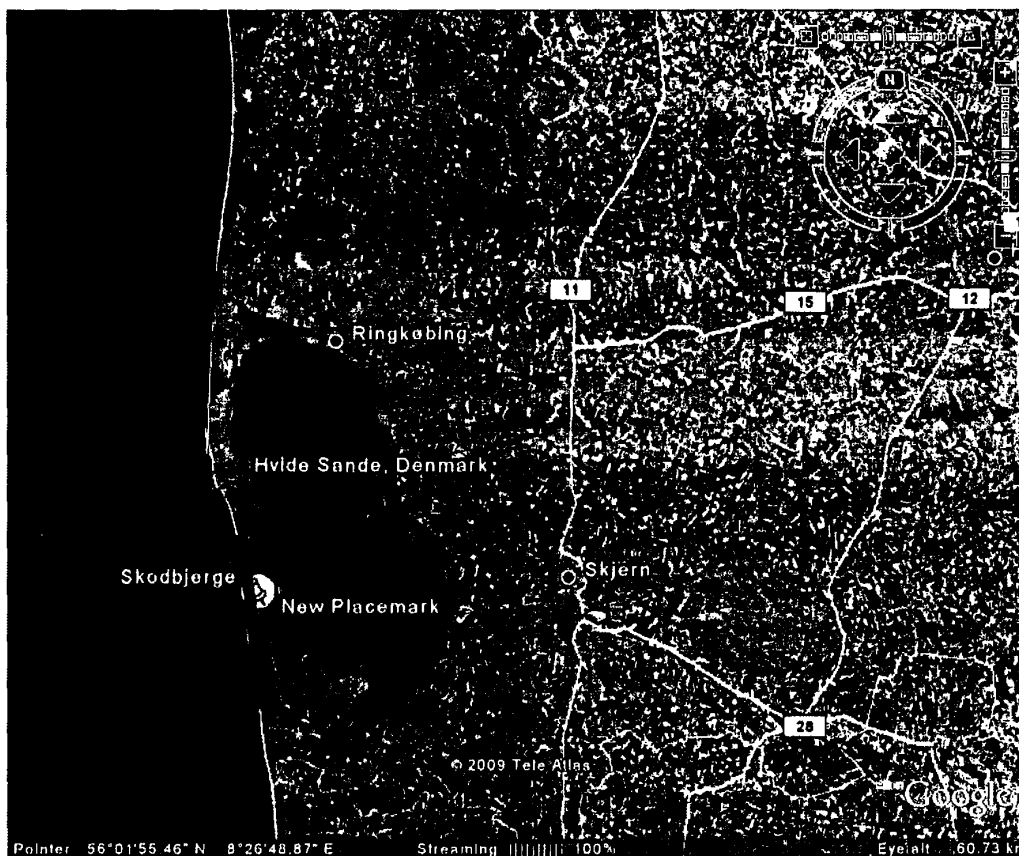


Projektbeskrivelse

# Miljøvenlig kystbeskyttelse på vestkysten

## Skodbjerge/Søndervig



Vestkysten kan sikres mere Effektivt og Miljøvenligt med SIC metoden  
11 km ved Skodbjerge og 20 km ved Søndervig

**SIC** Skagen Innovations Center  
Dr. Alexandrinesvej 75  
9990 Skagen Denmark  
Ph. 004598445713

Mail: [sic@shore.dk](mailto:sic@shore.dk)

Web: [www.shore.dk](http://www.shore.dk)

## Videnskabelig dokumentation

Efter 10 års forskning på den jyske vestkyst er der nu videnskabelig dokumentation for, at SIC metoden er den mest effektive og miljøvenlige kystbeskyttelsesmetode på den jyske vestkyst.

Resultatet fra Skodbjerge projektet blev fremlagt på ICCE 2008 i Hamburg, hvor 796 videnskabsfolk fra hele verden deltog i en kystteknisk konference over 5 dage.

Jeg havde selv fornøjelsen at fremlægge resultatet fra Skodbjerge efter 3 år, som viste at SIC systemet kan stoppe erosionen på vestkysten mere effektivt end sandfodring, som har en effektivitet på minus 170 % efter en investering på ca. 2 milliarder over de sidste 25 år.

Det meget negative resultat af sandfodring blev dokumenteret i detaljer i på konferencen i Hamburg

De 2 professorer Hans Falk Burcharth AAU og professor Jørgen Fredsøe DTU var tilhører på konferencen.

### Besigtigelsen.

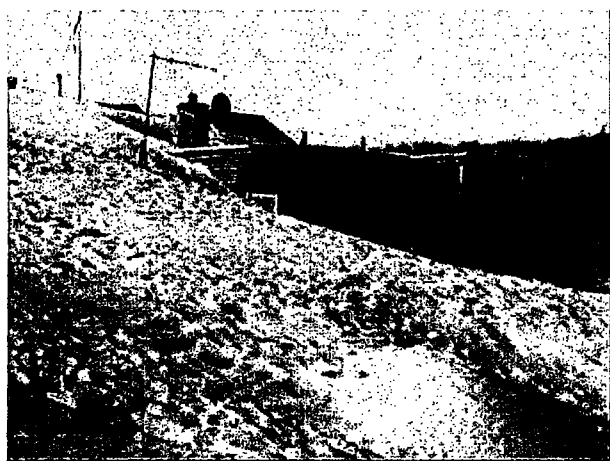
Som vi så på besigtigelsen d. 27. februar med Trafikudvalget og Transportminister Lars Barfoed, skal man jo ikke være professor for at kunne se resultatet af SIC projektet ved Skodbjerge, hvor der er stor klitfremrykning i de 2 rør områder.

Modsætningsvis er der stor klittilbagerykning på i referenceområde 1 og 20 - 30 meter klit tilbage-rykning i reference område 2, hvor middelstrandhøjden var minus 29 cm efter 3 år.

Billedet var helt klart efter at ingeniørfirmaet Carl Bro havde markeret klitfoden fra januar 2005 med landmålerstokke på stranden.

Læside akkumulationen i referenceområde 3 var jo også helt tydelige modsat hårde konstruktioner som giver stor læsideerosion.

Det har været nødvendigt at gå ind og etablere faskiner i samarbejde med grundejerforeningerne for at forhindre yderligere sandflugt skader på sommerhusene i baglandet.



Det videnskabelige forskningsprojekt viste at der var føget 69 – 76 m<sup>3</sup> sand ind i klit-terne i løbet af 3 år i de drænedede områder. Et hus blev totalt ødelagt af sandmængderne.



Det er nødvendigt at kombinere trykudligningsmodulerne med faskiner for at fastholde sandet i forstranden i områder hvor der ikke er naturlig vegetation i form af Hjelme.

## Projektbeskrivelse.

SIC metoden er langt mere effektiv end traditionel sandfodring og 31 km kan beskyttes for følgende priser idet SIC tilbyder at bygge anlæggene i egen regning.

### Skodbjerg 11 km

Årlig udgift incl drift og vedligeholdelse og rapportering, samt etablering af SIC systemet i referenceområderne 3.630.000,00 kr.

### Søndervig 20 km.

SIC bygger anlægget i egen regning og leaser anlægget ud

Årlig udgift incl. drift og vedligeholdelse, samt rapportering baseret på uvildige opmålinger 6.600.000,00 kr.

Udgiften til sandfodring på 10 km ved Søndervig og Houvig var i sidste aftaleperiode 70,6 mio. kr. incl. indpumpning af sand til nye klitter Houvig efter den fejlslagne strand og revlefodring.

## Klimatopmødet i København

Projekterne kan præsenteres internationalt i forbindelse med klimakonference i København i december 2009, hvor SIC vil invitere de 15.000 besøgende på den jyske vestkyst.

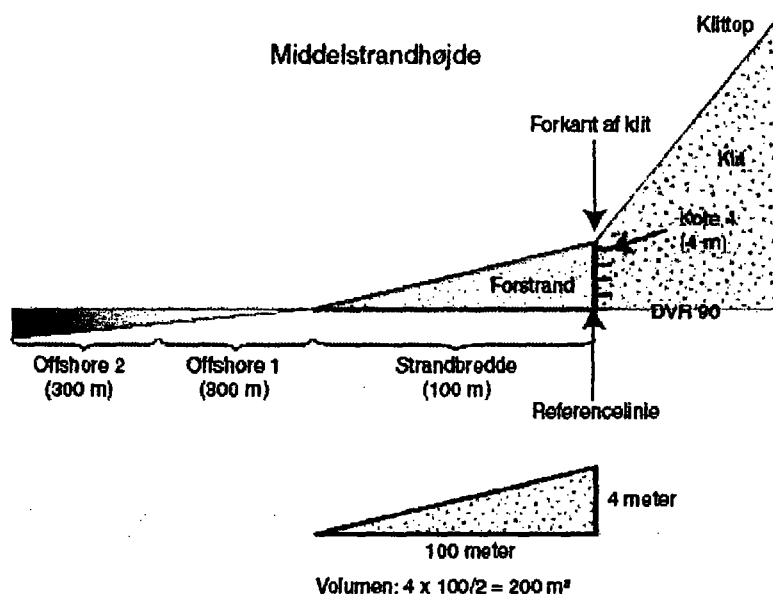
Danmark er i dag førende internationalt inden for miljøvenlig kystbeskyttelse.

## Sikkerhed

Når vi taler om kystbeskyttelse er sikkerheden en meget væsentlig faktor og ikke mindst i Holland hvor 40 % af landet ligger op til 7 meter under havets niveau.

## Måleprogram.

SIC har nu fået sit måleprogram videnskabeligt anerkendt, idet SIC arbejder med fastlåste referencelinier og kun 100 meter mellem målelinierne langs med stranden og 100 m i tværprofilet.



Der er i dag videnskabelig enighed om at det er forstranden som beskytter baglandet og at middelstrandhøjden er 2 m hvis kassen er fyldt op med sand.

Hvis middelstrandhøjden kun er 1,3 meter er der 130 m<sup>3</sup> i strandmodulet og forsøget på vestkysten over 3 viser at hvis vi bare har en middelstrandhøjde på 1,0 m er baglandet sikret i stormsituationer, som vi havde 4 af fra 1. til 20. januar 2007.



Opmålingen på stranden foretages i våddragt, idet nogle af målepunkterne kan ligge ude i vandet.

Opmålingerne foretages med GPS med 10 meters mellem målepunkterne i de enkelte målelinier. Der er således 11 målepunkter i de enkelte målelinier og middelstrandhøjden kan efterfølgende beregnes i de enkelte linier.

### **Middelstrandhøjden**

Middelstranden viser således modstandsstyrken på kysten for hver 100 meter langs med stranden og man har nu en defineret måleenhed, som vi kender fra elektronikken, hvor vi arbejder med Volt for spænding og Ampere for strømstyrke og Ohm for modstand.

Med baggrund i opmåling af middelstrandhøjden på vestkysten kan man således løbende vurdere sikkerheden på vestkysten og styre de løbende serviceeftersyn.

### **Opmålingsprogram.**

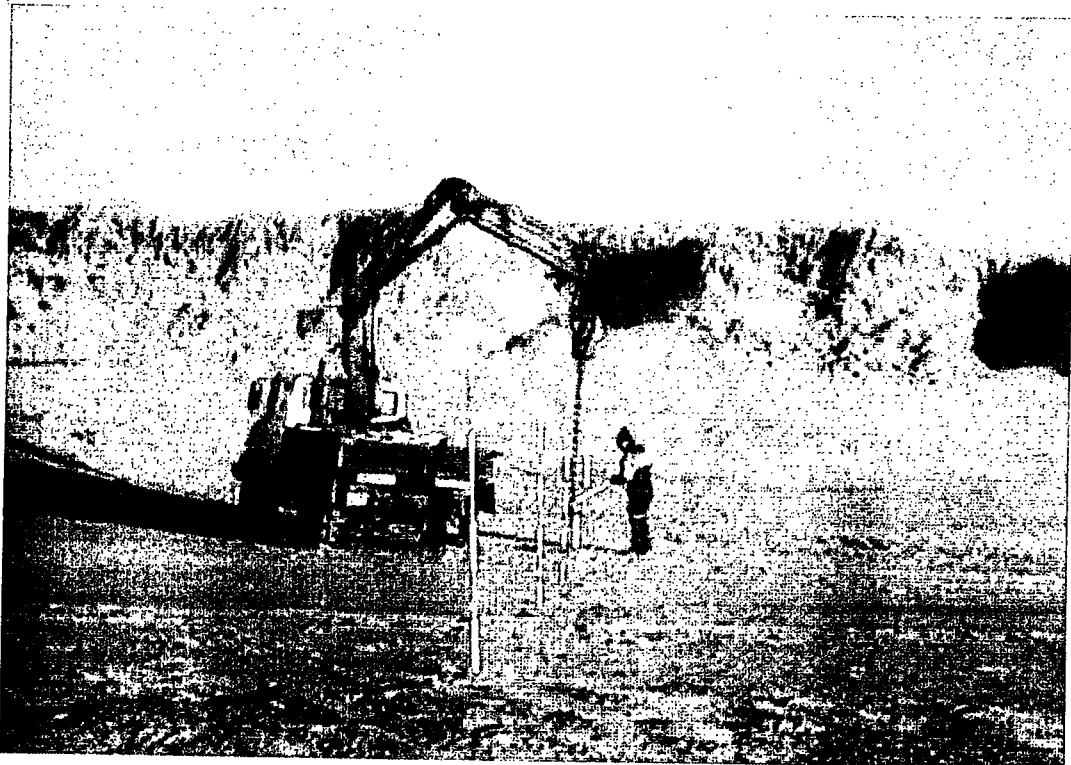
Den første opmåling vil blive lavet i forbindelse med etableringen af anlæggene i april måned 2009. Den næste opmåling vil blive lavet i august 2009, så man kan vurdere udviklingen i relation til middelstrandhøjden.

### **Uvildige opmålingerne.**

Opmålingerne på stranden vil blive udført af et eksternt uvildigt ingeniørfirma, som f. eks. ingeniørfirmaet DGE i vejen, som gennemgik de såkaldte ekspertrapporter samt de foreliggende måledata fra Carl Bro A/S.

Måleprogrammet optimeres nu på vestkysten, så der på 31 km måles i 3421 faste målepunkter og middelstrandhøjden kan således beregnes på nogle få minutter, så man ikke skal vente i flere måneder på beregningerne, som vi gjorde i det videnskabelige projekt syd for Hvide Sande.

## Design



Trykudligningsmodulerne nedsættes med 100 m mellem rækkerne langs kysten og 10 m mellem modulerne i tværprofilet.



Trykudligningsmodulerne bores ned i stranden og alle moduler sættes med toppen 25 cm nede i stranden så modulerne normalt ikke er synlige på stranden.

Der bliver i alt 311 rækker på 31 km.

## Optimering af kystbeskyttelsen

SIC's opmålinger baseret på fastlåste referencelinier er mere end 10 gange bedre end KDI's nuværende måleprogram, hvor der er 1000 meter mellem målelinierne på vestkysten.

Kystbeskyttelsen baseret på SIC metoden bliver således baseret på konkret viden, og man kan efterfølgende gå ind og beregne det aktuelle sandfodringsbehov på vestkysten.

## Licitation på Vestkysten

Kystdirektoratet har udbudt sandfodringen på vestkysten med 1,9 mio. m<sup>3</sup> sand, som i år skal pumpes ind på strandene.

Tilbudene åbnes d. 26 marts i Kystdirektoratet og SIC har anbefalet transportminister Lars Kofoed, at der kun skrives bindende kontrakt på 1,4 mio. m<sup>3</sup> i forbindelse med licitationen, men at man indfører i kontrakten at mængden kan udvides med op til 650.000 m<sup>3</sup>.

Opmålingerne i SIC projekterne ved Skodbjerg og Søndervig vil meget hurtigt og senest ved udgangen af August måned vise om der bliver behov for sandfodring ved Skodbjerg eller Søndervig.

Kystdirektoratet løber kun den ene risiko at samfundet parer ca. 20 mio. kr. samtidig med at man får en mere miljøvenlig kystbeskyttelse.

## Miljøbelastning.

Når man pumper 2,4 mio. m<sup>3</sup> sand ind på vestkysten forbruger man ca. 9.6 mio. liter dieselolie, som medfører 25.900.000 kg Co<sup>2</sup> forurening. Brændstofforbruget til nedboring af modulerne er kun 1800 liter på 31 km. Co<sup>2</sup> forureningen er således kun 4.860 kg.

## SIC Systemet

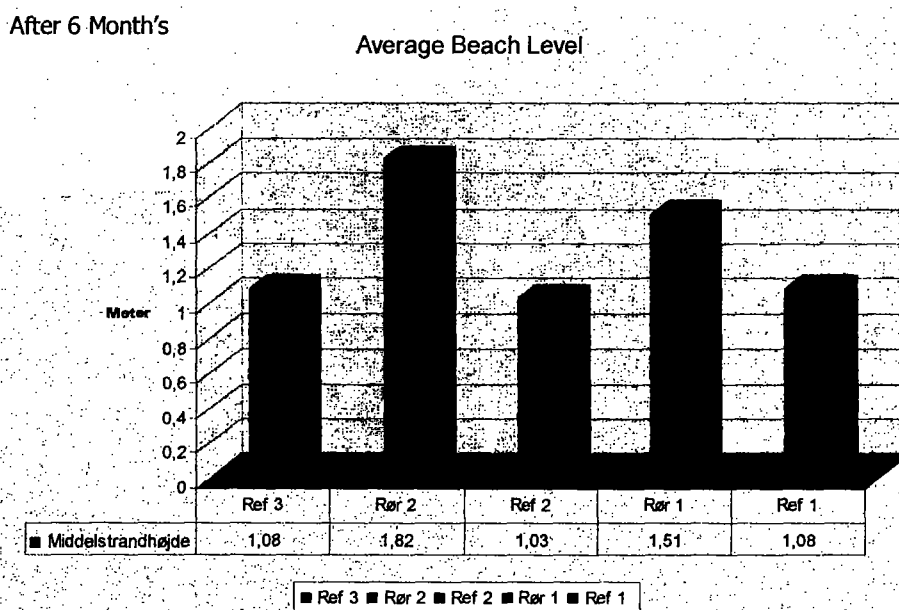


fig. 3

Vi skal hermed anbefale at der sættes trykudligningsmoduler i referenceområderne, og at der etableres yderligere 20 km ved Søndervig, så besparelserne på vestkysten vises i stor målestok. Det tager som bekendt kun nogle få måneder at skabe det nye balanceprofil fig. 3.

# SIC Skagen Innovationscenter

Dr. Alexandrinesvej 75 - 9990 Skagen - Tlf 98 44 57 13 - Mail: [sic@shore.dk](mailto:sic@shore.dk)  
[www.shore.dk](http://www.shore.dk)

Kystdirektoratet  
Højbovej 1  
7620 Lemvig

Skagen d. 23. februar 2009

Our ref. pj/cp

Your ref. Carl-Christian Munk-Nielsen

## Samarbejde på vestkysten

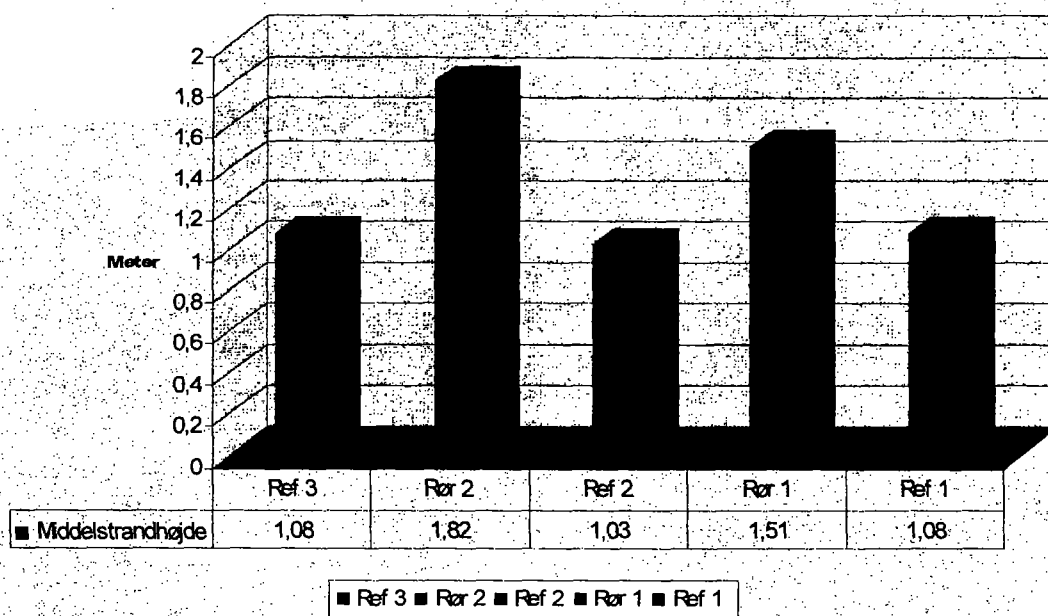
Kære Jesper Holt Jensen

Det er med stor glæde at der nu er enighed om, at sandfodringen ved Søndervig kan flyttes eller totalt udelades i 2009.

SIC systemet er jo en meget effektiv metode, som kan skabe et højt ligevægtsprofil på mindre end 6 måneder.

After 6 Month's

Average Beach Level



Resultat Skodbjerg efter 6 måneder.

Samtidig opnår vi den meget store fordel at de 20 km ved Søndervig måles op med 100 meter mellem målelinierne og i 100 meters bredde fra skræntfoden ud mod havet.


Vi ved allerede i begyndelsen af August måned om der bliver behov for Sandfodring mellem Houvig og Søndervig.




Vi glæder os meget til at fremvise resultatet ved Skodbjerg og ser frem til Trafikudvalgets indstilling til Transportministeren, idet SIC metoden kan medføre meget store besparelser på vestkysten samtidig med at effektiviteten forøges væsentligt.

Med venlig hilsen


Poul Jakobsen

Kopi: Trafikudvalget

**Dato:** Mon, 16 Feb 2009 13:27:39 +0100 

**Fra:** "Carl-Christian Munk-Nielsen (ccmn)" <carl-christian.munk-nielsen@kyst.dk>   

**Til:** <sic@shore.dk>

**Emne:** Vedr. anmodning om aktindsigt i kystbeskyttelsesarbejder for 2009 

Kære Poul Jakobsen

Du har i mail af 16. februar 2009 anmodet om aktindsigt i kystbeskyttelsesarbejderne for 2009. Du ønsker specifikt aktindsigt "i de enkelte arbejder, som nu er udbudt i licitation. Du bedes venligst oplyse de enkelte mængder samt planlagte indpumpnings steder og metoder."

Jf. reglerne i offentlighedsloven får du hermed de ønskede oplysninger.

Der er tale om følgende udbudte metoder, strækninger og mængder.

- Strandfodring foran Thyborøn by med 460.000 m<sup>3</sup>
- Strandfodring på Harboøre Tange med 610.000 m<sup>3</sup>
- Strandfodring ved Husby Klit med 300.000 m<sup>3</sup>
- Strandfodring fra Houvig til Søndervig med 500.000 m<sup>3</sup>

Det kan desuden oplyses, at kontrakten er opdelt i tre entrepriser.

Entreprise 1. Kystfodring Vestkysten. Omfatter indvinding i Nordsøen og levering af ca. 1,9 mio. m<sup>3</sup> sand på stranden gennem rørledning på 4 strækninger langs den jyske vestkyst.


Entreprise 2. Oprensning af sejløbet til Esbjerg. Omfatter oprensning af i alt ca. 1,2 mio. m<sup>3</sup> sand i sejløbet til Esbjerg Havn. Materialet skal klappes i Nordsøen, alternativt indpumpes i depot på land.

Entreprise 3. Oprensning Hanstholm. Omfatter oprensning af ca. 0,1 mio. m<sup>3</sup> sand i indsejlingen og forhavnen i Hanstholm Havn. Materialet skal klappes i Nordsøen.




Med venlig hilsen

Carl-Christian Munk-Nielsen




**Dato:** Wed, 18 Feb 2009 22:06:04 +0100 

[alle linier](#)

**Fra:** "Carl-Christian Munk-Nielsen (ccmn)" <carl-christian.munk-nielsen@kyst.dk>   

**Til:** <sic@shore.dk>

**Emne:** Vedr. ændring af fodringsstrækninger mv. 

[Alle vedhæng](#)

Kære Poul Jacobsen

Som svar på din mail fra den 17. februar 2009 om muligheden for at ændre på fodringsstrækninger mv. kan det oplyses, at det af udbudsbetingelserne standardmæssigt fremgår, at:

"De i dette udbudsmateriale angivne mængder er vurderet ud fra erfaringspriser på arbejdet og bygherrens samlede bevilling til opgaven. Bygherren forbeholder sig ret til at justere mængderne i forhold til bevillingerne, når enhedspriserne er kendte.

Fordelingen af sandet og bestemmelse af fodringsstrækningerne beskrevet i nærværende udbudsmateriale er sket ud fra en vurdering af behovet på udbudstidspunktet. Skulle forholdene ændre sig i tiden indtil arbejdets igangsættelse, forbeholder bygherren sig ret til at justere på sandfordelingen inden for entreprisen eller om nødvendigt at flytte en fodringsstrækning eller et indvindingsområde. "

Med venlig hilsen

Carl-Christian Munk-Nielsen

## ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COASTAL PROTECTION BASED ON VERTICAL DRAINS

Poul Jakobsen and Claus Brøgger<sup>1 2</sup>

A Field test over 11 km with the SIC vertical drain system was carried out in January 2005 up till January 2008 and placed at Skodbjerg at the Danish west coast. Already after 6 month has the vertical drain system stabilized the beach in an equilibrium profile. The average beach level from the dune foot and 100 m. wide was after 3 years up to 157 cm higher in the drained areas in relation to the reference area 2. The erosion was stopped in the drained area's, and the sand drift increased to the dune system over the next 3 years. The sand drift from the beach to the dune system is calculated to 69 - 76 cubic meters pr. meter along the coastline in the drained areas over 3 years.

### Introduction.

In accordance with the agreement of 10 Juni 2004 between Skagen Innovation Center (SIC) and the Ministry of Transport a field test with purpose of demonstrating the efficiency of the SIC vertical drain system as a mean for coastal protection was initiated in a meeting 24 August 2004. The project is started up in January 2005.

The test period is three years. The first evaluation report was agreed to be made after the first 6 month. Afterwards are the results evaluated yearly and finally after 3 years.

It was agreed with the Ministry of Transport that the effect of the SIC system should be compared to conventional coastal protection methods.

The Danish west coast is a high erosion area as we see in fig 1. The erosion at 110 km is total 4.030.000 cubic meters yearly.

This coastline is nourished with 2,5mill. cubic meters sand yearly over the last 25 years. The net result of the sand nourishment over 25 years is negative with -38.250.000 cubic meters and the efficiency is negative with 160% yearly after an investment of 2.0 billions DKK equal to 270 mill. Euros. This is the background for the interest from the Ministry of Transport to support development of new effective and environmentally friendly coastal protection methods.

Field and laboratory observations have shown, that a relatively low beach ground water table enhances beach accretion, while a high water table promotes erosion (L. Li and D.A. Barry)

The test site is placed by Skodbjerg at the Danish West Coast

---

<sup>1</sup> Skagen Innovation Center, Dr. Alexandrinesvej 75, 9990 Skagen Denmark

<sup>2</sup> Skagen Innovation Center, Dr. Alexandrinesvej 75, 9990 Skagen Denmark

Test Site

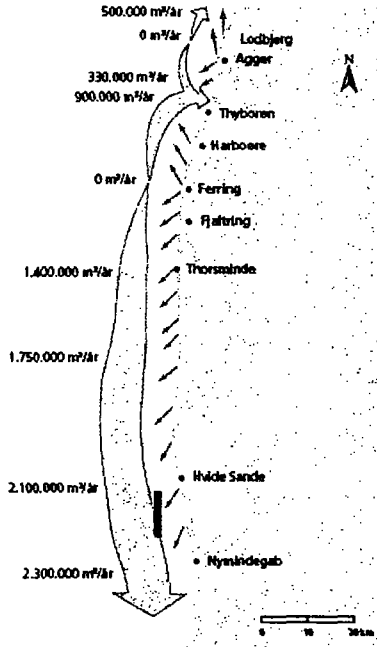


Fig. 1

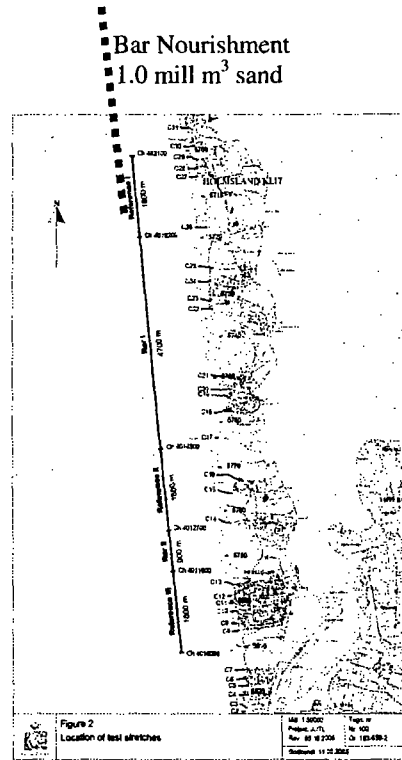


Fig. 2

The test site is placed 5 km south of Hvide Sande Port in a lee side erosion area. The Coastal Authority has tried to disturb the project with an unplanned Bar nourishment at 1,0 mill. m<sup>3</sup> sand, but the sand is still lying in the area, where the sand was placed. There is a well known competition situation between SIC and KDI. 190.000 m<sup>3</sup> sand are placed off shore in ref. 1.

The test area is splitted up in the following areas.

Ref 3	PEM 1	Ref 2	PEM 1	Ref 1
Station 0				Station 11.000
South				North
	Reference area 1		1.800 Meters	
	PEM Area 1		4.700 Meters	
	Reference area 2		1.800 Meters	
	PEM area 2		900 Meters	
	Reference area 3		1.800 Meters	

### Hvide Sande Port



Fig. 3

A groin of rocks is placed 450 meters out in the sea north of the channel into Hvide Sande Port.

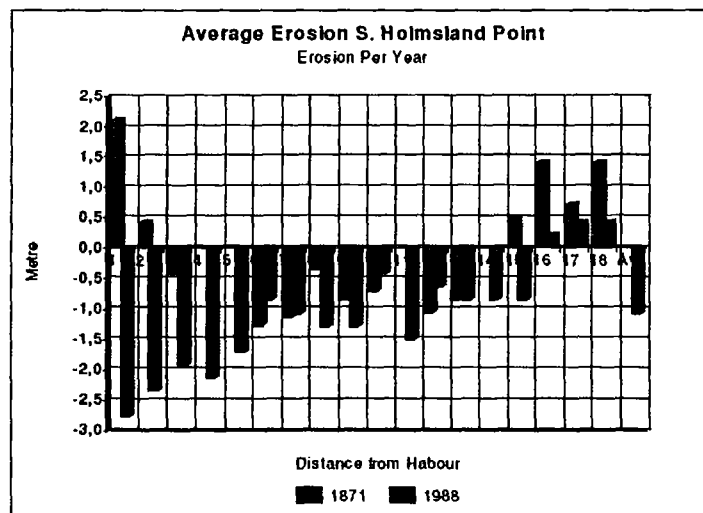


Fig. 4

As we see in fig. 4 the groin generates leeside erosion south of Hvide Sande Port. The values are not true because the groin is first placed in 1962 and the light grey shows the development from 1871 – 1988.

The most interesting thing is we have accumulation 16 km south from the port over the last 200 years. This area is inside in reference area 3 in the project.

Sea Level

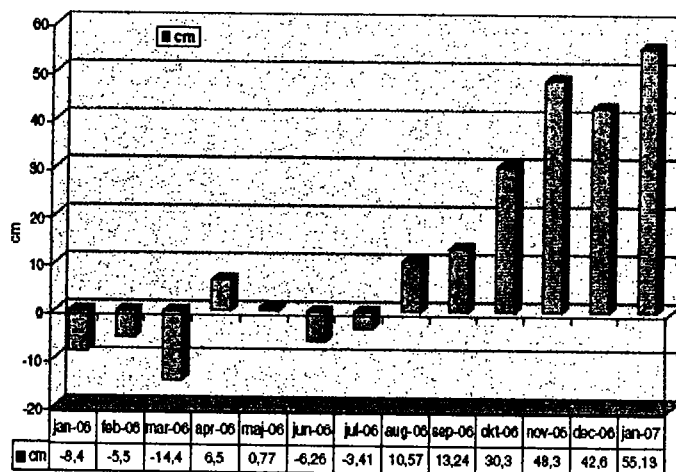


Fig. 5

The sea level was very high at the Danish west coast in the winter time 2006/07. The average sea level was 54 cm over DVR 90 in the period from 20 November 2006 to 20 January 2007.

Wave Height

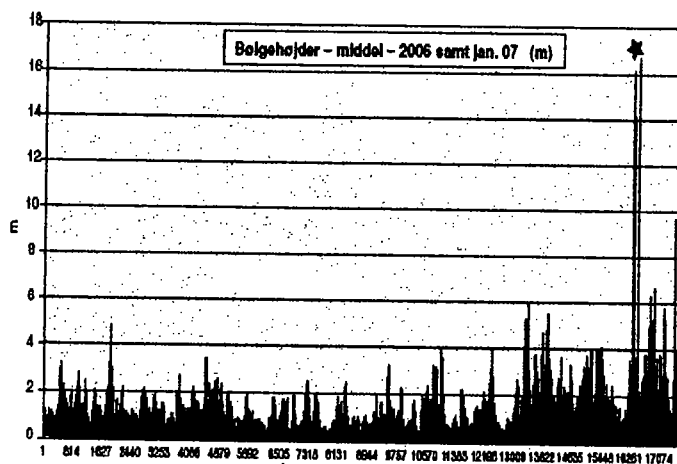


Fig 6

Fig 6 shows the wave height in 2006 and January 2007, where we have 5 heavy storms at the Danish west coast and 4 storms from 1. - 20. January 2007.

**Design/Installation**

Fig. 7

The PEM modules are placed in a matrix along the coast line, with a distance at 100 meters between the rows and 10 meters in the cross.

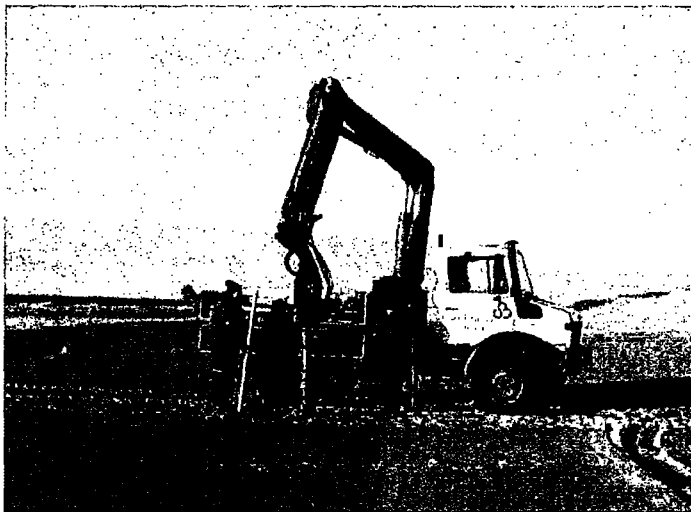


Fig. 8

The PEM modules are 175 cm long and are submerged 25 cm under the beach surface and are normally not visible at the beach. There are max 11 PEM modules in each row, because we don't like the beach wider than 100 meters.

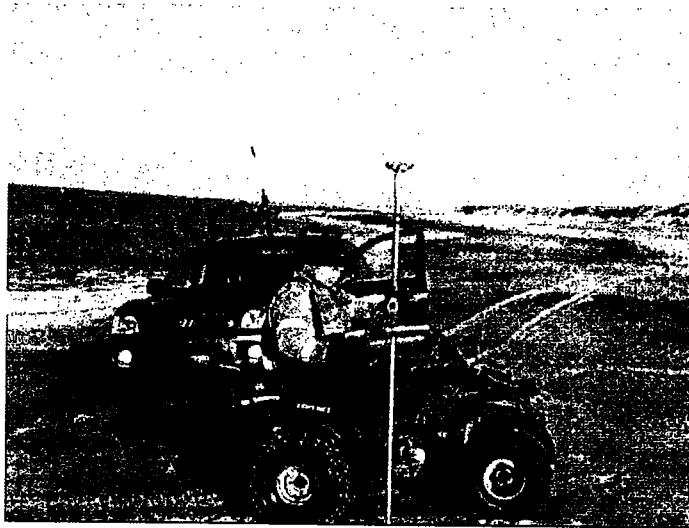
**Survey**

Fig. 9

The survey program is quarterly with 13 surveys over 3 years. There is 100 meters between the survey lines at the beach and the tolerance is below 2 cm. The survey and data processing are done by Carl Bro A/S Denmark.

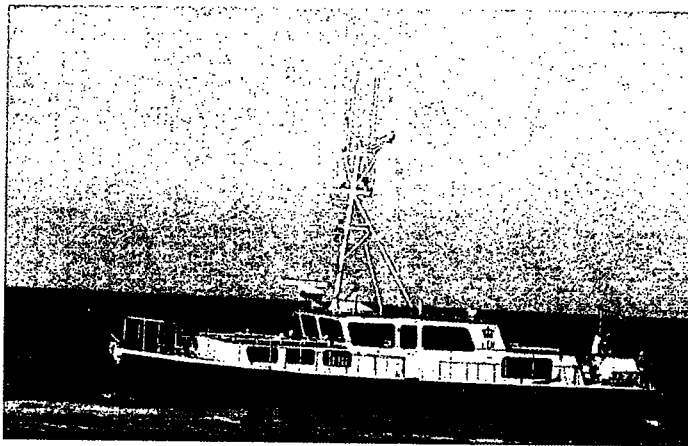


Fig 10

In the first year the sea survey was quarterly and half yearly in year 2 and 3 in the project period.  
The distance between the survey lines along the coast line is 200 meters and 600 meters out in the sea.

## Evaluation

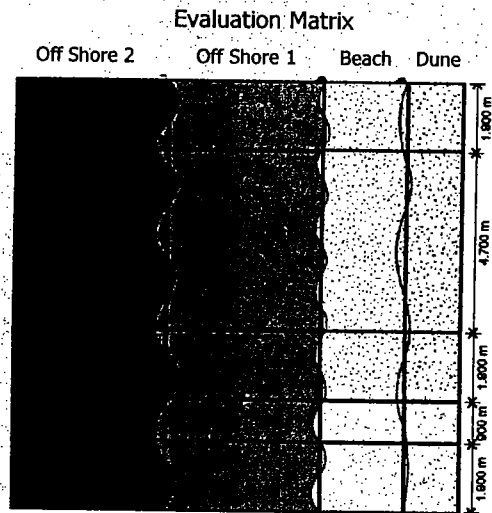


Fig 11

The evaluation is based at the dunes, average beach level (ABL) 100 meters wide from the dune foot (Fig. 12), and offshore 1 and 2 both 300 meters wide.

## Average Beach Level

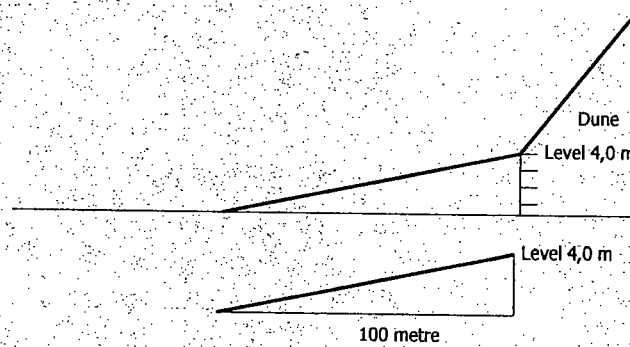


Fig 12

The ABL calculations are locked to the dune foot level + 4 m January 2005.



Analysis – ABL

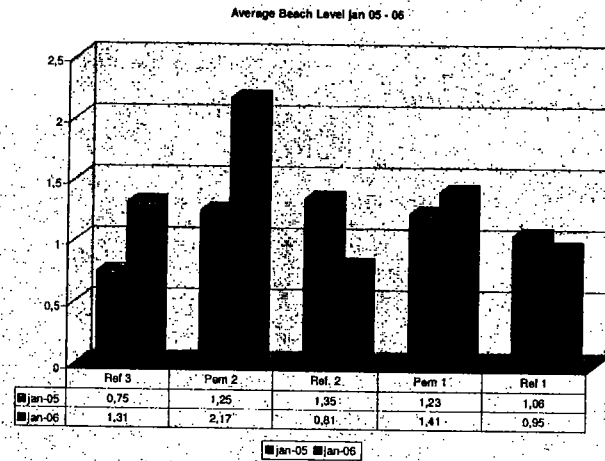


Fig. 13

Fig. 13 shows the average beach level by the project start January 2005 and January 2006 after the first year. Ref. 2 was the strongest area with ABL 1,35 m at project start.

After 6 Month's

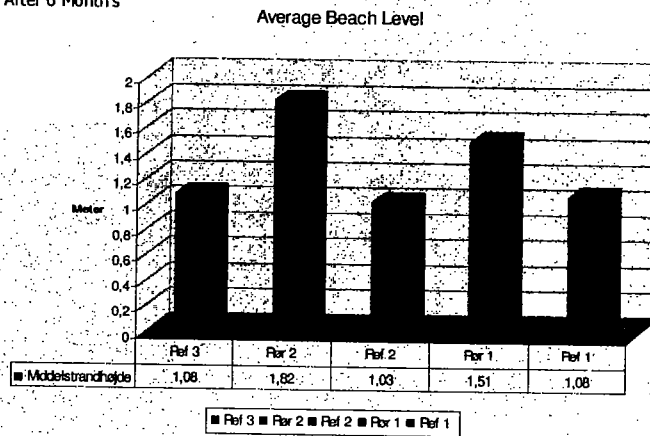


Fig. 14

Already after the first 6 month the results of the vertical drains was significant in relation to the reference areas.

## Result ABL - 3 years

### Result 2005 – 2008.

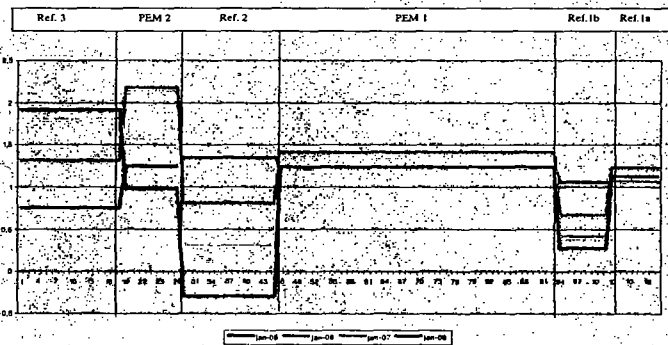


Fig 15

We see in fig. 15, there is a very significant and clear result after 3 years. The average beach level in PEM 1 is 157 cm higher in relation to ref. 2. The average beach level in PEM 2 is 137 cm higher in relation to ref. 2.

We register during the first year that ref. 1 was disturbed with Bar Nourishment done of the Coastal Authorities in Denmark.(KDI)

### Dune foot development

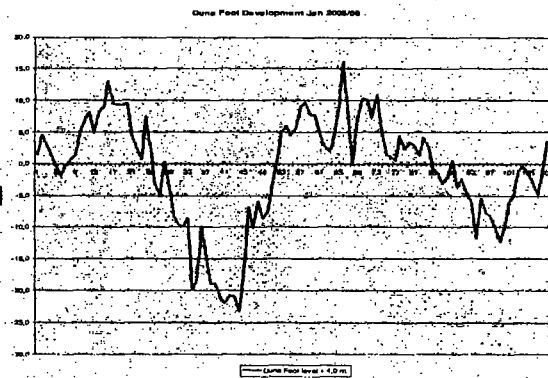


Fig. 16

We see in fig. 16 the dune foot move towards the shoreline in the drained areas, and big erosion in ref. 1 b and ref 2. Ref 3 is an accumulation area over the last 200 years as we saw in Fig. 4. The average erosion in the dune foot in reference area 2 is 15,7 meters over 3 years. We think we would have seen the same situation in ref. 1, if this area not was disturbed with bar nourishment from KDI.

Analysis.

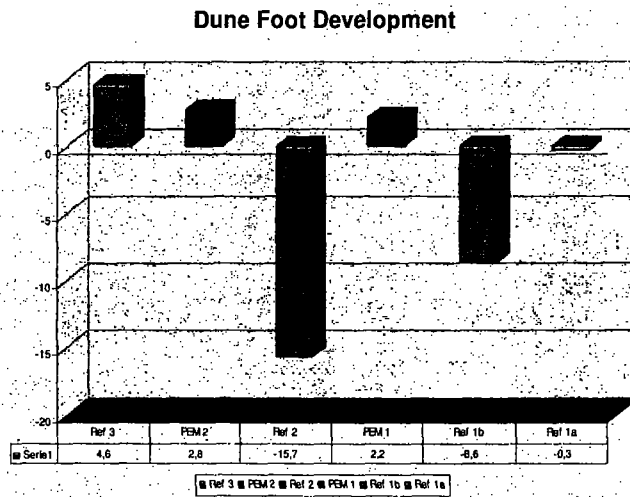


Fig. 17

After 3 years we see in fig 17 the dune foot moves towards the shoreline in the drained areas and ref. 3, where we have leeside accumulation. In contrast we have big sea erosion in ref 2 and 1 b.

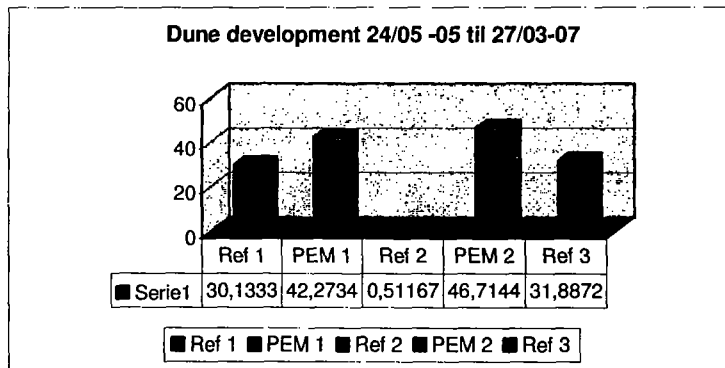


Fig. 18

We have a laser scan survey with airplane, as cover the area from the dune foot level 4 and 300 meters inside in the hinterland over 22 month.

The result is very significant. The sand drift to the hinterland is 50 % higher from the drained areas in relation to ref. 1 and 3.

There is no accumulation in ref. 2, because we have big sea erosion in the dune front with a negative ABL at - 29 cm at the beach.

### Drain Capacity.

The main filter has a drain capacity at 150 l per minute equal to  
9000 l per hour  
10 filters has a drain capacity at 90,000 l per hour  
Over 6 hours the drain capacity is 540,000 litre



Fig. 19

The drain capacity at the main filter is tested by water flow with tap water. The test shows the main filter has a drain capacity at 150 l per minute.



Fig 20

One row with vertical drain tubes Fig. 20 generates here a sand groin by Old Skagen in 1999.

**Effect of the Drain tubes**



Fig. 21

Fig 21 is an Aerial photo from year 2000 from old Skagen with drain tubes between the groins. We see clearly the sand groins between the old groins of stones as lay inside at the beach.

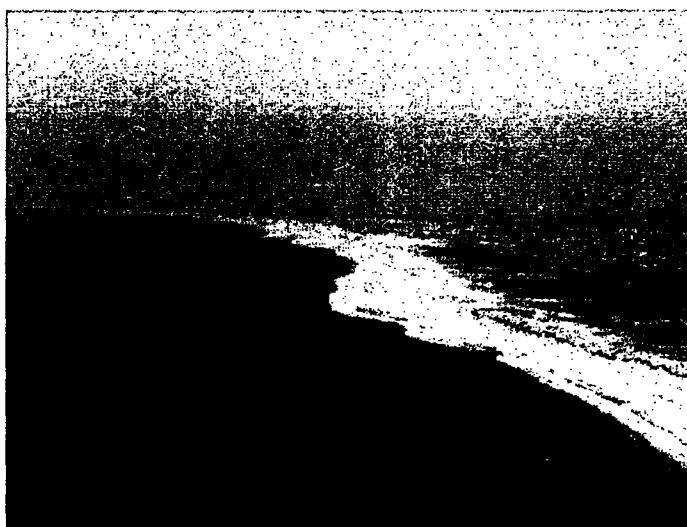


Fig. 22

In fig. 22 we see the effect of the drain tubes by Skodbjerge in the PEM area 2 after 6 month in July 2005.

### Offshore development

Development in Offshore 1 og 2 in Cubicmeter pr. m.								
	apr-05	jul-05	okt-05	jan-06	jul-06	jan-07	jul-07	jan-08
Offshore1	1,44	9,57	24,84	11,8	24,91	27,21	-4,1	-22,4
Offshore 2	3,54	5,01	8,23	-4,53	-5,84	1,47	-8,8	-20,2

Development in Offshore 1 og 2 in cm								
	apr-05	jul-05	okt-05	jan-06	jul-06	jan-07	jul-07	jan-08
Offshore1	0,48	3,19	8,28	3,93	8,3	9,07	-1,4	-7,4
Offshore 2	1,18	1,67	2,74	-1,53	-1,95	0,49	-2,9	-6,7

Detailed analysis shows a negative effect, at the southern end of the bar nourishment in off shore 1 and 2. where the erosion in the sea bed is more than 300 cubic meters pr meter in ref 1 b off shore.

SIC has complained about bar nourishment inside the project to the Ministry of Transport who pay the project, but we made a mistake. We should have complained to the board for Scientific Dishonesty under the Ministry of Scientific.

### Conclusion

1. The average beach level is significant higher in the drained areas in relation to ref. 1 and 2. The Beach in ref 1 b and ref 2 is eroded away over 3 years.
2. There is no leeside erosion, but leeside accumulation in ref. 3.
3. The dune foot move towards the shoreline in the drained areas and ref 3 with leeside accumulation
4. The Dune accumulation is 50 % higher in the drained areas in relation to ref 1 and 3.
5. The Sand comes from the long shore sediment transport at the coastline.
6. Vertical beach draining is a coastal protection solution in relation to the global sea level rise, because it raises the average beach level in front of the dunes.

### REFERENCES

- Jakobsen P. Pressure Equalisation Modules For Environmentally Friendly Coastal Protection, *Yamba 2000 Australia*.
- Brøgger C. and Jakobsen P. Evaluation of the function of vertical drains, *Conference ICS 2007 Gold Coast Australia*.
- Jakobsen P. and Brøgger C. Coastal protection based on Pressure Equalization Modules (PEM), *Conference ICS 2007 Gold Coast Australia*.
- Brøgger C and Jakobsen P. Beach nourishment combined with SIC Vertical Drain System in Malaysia, *Conference ICCE 2008 Hamburg*.
- Li L. and Barry D.A. Groundwater effects on Sediment transport: A modeling study of the mechanisms underlying beachdewatering for erosion control, *School of Civil and Environmental EngineeringThe University, Edingburgh*.

### Acknowledgment

We would like to thank the Board for Trafic, and Transport Minister Flemming Hansen as initiated this field test, and founded the project with 1,0 mill Euro.

KEYWORDS – ICCE 2008

Environmentally Friendly Coastal Protection Based on Vertical Drains

Authors: Poul Jakobsen and Claus Brøgger

Abstract number: 1159

Key words

Shore

Beach

Coast

Coastal

Erosion

Skagen

SIC

PEM

Pressure equalization modules

Beach Drain

Environmentally Friendly

Beach Dewatering

Vertical Drain

## Evaluation of the function of Vertical drains.

**C. Brøgger†** and **P. Jakobsen‡**  
 †SIC Skagen Innovation Center  
 Skagen 9990 Denmark  
 sic@shore.dk

‡SIC Skagen Innovation Center  
 Skagen 9990 Denmark  
 sic@shore.dk

### ABSTRACT

BRØGGER,C and JAKOBSEN,P., 2007. Evaluation of the function of Vertical drains. ICS2007 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), Gold Coast, Australia.



The PEM system is used for beach erosion control and involves the principle of vertical draining. Scientists generally agree that a well drained beach is robust and accrete, but beaches with a high water pressure will erode.

On this background a field test was performed on the Danish west coast with DIVER water level instruments. The test with the Diver sensors was carried out over 2 weeks, where the PEM modules with sensors were placed between the wells with sensors in week nr. 2.

All the Divers in the wells and PEM modules were time locked and registered the water table for every 2 minutes.

The effect of the PEM modules corresponds to the theory from " (Glover and Todd, 1975)" about fresh water outflow in Coastal zones.

**Additional index words:** *Beach dewatering, SIC, PEM.*

### INTRODUCTION

Scientists generally agree that a well drained beach is robust and will generally favour infiltration and onshore sediment transport.

The position of the water table in beaches is mostly controlled by tidal waves.

The effects of vertical drains on the water table in beaches are investigated in this report.

The drains are called Pressure Equalizing Modules (PEM). The vertical drains consist of a 1.0 m long screen drain on a 0.75m tube with a diameter of 0.06m. The functioning of the PEMs is that the effective permeability of the beach is increased. A two-week experiment was conducted at a beach near Holmsland on the west coast of Denmark in order to investigate the hydraulic functioning of the PEMs (Fig 1). Two different experiments were meant to be investigated.

1. A beach-scale experiment where tidal dynamics influence on the water table were monitored in rows with normal observation wells and PEMs.

2. A close-in scale experiments, where the pressure distribution around a drain was continuously monitored.

The close-in test failed due to installation failure.

The experiment was divided into two periods.

Period one where all the wells were installed with pressure sensors DIVERS ( fig 5 )  
 Measurement every 2 minutes and.

Period two where PEMs were installed, also with pressure sensors.

Three rows were established.

One row with just wells and no PEMs, which then acted as a control site.

One row with both wells and PEMs.

One row with a few wells and mostly PEMS, which was designed primarily for the close-in-scale experiment.

The idea was to make a before-and-after comparison, where the tidal response in the wells during period two could be compared with the tidal response in period one.

Unfortunately due to a dramatic change in the weather conditions resulting in higher water level in week two compared with week one (Fig 2), we found the "before-after evaluation" not useful.

We then decided to use data only from week two and only from the center ( C ) row as it was found that the beach geology in the north ( N ) row differed too much.



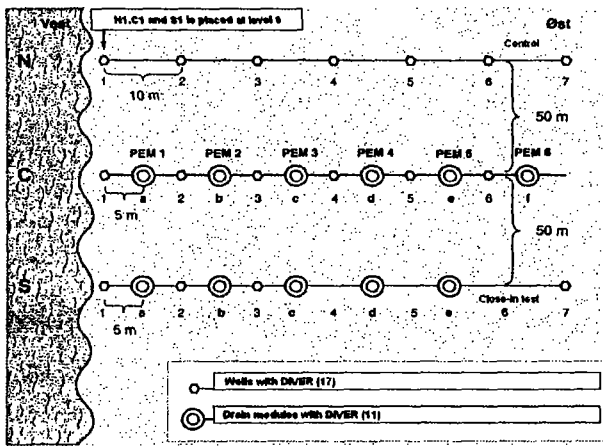


Figure 1. Test site

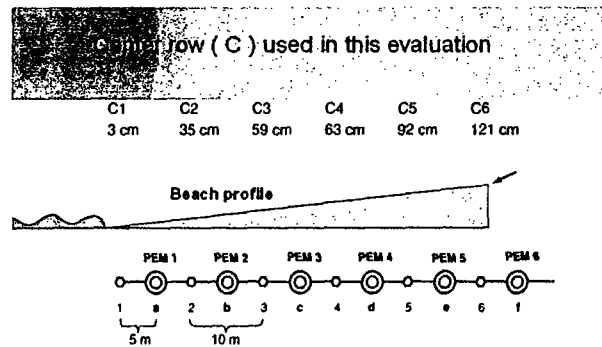


Figure 2. (C) Center row / Beach profile

**Field site**

The field site is located 5 km south of Hvide Sande on the West coast of Denmark, ( Fig 3 ).

Figure 1 show the location of the installed wells (small circle) all with DIVERS measuring the water level and the Pressure Equalizing Modules (big double circle) also with DIVERS. The North row was meant as a control row, where no PEMs were installed.

The Center row includes wells, and with PEMs centrally located in between two wells (Fig 2).

There are 50 meters between the rows and 10 meters between the wells. Between the wells and PEMs there are 5 meters.

The South row has only four wells, three nearest to the sea, and one at the other end, and five PEMs. All wells were installed starting on 8:00, March 20, 2006. The PEMs were installed on March 26, 2006. The test ended on April 02 2006. The MSL are shown on Figure 7.

The center row (C) (fig 2) only is used in this evaluation.



Fig 3 Test site location (Skodbjerge)

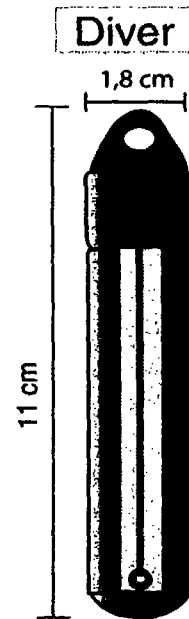


Fig 4 DIVER sensor

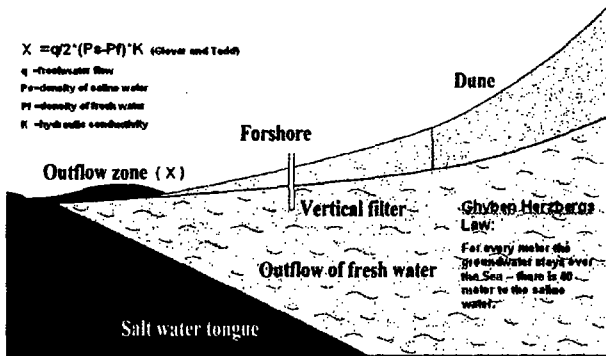


Fig 5

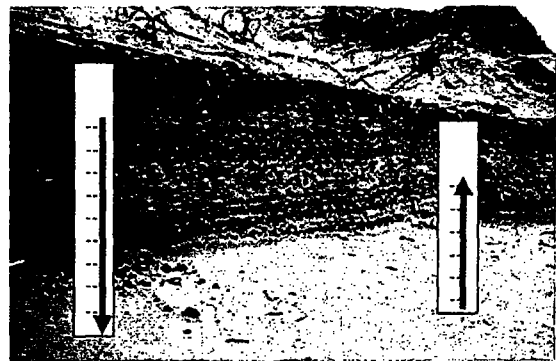


Fig 6

**Conditions**

Fig 5 illustrates the water pressure at the beach and outflow zone. According to "(GHYBEN HERZBERG)" we know that for every meter the groundwater stays over the sea - there is 40 meters down to the saline water. However this is not the case in the outflow zone where according to "(CLOVER and TODD D.K)" the conditions are stated in the equation:

$$X = q/2(P_s - P_f)K$$

Where X= outflow zone in meter  
 q = freshwater flow pr. meter  
 $P_s$  = density of saline water  
 $P_f$  = density of fresh water  
 K = hydraulic conductivity

The outflow zone (X) moves with the tide and is an important factor in the function of the drains as the positive change of the hydraulic conductivity in the beach will broaden the area of outflow and increase the outflow thereby lower the water pressure in the beach.

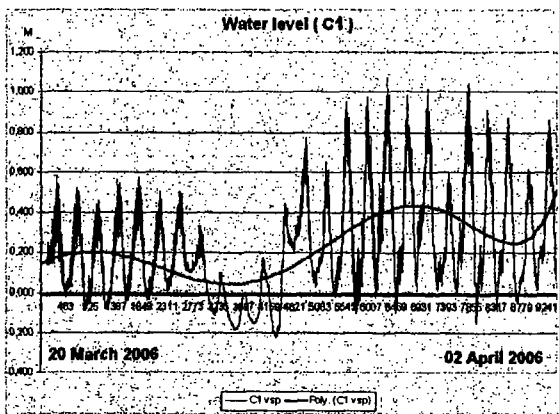


Fig 7

**Weather**

During the first period the wind was easterly with small wave activity. At the start of the second period the weather shifted to westerly wind with wind speeds between 14 and 19 m/sec, which resulted in a water level rise of 0.40 meter (Figure 7).

**Vertical drains**

Vertical drains connect different permeable layers in the beach and increase the outflow. The water may move up or down in the tubes depending on the water pressure in the beach and the swash zone (figure 6). The pressure drop in the beach will increase the saline water circulation and accretion will take place creating a sand groin which catches the long shore sediment transport (fig 8). The vertical drains acts like a starter that keeps the process going. When more or less impermeable layers has been penetrated or/and when several permeable layers has been connected by the drain, the draining process starts washing out fine material and in that way becomes more and more effective.



Fig 8

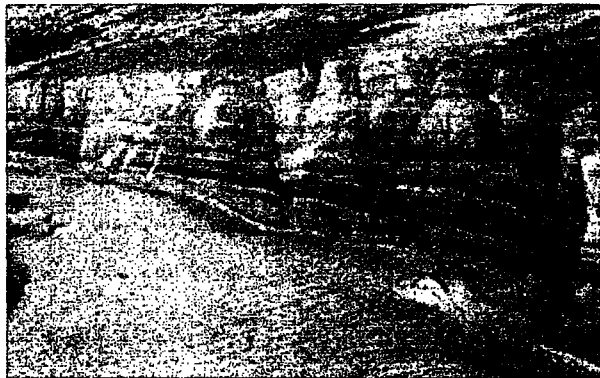


Fig 9

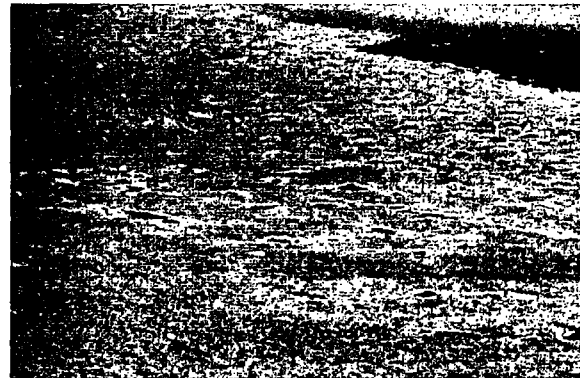


Fig 10

**Impermeable layers**

The presence of more or less impermeable layers in a beach is well known. They may consist of very fine material. The material could be particles of clay or organic material coming from rivers and municipality sewers (Fig 10). These layers we also found at the test site (fig 6, fig 9) where the drain pipes penetrates the impermeable layers and connects the permeable layers.

**Pressure sensors**

This field test use DIVERS as pressure sensors in the beach. This model was chosen because it is robust and accurate, it has no external wires. The measurements are easily transferred to a PC via a docking station. The DIVER ( Fig 4 ) measures the groundwater level with an accurate pressure sensor. The weight of the water Column above is the determining factor. The DIVER sensors were submerged in the wells / drains and their X Y Z coordinates were logged with GPS. All DIVERS were synchronized in time and the logging intervals were set to 2 minutes.

(fig 12 , fig 13)The data from the DIVERS shows that in PEM 1 and PEM 2 the water level is well above the calculated average value  $(C1+C2)/2$ ,  $(C2+C3)/2$ . Indicating an upward draining flow as expected in the outflow zone.

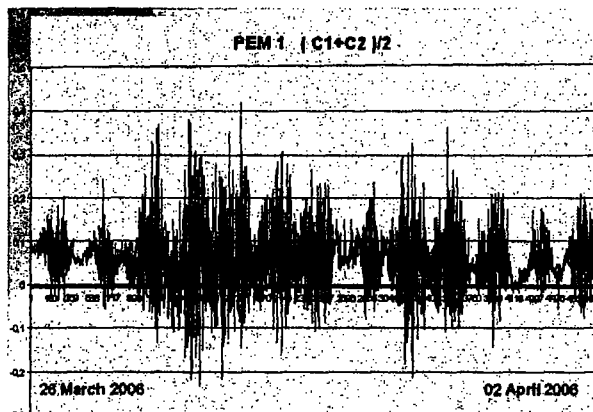


Fig 12

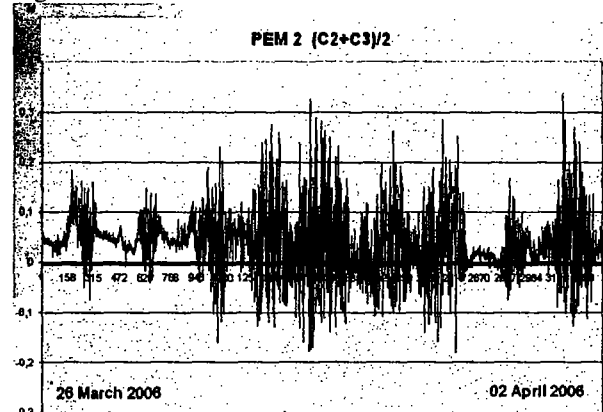


Fig 13

**Method**

The draining effect is illustrated by comparing the water level inside the drains with the water level in the beach as recorded of the sensors inside the wells  $(C1+C2)/2$ ,  $(C2+C3)/2$ ,  $(C3+C4)/2$ ,  $(C4+C5)/2$ ,  $(C5+C6)/2$ .

**C1 and C2 water pressure**

The difference in C1 and C2 is reduced to 5-6 cm after draining in period two. Without draining the level difference is between 4 and 19 cm indicating the drains has equalized the pressure (fig 11).

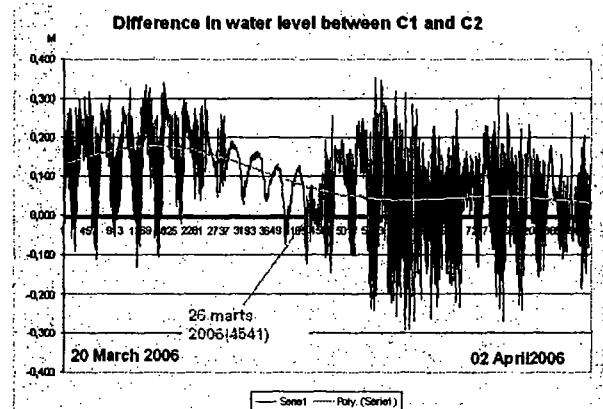


Fig 11

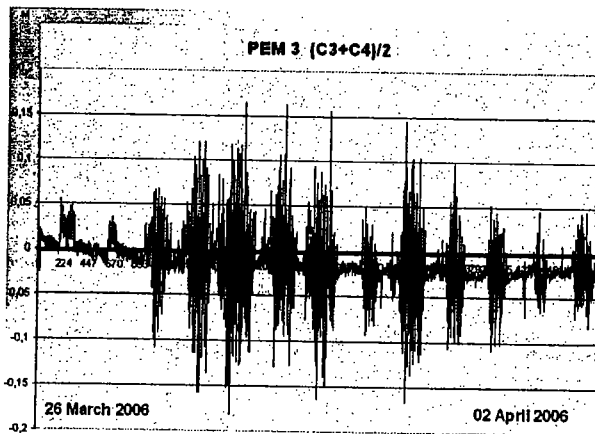


Fig 14

(fig 14 , fig 15, fig. 16) PEM 3, PEM 4 and PEM 5 data shows, that the water level is below the calculated value  $(C3+C4)/2$ ,  $(C4+C5)/2$   $(C5+C6)/2$  indicating an downward draining flow as expected in the dry zone.

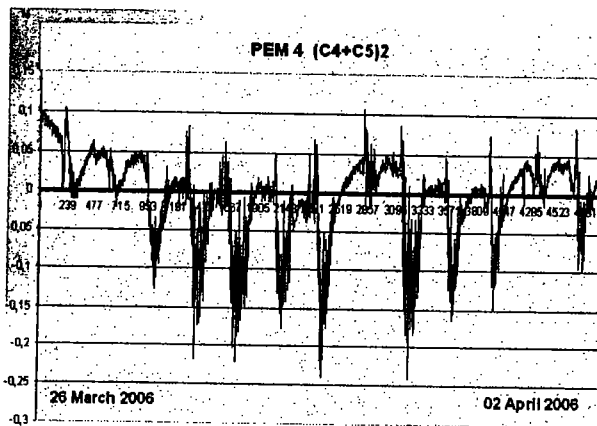


Fig 15

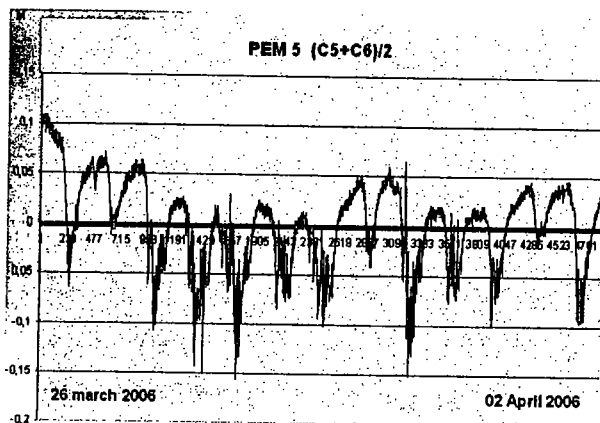


Fig 16

### Conclusion

The hydraulic effect of installing pressure equalizing modules ( PEM ) was investigated.

The test showed that on a dry beach the water level inside the PEM was significant lower than in the neighboring wells, indicating effective downward draining of the beach.

PEM modules in the swash zones that were submerged due to high tide, showed a higher water level than in the neighboring wells. This indicates that the outflow of water is increased by the drain.

The effect of the drains acts as trigger starting the process and thereafter the system is self sustained.

Effective draining of a beach will increase the beach's capacity to absorb water from the incoming waves. The sediment they contain will be deposited on the shore. Gradually a sand groin will develop picking up the long shore sediment adding sand to the beach.

### References.

Jakobsen, P. *Pressure Equalisation Modules For Environmentally Friendly Coastal Protection.* Conference Yamba 2000

Jakobsen, P. *SIC- systemet løsningen på den globale vandstands-stigning.* Geologisk Nyt. Aarhus University 1/07 page 4 - 8.

Jakobsen P. *Trykdigningsmoduler skaber brede ligevægt-sprofiler.* Geologisk Nyt. Aarhus University 1/07 page 10 -17.

Jakobsen, P. and Brøgger, C. *Coastal protection based on Pressure Equalization Modules (PEM).* Conference ICS 2007.

## Beach Nourishment combined with SIC Vertical Drain System in Malaysia.

Claus Brøgger and Poul Jakobsen, SIC Skagen Innovation Center Dr. Alexandrinesvej 75, Dk 9990 Skagen

### Technology

The sic vertical drain system is used to prevent beach erosion by draining the beach and thus reducing water pressure in the beach. Sand is less likely to wash back to the sea and sediment is readily deposited on the beach.

The beach was drained with the SIC system prior to and after beach nourishment.

### Location

The site is at Teluk Chempedak on the East Coast of Malaysia near the town of Kuantan. Teluk Chempedak is placed in a pocket bay at the east coast of Malaysia.

The beach is placed in front of Hyatt- and Sheraton Hotel and has a total length of 900 metres.



### Construction Activities.

The beach in front of Hyatt- and Sheraton Hotel is pre-drained with the SIC system May to June 2004.

The beach was nourished with 176.000 m<sup>3</sup> sand in June, July 2004

The sand was placed in an equilibrium profile 90 metres wide.

The beach was drained again with the SIC System in July 2004.

### Evaluation.

The evaluation of the project is based on the average beach level ABL from the wall in front of the hotels and 70 metres towards the shoreline and out in the sea as illustrated in fig 1

**The SIC system combined with Beach Nourishment**

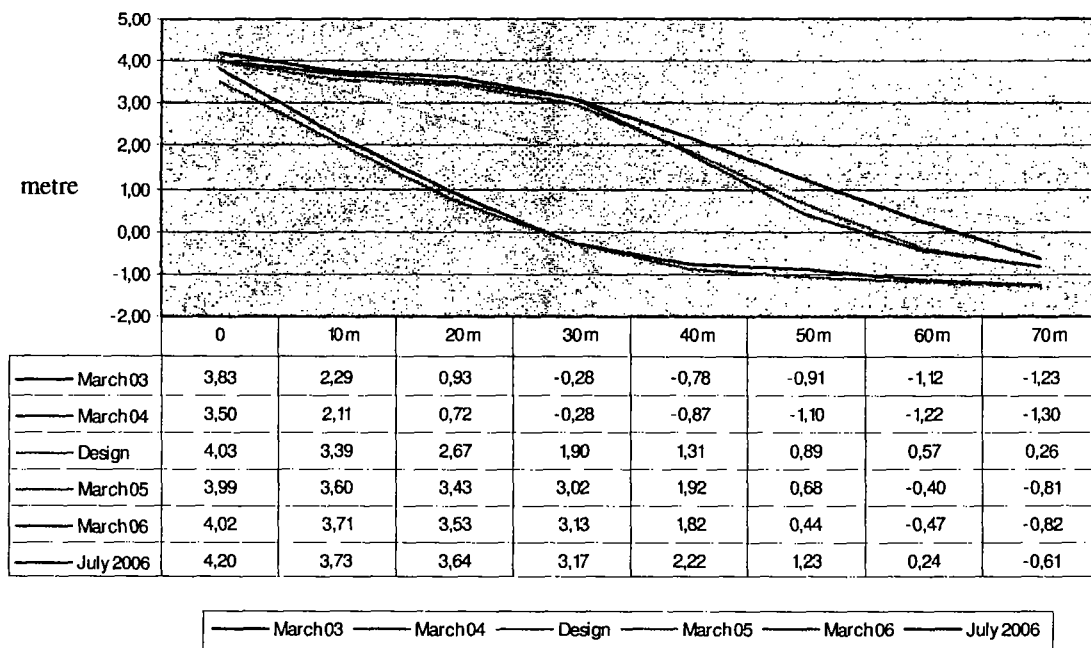


Fig. 1

### Result after 2 years.

We see in fig. 1, that the Beach is higher than the design level in July 2004 (yellow line). The Beach is now convex unlike earlier, where the beach was very low and concave.

The average beach level ABL in a 70 metres wide beach is now stable and over design level, see fig 2.

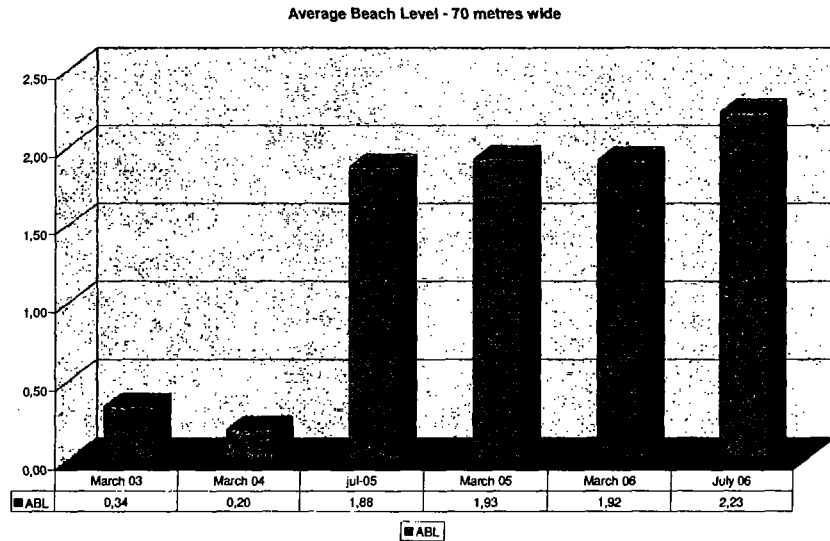


Fig 2

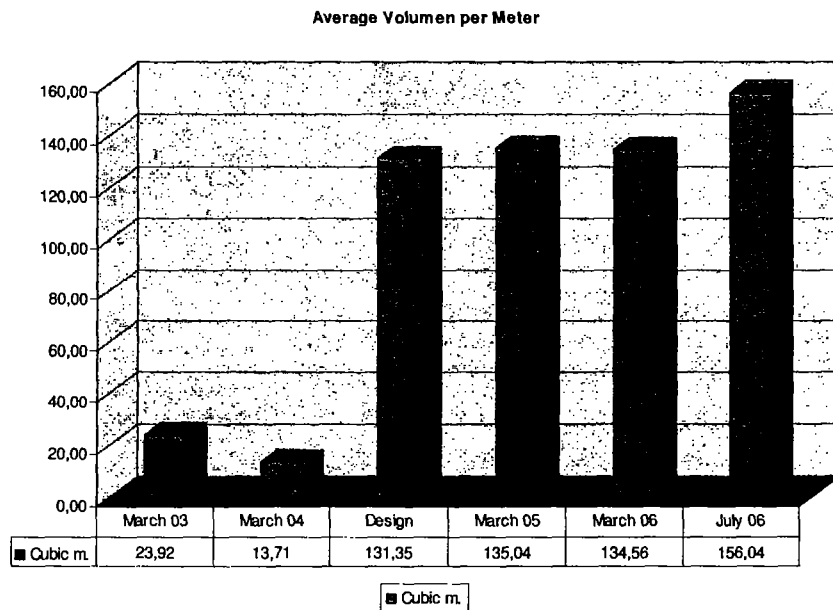


Fig 3

The design for a 70 metres wide beach in July 2004 was ABL 1.88 m and 131 cubic metres per metre, fig 3. After 2 years the ABL is 2.23 m, and the average volume of sand are 156 cubic metres per metre along the coastline.

### Survey.

The survey is done by a licensed surveyor appointed by MRCB Malaysia on behalf of DID Malaysia.

### Conclusion.

A beach nourishment has normally a life time of 3 years on the east coast of Malaysia, but the field test shows, that the lifetime can be extended, when we combine the nourishment with the SIC vertical drain system.

The 3year survey is finished on the 6 July 2007, and the results will be available in the end of July 2007 and will be reported in the final paper for the conference.

### References.

- Jakobsen, P. Pressure Equalisation Modules For Environmentally Friendly Coastal Protection .Conference Yamba 2000 Australia.*
- Jakobsen, P. SIC systemet løsningen på den globale vandstandsstigning. Geologisk Nyt 1/07 Aarhus University page 4 - 8.*
- Jakobsen P. Trykdigningsmoduler skaber brede ligevægtsprofiler. Geologisk Nyt Aarhus University 1/07 page 10 -17.*
- Jakobsen P. and Brøgger Environmentally Friendly Coastal protection based on vertical drains.*

2008.07.10.  
S-0802392  
Henrik Kjær Nielsen

## NOTAT

**SAG** : SIC kystsikringssystem

**EMNE** : Faglig udtalelse vedr. evaluering af forsøgsprojekt ved Skodbjerg  
til Trafikudvalget og Trafikministeriet.

**REKVIRENT** : Poul Jakobsen – SIC, Skagen Innovationscenter

## INDHOLDSFORTEGNELSE

1	INDLEDNING OG BAGGRUND .....	2
2	SIC-SYSTEMET .....	2
3	UNDERSØGELSE SOMRÅDET .....	2
4	OPMÅLINGER .....	4
5	EFFEKTEN PÅ FORSTRANDEN .....	5
5.1	Middelstrandhøjden .....	5
5.2	Referenceområde 3 .....	7
6	EFFEKTEN PÅ KLITZONEN .....	9
6.1	Klitfoden .....	9
6.2	Vindtransport til baglandet .....	10
7	OFF SHORE .....	11
7.1	Revløeffekt .....	11
7.2	Revløfodring .....	13
8	RØRENES VIRKEMÅDE .....	13
9	KONKLUDERENDE VURDERINGER OG ANBEFALINGER .....	15

## 1 INDLEDNING OG BAGGRUND

SIC – Skagen Innovationscenter – har udviklet og patenteret et koncept, der har til formål at fremme kystaflejring og dermed kystsikringen.

Systemet er af SIC og Kystdirektoratet (KDI) afprøvet gennem en treårig periode på en delstrækning af vestkysten. De morfologiske ændringer er løbende opmålt gennem forsøgsperioden. Opmålingsresultaterne er vurderet og afrapporteret af to tilknyttede eksperter, Prof.dr.techn. Hans F. Burcharth og Prof.dr..techn. Jørgen Fredsøe, der har udarbejdet hver sin rapport. Rapporterne har været fremlagt på KDI's hjemmeside, men er ikke længere offentligt tilgængelige.

På baggrund af stor uenighed om evalueringsresultatet har Poul Jakobsen, SIC, anmodet DGE om at udføre en faglig vurdering af SIC's egen evalueringsrapport "SIC systemet har stoppet kysterrosionen ved Skodbjerg" med baggrund i det foreliggende monitoringsmateriale og evalueringsrapporterne fra de to professorer. Materialet er tilstillet DGE af SIC.

Nærværende vurdering er udført af chefkonsulent, geolog, Henrik Kjær Nielsen.

## 2 SIC-SYSTEMET

Systemet er baseret på et rørsystem, hvor 1,75 m meter lange rørstykker med 1 m filterrør nedbores i forstranden. Rørene har en diameter på 63 mm og er forsynet med filterslidser i den nederste halvdel samt en ventil i toppen.

I dette projekt er max. 11 rør nedboret i forstranden i 100 m lange rækker, der er placeret vinkelret på den generelle kystlinie. Rørene er placeret med en indbyrdes afstand på 10 m i rækken og afstanden mellem rækkerne er 100 m. Det enkelte rør er ved etableringen anbragt således, at toppen er ca. 25 cm under overfladen.

## 3 UNDERSØGELSESMRÅDET

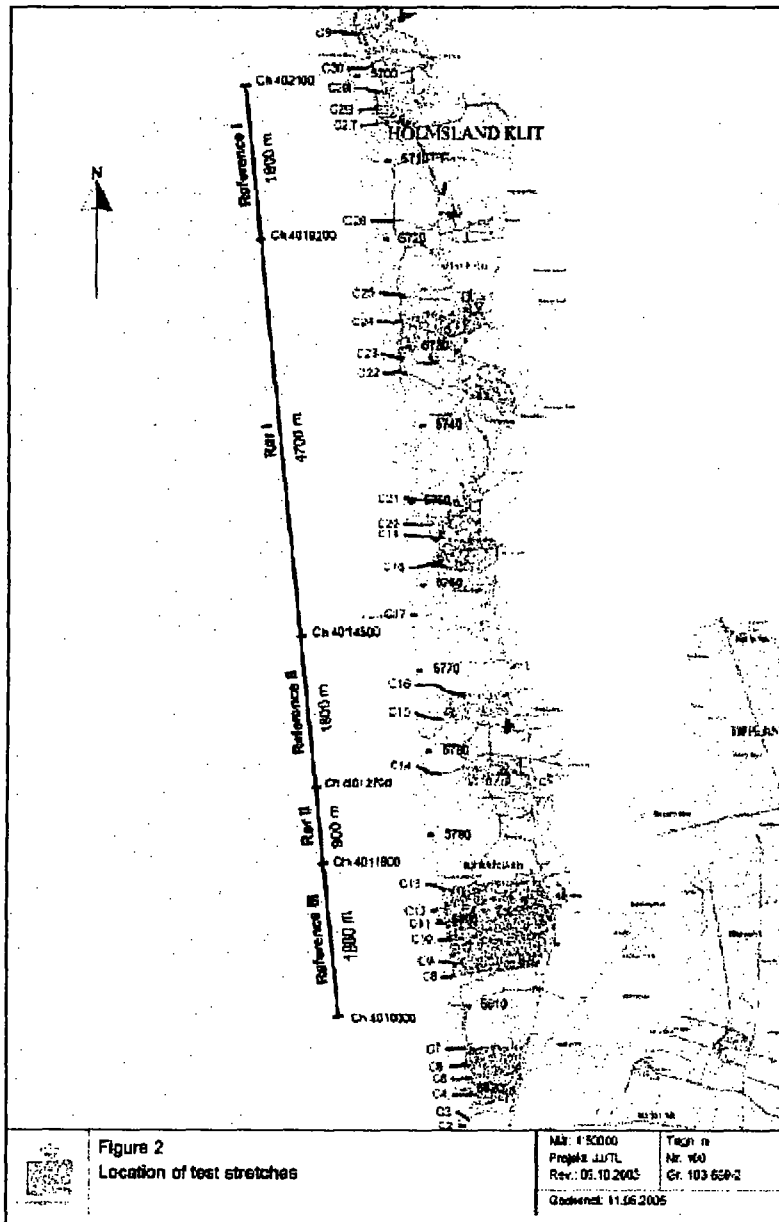
Undersøgelsesområdet er en 11 km lang kyststrækning ved Skodbjerg 5 km syd for Hvide Sande.

Strækningen er opdelt i to rør-områder – omgivet af tre reference-områder. Områderne er nummereret fra nord mod syd således:

- REF-1 – 1800 m
- RØR-1 – 4700 m
- REF-2 – 1800 m
- RØR-2 – 900 m
- REF-3 – 1800 m



Områdernes placering på kystlinien fremgår af nedenstående figur.

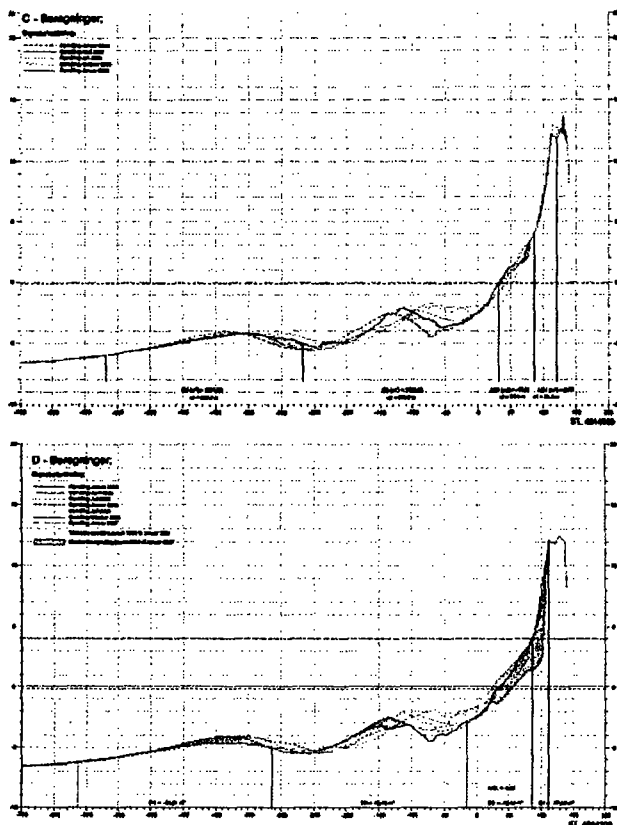


## 4 OPMÅLINGER

Med henblik på registrering af rørenes effekt på kystudviklingen er der foretaget opmålinger af overfladekoten i en række linier vinkelret på den generelle kystlinie med en indbyrdes afstand på 100 m. Det første år er der målt både på strand og offshore kvartalsvis – og der efter kvartalsvis på stranden og halvårligt offshore. Opmålingerne danner grundlag for volumenberegninger af sediment-aflejringerne.

Opmålingslinierne er zoneinddelt med et fast referencepunkt, defineret ved kote +4 m (DVR90), som danner grænse mellem forstrand og klitrækken. Forstrandens grænse mod havet er defineret som linien, der ligger i en afstand af 100 m fra kote +4-linien. Mod havet findes yderligere to zoner, hver med en bredde på 300 m - inderst offshore 1 og yderst offshore 2. Klitopmålingerne er foretaget fra klitfod til top af klitrækken, hvor flere af de højeste punkter er registreret – og klittop er defineret som det andet yderste målepunkt fra kysten.

Det bemærkes, at der fra C-beregning til D-beregningen er sket et skifte i fastlæggelsen af klittop til yderste top-punkt i måleserien, som vist nedenfor (yderste lodrette linie).



Det ændrede referencepunkt medfører naturligvis mindre volumen i klitzonen i forhold til tidligere beregninger, og gør sammenligninger med disse meningsløse.

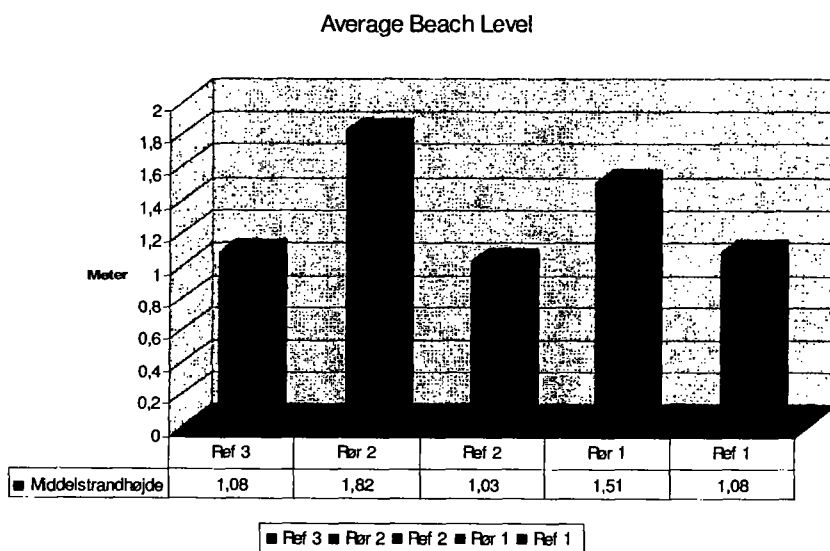
I det følgende er der især fokuseret på landmålingerne, idet resultaterne heraf må betragtes som de essentielle for målet med landvindingen.

## 5 EFFEKTEN PÅ FORSTRANDEN

### 5.1 Middelstrandhøjden

Middelstrandhøjden er beregnet som middelværdien af samtlige koter i den definerede 100 meter brede zone nedenfor kote + 4 m.

Et halvt år inde i forsøget blev den første evaluering foretaget i henhold til rammeaftalen. Resultatet er vist grafisk neden for.



Resultaterne af den beregnede middelstrandhøjde i de fem delområder er nedenfor opstillet sammen med startopmålingen i januar 2005 og den heraf beregnede ændring. Værdierne er hentet fra D-beregningerne.

Middelstrandhøjde i meter	REF 3	RØR 2	REF 2	RØR 1	REF 1
Jan. 2005	0,77	1,24	1,34	1,24	1,06
Juli 2005	1,08	1,82	1,03	1,51	1,08
Ændring	+ 0,31	+ 0,58	- 0,31	+ 0,27	+ 0,02

Det fremgår, at der sker betydelig tilvækst i begge rørområder samt i REF 3. I REF 2 er der sket en betydelig erosion, mens REF 1 er stort set stationær.

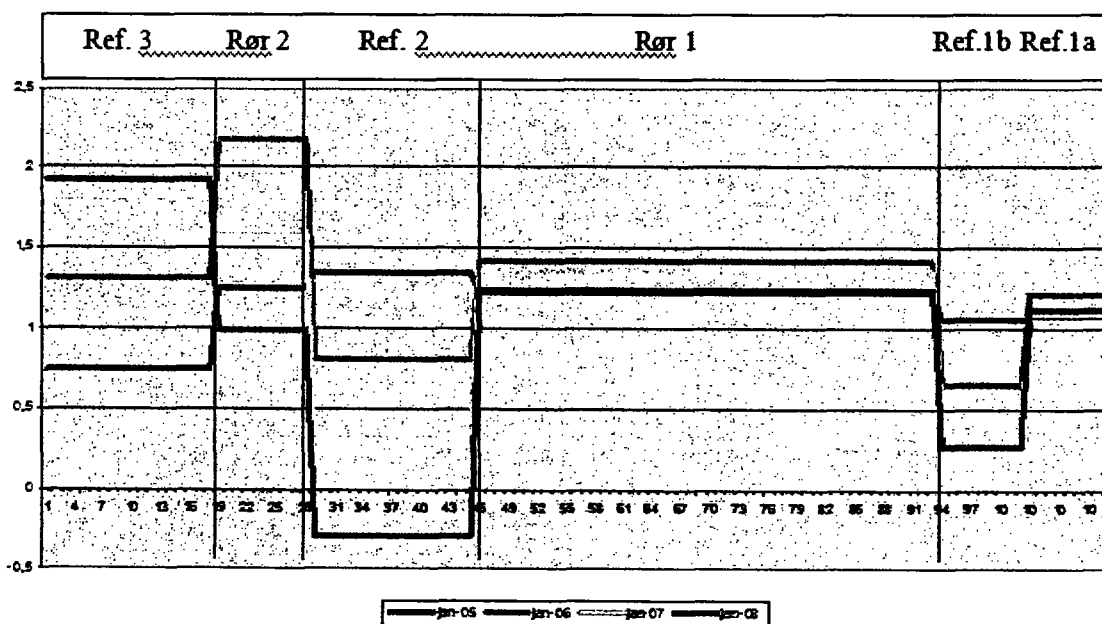
Efter et år ser de tilsvarende værdier således ud.

Middelstrandhøjde i meter	REF 3	RØR 2	REF 2	RØR 1	REF 1
Jan. 2005	0,77	1,24	1,34	1,24	1,06
Jan 2006	1,31	2,17	0,79	1,41	0,94
Ændring	+ 0,54	+ 0,93	- 0,55	+ 0,17	- 0,12

Igen ses tilvækst i begge rørområder samt i REF3, mens der er sket erosion i REF 1 og 2. Målingerne i januar 2007 giver samme billede.

Efter målingerne i januar 2008 ses stadig samme udvikling i de tre reference-områder, mens RØR 1 eroderes tilbage til udgangsniveauet i 2005 og RØR 2 eroderes tilbage til et niveau lidt under startniveauet.

Det samlede billede er vist grafisk i nedenstående figur, der er hentet fra SIC's notat, men er efterberegnet af DGE, og fundet korrekt.



SIC har opdelt REF 1 i to zoner, som vi vil kommentere senere – men det kan nævnes, at gennemsnitsværdien for hele REF 1 i 2008 er 0,70 m.

Det fremgår tydeligt, at der er stor variation i de midlede værdier områderne imellem og over tid. Og hvis der ses på de enkelte måleværdier i delarealerne er variationen endnu mere kaotisk. Dette er dog ikke uventet, idet temmelig mange faktorer spiller ind.

Ved naturvidenskabelige undersøgelser er målet at finde mønstre og tendenser i det ofte kaotiske billede af udviklingen. Denne analyseform er ikke tydelig i de to professorers rapporter.

Hvis vi prøver at uddrage tendenser i den store datamængde, tegner der sig et billede, der viser, at REF 3 opfører sig anderledes end de andre områder. Hvis vi derfor for et øjeblik ser bort fra dette delområde, tegner der sig et mønster i de øvrige områder, der i de første 2 år viser tydelig tilvækst i RØR 1 og RØR 2 – og tydelig erosion i REF 1 og REF 2.

Opmålingen i 2008 viser generelt erosion i alle 4 områder – dog kun ganske beskedent i det store område med rør – RØR 1. I RØR 2 ses en betydelig erosion, som dog sagtens kan skyldes den meget voldsomme erosion i REF 2, der ligger lige nord herfor. Svækkelsen i REF 2 vil naturligvis påvirke naboområderne negativt.

Over de første to år ses en tydelig positiv kystopbygning i rørområderne – og en tydelig erosion i de to nordligste referenceområder.

Efter det tredje år ses der fortsat erosion i de to reference områder, mens rørområderne stort set rykker tilbage til startværdien.

*Samlet kan det derfor konkluderes, at de to rørområder klarer sig betydelig bedre end de to nordligste referenceområder.*

## 5.2 Referenceområde 3

Hvis man beregner middelstrandhøjden for hele forsøgsstrækningen i januar 2005, 2006, 2007 og 2008 fås værdier på hhv. 1,15 m, 1,29 m, 1,19 m og 1,00 m. Udvikling i middelstrandhøjden over de tre år er således på hhv. +14 cm, +4 cm og -15 cm.

I de to nordligste referenceområder ses en konstant erosion. De tilsvarende værdier for REF 3 viser et andet mønster. Her ses over hele perioden en betydelig tilvækst. Og hvorfor nu det?

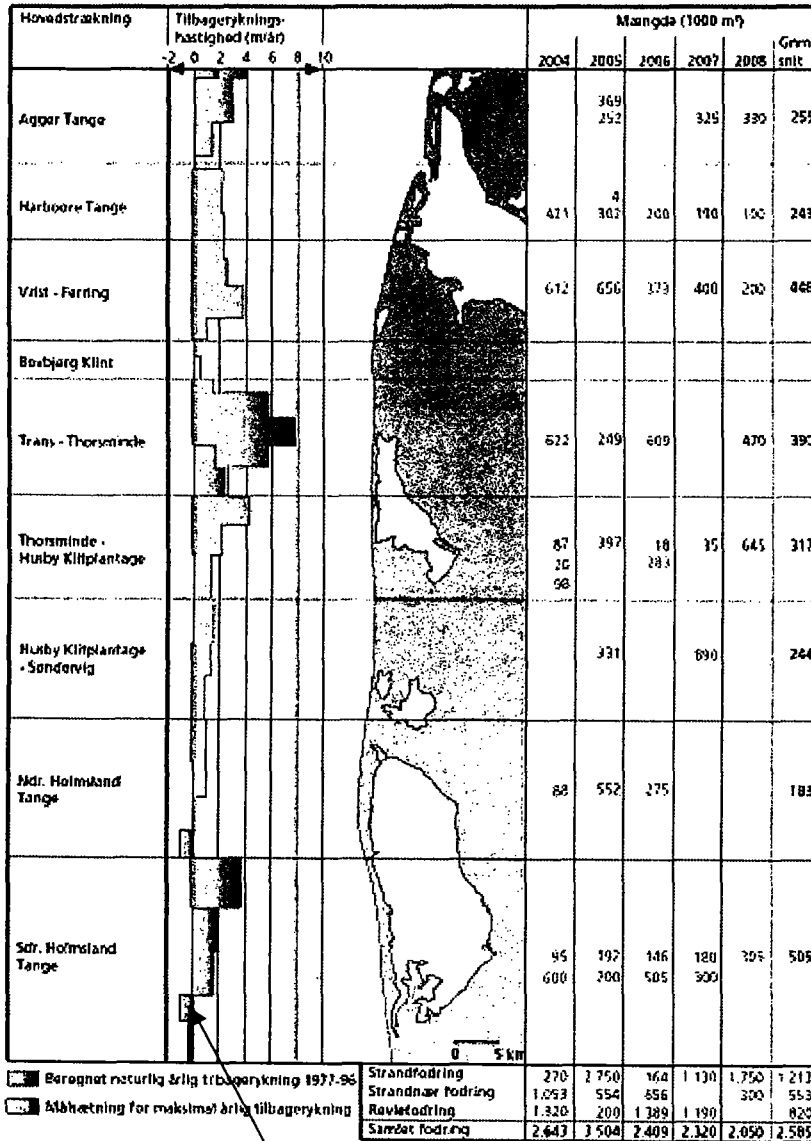
Normalt vil der findes store variationer i sedimentbalancen over tid og sted langs kysten. I nogle områder vil der generelt over tid ske en nettoaflejring, mens der i andre områder sker en nettoerosion.

I det konkrete forsøgsområde findes der øjensynligt sådanne generelle tendenser. I nedenstående figur, der er udarbejdet i august 2007 af Kystdirektoratet, ses den generelle kystudvikling i testområdet at være negativ. Det bemærkes imidlertid, at der i REF 3 og syd herfor ses en tendens til positiv kystudvikling. Dette stemmer dog ikke med angivelserne i professorernes rapporter (se Burcharth, tabel 2 og fig. 16 samt Fredsøe, fig. 3.14 og 3.15).

Såfremt dette referenceområde generelt er underkastet en positiv kystudvikling, kan det således forklare, hvorfor REF 3 opfører sig anderledes end det øvrige område. Dette burde undersøges nærmere.

**Fodring i perioden 2004-2008**

Figur 3

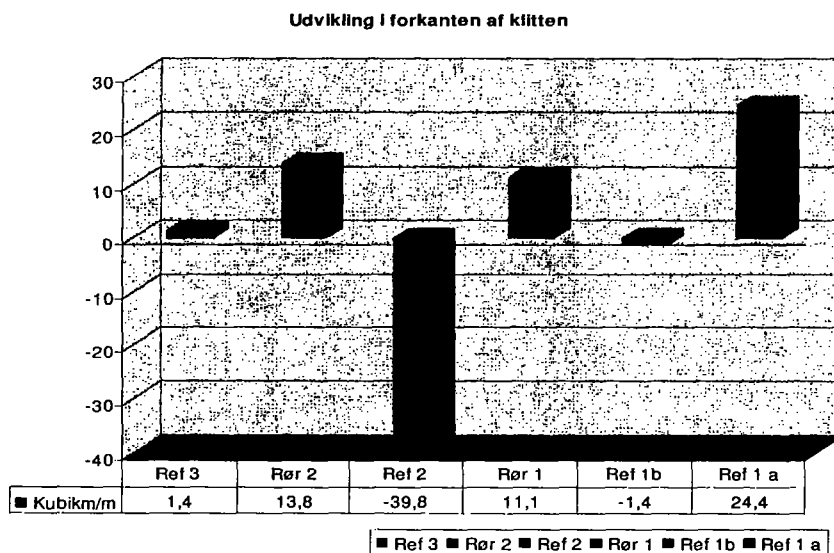


KYSTDIREKTORATET, den 31.08.2007  
Gr 103-1-03 Nr. 652

Tilvækst i REF 3

## 6 EFFEKTEN PÅ KLITZONEN

Med baggrund D-beregningerne er udviklingen i volumenet af klitten fra det fastsatte fix-punkt i kote +4 m ved kliffoden og til klittens toppunkt vist i nedenstående figur. Figuren er hentet fra SIC's rapport og er efterberegnet af DGE og fundet korrekt.



Her ses en klar positiv udvikling i begge rør-områder samt i den nordligste del af REF 1. Den sydligste del af REF 1 samt REF 3 viser stort set stagnation, mens der ses stor erosion i REF 2.

### 6.1 Kliffoden

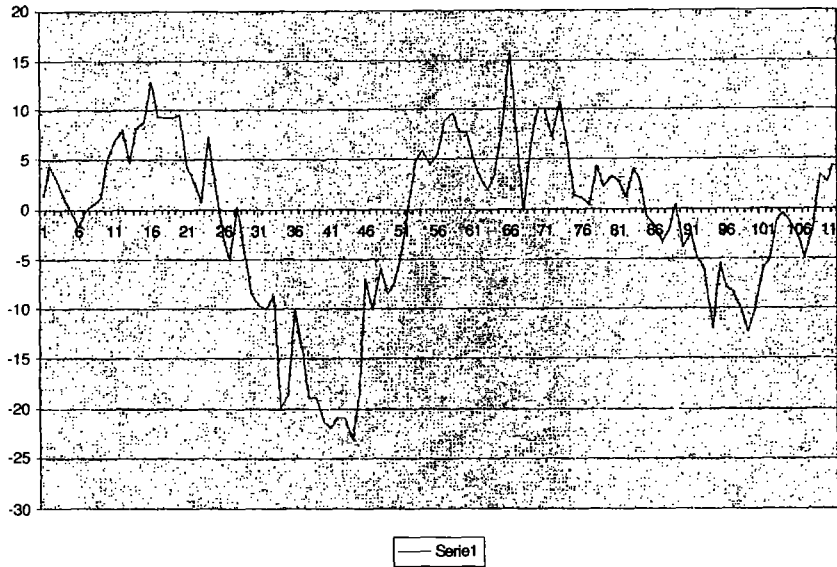
Beregninger af gennemsnittet for ændringer i kliffodens placering i forhold til det fastsatte referencepunkt i 2005 (kote +4) er vist i nedenstående tabel. Positive værdier viser fremrykning af klitten mod havet og negative viser erosion.

Ændring i kliffodens placering	REF 3	RØR 2	REF 2	RØR 1	REF 1
Ændring i meter	+ 4,6	+ 2,8	- 15,7	+ 2,2	- 4,4

Det ses, at der registreres samme billede som tidligere – aflejring i rør-områderne og i REF 3 og erosion i REF 1 og REF 2.

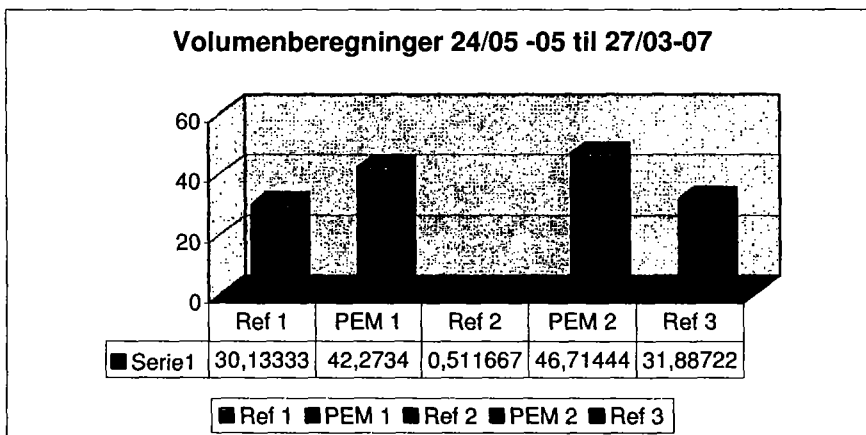
Nedenstående figur, der er hentet fra opmålingsmaterialet, viser variationen over de enkelte målepunkter og er således baggrunden for ovenstående gennemsnitsværdier.

Kiltfod januar 2008

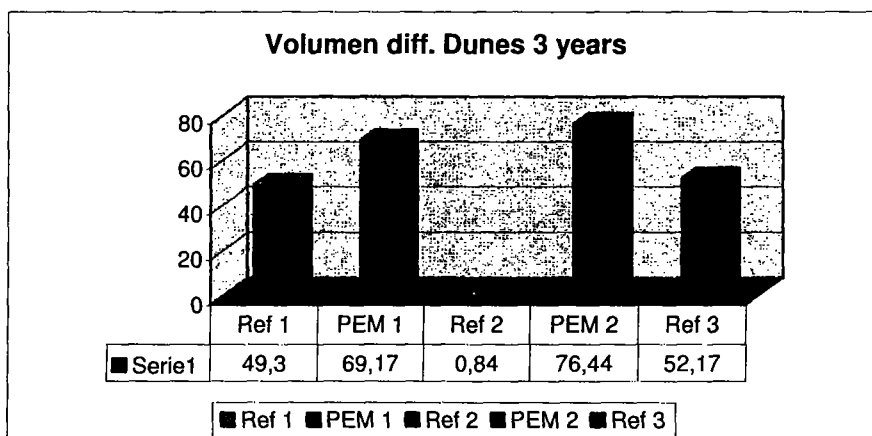


## 6.2 Vindtransport til baglandet

Normalt vil kystopbygning medføre øget vindtransport til baglandet. Der er udført volumenberegninger af området fra kote +4 og 300 m ind i baglandet baseret på flyfotografering, udført af COWI / Kampsax. Beregningerne for 22 måneder er udført af Kystdirektoratet og vist nedenfor.







Sandopbygningen i klitterne er signifikant større ud for de drænede områder med en opbygning på 69 – 76 m<sup>3</sup> pr. meter over 3 år.

Modsnævningsvis er sandopbygningen i REF 1 og REF 3 kun ca. 50 m<sup>3</sup> i samme periode, mens sandopbygningen i klitområdet i REF 2 er kun 0,84 m<sup>3</sup>. Den begrænsede opbygning i REF 2 skyldes, at der er stor haverosion i forkanten af klitterne i REF 2.

Det bemærkes, at der ikke er udført flyopmåling i jan. 2008. Med henblik på en fyldestgørende vurdering af det samlede 3-årsresultat burde en sådan opmåling foreligge, idet det kun herved er muligt at dokumentere hvorvidt erosion fra forstranden har medført materialeflugt til havet eller til landsiden.

I den forbindelse bemærkes, at vinderosion og -transport til klitzonen vil bevirke, at de grovere sedimentfraktioner opkoncentreres på stranden, hvilket vil bevirke bedre afdræning og dermed stabilisere stranden mod vanderosion.

Med hensyn til forklaringen af erosionen af klitterne i REF 2 ses der divergerende forklaringer de to professorer imellem – Fredsøe forklarer det med vinderosion ("vindskår" side 1-14), mens Burcharth mener, at det udelukkende skyldes bølgeerosion (side 66).

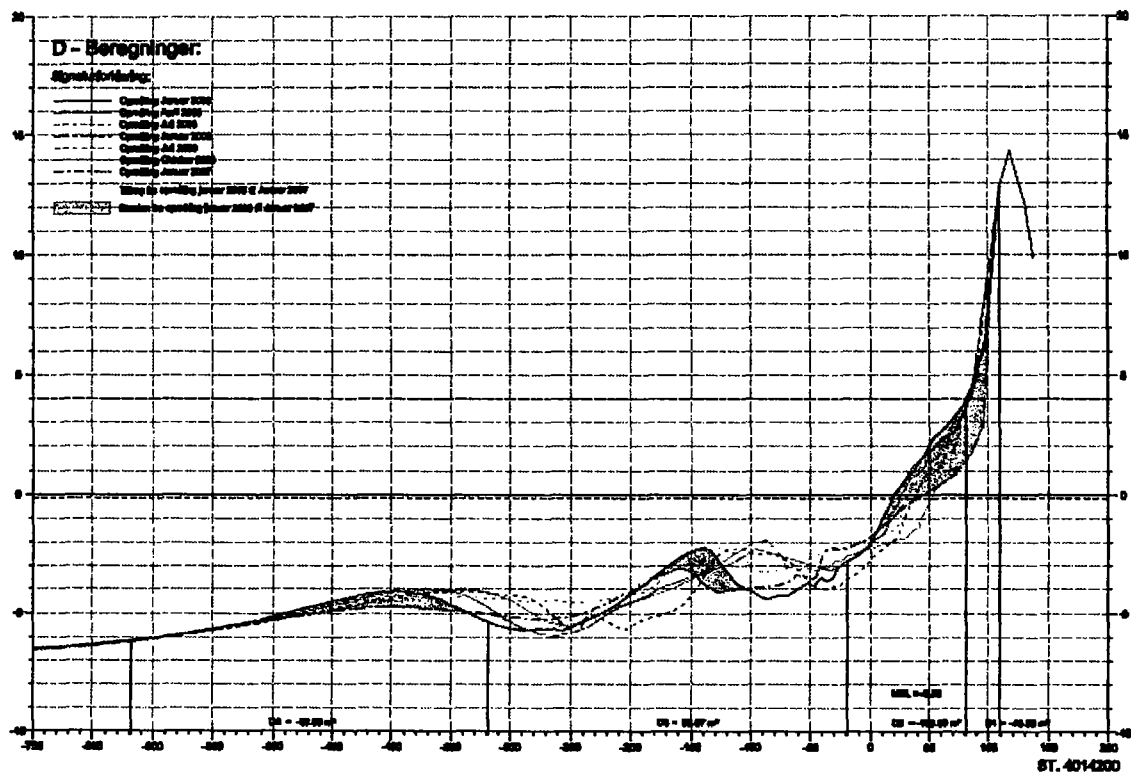
## 7 OFF SHORE

### 7.1 Revleeffekt

Indledningsvis skal der fremsættes nogle betragtninger vedrørende effekten af revlerne, idet disse har en fremtrædende plads i professorernes argumenter for kystudviklingen.

Det nævnes, at der findes huller i den yderste revle og, at revlen mangler i visse områder (se f.eks. Fredsøe, side 1-16, fig. 1.10A). Den manglende ydre revle angives at være årsag til den kraftige erosion i REF 2.

Nu forholder det sig imidlertid således, at der på intet tidspunkt mangler en ydre revle. Dette fremgår klart af profilopmålingerne. Nedenfor er vist profilsnittet ved station 4014200, der ligger i REF 2. Den ydre revle ligger her lidt dybere – men der findes skam.



Revlen er dannet af bølgenes brænding og kan have varierende højde og placering afhængig af bølgeaktiviteten. Store bølger vil danne revler på dybere vand, mens bølger med lavere højde vil bryde længere inde. Dette er i øvrigt årsagen til, at der findes flere revlesystemer.

Det er således ikke korrekt, som hævdet af professorerne, at den "manglende" ydre revle er årsagen til den store erosion ved REF 2. Bølgerne vil brydes længe før, de når ind til stranden.

## 7.2 Revlefodring

Det er anført, at Kystdirektoratet har ladet udføre revlefodring (tilførsel af sand) gennem forsøgsperioden ved yderste revle nord for forsøgsstrækningen og 700 meter ind i REF 1 – stort set svarende til det tidligere anførte delområde REF 1a. Profiludtegninger viser, at det tilførte sand befinder sig 1100 m ned i REF1 efter 2 år.

DGE kan kun støtte SIC i protesterne i den forbindelse. Det er uforståeligt at KDI har udført denne sandfodring i et referenceområde i et forsøg, der skal vise om sandfodring kan erstattes af andre metoder. Betydningen af "referencen" går således totalt tabt. Det er ligeledes uforståeligt, at professorerne ikke har påtalt dette eller ladet det indgå i vurderingerne.

## 8 RØRENES VIRKEMÅDE

SIC forklarer, at rørene har sin effekt pga. trykudligning i strandplanet – der henvises her til tidligere udgivne SIC-publikationer, der kan hentes på SIC's hjemmeside.

Professorerne har forsøgt at forklare hvorledes rørene kan tænkes at have effekt på strømmingen i strandplanet. Fredsøe mener ikke, rørene kan have nogen effekt, alene af den grund, at den mulige gennemstrømning af de filterslidsede rør er forsvindende lille. Fredsøe har udført såvel laboratorietest som computermodellering af gennemstrømningsevnen, og han har herved fundet ud af, at "vandet i røret strømmer med mindre end 30 cm per minut, svarende til at der højst kan strømme 0,8 liter gennem røret i minuttet". Og det var jo godt nok ikke meget. Men kan det passe?

Vi har i DGE arbejdet med sådanne filterslidsede Ø63 mm rør i mange år – og kan ikke genkende den nævnte gennemstrømningsevne. Nu har vi ikke et computerprogram, der egner sig til sådanne beregninger, så vi prøvede røret af i praksis. Det er også tit nemmere og bedre. Testen blev gennemført ved at tilføre vand til toppen af røret med en vandslange tilkoblet en alm. vandhane, som var fuldt åbent. Dette medførte en tilledning på 15 liter per minut. Herved stod vandet 9,5 cm op i filterrøret, som vist herunder.



For sjov prøvede vi gennemstrømningen via luftventilen, som rørene er udstyret med. Her fik vi faktisk en gennemstrømning på 0,8 liter pr. minut. Måske har professoren misforstået hvordan rørene er anbragt

Det primitive forsøg viser, at rørenes hydrauliske kapacitet er temmelig stor og DGE vurderer, at den er større end den hydrauliske ledningsevne for normalt forekommende kystsedimenter i Danmark. Den faktiske strømning vil udover den hydrauliske ledningsevne være bestemt af trykgradienten. Hvis der således forudsættes en trykgradient fra røret til omgivelserne større end de målte 9,5 cm, vil kapaciteten være større end 15 liter pr. minut – og altså betydeligt mere end de anførte 0,8 liter per minut.

DGE vurderer på baggrund heraf, at den hydrauliske begrænsning ikke er knyttet til filterrøret – men derimod er knyttet til sedimentet.

Fredsø sammenligner i sin rapport (side 1-4) vandtransporten ved tidevandsbevægelsen med rørenes kapacitet. Der forudsættes en tidevandsforskel på 0,75 m, som bevirker at vandlinien rykker 30 m ind på stranden. Herved generes over 6 timer en vandtransport på 12 m<sup>3</sup> pr. meter kystlinie – eller 2 m<sup>3</sup> pr. time.

DGE har regnet lidt på tallene – og kan ikke få dem til at passe. Hvis strandplanet forudsættes at skråne liniert vil vandlaget over strandplanet udgøre et legeme med målene  $30 \cdot 0,75 / 2 = 11,25 \text{ m}^3$ . Under strandoverfladen vil vi have et tilsvarende legeme – men her optager sedimentet skønsmæssigt 80 % af volumet. Det frie vandvolumen i sedimentet vil derfor være  $11,25 \cdot 0,2 = 2,25 \text{ m}^3$ . Det betyder, at det samlede volumen, der flyttes fra lavvande til højvande over ca. 6 timer pr. meter vil være 13,5 m<sup>3</sup>.

MEN – det er jo kun vandmassen i sedimentet, der er relevant i denne sammenhæng. Vandtransporten i sedimentet pga. tidevandet er derfor  $2,25 \text{ m}^3 / 6 = 0,375 \text{ m}^3$  pr. time pr. meter kystlinie. En sådan vandmængde vil sagtens kunne ledes gennem filterrøret.

DGE foreslår, at der udføres mere systematiske feltundersøgelser vedrørende den faktiske strømning og trykfordeling i og omkring rørene.

Desuden foreslås, at der laves undersøgelser af beliggenheden af grænsefladen mellem fersk salt vand i relation til filterdelen, idet vægtfyldeforskellen vil kunne forrykke grænsefladen betydeligt ved den almindelige tidevandsvariation.

Det ville også være relevant at undersøge vandkemiske parametre for vandet i røret sammenholdt med vandet udenfor i forskellige niveauer. Måske kunne der i den forbindelse tilføres sporstoffer. Herved ville det være muligt at vurdere den vertikale strømning i strandplanet og specielt en evt. udveksling mellem lagene.

## 9 KONKLUDERENDE VURDERINGER OG ANBEFALINGER

Da der indgår mange parametre i kystdannelsen – vindstyrke, vindretning og varighed, vandstand, eksisterende kornstørrelsesfordeling, kystens form og meget mere – vil vurderingen af tiltag til kystsikring være meget kompleks.

Det er utilgiveligt at de 2 professorer har tilladt KDI at sandfodre 700 meter ned i det nordligste referenceområde, så området reelt ikke længere kan fungere som et videnskabeligt kontrolområde.

Referenceområde 3 er tilsyneladende et naturligt tillægsområde og er således heller ikke et reelt referenceområde.

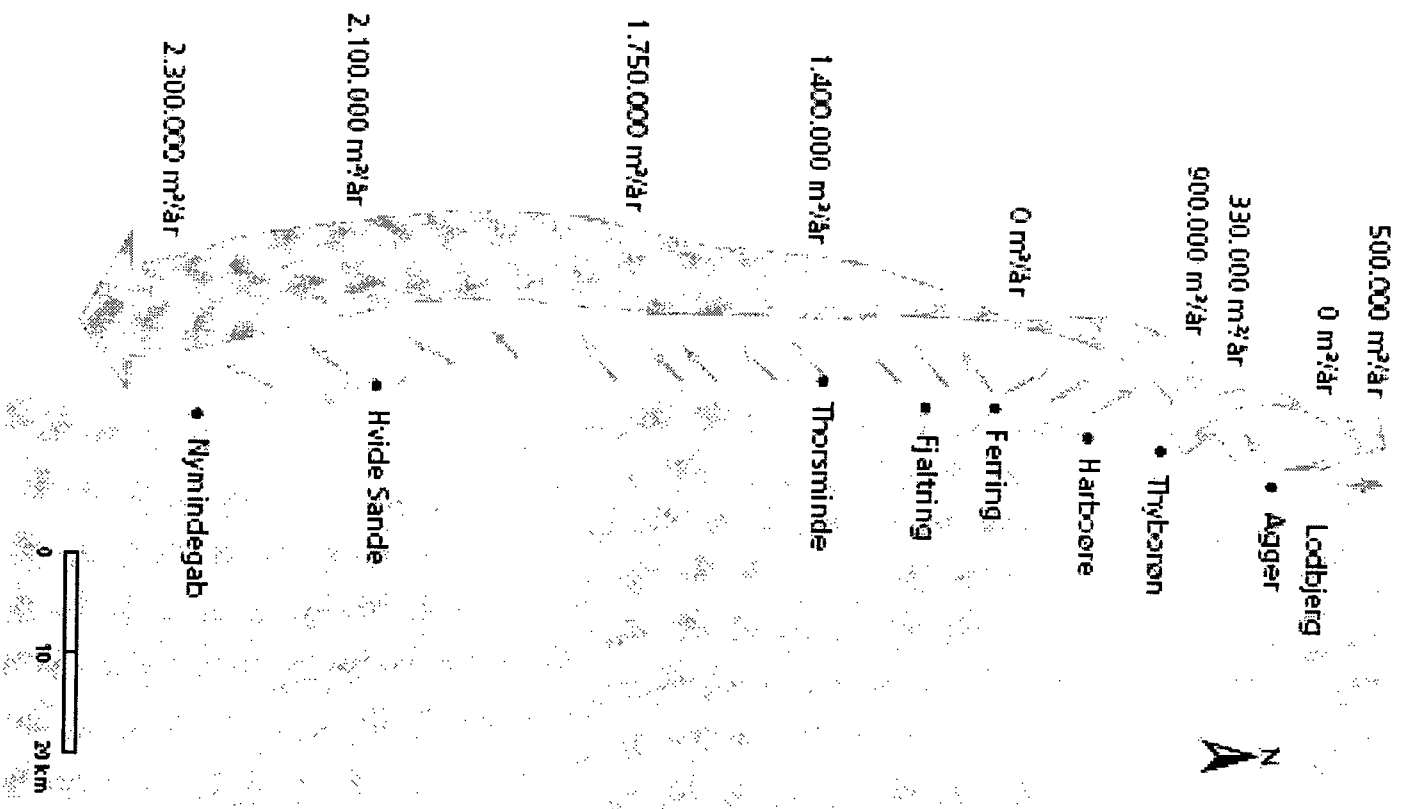
Vi kan ikke tilslutte os de to professorers konklusioner om, at der ikke kan ses en effekt af rørene. Tværtimod viser data'ene, at der findes en signifikant effekt.

Vi har efterregnet de anvendte data og vurderet de fremsatte argumenter i SIC's evalueringsrapport. I alt væsentligt finder vi materialet korrekt.

Afslutningsvis skal vi ikke undlade at bemærke, at den sædvanligt anvendte kystsikring i form af sandfodring vel egentlig ikke er særlig effektiv – men kostbar. Derfor ville alternativer faktisk være kærkomne – både set ud fra en synsvinkel som naturvidenskabsmand og som skatteyder.

Med baggrund i ovenstående udredninger anbefaler vi, at det etablerede testanlæg overgår til permanent drift og at referenceområderne udbygges med trykudligningsmoduler.

**Sandfodring er ekstremt dyrt  
og meget ineffektivt på den  
jyske vestkyst.**

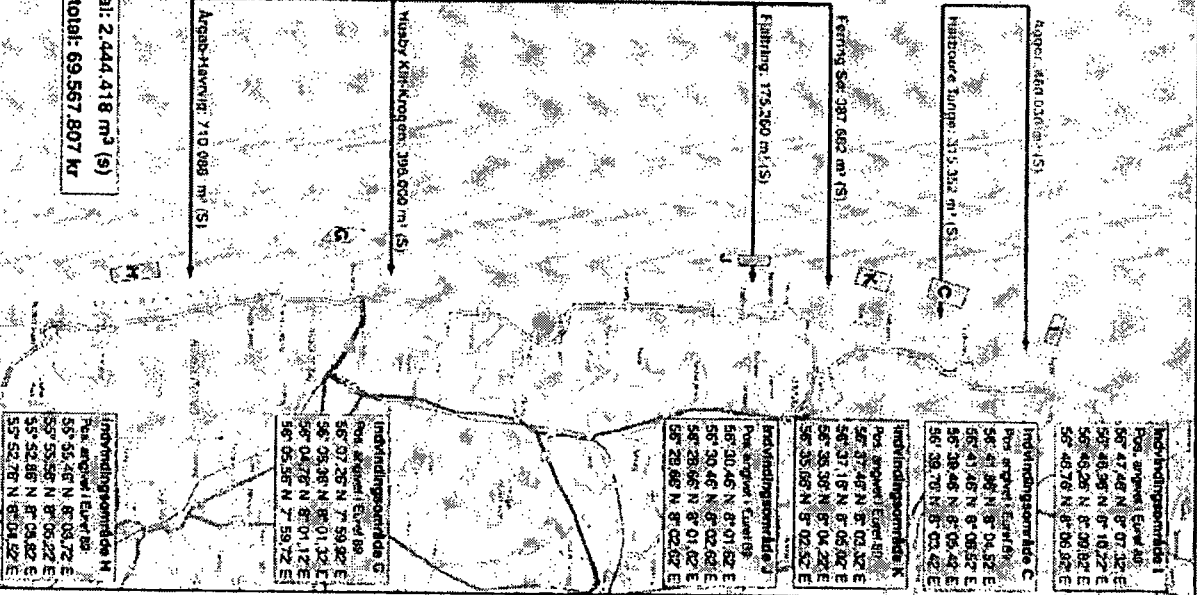


JOHNT VENTURE  
 RONDE NIELSEN A S &  
 R DANIENIA A S  
 ENTREPRISE 1  
 11111111  
 Ish: 775 338 m³/år  
 Pris: 14 876 837 kr

RONDE NIELSEN A S  
 ENTREPRISE II  
 11111111  
 Ish: 1 689 070 m³/år  
 Pris: 54 691 310 kr

Sandindpumpning total: 2.444.418 m³ (s)  
 Pris total: 69.567.807 kr

Sandindpumpning  
 Vestkysten 2000  
 Udført lodning



Indvindingsområdet I

Pos. anker (Elev. 0)	58° 47' 48" N	8° 07' 15" E
	58° 46' 09" N	8° 10' 22" E
	58° 45' 28" N	8° 08' 02" E
	58° 45' 78" N	8° 06' 02" E

Indvindingsområdet C

Pos. anker (Elev. 0)	58° 41' 38" N	8° 04' 32" E
	58° 41' 05" N	8° 06' 52" E
	58° 39' 48" N	8° 05' 42" E
	58° 39' 78" N	8° 02' 42" E

Indvindingsområdet E

Pos. anker (Elev. 0)	58° 27' 47" N	8° 02' 42" E
	58° 27' 17" N	8° 05' 02" E
	58° 26' 58" N	8° 04' 22" E
	58° 25' 58" N	8° 02' 52" E

Indvindingsområdet G

Pos. anker (Elev. 0)	58° 07' 25" N	7° 59' 42" E
	58° 05' 38" N	8° 01' 12" E
	58° 04' 78" N	8° 01' 12" E
	58° 05' 58" N	7° 59' 72" E

Indvindingsområdet N

Pos. anker (Elev. 0)	58° 55' 48" N	8° 03' 72" E
	58° 55' 58" N	8° 05' 42" E
	58° 52' 88" N	8° 04' 82" E
	58° 52' 78" N	8° 04' 82" E

Mål: 1:500 300  
 Projekt: BK/11  
 Rev: 13.02.01 BK  
 Godkendt: 19.12.2000 MCR

# **Effektiviteten er minus 165 % efter en årlig investering på 80 mio. kr.**

- |                 |             |                     |             |
|-----------------|-------------|---------------------|-------------|
| ■ Lodbjerg      | 500.000 m   | ■ Indpumpet sand    |             |
| ■ Agger Tange   | 330.000 m   | ■ Strandnær fodring | 775.388 m   |
| ■ Thyborøn      |             | ■ Strandfodring     | 1.669.030 m |
| ■ Tange         | 900.000 m   | ■ Indpumpet i alt   | 2.444.418 m |
| ■ Nymindegab    | 2.300.000 m |                     |             |
| ■ Årlig Erosion | 4.030.000 m |                     |             |
- 
- Resultatet er negativt med
  - 1.585.582 Kubikmeter



**Det er nu videnskabeligt bevist at  
effektiviteten af sandfodring er  
minus 165 % efter en investering  
på 2 milliarder kr. over de sidste  
25 år på den jyske vestkyst.**

**Alle sandfodringer er skyllet i  
havet**

**hertil kommer at havet har taget  
yderligere 40 mio. kubikmeter af  
klitterne.**

**Dette svarer til en gennemsnitlig  
klittilbagerykning på 27 meter  
hvis klithøjden er 15 meter.**

**Hvis resultaterne for de sidste 25  
fremskrives for de næste 50 år.**

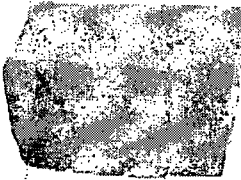
**Har havet taget yderligere 80 mio.  
kubikmeter af klitterne og kliffoden  
er rykket yderligere  
50 meter tilbage**

**Hertil kommer effekten af den  
globale vandstandsstigning**

# NORDJYSKE

MANDAG 2. Juni 2008 www.nordjyske.dk

**Topforhold på toppen**



Svensk super-traver slog til

SPORTSRIK 9



Næsten umuligt at kvitte cigareterne

Side 4, 9

## 1794 fejl i rapport til minister

### KVSTORAS: To professorer må fremlægge fejlberetningen i dag. Skagen-opfinder raser

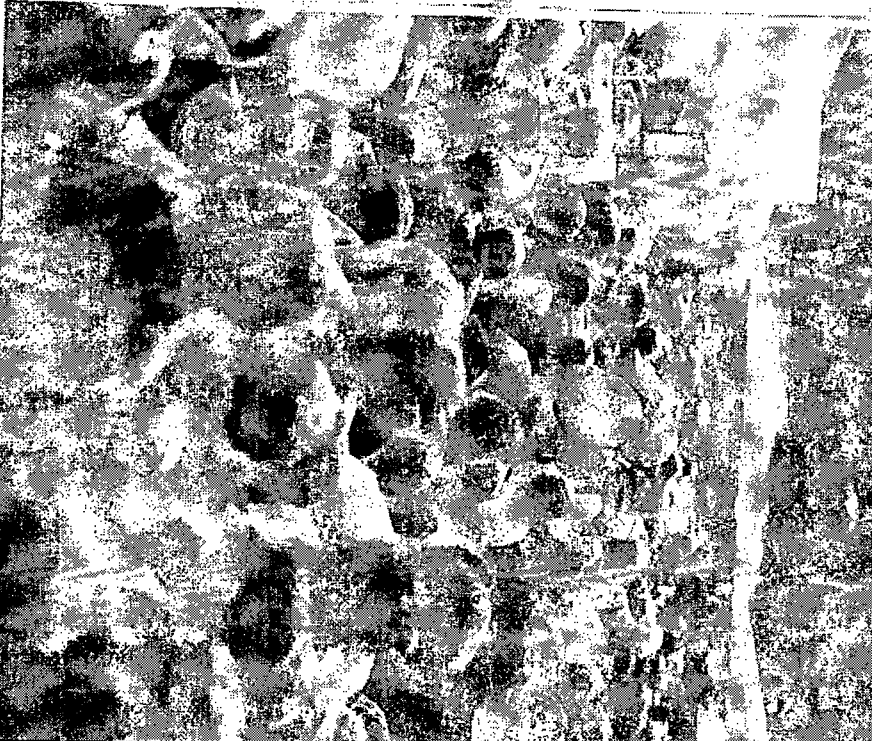
af Lene Tolstrup

**ZARBOG:** De professorer vil i dag fortælle de mange skagen-læsere om fejlene i rapporten om skagens naturhistoriske og kulturelle værdier. Det er de to professorer, der har lavet rapporten. De er professorerne i skagen-området, nemlig professorerne i skagen-området, nemlig professorerne i skagen-området.

Der er 1794 fejl i den rapport, som er blevet fremlagt af de to professorer. Det er de to professorer, der har lavet rapporten. De er professorerne i skagen-området, nemlig professorerne i skagen-området.

Der er et stort antal fejl i rapporten, som er blevet fremlagt af de to professorer. Det er de to professorer, der har lavet rapporten. De er professorerne i skagen-området, nemlig professorerne i skagen-området.

SOM SID I EN TONDE



HALLENS PARKERER ER TIL... (Caption text is partially obscured and difficult to read)

# KDI brugte 70,6 mio. kr. ved Søndervig

+

2006 Revleforing (5,0 mio. kr.)  
275.000 m<sup>2</sup>

2006 Stranddønna (14,2 mio. kr.)  
552.100 m<sup>2</sup>

Skræningsbeskyttelse skræningsbeskyttelse (9,5 mio. kr.)

2004 Stranddønning (4,2 mio. kr.)  
87.500 m<sup>2</sup>

2006 Stranddønning (5,5 mio. kr.)  
144.000 m<sup>2</sup> (gangværrende)

2006 Klifforsterkning (3,1 mio. kr.)  
45.000 m<sup>2</sup> (gangværrende)

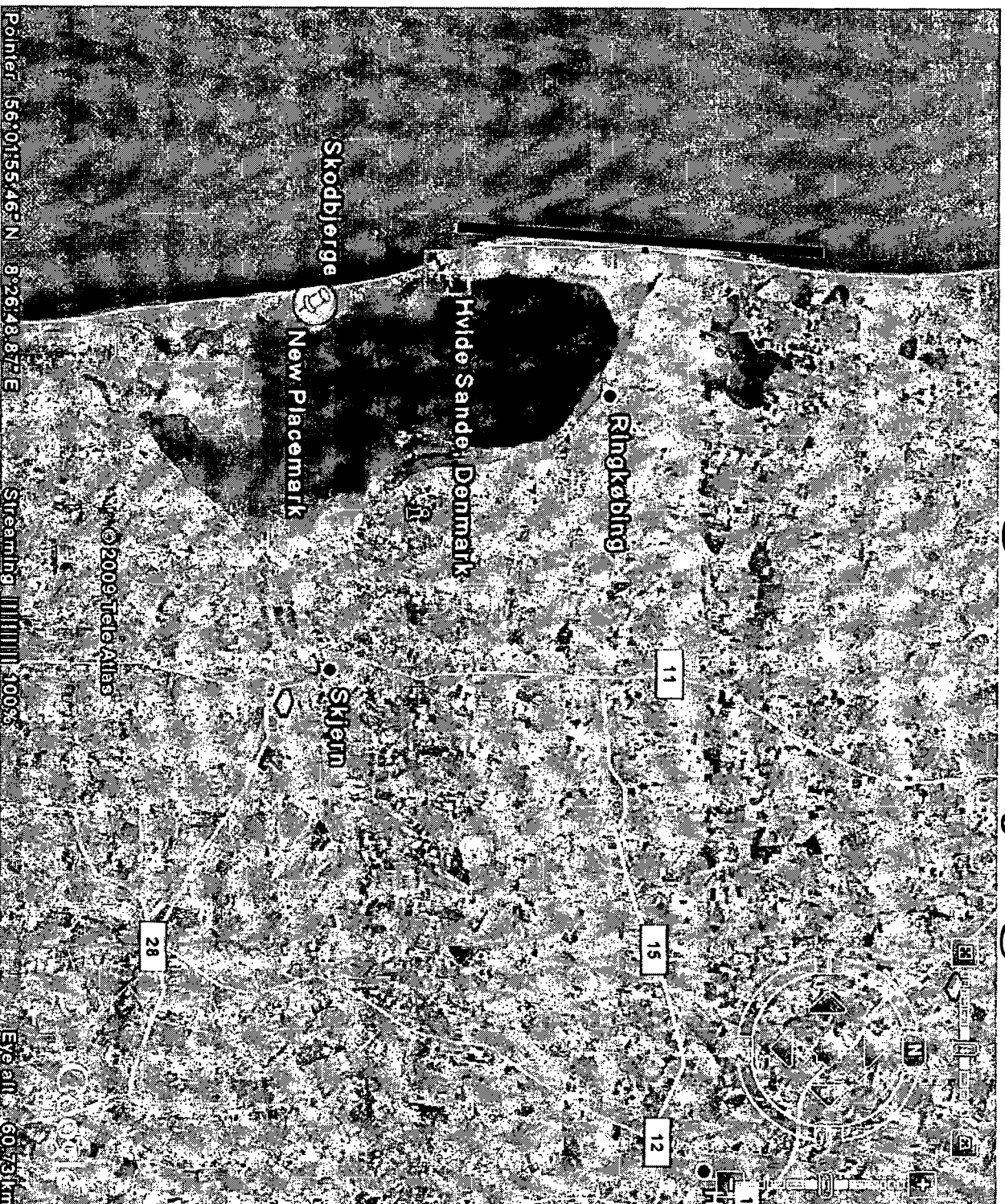
2007 Revleforing (18,0 mio. kr.)  
582.000 m<sup>2</sup>

2005 Stranddønna (18,0 mio. kr.)  
340.000 m<sup>2</sup>

2004  
Horder ombygget  
til belgebrydere (0,7 mio. kr.)



# Søndervig/Skodbjerg



**Skodbjerg 11 km**

**Årlig udgift incl drift og vedligeholdelse og rapportering,  
samt etablering af SIC systemet i referenceområderne**

**3.630.000,00 kr.**

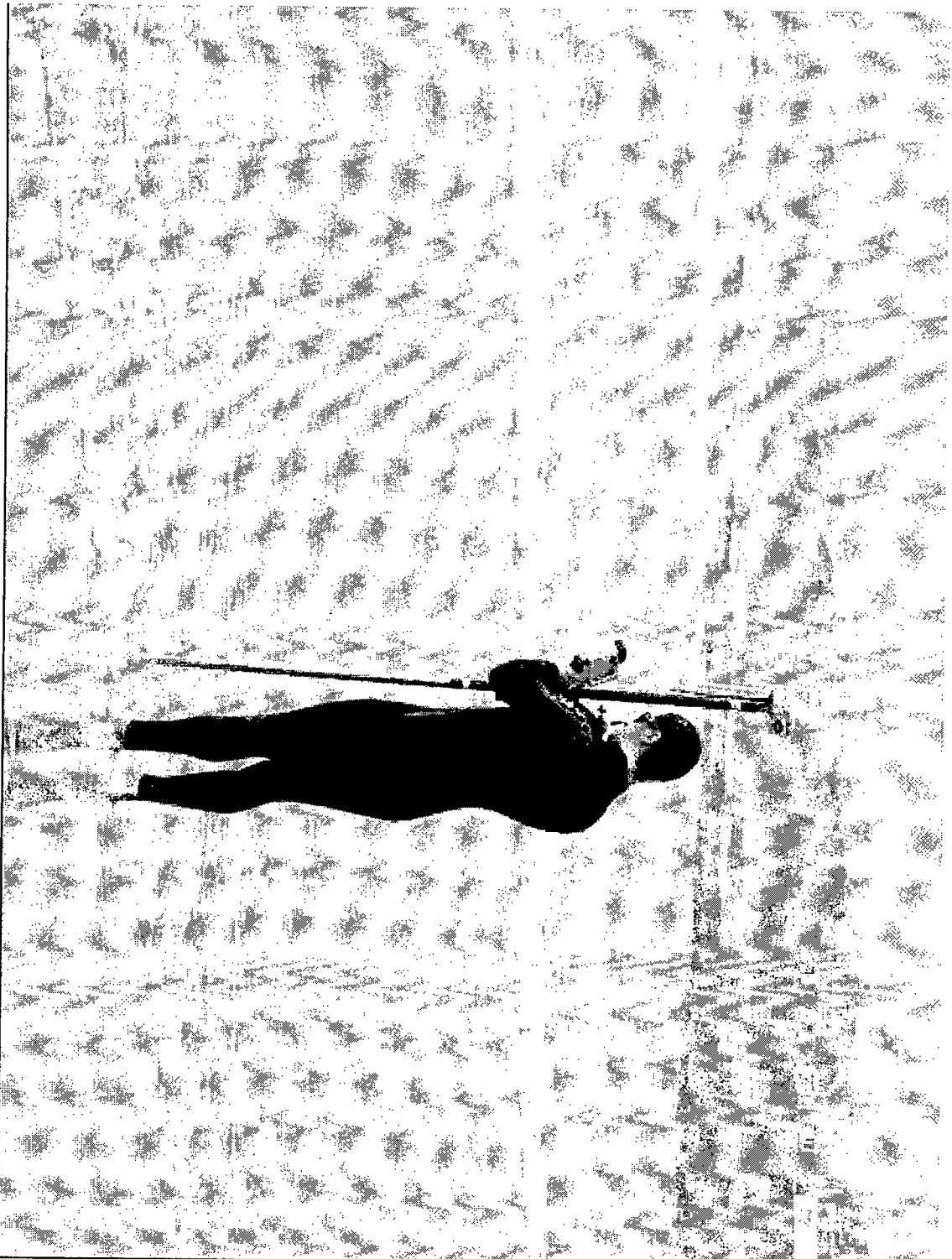
**Søndervig 20 km.**

**Årlig udgift incl. drift og vedligeholdelse, samt rapportering  
baseret på uvildige opmålinger**

**6.600.000,00 kr.**

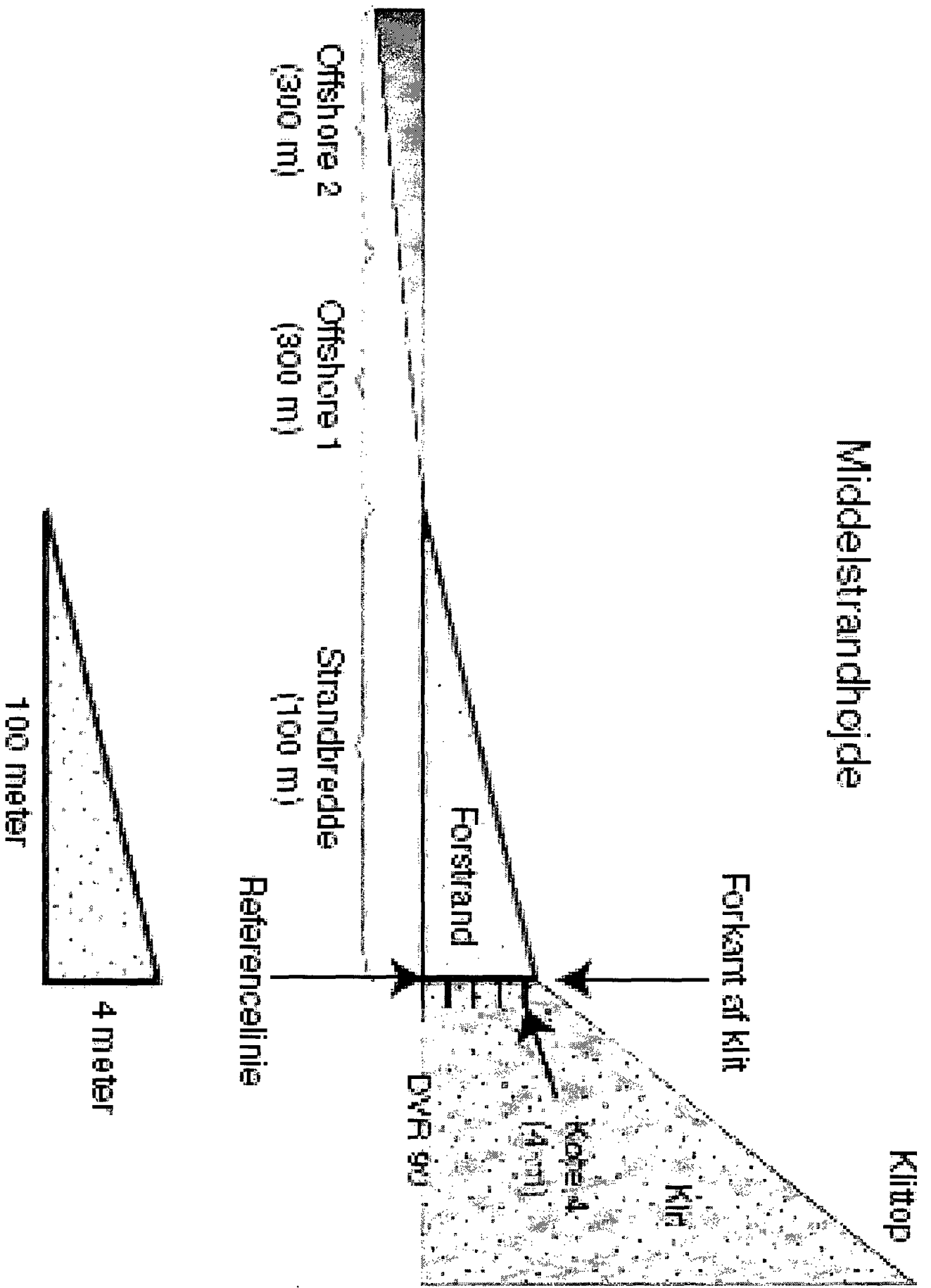
**Udgiften til sandfodring på 10 km ved Søndervig og Houvig var i sidste  
aftaleperiode 70,6 mio. kr. incl. indpumpning af sand til nye klitter Houvig efter  
den fejlslagne strand og revlefodring.**

# Opmåling er inkluderet





# Middelstrandhøjde



Volumen:  $4 \times 100/2 = 200 \text{ m}^2$

# Teluk Chempedak Malaysia



PROJEK PENGALIRAN & T. BANGUNAN PERUMAHAN



# JABATAN PENGALIRAN DAN SALIRAN MALAYSIA

PROJEK BEREKSEKUTU BERSEKUTU DAN BERKONGSI PROJEK  
DEKLARASI BERTILAI DENGAN MENGIKHTISARKAN PRINSIP  
EQUITY AND SOCIAL JUSTICE. SEMUA TELAH TERSEKUTU  
MULUTU TIDAK BAKI. DARU, WAHAI.

PROJEK BERSEKUTU BERSEKUTU DAN BERKONGSI PROJEK  
DEKLARASI BERTILAI DENGAN MENGIKHTISARKAN PRINSIP  
EQUITY AND SOCIAL JUSTICE. SEMUA TELAH TERSEKUTU  
MULUTU TIDAK BAKI. DARU, WAHAI.

PROJEK BERSEKUTU BERSEKUTU DAN BERKONGSI PROJEK  
DEKLARASI BERTILAI DENGAN MENGIKHTISARKAN PRINSIP  
EQUITY AND SOCIAL JUSTICE. SEMUA TELAH TERSEKUTU  
MULUTU TIDAK BAKI. DARU, WAHAI.

PROJEK BERSEKUTU BERSEKUTU DAN BERKONGSI PROJEK  
DEKLARASI BERTILAI DENGAN MENGIKHTISARKAN PRINSIP  
EQUITY AND SOCIAL JUSTICE. SEMUA TELAH TERSEKUTU  
MULUTU TIDAK BAKI. DARU, WAHAI.

## JAYAKAN PERKHIDMATAN SEMPURNA

PROJEK BERSEKUTU BERSEKUTU DAN BERKONGSI PROJEK  
DEKLARASI BERTILAI DENGAN MENGIKHTISARKAN PRINSIP  
EQUITY AND SOCIAL JUSTICE. SEMUA TELAH TERSEKUTU  
MULUTU TIDAK BAKI. DARU, WAHAI.

# Ny licitation d. 26 marts 2009

## 1,9 mio. kubikmeter



Kystfodring Vestkysten 2008

Tilbud ved Licitationen den 13. december 2007

	Entreprise 1 Strandfodring	Entreprise 2 Strandnær fodring	Evt. rabat hvis begge E vindes	Sum, E1 + E2 (inkl. evt. rabat)	Evt. forbehold
Jan de Nul	66.056.200	9.409.500	---	75.465.700	---
Dredging International	67.299.000	9.286.000	---	76.585.000	---
Boskalis	62.883.000	9.760.000	---	72.643.000	---
Van Oord	63.670.000	10.120.000	---	73.790.000	Dansk Byg. STFBH
Rohde Nielsen	58.067.000	8.560.000	---	66.627.000	Dansk Byg. STFBH

Priser i DKK og ekskl. moms.

- **Dato:** Mon, 16 Feb 2009 13:27:39 +0100

**Fra:** "Carl-Christian Munk-Nielsen (ccmn)" <carl-christian.munk-nielsen@kyst.dk>

**Til:** <sic@shore.dk>

**Emne:** Vedr. anmodning om aktindsigt i kystbeskyttelsesarbejder for 2009

- Kære Poul Jakobsen Du har i mail af 16. februar 2009 anmodet om aktindsigt i kystbeskyttelsesarbejderne for 2009. Du ønsker specifikt aktindsigt "i de enkelte arbejder, som nu er udbudt i licitation. Du bedes venligst oplyse de enkelte mængder samt planlagte indpumpnings steder og metoder." Jf. reglerne i offentlighedsloven får du hermed de ønskede oplysninger. Der er tale om følgende udbudte metoder, strækninger og mængder.

- Strandfodring foran Thyborøn by med 460.000 m<sup>3</sup>
- Strandfodring på Harboøre Tange med 610.000 m<sup>3</sup>
- Strandfodring ved Husby Klit med 300.000 m<sup>3</sup>
- Strandfodring fra Hovvig til Søndervig med 500.000 m<sup>3</sup>

- Det kan desuden oplyses, at kontrakten er opdelt i tre entrepriser. Entreprise 1. Kystfodring Vestkysten. Omfatter indvinding i Nordsøen og levering af ca. 1,9 mio. m<sup>3</sup> sand på stranden gennem rørledning på 4 strækninger langs den jyske vestkyst. Entreprise 2. Oprensning af sejløbet til Esbjerg. Omfatter oprensning af i alt ca. 1,2 mio. m<sup>3</sup> sand i sejløbet til Esbjerg Havn. Materialet skal klappes i Nordsøen, alternativt indpumpes i depot på land. Entreprise 3. Oprensning Hanstholm. Omfatter oprensning af ca. 0,1 mio. m<sup>3</sup> sand i indsejlingen og forhavnen i Hanstholm Havn. Materialet skal klappes i Nordsøen. Med venlig hilsen Carl-Christian Munk-Nielsen

# Sandmængderne kan ændres

- **Dato:** Wed, 18 Feb 2009 22:06:04 +0100  
**Fra:** "Carl-Christian Munk-Nielsen (ccmn)" <[carl-christian.munk-nielsen@kvyst.dk](mailto:carl-christian.munk-nielsen@kvyst.dk)>  
**Til:** <[sic@shore.dk](mailto:sic@shore.dk)>  
**Emne:** Vedr. ændring af fodringsstrækninger mv.
- Kære Poul Jacobsen Som svar på din mail fra den 17. februar 2009 om muligheden for at ændre på fodringsstrækninger mv. kan det oplyses, at det af udbudsbetingelserne standardmæssigt fremgår, at: "De i dette udbudsmateriale angivne mængder er vurderet ud fra erfaringspriser på arbejdet og bygherrens samlede bevilling til opgaven. Bygherren forbeholder sig ret til at justere mængderne i forhold til bevillingerne, når enhedspriserne er kendte. Fordelingen af sandet og bestemmelse af fodringsstrækningerne beskrevet i nærværende udbudsmateriale er sket ud fra en vurdering af behovet på udbudstidspunktet. Skulle forholdene ændre sig i tiden indtil arbejdets igangsættelse, forbeholder bygherren sig ret til at justere på sandfordelingen inden for entreprisen eller om nødvendigt at flytte en fodringsstrækning eller et indvindingsområde.

- " Med venlig hilsen Carl-Christian Munk-Nielsen

# Ingen Risiko

- Transportministeriet har kun den risiko at
- der ikke skal sandfodres ved Søndervig i år, hvis SIC systemet implementeres
- Der er ikke planlagt sandfodring syd for Hvide Sande i år så her er pengene allerede sparret.
- Kystdirektoratet bør kun skrive bindende kontrakt på 1,4 mio. kubikmeter sand i år.
- Der er således en reserve på 500.000 kubikmeter.

# Sandfodring syd for hvide Sande havn 206.802.236 kr.

1998 745000 35138111

1999 962000 34585878

2000 710000 32139611

2001 341000 15498099

2002 639000 24794217

2003 501000 22417195

2004 660000 11876701

2005 220000 5375281

2006 555000 16199243

2007 330000 8778000

206.802.236 kr.