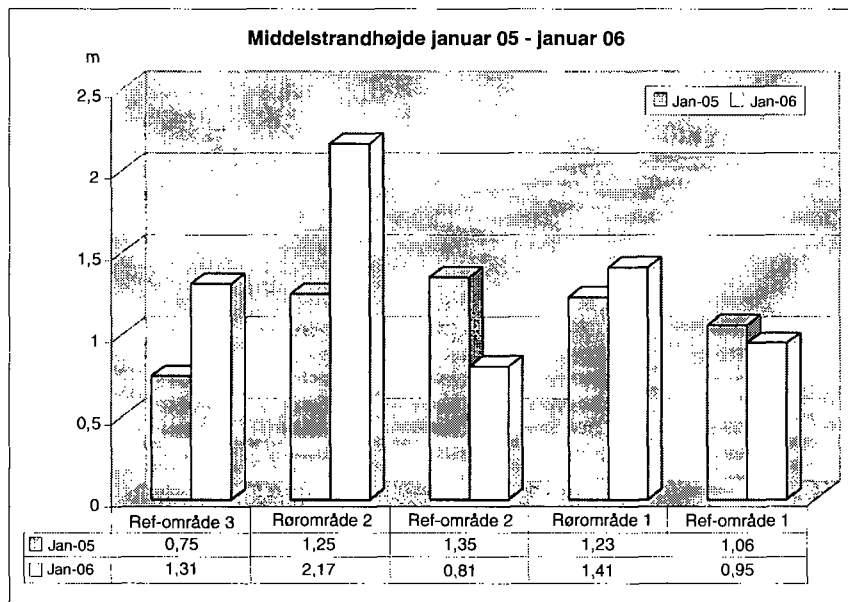
rialer, som lægger sig på læsiden nedstrøms som vasket sand.

Offshore

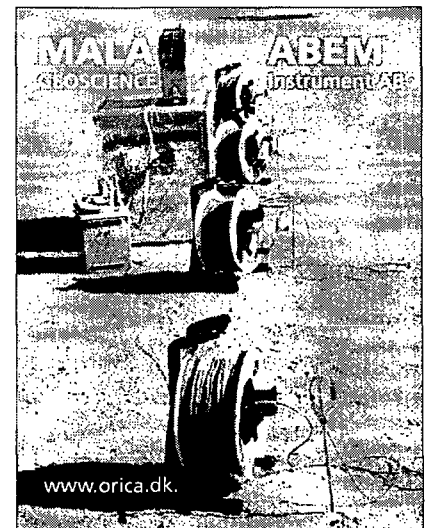
Opmåling med Kystdirektoratets målebåd, DIGI, viser ikke erosion i havbunden ud for rørområde 1 og rørområde 2 samt referenceområde 3.

Revlefodringen i referenceområde 1 og nord for projektet, som man har udført i nogle år, virker ikke, men giver derimod erosion i den nordligste ende i referenceområde 1 ude i havet, og KDI (Kystdirektoratet) forsøger nu at dele revlefodringen op i længder af 1.200 meter. Der laves for øjeblikket mange forsøg med revlefodring og kunstige revler bestående af skrot miv.

I Italien vil man forsøge at bygge kunstige revler af vandretliggende betonrør.

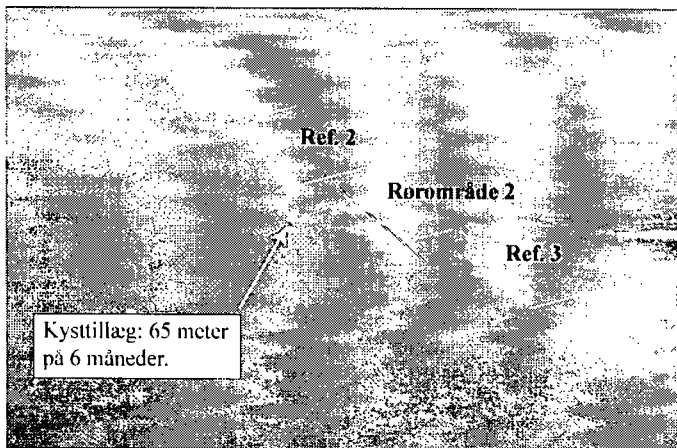


Grafen viser middelstrandhøjden fra klit fodden kote 4 og 100 meter ud mod havet. (Grafik: UV11 modificeret efter udlæg af forfatterne)

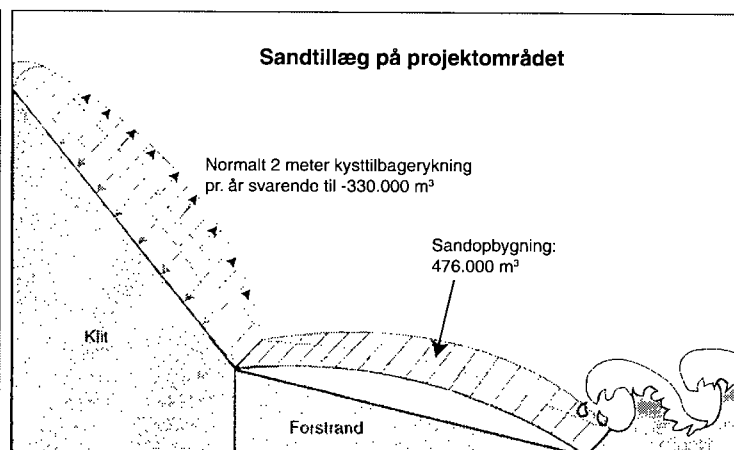


Dyno Nobel Danmark A/S
Tel.: (+45) 43451538





Lufbfoto august 2005. (Foto: Poul Jakobsen)



Figuren viser den normale årlige kysttilbagerykning på 2,0 meter i alt 330.000 m³ samt kystopbygningen i forstranden og forkanten af klitten 476.000 m³ i 2005. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Konklusion

SIC-systemet har haft en effekt i projektområdet på 11 km på i alt 806.000 m³, idet SIC-systemet for det første har stoppet den årlige erosion i området på i alt 330.000 m³.

Samtidig er der opbygget en buffer på 476.000 m³ sand foran klitten, som beskytter baglandet i højvandsituationer med storm.

Ifølge FN vil vandstanden i verdenshavene stige mellem 28 og 59 cm i løbet af de næste 100 år.

Sandopbygningen i forstranden hæver strandprofilen i forstranden med 72 - 147 cm i forhold til referenceområde 2, således at SIC-systemet samtidig løser problemet med den globale vandstandsstigning.

Der er registreret læsideditillæg nedstrøms for projektet modsat hårde konstruktioner, der giver læsidederosion.

Der er ikke registreret vandrede sandbølger i projektområdet, men kun normal fluktation på kystlinjen.

Kysten har været ramt af 5 storme i denne vinter, hvor de 4 storme har ligget mellem den 1. januar og den 20. januar 2007.

Der er generelt ikke registreret kliterosion i rørområderne, mens der er kliterosion i alle tre referenceområder.

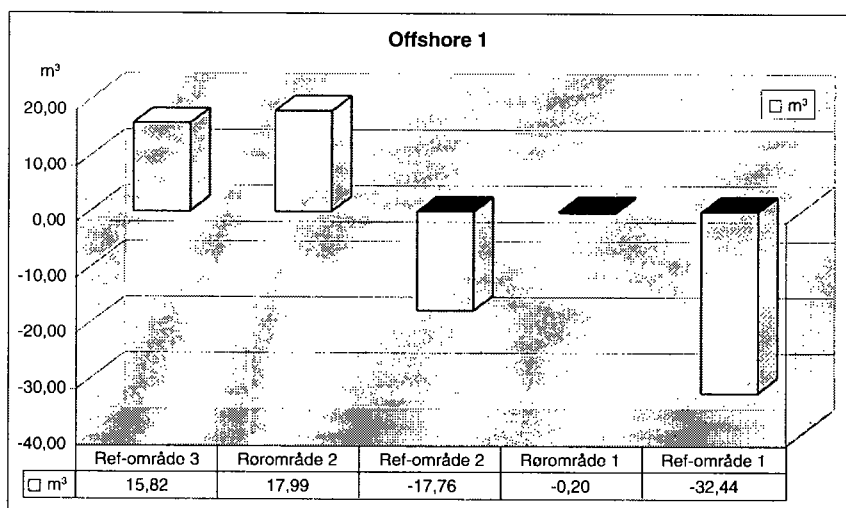
I ref. 2 er klitfoden rykket op mod 20 m tilbage med det resultat, at klitten er forsvundet (se foto på foregående side).

Næste skridt

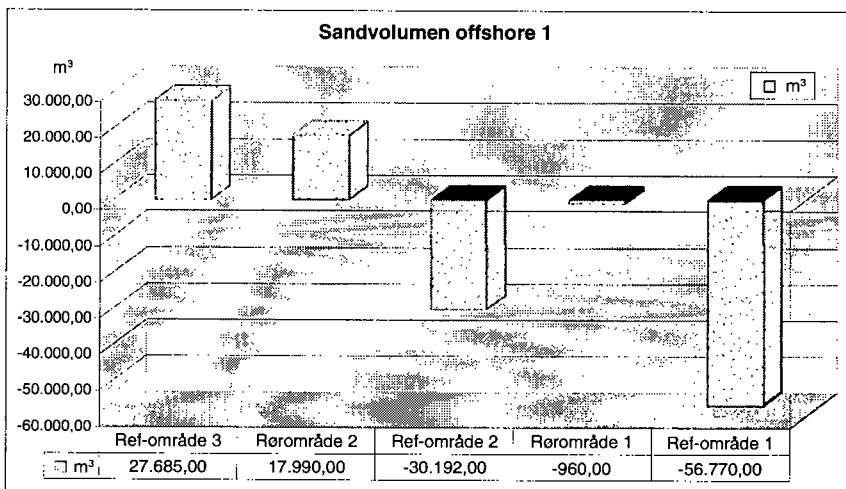
Med baggrund i de signifikante resultater afgiver SIC nu tilbud på 100 km på den jyske vestkyst.

Tilbudet er på ca. 33,5 mio. kr., og samfundet sparer således ca. 50 mio. kr. årligt, så hele Danmark kan beskyttes for det samme beløb, som tidligere blev anvendt til sandfodring i 5 vestjyske kommuner.

SIC foreslår samtidig, at stenene fra de gamle bølgebrydere og høfder laves til skærver og lægges ind i klitfoden. Vestkysten bliver på denne måde sikret mod en 100 års storm ved højvande.



Grafen viser tillæg og erosion i offshore 1 fra kystlinjen og 300 meter ud i havet pr. meter langs kysten i de enkelte områder. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Grafen viser volumenberegningen i de enkelte områder. Der er ikke erosion ud for rørområderne og det kan derfor konkluderes, at opbygningen på forstranden og forkanten af klitten kommer fra den langsgående materialetransport. Vi vurderer, at den store erosion ud for ref. 1 skyldes KDI's forsøg med revlefodring syd for Hvide Sande havn. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Der er i dag meget omfattende dokumentation for, at bølgebrydere og høfder reelt

har forøget kysterrosionen på de danske kyster.

Trykudligningsmoduler - skaber brede ligevægtsprofiler



Man ser meget tydeligt hofdevirkningen ud for rækken af trykudligningsmoduler ved Gl. Skagen. (Foto: Poul Jakobsen 1999)

Af ingeniørerne Poul Jakobsen og Claus Brogger, SIC – Skagen Innovation Center

I forbindelse med SIC-projektet mellem Hvide Sande og Nymindesø er der foretaget trykmålinger i stranden for at dokumentere funktionen af trykudligningsmodulerne, som er lodrette drænmoduler.

For at forstå måleopstillingen beskrives hér kort de fysiske betingelser i en sandstrand.

Sandstranden

Ferskvandet inde i baglandet står normalt over havet og afstrømmer under klitterne og forstranden ud til havet og strømmer ud i en ca. 10 meter bred zone uden for kystlinien.

Fra havet står der en saltvandskile ind under land, idet saltvand har større vægtfylde end ferskvand.

Der er nogle meget simple naturlove på området, hvor Ghyben Herzbergs lov siger, at for hver meter, som grundvandet står over havet, er der 40 meter ned til saltvandet. Det vil sige, at hvis ferskvandet står 5 m over havet, er der 200 meter ned til saltvandet. Dette gælder imidlertid ikke ude ved kystli-

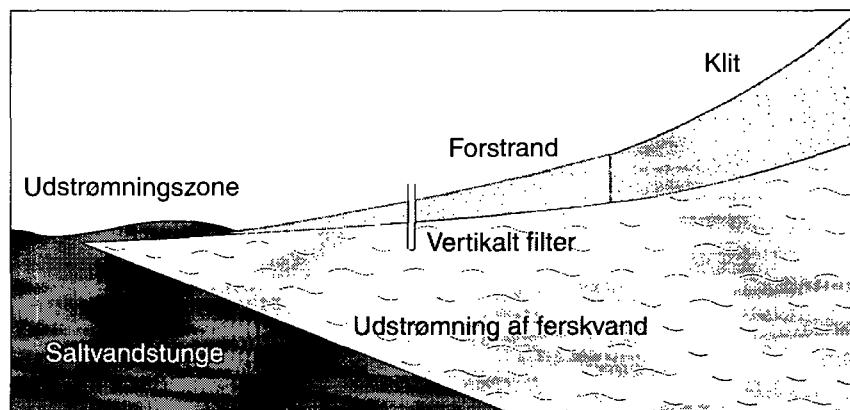
nien, hvor den amerikanske professor D.K. Todd sammen med en lang række andre siger følgende om udstørningszonen X:

$$X = q/2 * (P_s - P_f) * K \quad , \text{ hvor}$$

q = Ferskvandsflow pr. meter
 P_s = Densitet af saltvand
 P_f = Densitet af ferskvand
 K = Hydraulisk ledningsevne

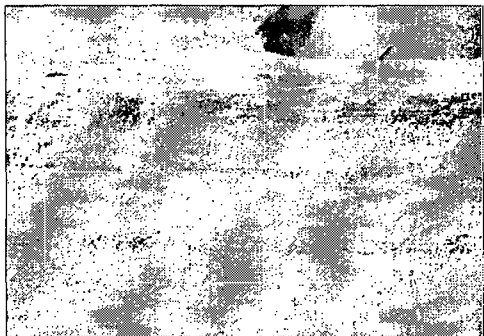
I forbindelse med måling af trykgradienten på ferskvandstrykket ved Gl. Skagen blev der nedsat ålefiltre for hver 10 meter fra kystlinien og ind gennem klitterne.

Umiddelbart efter, at disse filtre blev placeret, fandt et større kysttillæg ud for rækken af filtre sted, og høfden har efterfølgende ligget passiv inde på stranden under normale vejrforhold siden 1998. Dette er løbende dokumenteret med fotos (se disse).

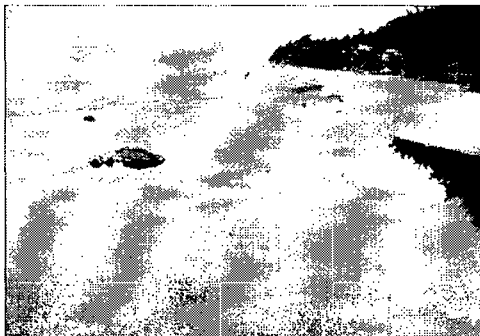


Skematisk figur af en strands opbygning. (Grafik: UVH modificeret efter Poul Jakobsen)

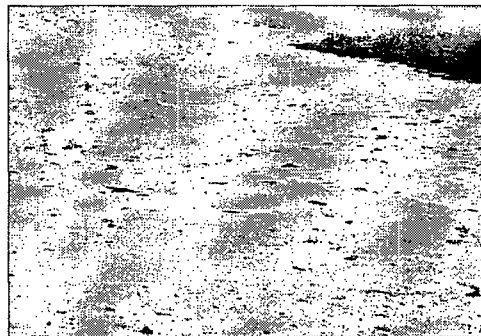
Et eksempel fra Malaysias østkyst, Teluk Chempedak



Strandprofil fra Malaysia. Man ser meget tydeligt de impermeable lag (slam) i stranden som sorte striber. Udsnit: ca. 75 cm gange 1.0 meter (Foto: Poul Jakobsen)

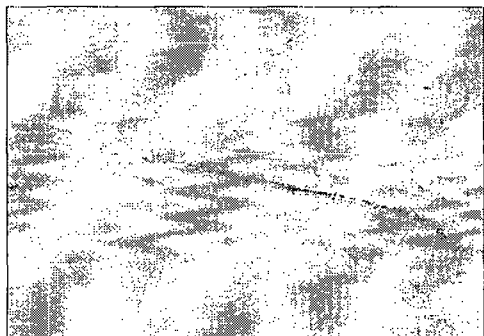


Billedet stammer fra Teluk Chempedak i Malaysia. De store vandmængder på stranden viser, at der er tale om impermeable lag. (Foto: Poul Jakobsen)

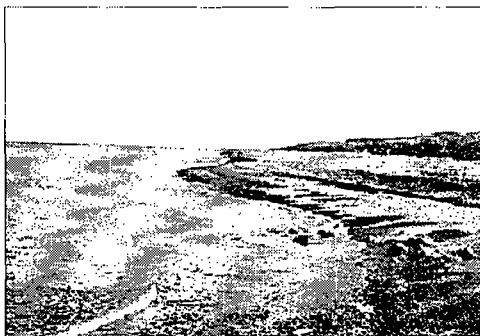


Malaysia. Efter at vandet er bortledt fra området, ser man et tyndt lag slam, som skaber det impermeable lag i stranden. Området er ca. 30 x 150 m. (Foto: Poul Jakobsen)

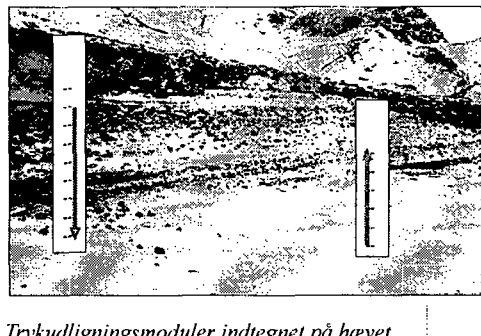
To eksempler fra Vestkysten, Hvide Sande og Gl. Skagen



Samme tynde lag findes på den jyske vestkyst, men vurderes til at bestå af lerpartikler eller tungsand, der ligger mellem sandskornene. Udsnit: 75 x 100 cm. (Foto: Poul Jakobsen)



Trykudligning af stranden skaber sandhøjder ud for rækkerne af rør ved Gl. Skagen. (Foto: Poul Jakobsen)



Trykudligningsmoduler indtegnet på hævet havbund ved Gl. Skagen. Modulerne er 175 cm lange og 6 cm i diameter. (Foto: Poul Jakobsen)

Lagene i stranden

Trykudligningsmodulerne er reelt lodrette dræn, som skaber forbindelse mellem lag med forskellig hydraulisk ledningsevne i stranden.

Disse lag kan også være meget tynde

lag mellem sandskornene og bestå af lerpartikler, humuspartikler eller tungsand, som ligger mellem sandkornene og danner impermeable lag, som øger grundvandstrykket i stranden.

Disse meget tynde lag finder man over

hele verden i strandene. Billeder ovenfor viser eksempler fra de faktiske forhold i Malaysia og eksempler fra den jyske vestkyst.

Tryksonderne

For at dokumentere funktionen af SIC-sy-

Vi borer over hele landet..!

- Kerneboringer
- Hulsneglsboringer
- Højslevboring
- Torboring
- Luftskylleboring
- Skylléboring

- ring og hør nærmere...

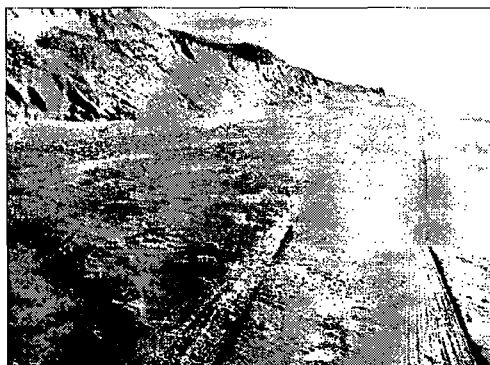


PC
POUL CHRISTIANSEN A/S
Brøndborer- &
Ingeniørfirma
7840 Højslev
Tlf. 97 53 52 22

100 år

- din sikkerhed for erfaring og kompetence...

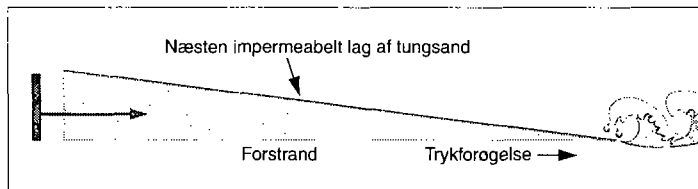
Tungsand på stranden på Vestkysten



Det impermeable lag ligger ikke vandret, men har en faldende tendens ud mod havet, og vandtrykket er derfor stigende under det impermeable lag ud mod havet. Udsnit ca. 50 x 800 m (Foto: Poul Jakobsen)



Vi ser ligeledes det sorte impermeable lag her nord for Søndervig, hvor der også er stor erosion i klitterne efter stormene i januar 2007. (Foto: Poul Jakobsen)



Figuren til venstre viser skematisk den trykforøgelse, der finder sted ud mod havet. (Grafik: UVH efter forlæg af Poul Jakobsen)



Mellem Hvide Sande og Søndervig ser vi helt tydeligt torvelagene, som er sammenpressede plantedele i stranden. Det er ferskvand, der er frosset til is, som ligger oven på torvelaget. (Foto: Poul Jakobsen)



Partiklerne fra det udtagne tungsand fra strandprofilen er meget fin-kornede og ligger pakket mellem sandskornene. (Foto: P. Jakobsen)

stemet blev det besluttet at nedsætte tryksonder i stranden 5 km syd for Hvide Sande havn.

Trykmålerne fra Holland er af fabrikat Diver, som er piezoelektriske folere kombineret med en computer, der læses rent tids-

mæssigt, så alle målinger i stranden foregår nøjagtigt samtidig (se næste side).

meldgaard tilbyder et totalkoncept til jordrens.

Det vil kort sagt sige - uanset hvilket problem du står overfor - så kan du nøjes med at ringe til ét nummer - 74 33 72 00.

- transport
- rådgivning
- opbevaring
- jordrens
- prøvetagning
- handlingsplan

Sønderjyllands største miljøcenter
Bladknæk 19 • 6200 Aabenraa
74 33 72 00 • www.meldgaard.com

Installation i stranden.

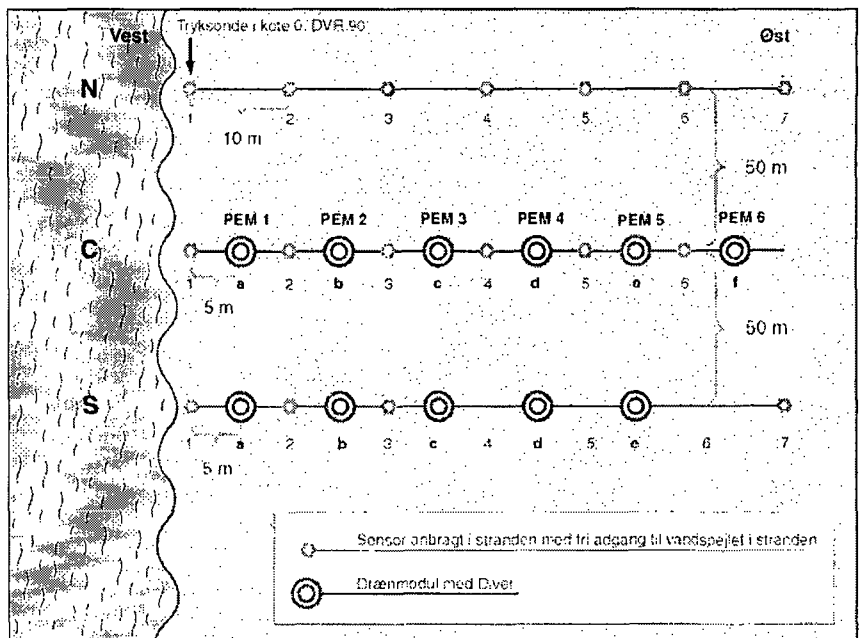
Testinstallationen blev etableret på stranden 5 km syd for Hvide Sande havn i 3 rækker, hvor sensor nr. 1 i alle tre rækker blev placeret i kote 0, og der er 10 m mellem sensorerne ind mod klitten.

Forsøget blev opdelt i 2 faser. Alle sensorer markeret med rødt blev nedsat i stranden i ovenstående konfiguration d. 20 marts 2006, og drænmodulerne blev nedsat 6 dage senere mellem sensorerne.

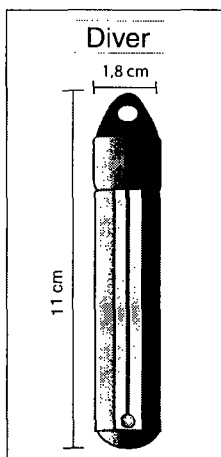
Alle dataloggere blev låst rent tidsmæssigt og målte vandstanden for hver 2 min.

Formålet med den nordlige række (N) var at sammenligne målingerne med sensorerne i centerrækken (C) for at se, om det var muligt at bruge nordrækken til referencemålinger. Dette var ikke muligt på grund af forskellene i geologien og dermed forskelle i måledata.

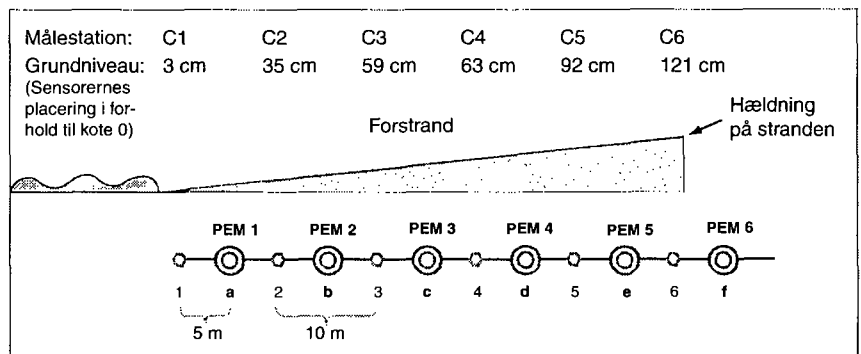
Den sydlige række var reserveret til studerende fra RUC og DTU, hvis installation af data-loggere mv. desværre slog fejl, og eleverne stod derfor efterfølgende med deres projektvejleder uden data efter en uges ophold på Vestkysten.



Tryksonderne er placeret i 3 rækker med 50 meter mellem rækkerne langs kysten og 10 meter i tværsprofilen. (Grafik: UVH modificeret efter forfatterne)



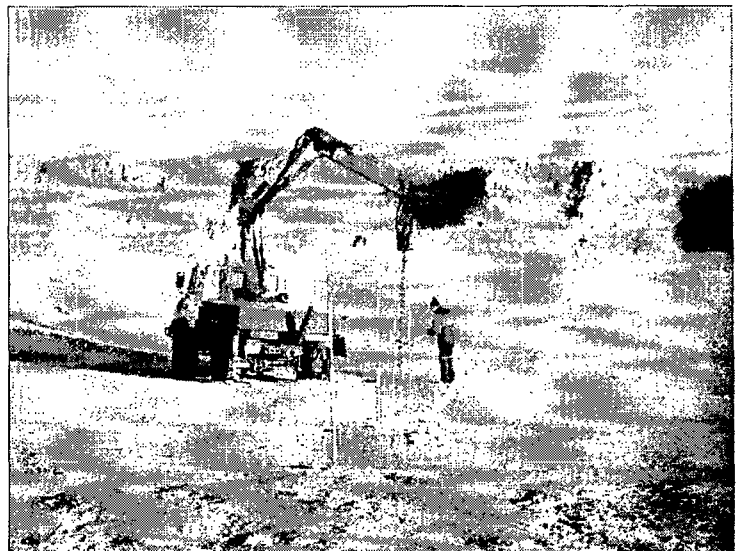
Sensorerne er ned-sænket i 1,75 meter lange rør med 10 cm fri adgang til grundvandet i bunden. (Grafik: UVH)



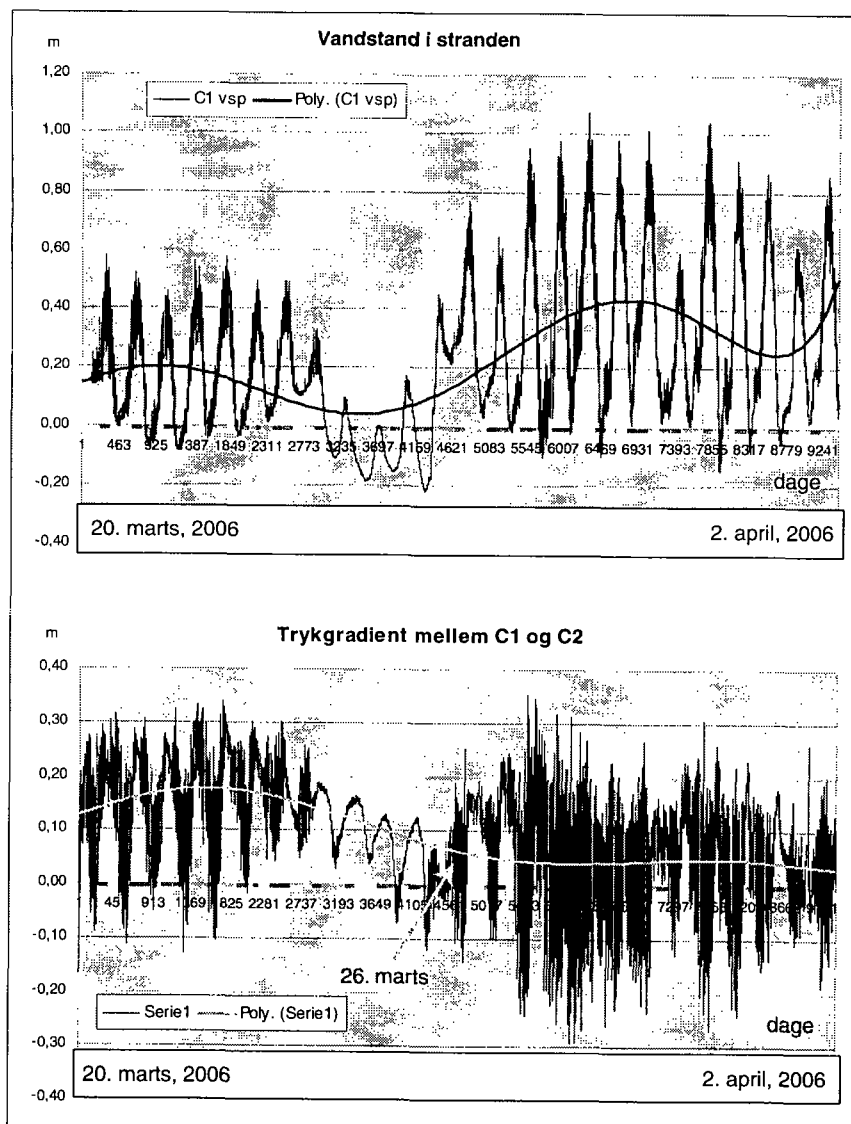
Trykudligningsmodulerne med sensorer er betegnet PEM 1 - 6. (Grafik: UVH modificeret efter Poul Jakobsens forlæg)



Trykudligningsmodulerne bores ned i stranden og sættes ca. 25 cm under overfladen. (Foto: Poul Jakobsen)



Placering af modulerne i et af profilerne. (Foto: Poul Jakobsen)



Trykgradienten mellem C1 og C2 er reduceret fra 12 - 18 cm til 5 - 6 cm, efter at trykkudlignings-modulerne er nedsat i stranden d. 26 marts 2006. (Grafik: Forfatterne)

Evaluering

Evalueringen af funktionen af trykkudligningsmodulerne er derfor baseret på målingerne i centerrækken med samme geologiske forhold, så vi arbejder med de nøjagtige samme geologiske forhold i uge 1 og efterfølgende i uge 2, hvor trykkudligningsmodulerne blev nedsat mellem sensorerne C1 - C6.

Vejrforholdene

I den første periode fra d. 20. marts til d. 26. marts, hvor der ikke var nedsat trykkudligningsmoduler i stranden, var der primært østlig vind og små bølger i området.

Den 26. marts skiftede vinden først på aftenen fra østlige til vestlige vindretninger med vestlig kuling op til 18 - 19 m/sek.

Samtidig fandt en væsentlig rejsning i middelvandstanden på kysten sted.

Vi kan desværre ikke bruge data fra

DMI's vindmåler i Hvide Sande, da denne er placeret på rensningsanlægget og dermed er i læ ved vestenvind.

Datakontrol

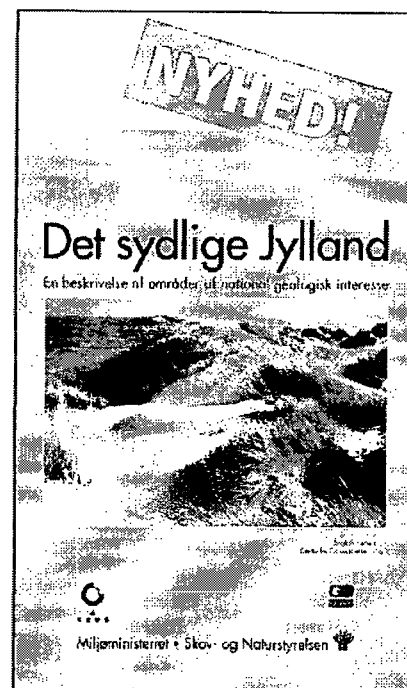
Sensorerne af fabrikat Diver har givet nogle helt fantastiske data, når vi tager i betragtning, at vi taler om trykforskelle mellem 0 og op til 15/1000 atmosfære.

Der er således tale om meget små fysiske trykforskelle, som skal behandles med megen omtanke.

Datakvaliteten er kendetegnet ved, at vi får positive data ved opadgående vandstrømme og negative værdier ved nedadgående vandstrømme.

Der er således ikke konstateret ensidige datafejil i målingerne og den efterfølgende analysemetode.

Analyserne er derfor fokuseret på centerrækken, idet man ikke kan sammenligne



Geologisk set

Det sydlige Jylland

Forfattere: Peter Gravesen, Peter Roll Jakobsen, Merete Binderup og Erik Skovbjerg Rasmussen, alle Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Nu er også lokaliteterne af national geologisk interesse i det sydlige Jylland beskrevet. Bogen indeholder en - ny - sammenstilling af den miocæne udvikling i Syd- og Midtjylland.

Et godt udgangspunkt for at opleve, studere, forstå og formidle de geologiske processer og naturområder.

188 sider, fuldt farveillustreret. Pris 216 kr. eksklusiv moms og forsendelse.

Tidligere titler i serien kan alle stadig leveres:

Fyn og øerne - Kr. 180

Bornholm - Kr. 180

Det mellemste Jylland - Kr. 220

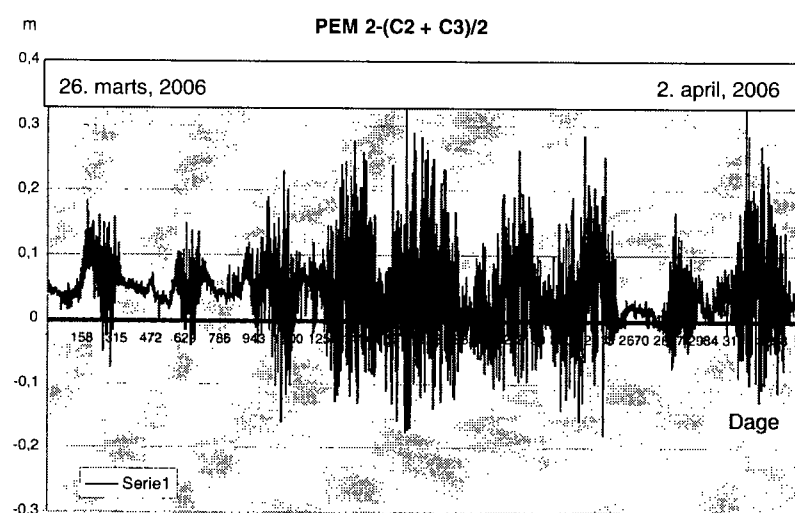
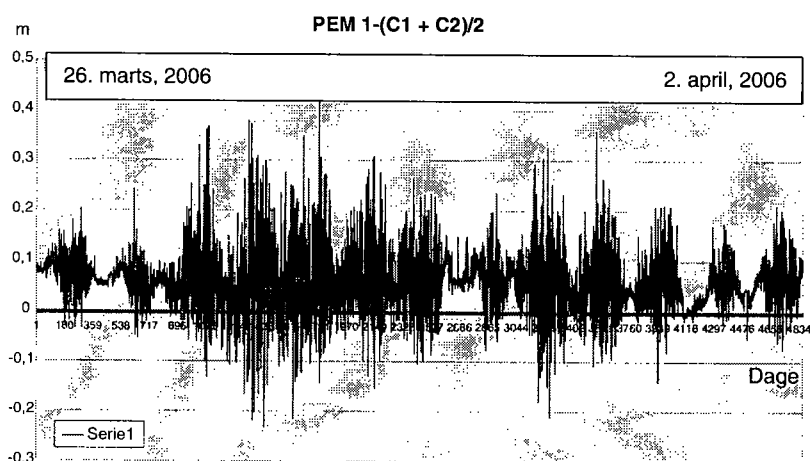
Det nordlige Jylland - Kr. 180

Alle priser er ex moms

Bestil og få vejledning: 6344 1683
Webbutik: www.geografforlaget.dk
Mail: go@geografforlaget.dk



Trykudligningsmodulerne under vand ved højvande



Trykudligningsmodulerne PEM 1 og PEM 2 dræner opad. (Grafik: Forfatterne)

disse meget små trykforskelle over bare 50 meter og slet ikke over 5 km, som nogle har forsøgt sig med.

Det er ligeledes det rene utopi at sammenligne dynamiske forskelle fra uge 1 og uge 2 på grund af forskellig vandstand i de to perioder.

Alle tryksonder er låst tidsmæssigt til starttidspunktet, således at alle målinger i stranden foregår samtidig med 2 minutters mellemrum, og det er derfor målnummeret i tidsrækken fra starttidspunktet, man ser på x-aksen i graferne.

Man ser meget tydeligt tidevandsændringerne i målingerne.

Analysemetode

Vi har derfor indledningsvis analyseret trykgradienten mellem C1 og C2, hvor man har en afstand mellem sensorerne på 10 meter.

Efterfølgende har vi analyseret dræ-

ningseffekten ved at sammenligne vandstanden i trykudligningsmodulerne med middelhøjden mellem de to nærmeste sensorer $(C1+C2)/2$, $(C2+C3)/2$, $(C3+C4)/2$, $(C4+C5)/2$, $(C5+C6)/2$

I ovenstående dobbeltfigur (PEM 1 og PEM 2) er trykudligningsmodulerne under vand i tidsrummet fra d. 26 marts til d. 2. april 2006 og er således ude i udstrømningszonen, og man ser tydeligt, at modulerne dræner opad i overensstemmelse med de grundlæggende teorier for udstrømningszonen.

Man skal hele tiden holde sig for øje, at sensorerne viser vandtrykket i stranden i såvel sensormodulerne som trykudligningsmodulerne.

Det er således dræneffekten fra trykudligningsmodulerne, som giver en ændring i trykket og dermed vandspejlet omkring modulerne.

Geologisk tidsskala

Eon	Æra	Sub-æra	System/periode	mio. år	Serie		
Fanaerozoikum	Kænozoikum	Kvartær	Neogen	0,01	Holocæn		
				1,8	Pleistocæn		
				5,3	Pliocæn		
		Tertiær	Palæogen		23,0	Miocæn	
					33,9	Oligocæn	
					55,8	Eocæn	
			Kridt	Palæozoikum		65,5	Palæocæn
						99,6	Øvre
						145,5	Nedre
						161,2	Øvre
Mesozoikum	Jura		175,6	Mellem			
			199,6	Nedre			
			199,6	Øvre			
	Trias		228,0	Mellem			
			245,0	Nedre			
			251,0	Lopingien			
	Perm		260,4	Guadalupien			
			270,6	Cisuralien			
			299,0	Øvre			
	Palæozoikum	Karbon	Pennsylvanien		306,5	Mellem	
				311,7	Nedre		
				318,1	Øvre		
Missisippien				326,4	Mellem		
				345,3	Nedre		
				359,2	Øvre		
Palæozoikum	Devon		385,3	Mellem			
			397,5	Nedre			
			416,0	Pridoli			
	Silur		418,7	Ludlow			
			422,9	Wenlock			
			428,2	Llandovery			
			443,7	Øvre			
	Proterozoikum	Proterozoikum	Neoproterozoikum		460,9	Mellem	
					471,8	Nedre	
					488,3	Furongien	
Mesoproterozoikum				501,0	Mellem		
				513,0	Nedre		
				542,0	Systembetegnelserne for Præterozoikum er ikke medtaget. For Arkæikum forligger der ingen systemnavne.		
Arkæikum	Arkæikum	Neoarkeikum		1.000			
				1.600			
		Mesoarkeikum		2.500			
				2.800			
Eoarkeikum		3.200					
		3.600					

Det er ikke kun inde i modulerne, man opnår effekten af trykudligningsmoduleme, men også omkring de lodrette dræn, som virker som selvspulende filtre.

PEM betyder på engelsk *Pressure Equalization Modules*, og de enkelte grafer kommer fra SIC's 1. års rapport fra Vestkysten, som ligger på SIC's hjemmeside www.shore.dk.

Triplefiguren til højre viser PEM 3, PEM 4 og PEM 5, som er placeret på den tørre del af stranden under de givne forhold, og man ser meget tydeligt, at modulerne dræner nedad og sænker vandstanden i stranden i forhold til de nærmeste tryksensorer som forventet af lodrette dræn inde på stranden.

Analysér

Vi ser en meget tydelig effekt af trykudligningsmodulerne uden for kystlinien i udstømningszonen, idet analysen viser en klar opadgående vandstrøm i trykudligningsmodulerne PEM 1 og PEM 2 og dermed det omkringliggende område.

Samtidig ser vi meget tydeligt drænings-effekten af trykudligningsmodulerne inde på stranden, hvor modulerne dræner vandet nedad til lag med eventuelt bedre hydraulisk ledningsevne.

Lodrette dræn har imidlertid en dobbeltfunktion, idet drænene både kan dræne opad og nedad i relation til vandtrykket i stranden.

Lodrette dræn er en anerkendt dræningsteknik i lighed med horisontale dræn, men er ikke nær så kendt i videnskabelige kredse som horisontale dræn.

Vi vil gå så langt og påstå, at lodrette dræn generelt ikke er kendt i de mere videnskabelige kredse inden for kystteknik, og vi har mødt højt uddannede videnskabsfolk, hvor indgangsreplikken har været: "Lodrette dræn – hvad er det for noget, og hvor løber vandet hen?"

Disse replikker er reelt baggrunden for denne meget interessante undersøgelse, som viser de meget små trykforskelle i stranden. Disse trykforskelle har imidlertid en meget stor betydning for kystprofillets udsende.

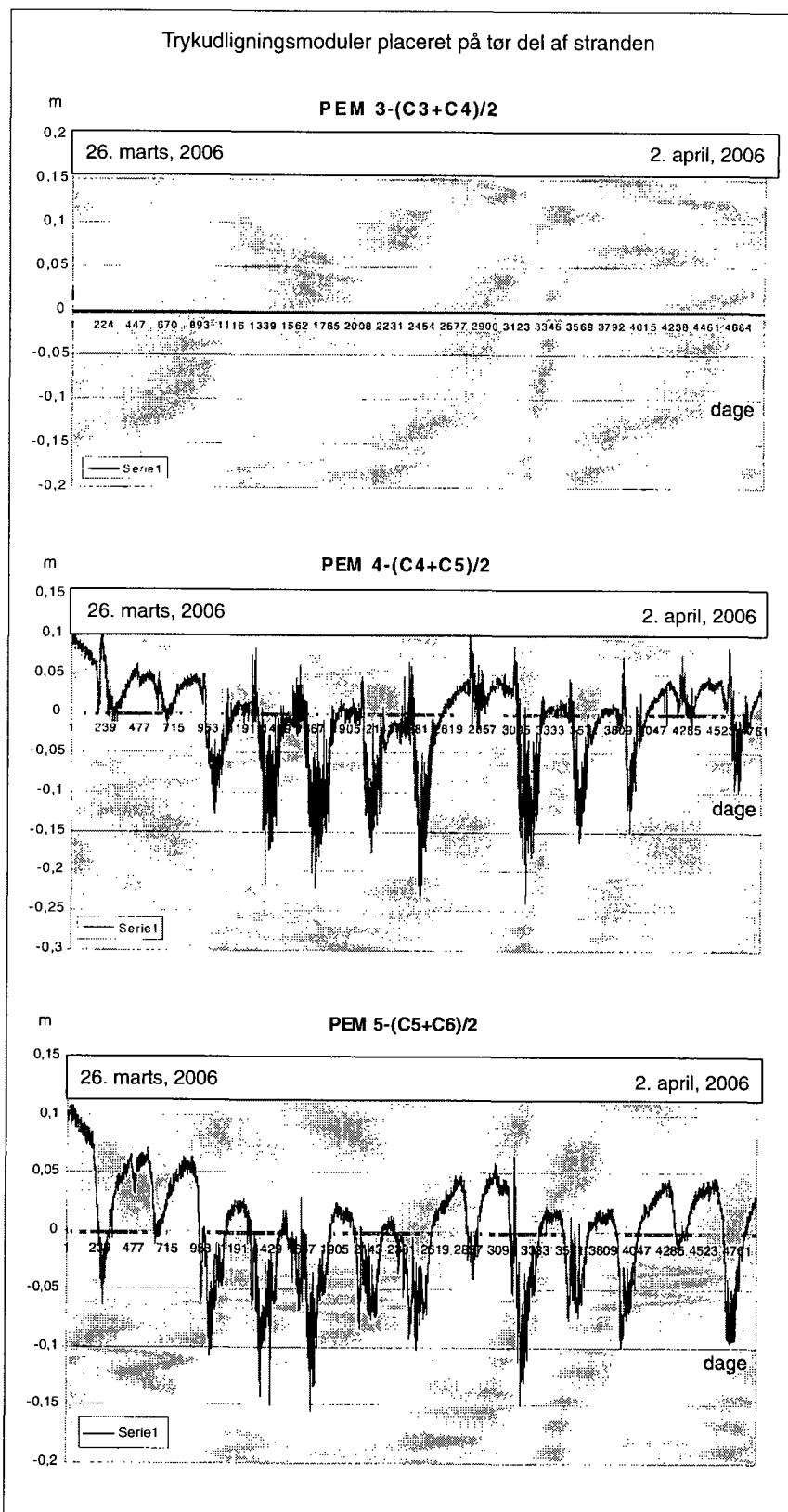
Trigger

Modulerne virker som en trigger, der holder processerne i gang, når de mere eller mindre impermeable lag er gennembrudt med modulerne.

Når der er vandstrømme i filterne, har vi samtidig en selvspulende effekt, som også åbner de impermeable lag uden for modulerne, og man kan derfor ikke bare regne på vandstrømmene inde i modulerne.

Dræneffekten er derfor en vedvarende proces, som vedligeholdes af den selvspulende proces fra trykudligningsmoduleme.

Ordet *trigger* er et engelsk udtryk fra elektronikkens verden; den lille trigger kan på nogle få mikrosekunder og få milliwatt styre mange megawatt fx i et stort Nato radaranlæg.



PEM 3, PEM 4 og PEM 5 dræner nedad og sænker vandstanden i stranden i forhold til de nærmeste tryksensorer. (Grafik: Forfatterne)

Barometertrykket

Barometertrykket er samtidig en faktor i processen, idet det atmosfæriske tryk får adgang til vandspejlet under eventuelle impermeable lag.

Barometertrykket kan give en vandspejlsændring på op til +/- 20 centimeter og kan dermed være med til at dræne vandet hurtigere ud af stranden ved stigende barometerstand.



Sandhøjde ved Gl. Skagen. (Foto: Poul Jakobsen)

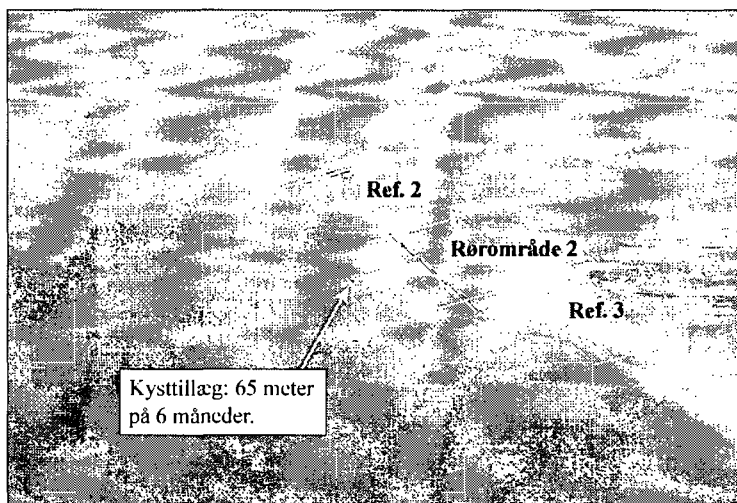
Konklusion.

Der er videnskabelig enighed om, at når vandtrykket er højt i en strand, får man kysterosion, mens der opstår et balanceprofil, når vandtrykket sænkes i en strand.

Der er nu fuld dokumentation for, at trykudligningsmodulerne ændrer trykgradienten på ferskvandet i stranden, når lagdelingen gennembrydes med lodrette dræn, og at stranden drænes i såvel udstrømningszonen som stranden.

Vi kan derfor konkludere, at der er god overensstemmelse med de videnskabelige teorier på området, når der opstår sandhøfder på kysten ud for rækkerne med trykudligningsmoduler, som dræner stranden.

Disse sandhøfder opfanger den langsgå-



Trykudligningsmodulerne har resulteret i et kysttillæg på 65 meter over 6 måneder på Hvide Sande. (Foto: Poul Jakobsen, august 2005)

ende materialetransport, og der opstår brede og høje sandstrande, som man ser på ovenstående billeder fra henholdsvis Gl. Skagen, hvor SIC-systemet blev udviklet og efterfølgende ved Hvide Sande, hvor systemet vises i stor målestok.

Projektet har vist, at SIC-systemet har stoppet den naturlige tilbagerykning på 2,0

meter årligt i læside-erosionsområdet syd for Hvide Sande havn.

Dette svarer til 330.000 m³ årligt på den 11 km lange strækning, og de uvildige opmålinger og beregninger udført af ingeniørfirmaet Carl Bro A/S viser, at der derudover er et kysttillæg på 476.000 m³, så den samlede effekt i det første år er ca. 800.000 m³. □

Kort nyt

Flere skred på Møns Klint

Inden for den sidste halvanden måneds tid har Møns Klint oplevet to voldsomme skred. Det første store skred fandt sted natten mellem d. 26. og 27. januar i år – heldigvis om natten, så ingen kom til skade. I 1994 faldt der et stort stykke af klinten ned, hvorved en fransk turist omkom i skredmasserne.

Skredet sidst i januar 2007 bestod af omkring 460.000 tons kridt, sand og ler, der har dannet en halvø, der rager ca. 300 m ud i Østersøen. Skredet er det største i 50 år. Natten mellem d. 1. og 2. marts fandt der så et nyt skred sted mellem Freuchens Pynt og Græderen. Det nye skred, der primært udgøres af kridt, strækker sig ca. 150 meter ud i Østersøen.

Skov- og Naturstyrelsen valgte derfor at lukke for al færdsel på strand og skredmasser neden for Møns Klint d. 3. marts. Indtil da havde mange interesserede været ude på den nye halvø og samle fossiler, der var dukket op i store mængder efter skredet. D. 4. marts fandt et lille skred sted nær Jydelejetrappen. Samme dag havde Skov- og

Det største skred på Møns Klint i 50 år. Bemærk de 3 ivrige samlere ovre til højre i fotoet. (Foto: Birgit Larsen, Næstved; taget 3. februar 2007)



Naturstyrelsen sat adgang forbudt-skilte op ved alle nedgange til klinten.

Ca. 200.000 m³ klint er skredet ud i havet. Det er formentlig det høje porevandstryk – udløst af ophobning af vand i jorden som følge af voldsom nedbør – der er skyld i skredene – herved dannes der sprækker, som fyldes med vand, og kombineret med en vis frostaktivitet er store dele af

klinten skredet i havet.

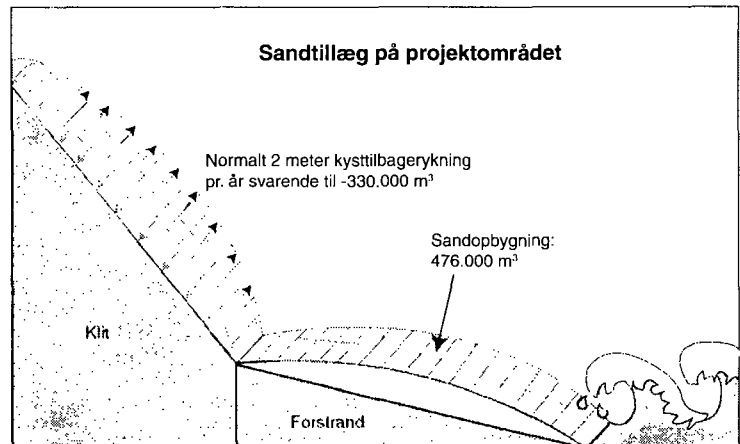
Møns Klint består i den nedre del af skrivekridt fra Øvre Kridt. Enheden har en mægtighed på op mod 60 m. Oven over kridtet mangler hele den tertiære og store dele af den tertiære lagserie, der derfor overlejres af istidsaflejret sand og ler. På sit højeste sted er klinten omkring 125 m.o.h.

www.skovognatur.dk/UV11 □

Vertikale dræn på Vestkysten - stor sandopbygning i stedet for sandtab

Af ingeniørerne Poul Jakobsen og Claus Brogger, SIC

Denne artikel er en opfølgning af indlæggene bragt i GeologiskNyt 1/07. Opmålingerne efter 2 år viser, at anvendelse af de vertikale drænrør som kystbeskyttelse har stoppet erosionen syd for Hvide Sande havn. Middelstrandhøjden er hævet signifikant i forhold til Ref-område 1 og Ref-område 2 uden vertikale dræn. Opmålingerne viser endvidere, at der er læsideakkumulation i Ref-område 3 i modsætning til høfder og bølgebrydere, som skaber stor læsideerosion. Samtidig er der sket en betydelig sandopbygning i forkanten af klitten og forstranden i de drænede områder. Dette har medført forøget sandfygning til baglandet i modsætning til Ref-område 1 og 2, hvor der er stor bølgeerosion. Det er derfor nødvendigt at plante fx hjælme fra klitfoden og 10 - 15 meter ud på stranden, så sandet fastholdes på forstranden.



Figuren viser den normale årlige kysttilbagerykning på 2,0 meter i alt 330.000 m³ samt kystopbygningen i forstranden og forkanten af klitten 476.000 m³ i 2005. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne; anvendt i 1/07)

Efter to år og en hård vinter på Vestkysten med ikke mindre end fem storme fra oktober 2006 til 20. januar 2007 har sandtabet på stranden i Rørområde 1 og 2 samt Ref-område 3 kun været 69.000 m³.

Sandopbygning

Systemet med vertikale dræn giver som tidligere beskrevet læsidedtillæg af vasket sand i modsætning til hårde konstruktioner, som

giver læsideerosion.

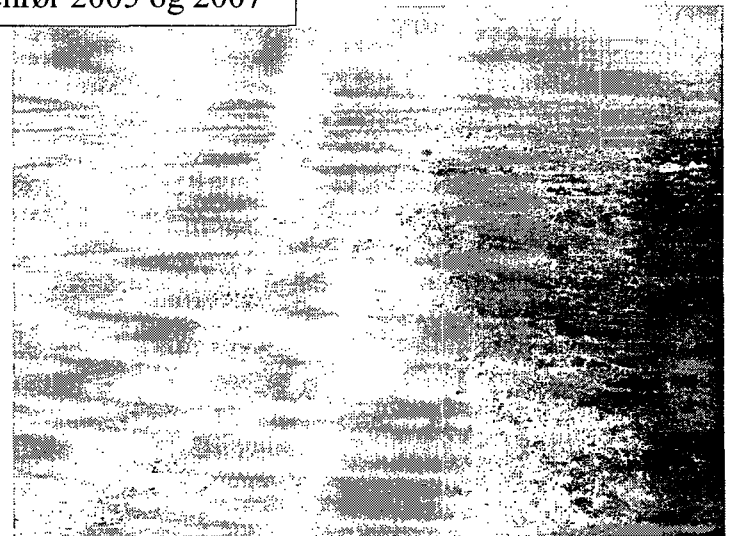
Stormen i marts 2007 ligger efter opmålingen for de første to år og er derfor ikke med i beregningerne.

Strandfodringen på 960.000 m³ ved Søndervig er skyllet i havet, og det vurderes, at havet har taget yderligere ca. 400.000 m³ af klitterne i strandfodringsområdet nord og syd for Søndervig, hvor der er store klitskader.

Søndervig uden drænrør 2005 og 2007

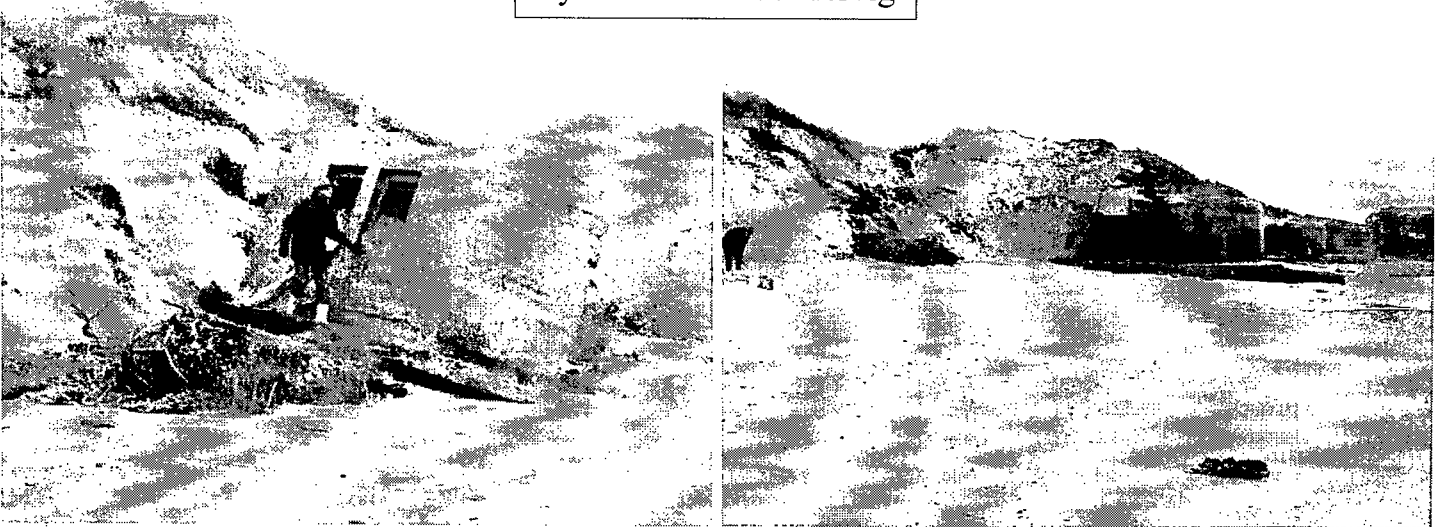


Sandfodring ved Søndervig d. 5. juli 2005 efter strandfodring med 960.000 m³ sand på stranden. Vandstand: +45 cm. (Foto: P. Jakobsen d. 05-07-2005)



Søndervig d. 16 januar 2007 efter en investering på 42,0 mio. kr. i strand- og revlefodring. Strandfodringen er skyllet i havet, og havet har taget ca. 400.000 m³ af klitterne. Vandstand: +50 cm. (Foto: P. Jakobsen)

Krylen nord for Søndervig



Bunkerne vælter ud af klitterne efter vinterens storme i 2006/07, som vi så ved Søndervig i 2005. Strandfodringen på 960.000 m³ er skyllet i havet. (Foto: P. Jakobsen)

Strand- og revlefordringen ved Søndervig har kostet ca. 42 mio. kr. incl. skråningsbeskyttelsen, som kostede ca. 8,0 mio. kr.

Som beskrevet i GeologiskNyt 1/07 har systemet med de vertikale drænrør stoppet erosionen i læside-erosionsområdet syd for Hvide Sande havn.

Samtidig er der sket en sandopbygning fra klittoppen og ud til kystlinen på 476.000 m³, så den samlede effekt er 806.000 m³ i det første år.

Hvis sandmængden i forstranden beregnes med baggrund i den nye beregningsmetode baseret på fastlåste referencelinier, er sandtillægget 411.000 m³ og en samlet effekt på 741.000 m³ i det første år.

Vinddata

Som vi ser i figuren nedenfor til venstre, er vindhastigheden på Hvide Sande væsentligt

lavere end vindhastigheden på Torsminde og Blåvandshug. Dette skyldes vindmålerens placering på rensningsanlægget inde bag klitterne i Hvide Sande. Vindmåleren viser således 7 - 10 m/sek for lidt ved vestlige vindretninger.

Det er derfor nødvendigt at interpolere vinddata for Torsminde og Blåvandshug.

Data for middelvinde i Torsminde ses på figuren nederst til højre – målingerne stammer fra d. 13.-14. januar.

Ellerfølgende har vi kvalitetsvurderet KDI's (Kystdirektoratets) vinddata fra Slusen i Hvide Sande, men disse vinddata var også signifikant afvigende fra Torsminde og Blåvandshug, idet vindmåleren var nedslidt og til slut blæste ned i stormen d. 19.-20. januar 2007.

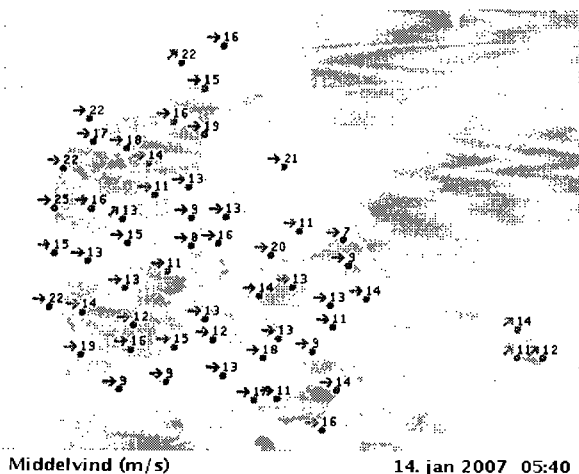
Med baggrund i vinddata fra Blåvands- og Hvide Sande er der registreret

følgende storme på Vestkysten i vinteren 2006/07:

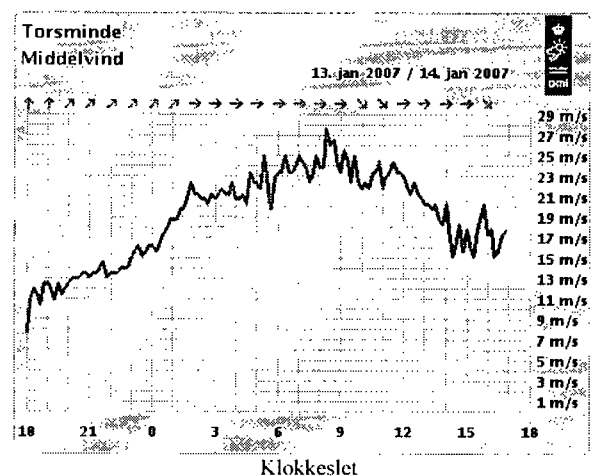
Det er en fejl at der ikke blev opsat en vindmåler i projektområdet i forbindelse med projektstart i januar 2005.

Dato for storme	Maksimal vandstand
27. oktober, 2006	1,54 m
1. januar, 2007	1,75 m
11.-12. januar 2007	2,14 m
14. januar, 2007	1,78 m
19.-20. januar, 2007	1,78 m

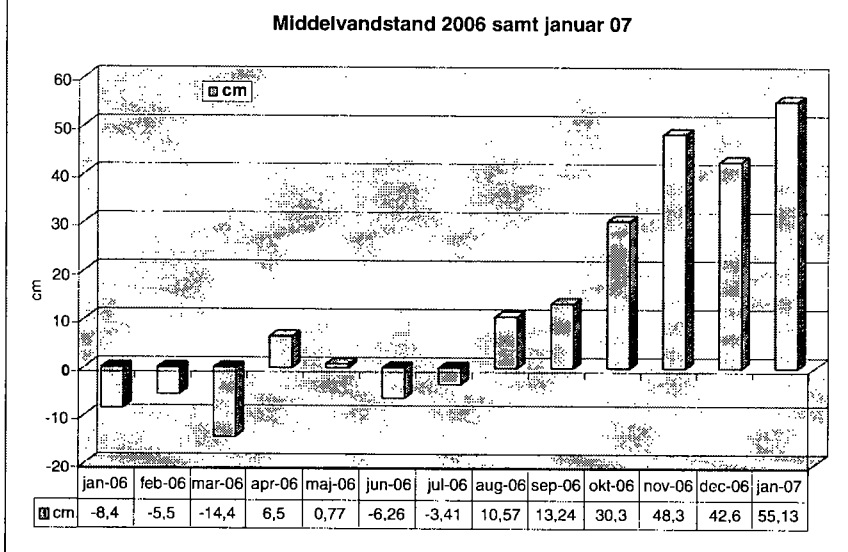
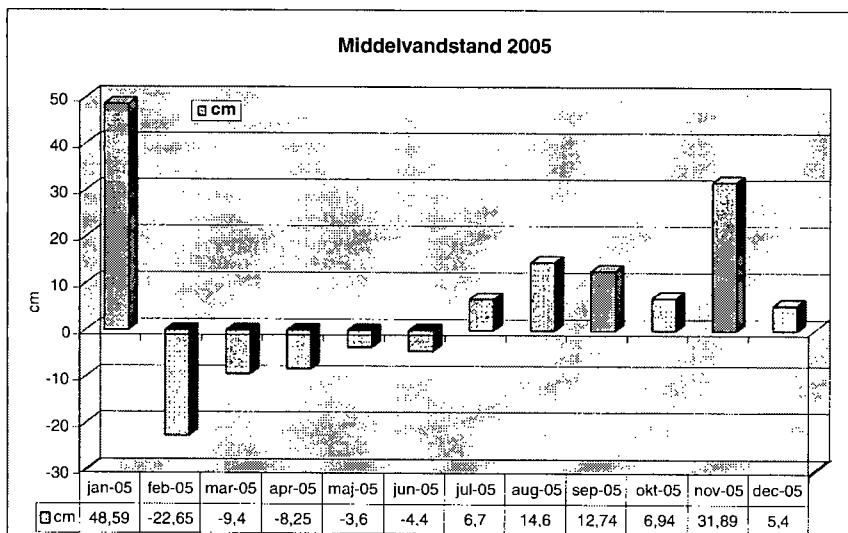
Opmåling på stranden blev påbegyndt d. 22. januar og afsluttet d. 25. januar 2007. Alle opmålinger er udført af Carl Bro A/S



Vindhastighedsdata fra d. 14. januar, 2007. (Grafik: gengivet med tilladelse fra DMI)



Middelvind – data fra Torsminde fra d. 13.-14. januar, 2007. (Grafik: gengivet med tilladelse fra DMI)



Figurerne viser middelvandstanden månedsvi i henholdsvis 2005 og i 2006 samt januar 2007. (Grafik: UV11 modificeret efter udlæg af forfatterne)

Geologisk tidsskala

Eon	Æra	Sub-æra	System/periode	mio. år	Serie	
Faneozoikum	Kænozoikum	Kvartær	Neogen	0,01	Holocæn	
				1,8	Pleistocæn	
				5,3	Pliocæn	
		Tertiær	Palæogen	23,0	Miocæn	
				33,9	Oligocæn	
				55,8	Eocæn	
				65,5	Palæocæn	
				Kridt	Øvre	
					99,6	Nedre
					Jura	145,5
161,2	Mellem					
175,6	Nedre					
Faneozoikum	Mesozoikum	Trias	199,6	Øvre		
			228,0	Mellem		
			245,0	Nedre		
		Perm	251,0	Lopingien		
			260,4	Guadalupien		
		Karbon	270,6	Cisuralien		
			299,0	Øvre		
			306,5	Mellem		
			311,7	Nedre		
			318,1	Øvre		
Faneozoikum	Palæozoikum	Devon	326,4	Mellem		
			345,3	Nedre		
			359,2	Øvre		
		Silur	385,3	Mellem		
			397,5	Nedre		
			416,0	Pridoli		
		Ordovicium	416,7	Ludlow		
			422,9	Wenlock		
			428,2	Llandovery		
			443,7	Øvre		
Arkeozoikum	Arkeozoikum	460,9	Mellem			
		471,6	Nedre			
		488,3	Furongien			
		501,0	Mellem			
		513,0	Nedre			
Arkeozoikum	Arkeozoikum	542,0	Systembetegnelse for Proterozoikum er ikke medtaget. For Arkeozoikum forligger der ingen systemnavne.			
		1.000	Neoproterozoikum			
		1.600	Mesoproterozoikum			
		2.500	Palæoproterozoikum			
		2.800	Neoarkæikum			
3.200	Mesoarkæikum					
3.600	Palæoarkæikum					
3.600	Eoarkæikum					



MILJØRÅDGIVNING JORD & GRUNDVAND

Forureningsundersøgelser
Jordforureniger
Grundvandsforureniger
Indeklima

Anlægsarbejde
Klassificering af jord
Ændret arealanvendelse
Myndighedsbehandling

Geofysik
Lokalisering af ledninger og tanke
Lokalisering af vandkader i bygninger
Kortlægning af jordlagene

POUL FALKENBERG ApS
MILJØRÅDGIVNING - JORD & GRUNDVAND
Nordre Strandvej 119A, DK-3150 Hellebæk
Tlf: +45 48 18 75 66
www.poulfalkenberg.dk

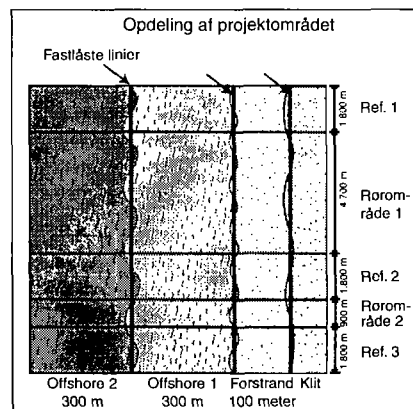
Vandstand.
Middelvandstanden på Vestkysten lå i 2005 +6,55 cm over DVR 90, som det ses på figuren øverst på denne side. (DVR = Dansk Vertikal Reference er et nyindført højdesystem, der er baseret på det seneste præcisionsniveaulement – det betegnes "Højdesystem DVR 90").
Middelvandstanden på Vestkysten lå i 2006 +9,53 cm over DVR 90.
Middelvandstanden var i stormperioden fra d. 20. oktober 2006 til d. 20. januar 2007 +54,5 cm over DVR 90.
SIC-systemet blev således testet under forhold, som svarer til den globale vandstandsstigning over 100 år.
Man ser tydeligt den forhøjede middelvandstand i månederne oktober, november, december i 2006 samt januar i 2007 på ovenstående figur. Tilsvarende ser man lavere værdier i 2005.

Bølger

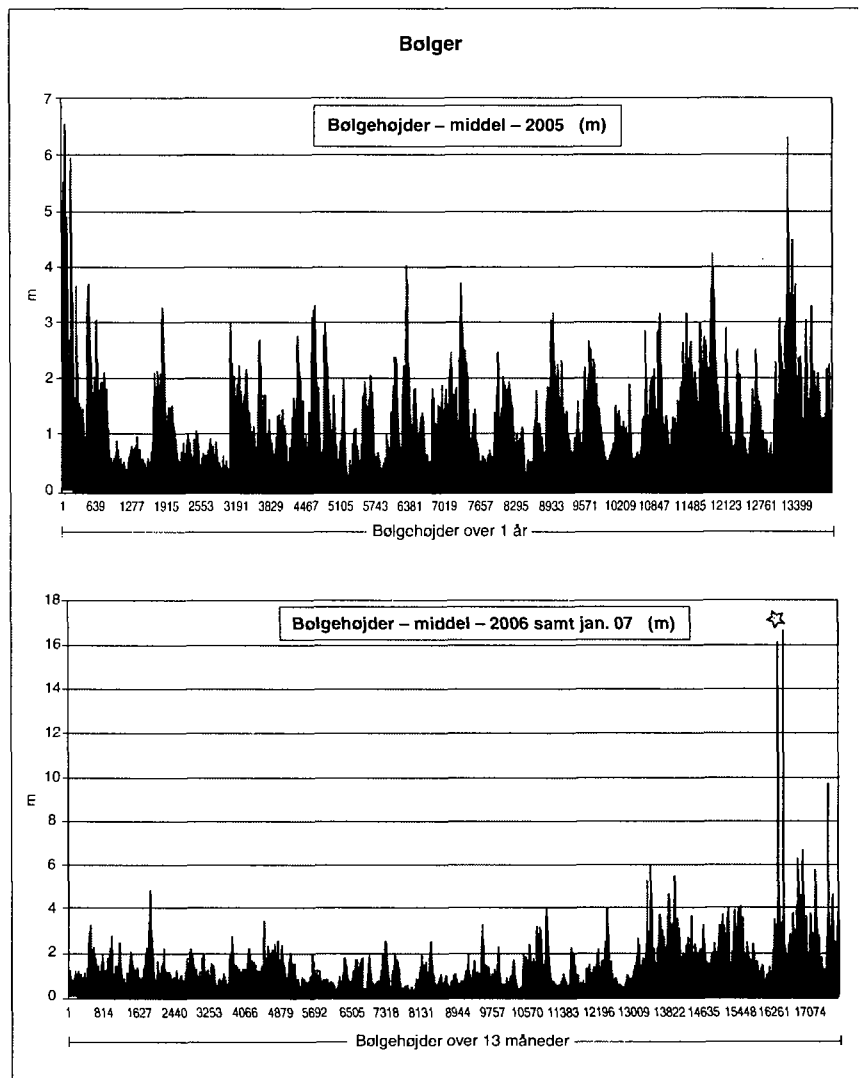
Som det ses på nederste illustration på figuren til højre på denne side, viser bølgemåleren nogle voldsomme bølgehøjder i januar 2007, hvilket indikerer, at vejret har været ekstremt hårdt på Vestkysten i vinteren 2007.

Bølgedata er registreret over perioder af 20 minutter på x-aksen. Data er levet af KDI

De højeste målinger på over 16 meter (markeret med en stjerne på figuren) forekommer dog ikke realistiske og anses derfor for at være fejlagtige.

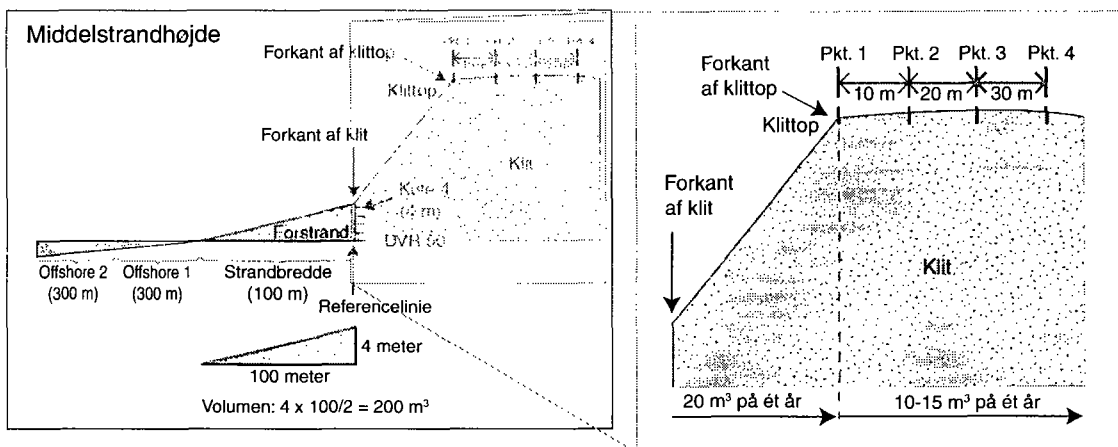


Klitten er defineret fra kote +4 i DVR 90 til klittop. Forstranden er fra kote +4 i kliffod og 100 m ud mod havet. Kote +4 i kliffoden er fastlåst til opmålingen i januar 2005, hvor anlægget er etableret. Offshore 1 er 300 meter bred og fastlåst til referencelinien i kote +4 januar 2005. Offshore 2 er 300 meter bred og fastlåst til Offshore 1. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne; anvendt i 1/07)



Bølgehøjder målt i henholdsvis 2005 og 2006 samt januar 2007. Bemærk målingerne markeret med en stjerne – disse forekommer urealistiske og kasseres derfor. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Figuren til højre viser tværsnittet af strandprofil og grundlaget for beregningen af middelstrandhøjden i 100 meters bredde. Det viste eksempel angiver en middelstrandhøjde på 2,0 m og dermed 200 m³ pr. meter. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Figuren til højre viser forkanten af klitten samt målepunkterne på klittoppen, så udviklingen i klitten kan beregnes. I det første år var der en akkumulation i forkanten af klitten i de drænedes områder på 20 m³ pr. meter (ses på figuren nederst s. 13). I de drænedes områder er der en opbygning på toppen af klitten med 10 - 15 m³ pr. år (se teksten side 15), og den samlede opbygning i klitten er således 30 - 35 m³ pr. år. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Beregningseksempel

Opbygning i forkanten af klitten (i de drænedes områder):	20 m ³ pr. år
Opbygning på toppen af klitten:	10 - 15 m ³ pr. år
Samlet opbygning i klitten pr. år:	30 - 35 m ³ pr. år

Design

Målet med projektet er at bygge en 70-100 m bred sandstrand foran klitterne i et balanceprofil (teoretisk: Et profil der ikke eroderes). Der sættes max. 11 moduler i de enkelte rækker. Modulerne er neddykkede 25 cm i stranden.

Middelstrandhøjden skal være større end 1,3 m. Når middelstrandhøjden er større end 1,3 m, ser man nemlig ikke haverosion i klitterne i stormsituationer. Når middelstrandhøjden er 1,3 m, har man en buffer på 130 m³ pr. meter langs stranden (jævnfør figuren på foregående side). Kystlinien skal være så lige som muligt for at opnå de bedste resultater.

Resultat efter 2 år

Opmålingerne viser, at middelstrandhøjden. Som beskrevet nederst på side 12 er middelstrandhøjden den vigtigste faktor, når man skal evaluere styrken på en strand (modstandsdygtigheden).

Middelstrandhøjden (figuren øverst på siden), viser med et enkelt tal den gennemsnitlige strandhøjde i 100 meters bredde fra klitfoden og ud mod havet i de enkelte områder.

Det samme tal angiver samtidig antallet af m³ i forstranden, når man ganger tallet med 100.

Opmålingerne viser, at middelstrandhøjden er større end 1,3 m i begge rør områder samt Ref-område 3, hvor der er læsideditillæg med vasket sand.

I modsætning hertil er middelstrandhøjden faldet i Ref-område 1 fra 1,06 meter til 73 cm., og i Ref-område 2 fra 1,35 m til 29 cm.

Den oprindelige strand er således bortroderet i Ref-område 2, som var det stærkeste område i januar 2005.

Samtidig ser vi en forøgelse af middelstrandhøjden i Ref-område 3. Dette skyldes aflejringen af vasket sand fra Rørområde 2, og vi kan hermed se, at strande med vertikale dræn giver læsideditillæg i modsætning til høfder og bølgebrydere, som giver stor læsidederosion.

Denne proces foregår også inde i Rørområde 1, men vil først give udslag i Ref-område 2 i løbet af nogle år.

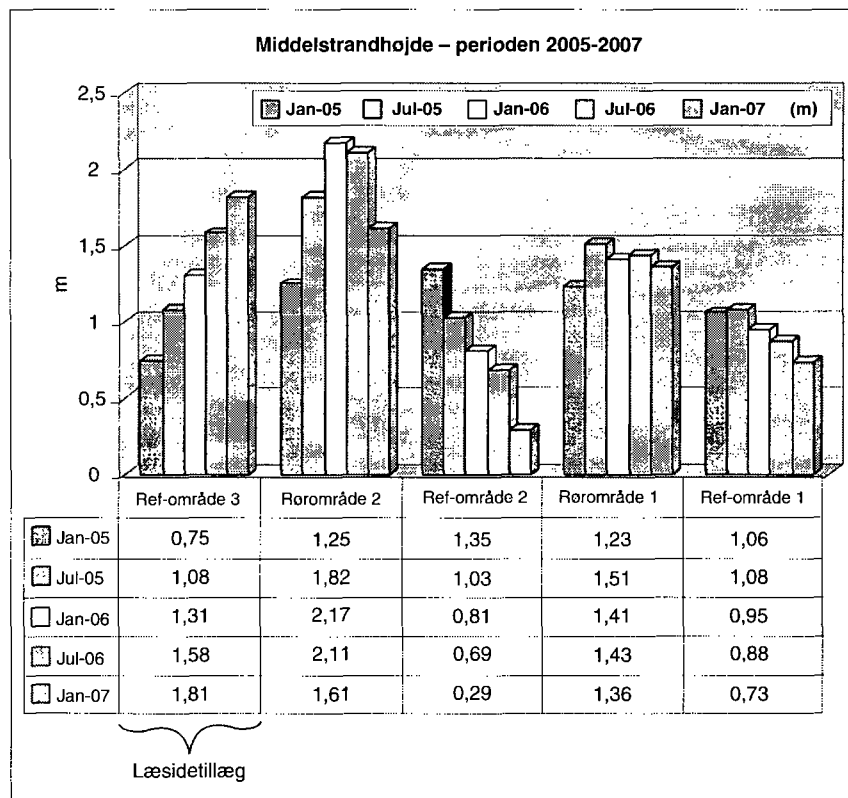
Klitudvikling

Når middelstrandhøjden bliver signifikant højere i de drænedede områder, flytter sandet fra forstranden meget lettere ind i baglandet og medfører en forstærkning af klitterne, som vi uddyber nærmere på de efterfølgende sider.

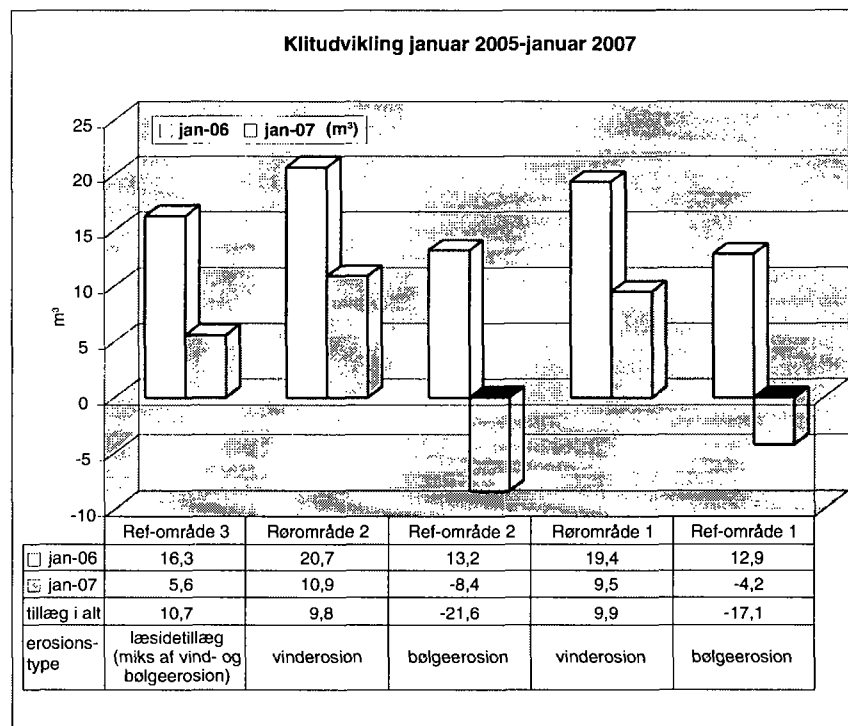
I Ref-område 1 er erosionen fra januar 2006 til januar 2007 17,1 m³. I Ref-område 2 er erosionen 21,6 m³ pr. meter, som det ses på figuren nederst på siden.

Modsætningsvis er erosionen i Rørområde 1 og Rørområde 2 henholdsvis 9,9 m³ og 9,8 m³.

Det vil sige, at kliterosionen i forkanten



Middelstrandhøjden er beregnet fra klitfoden i kote 4,0 og 100 meter ud mod havet, som vist på foregående side. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

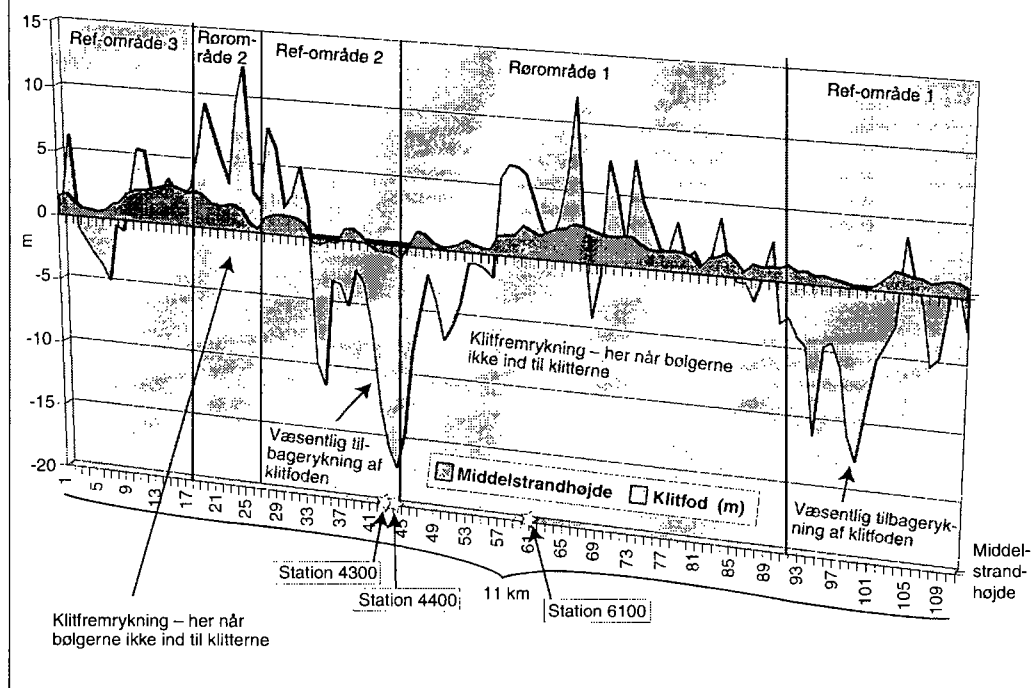


Figuren viser klitudviklingen i henholdsvis januar 2006 og januar 2007. I rørområderne er det primært vinderosionen, der dominerer, mens det er bølgeerosionen, der dominerer i referenceområderne. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

af klitterne er dobbelt så stor i Ref-område 1 og Ref-område 2 i forhold til de drænedede rørområder.

I rørområderne er det primært vinderosion, der dominerer, mens der i referenceområderne primært er dominans af

Klitfodsbevægelse i relation til middelstrandhøjde



Figuren viser klitfodsbevægelsen sammenstillet med middelstrandhøjden. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

bolgeerosion, som vi ser det på figurene på denne side.

Klitfoden er rykket op til 12,5 meter tilbage i Referenceområde 1 og op til 17 meter tilbage i Referenceområde 2, hvor havet har været dybt inde i klitterne.

Klitfodsbevægelse

Figuren øverst på denne side viser ændringerne i klitfoden sammenholdt med middelstrandhøjden. Man ser tydeligt, at klitfoden

rykker frem i de drøede områder (for eksempel i Rørområde 1 og Rørområde 2), mens der er bolgeerosion i områderne med lav middelstrandhøjde (for eksempel i Referenceområde 1 og 2).

Bølgeerosionen fører materialerne tilbage til havet, mens sandet går tabt inde i baglandet ved vinderosion.

Der er således en væsentlig forskel på erosionen i forkanten af klitterne i henholdsvis rørområderne og i referenceområderne.

BRØNDBORINGSFIRMAET BRØKER I.S.

Kontor og værksted: Telefon 59 44 04 06
Spånnebæk 7, 4300 Holbæk.
Fax 59 44 69 00

Thomas Brøker, privat 59 44 08 71
Bil 21 42 38 71

Henrik Brøker, privat 59 43 09 94
Bil 23 34 77 01



VORT SPECIALE ER:

BRØNDBORING, rotations- og tørboring.

MILJØBORING, hulsneglsboring med kærneprøveudtagning.

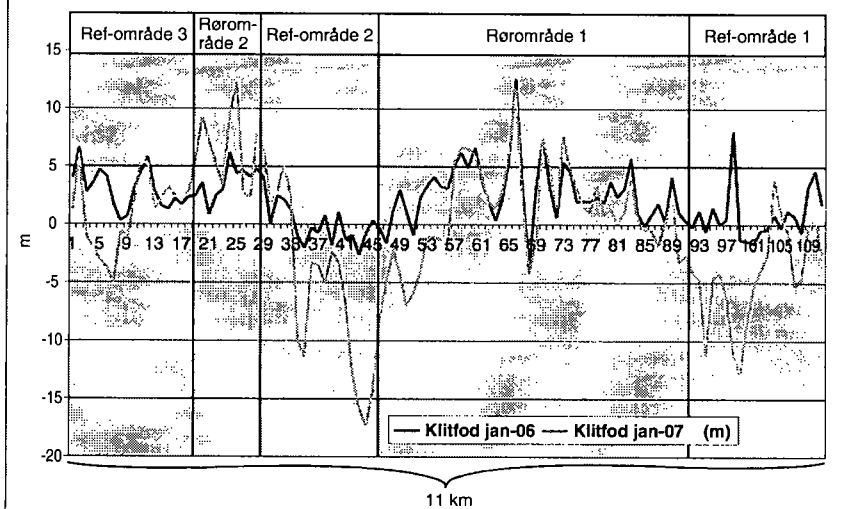
REGENERERING af borerer.

PRØVEPUMPNING af borerer og kildepladsundersøgelser med avanceret elektronisk udstyr og EDB-behandling.

Vi forhandler GRUNDFOS pumper og vort veludstyrede værksted renoverer Grundfos' vandværkspumper.

Vi leverer og monterer underjordiske GLASFIBERPUMPEBRØNDE af eget fabrikat med udstyr i rustfrit stål tilpasset de aktuelle dimensioner.

Udvikling i klitfod januar 2005 - januar 2007



Vind- og bolgeerosionens indflydelse på reference- og rørområderne. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Vinderosion

I forbindelse med drænedde strande er det nødvendigt at fokusere på vinderosionen i forstranden.

I det første år registrerede vi en opbygning af sand på forkanten af klitten på ca. 20 m³ i de drænedde områder.

Disse 20 m³ er borte-roderet af vinden i forstranden og blæst op i forkanten af klitten. Efterfølgende har vi målt, at klitterne i de drænedde områder hæver sig på toppen med 90 – 120 cm på 2,5 år i et 30 meter bredt bælte.

Dette svarer til 27 - 36 m³ over 2,5 år eller 10 - 15 m³ pr. meter om året.

Vi kan således se, at vinderosionen i forstranden er mindst 30 - 35 m³ pr. meter pr. år eller ca. 100 m³ over 3 år.

Vi skal således se nærmere på to forhold. For det første sænkes forstranden i de drænedde områder ca. 100 cm i løbet af 3 år, hvis stranden er 100 meter bred.

Erosion i forstranden er således ikke bare erosion, men der skal skelnes mellem vinderosion i de drænedde områder og bolgeerosion i Ref-område 1 og Ref-område 2, hvor forstranden reelt er borte-roderet af bølgerne.

For det andet er det imidlertid kun de finkornede materialer, som fyger op i klitterne, mens ral og sten forbliver i forstranden.

Vinderosionen er således en væsentlig faktor, når vi taler om, at materialerne bliver grovere i forstranden, når strandene drænes.

Det er et faktum at vinden blæser ca. 100 m³ sand pr. meter over 3 år op i klitterne.

Sigteprøver fra forstrand og klit

Materialeprøvene i stranden og klitterne, der er illustreret i tabellen nederst på denne side, viser følgende:

- 33 % af materialerne i forstranden er grovere end 4,0 mm i korndiameter
- 39 % af materialerne i forstranden er grovere end 2,0 mm i korndiameter.
- 45 % af materialerne i forstranden er grovere end 1,0 mm i korndiameter.

Samtidig viser prøverne i klitterne, at:

- 98 % af sandet i klitterne har en korndiameter som er mindre en 1,0 mm
- 84 % har en korndiameter som er mindre end 0,5 mm

Sigteanalyser af sandet i klitterne viser, at det sand, som fyger op i klitterne, er meget finkornet og har en korndiameter, som fortrinsvis er mindre en 0,5 mm.

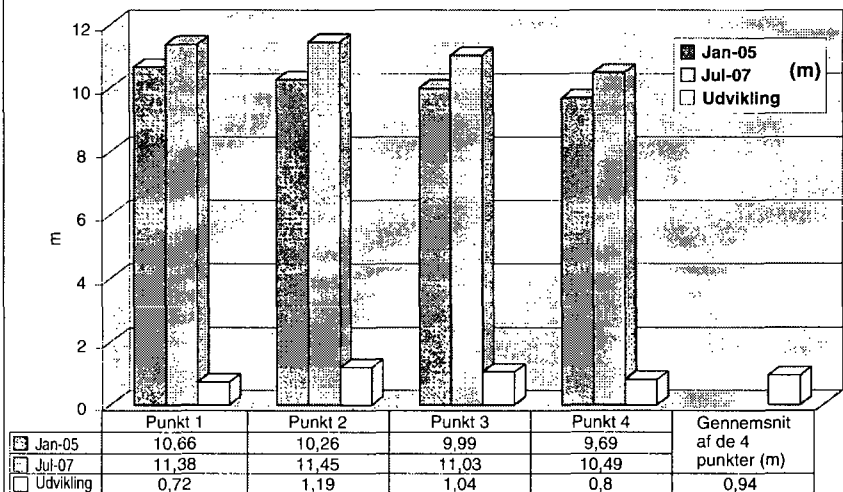
Vi kan således se, at den samlede mængde sand, som er sorteret af vinden i forstranden, er den dobbelte mængde i forhold til de sandmængder, vi finder i klitterne.

Den vindsorterede sandmængde pr. meter i forstranden er således ca. 200 m³ pr. meter over 3 år.

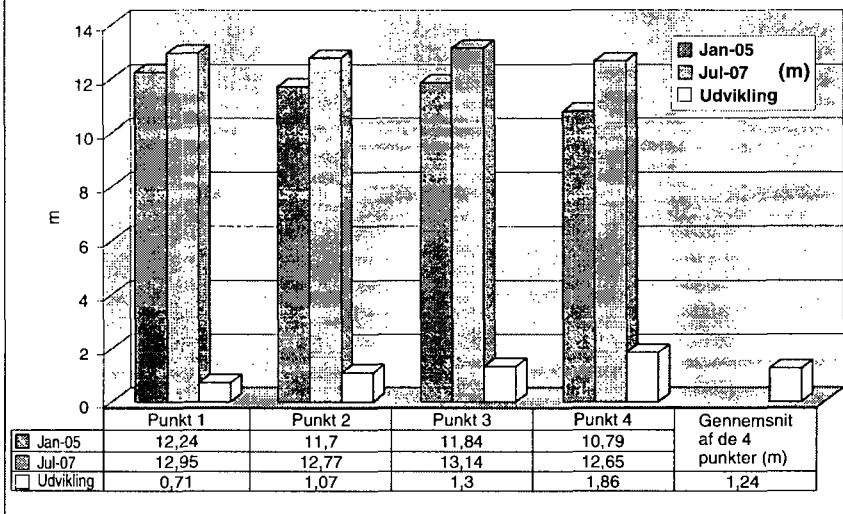
Vi kan derfor konstatere, at materialerne i forstranden bliver grovere og grovere over

Rørrområde 1

Station 6100



Station 6200

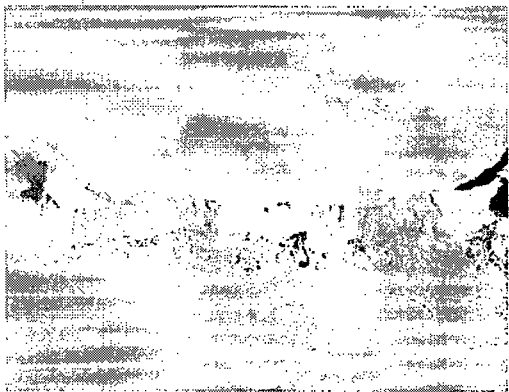


De to figurer viser data for sandopbygning i klitten i Rørrområde 1 fra Station 6100 og Station 6200 (lokaliteterne for disse ses på figuren side 14, og placering af de 4 punkter på side 12). (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Sigteprøver fra forstrand og klit

Kornstørrelse mm	< 0,063	0,13	0,25	0,5	1	2	4	8	16	31,5
2500 Rør 8 (%)	0	0,1	12,7	43	54,3	58,5	62,8	84,5	84,5	100
2500 Rør 7 (%)	0	0	8,5	35,9	51,7	59	64,7	84,2	84,2	100
2600 Rør 7 (%)	0	0,1	10,8	40,9	57,6	66,7	74,5	94,1	94,1	100
2600 Rør 6 (%)	0	0,1	13,2	59	72,9	76,6	79,4	91,6	91,6	100
2700 Rør 7 (%)	0	0,1	8,5	40	54,5	61,8	67,8	95,1	95,1	100
2700 Rør 6 (%)	0	0	4,1	25,8	37,9	44,7	50,9	89	89	100
2650 Kliffod (%)	0	0,2	16	65,4	82,7	88,1	91	100		
2700 Kliffod (%)	0	0	4,1	27,1	43,3	59,9	76,1	100		
2700 Forkant klit (%)	0	0	20,7	88,9	99,7	100				
2700 Bagkant klit (%)	0	0,1	14	78,2	96,6	100				
2700 Bagkant klit (%)	0,1	0,3	18,6	83,7	99,1	100				

Tabellen viser data for sigteprøver fra forstranden og klitten. Tallene er vist i procent.



I Ref-område 2 er klitfoden rykket 17 meter tilbage - herved er klitten helt forsvundet. (Foto: Poul Jakobsen - anvendt i GN1:07)

tid, og stranden får således en væsentligt bedre dræningsevne generelt, idet K-værdien (den hydrauliske ledningsevne) forøges signifikant i de drænedede områder på grund af vindsortering i forstranden.

Sandet fra Nordsoen, som bruges til sandfodring på Vestkysten, har ifølge KDI typisk en korndiameter mellem 0,25 mm og 0,5 mm, men sandet er reelt ubrugeligt til strand- og revlefodring ifølge amerikanske eksperter (NBPC, 2000 Hawaii), og man bør derfor nøje overveje, om det i fremtiden er denne metode, man bør anvende.

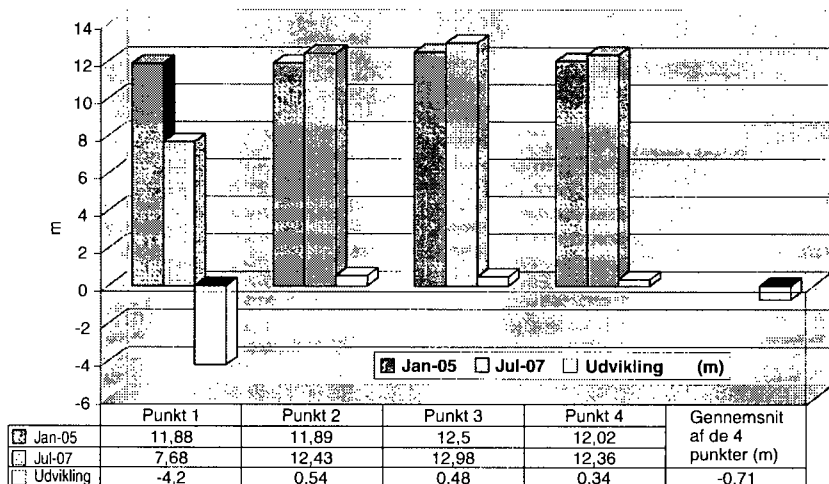
Der er imidlertid meget stor forskel på vindsorteringen i Rørømråderne 1 og 2 og Ref-område 1 og 2, hvor middelstrandhøjden er meget lav.

Det ser man tydeligt i de to følgende illustrationer. For eksempel ser man i figuren til højre fra Ref-område 2, at højden af klittoppen falder i begge stationer.

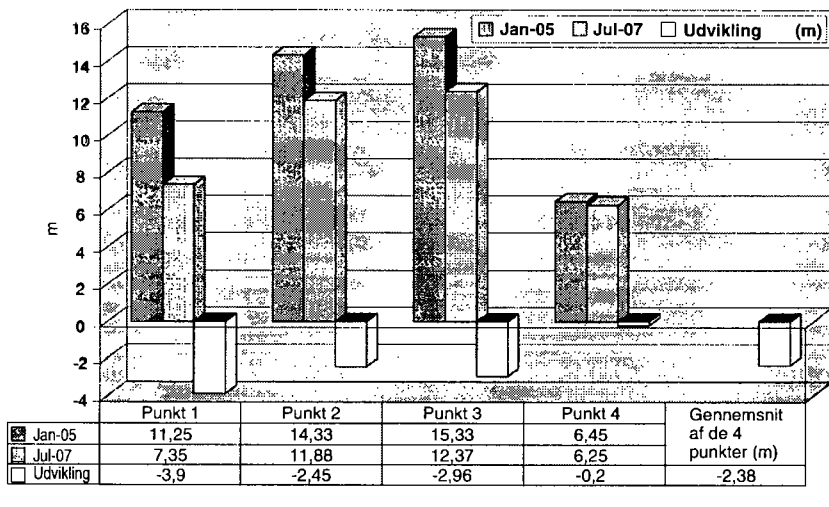
Til gengæld bliver klittoppen højere i Station 6100 og 6200 i Rørømråde 1 (figuren øverst på foregående side).

Ref-område 2

Station 4300



Station 4400



De to figurer viser data for udviklingen på toppen af klitten i Ref-område 2 fra Station 4300 og Station 4400 (lokaliteterne for disse ses på figuren øverst på side 14, og placering af de 4 punkter på side 12). (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

VI HAR JORD I HOVEDET..!

- og plads til mere

Bioteknisk Jordrens SOILREM er Danmarks landsdækkende jordrensere, når det gælder olie- og kemikaliefurening - med anlæg i Kalundborg, Esbjerg, Aalborg og på Ærø, Samsø og Bornholm.

Kontakt os på tlf. 59 50 46 68.

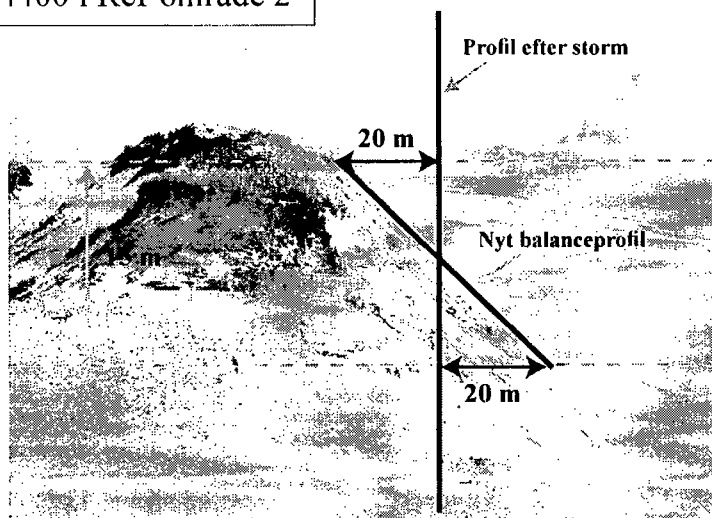


Bioteknisk Jordrens
SOILREM
- jordens bedste valg

Haverosion: Station 4400 i Ref-område 2



Haverosion. Allan Christensen fra Carl Bro A/S står her i forkanten af klitten, som tidligere var toppunktet på klitten. (Foto: P. Jakobsen)



Haverosion. Stregerne markerer hhv. profilet efter stormen og det nye balanceprofil. Toppen af klitten er faldet ned på stranden. (Foto: P. Jakobsen)

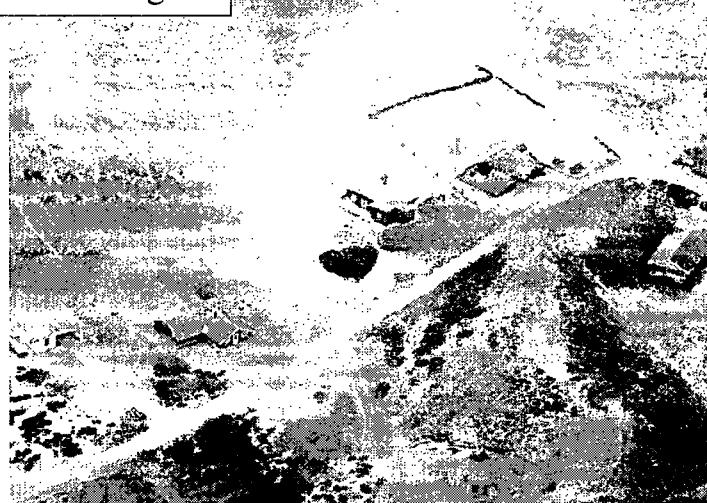
Vinderosion: Station 6100 i Rørområde 1



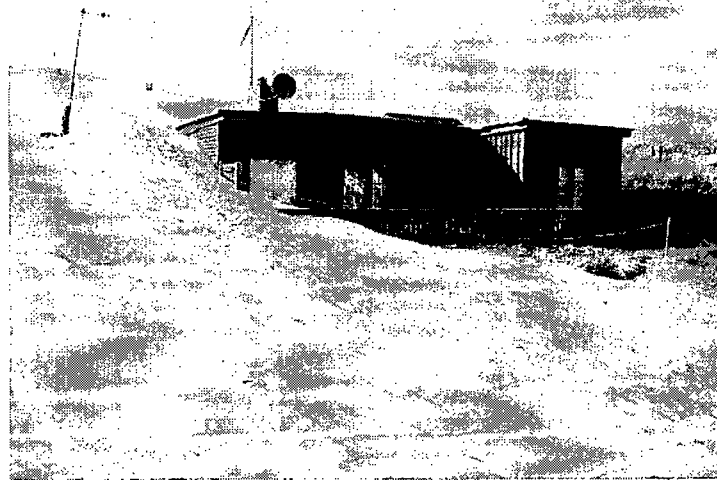
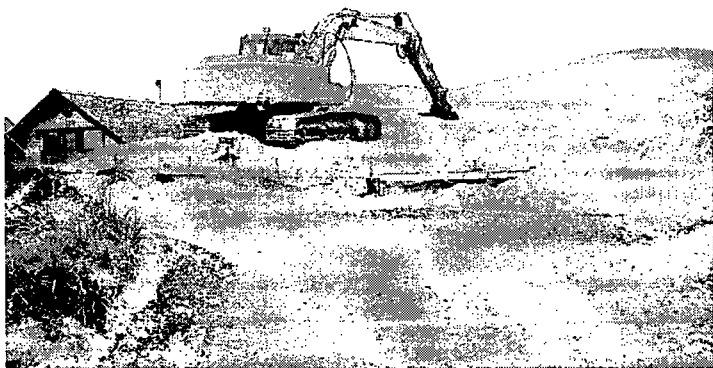
Vinderosion. Der finder klitopbygning sted i de drænedede områder. Klitterne er hævet i de drænedede områder mellem 90 cm og 120 cm over 2,5 år i de 4 målepunkter på toppen af klitterne, idet en del af sandet fra forkanten af klitten er føjet længere ind i klitsystemet (ca 10 m³ pr. meter). (Foto: P. Jakobsen)



Bjerregårdsvej i hhv.05 og 07



Bjerregårdsvej før etablering af rørområderne i 2005 til venstre og til højre i marts 2007 efter kraftig sanddrift til baglandet. (Foto tv.: Copyright: Google Earth™ mapping service; foto th.: Foto: P. Jakobsen)



Flere ejendomme er begravede i sand på grund af sanddriften til baglandet – her er det to huse på Bjerregårdsvej. (Foto: P. Jakobsen)

Principskitsen viser et løsningsforslag på vinderosionsproblemet, så man undgår til-sanding af husene bagved klitten. Der skal plantes hjælme eller marehalm eller lignende i klitfoden. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Løsning

Løsningen på vinderosionsproblemet er at plante hjælme eller lignende fra klitfoden og 10-15 meter ud i forstranden, så sandet fastholdes i forstranden og specielt i klitfoden, så kysten er bedre sikret specielt i højvands-situationer med storm eller orkan.

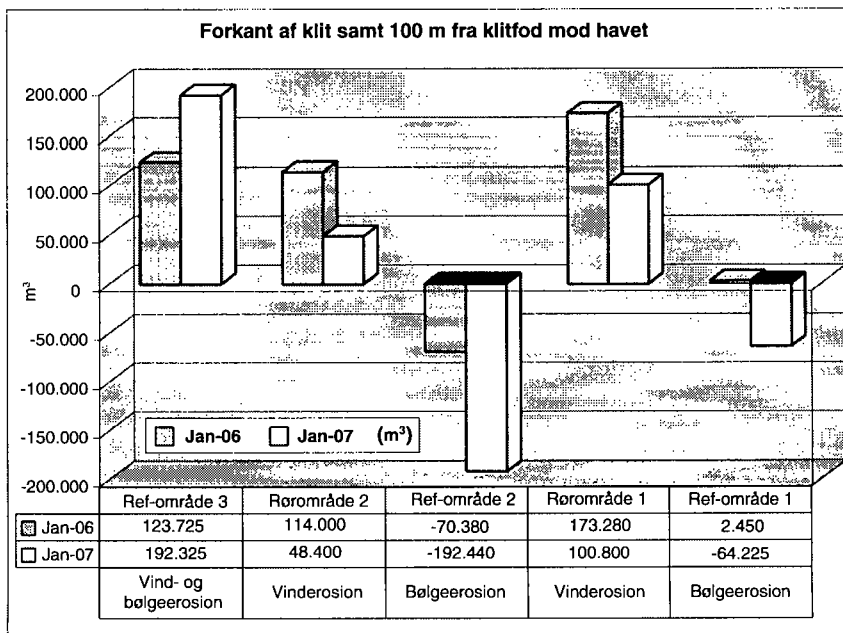
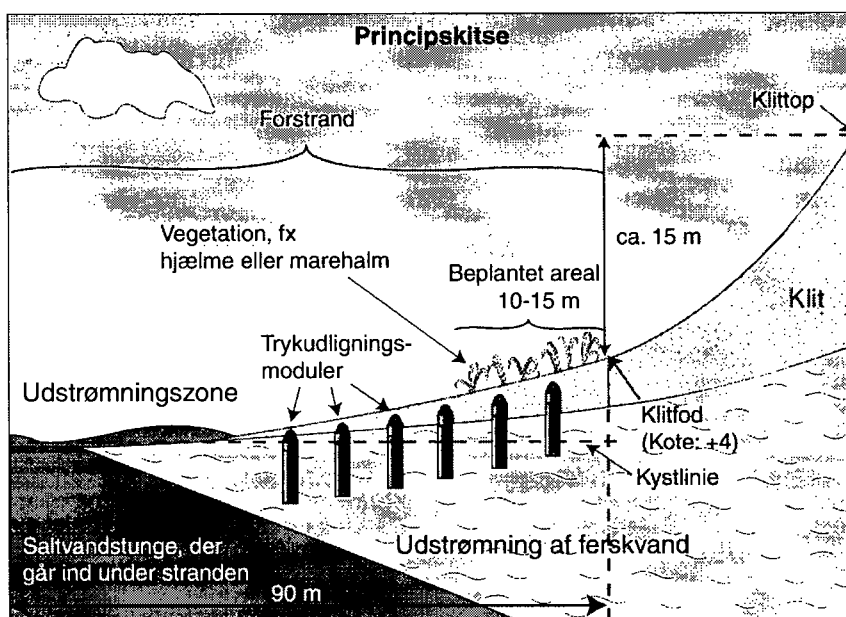
Forstranden

Erosionen har i vinteren 2006/2007 kun været ca. 69.000 m³ Rørområde 1 og Rørområde 2 samt Ref-område 3, hvor der er læsidedetillæg med vasket sand.

Analyserne viser, at erosionen i Rørområde 1 og Rørområde 2 primært er vinderosion, så sandet er føjet ind i baglandet og er ikke gået tabt til havet i modsætning til materialerne, som er taget af havet i Ref-område 1 og Ref-område 2.

Figuren og tabellen på side 19 viser, at kystprofilen ikke er forstjålet i projektperioden. Samtidig ser man, at de store erosionsmængder fra Ref-område 1 og Ref-område 2 ikke genfindes ude i Offshore 1 efter vinterens voldsomme storme. Storme skaber således ikke et reservoir af sand ude i havet. Det bortroderede sand forsvinder således ud af projektområdet ved kraftige storme.

Figuren viser tillæg/erosion i ref- og rørområderne i januar 2006 og 2007. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)



Beskaffenheden af havbunden skal ses i et meget større perspektiv, og vi har vist gennemsnitsværdierne for hele strækningen på 11,0 km i tabellen på denne side.

Analyserne i tabellen viser, at profilet i Offshore 1 har en stigende tendens og er blevet hævet i løbet af 2 år med ca. 9 cm – dette er ikke relateret til de voldsomme storme i vinteren 2006/07.

Konklusion

Anvendeligheden af de vertikale drænrør er nu testet i et scenario svarende til den globale vandstandsstigning om 100 år, idet middelvandstanden var over 50 cm i perioden fra d. 20. oktober 2006 til d. 20. januar 2007.

I samme periode blev Vestkysten ramt af 5 voldsomme storme med middelvindhastigheder på op til 27 m/sek. Fire af disse storme ramte den jyske vestkyst mellem d. 1. og 20. januar 2007.

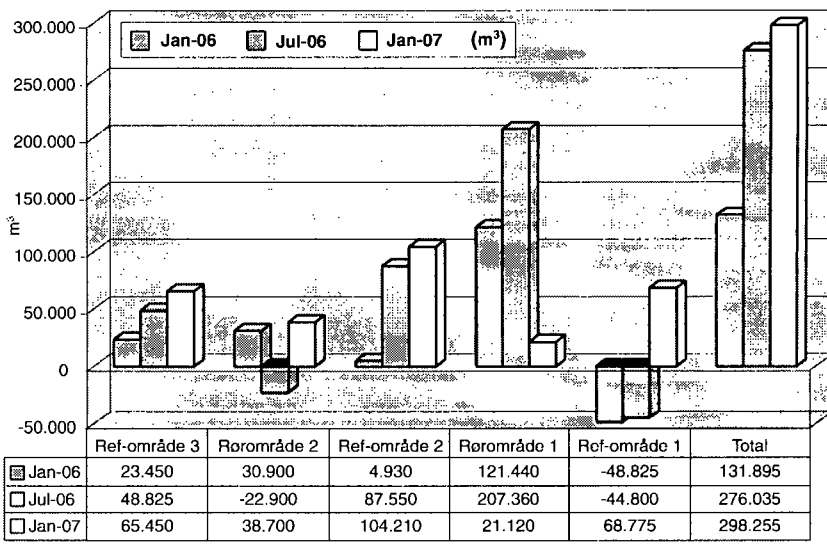
Analyserne viser, at haverosionen i klitterne er stoppet i Rororområde 1 og 2 samt i den nordlige del af Ref-område 3, hvor der er læsideditillæg med vasket sand.

Dette skyldes, at middelstrandhøjden i de drænedes områder er blevet forøget signifikant, efter at rororområderne er blevet drænet.

Bufferen foran klitterne i 100 meters brede på 411.000 m³ har været stor nok til at modstå 5 hårde storme fra ultimo oktober 2006 til d. 20. januar 2007, hvor storm nr. 4 i januar måned 2007 ramte den jyske vestkyst.

Den samlede erosion i Rororområde 1 og Rororområde 2 samt Ref-område 3 har kun været 69.000 m³ i vinteren 2006/07. Der er primært tale om vinderosion i rororområderne, så sandet er føjet ind i baglandet. I modsætning hertil har der været stor bølgeerosion i Ref-område 1 og Ref-område 2, hvor havet

Udvikling i Offshore 1, januar 2005 - januar 2007



Udvikling i offshore 1 (se figuren øverst til venstre side 12). Hele strækningen er ca. 11 km lang og 300 m bred. (Grafik: UVH modificeret efter udlæg af forfatterne)

Udviklingen i havbunden Offshore 1 og 2 i m³ pr. meter

	apr-05	juli-05	okt-05	jan-06	juli-06	jan-07
Offshore 1	1,44	9,57	24,84	11,80	24,91	27,21
Offshore 2	3,54	5,01	8,23	-4,59	-5,84	1,47

Udviklingen i havbunden Offshore 1 og 2 i cm

	apr-05	juli-05	okt-05	jan-06	juli-06	jan-07
Offshore 1	0,48	3,19	8,28	3,93	8,30	9,07
Offshore 2	1,18	1,67	2,74	-1,53	-1,95	0,49

Tabellen viser erosion/tillæg i Offshore 1 og 2 for den fulde strækning på 11,0 km i en bredde af 2 x 300 meter ude i havet. Øverst ses udviklingen i m³ pr. meter og nederst den gennemsnitlige hævnning eller sænkning af havbunden i cm.

Også vandværkerne har brug for at lade idéerne gro

Gode idéer der udspringer af erfaring og ekspertise fører frem til frugtbare løsninger. Vand-Schmidt har specialiseret viden inden for:

- Vandforsyningsanlæg
- Brøndboring
- Ledningsanlæg
- Projektering/rådgivning
- Service

- ring og få gode råd og uforbindende tilbud



Vand-Schmidt a/s

Jernbanegade 5 • 6070 Christiansfeld
Tlf. 74 56 11 11 • Fax: 74 56 32 69

har taget mere end 250.000 m³ på en 3,5 km lang strækning, som svarer til 70 m³ pr. meter, selvom der er strandfodret med ca. 2,0 mio. m³ sand over 10 år umiddelbart nord for Ref-område 1. og revlefodret 700 meter ned i Ref-område 1 i projektperioden.

Der er ikke konstateret sandbølger i projektområdet, og målinger offshore viser, at kystprofilen ikke er forstejlet, men hæver sig med stigende tendens.

Billedmonitorering ved Søndervig viser, at sandfodring nr. 2 i 2005 på 960.000 m³ skyllede i havet i samme tidsrum, og det vurderes, at kliterosionen nord og syd for Søndervig har været ca. 400.000 m³ samme periode.

Den samlede erosion i Søndervig-projektet har således været ca. 1.360.000 m³ i projektperioden. Sandtabet i de drænedes områder og Ref-område 3 med vasket sand var kun 69.000 m³, som ligger i baglandet.

Et lignende forsøg med en sandfodring på 100.000 m³ ved Søndervig i 2004 fejlede også, da sandet var skyllet i havet efter en måned; desuden tog havet yderligere 400.000 m³ af klitterne i januarstormen 2005.

Forslag

Det anbefales, at der plantes hjælme/marehalm fra klitfoden og 10 meter ud mod havet i de drænedes områder, så man undgår sandtab til baglandet med ødelæggelser til følge.

Desuden foreslås det, at der etableres 20 km ved Søndervig, så SIC-systemet kan sammenlignes direkte med sand- og revlefodring i stor målestok. Opmåling i klitrealerne ved Søndervig er baseret på flyopmåling, så man får en bedre monitorering og et bedre værktøj til at undgå sanddriftsskaderne i baglandet.