

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 Revleeffekt	11
	7.2 Revlefodring	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 evalueringresultatet har Poul Jakobsen, SIC, anmodet DGE om at udføre en faglig vurdering af SIC's egen evalueringsrapport "SIC systemet har stoppet kysterosionen 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 UNDERSØGELSESMÅRÅDET

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.

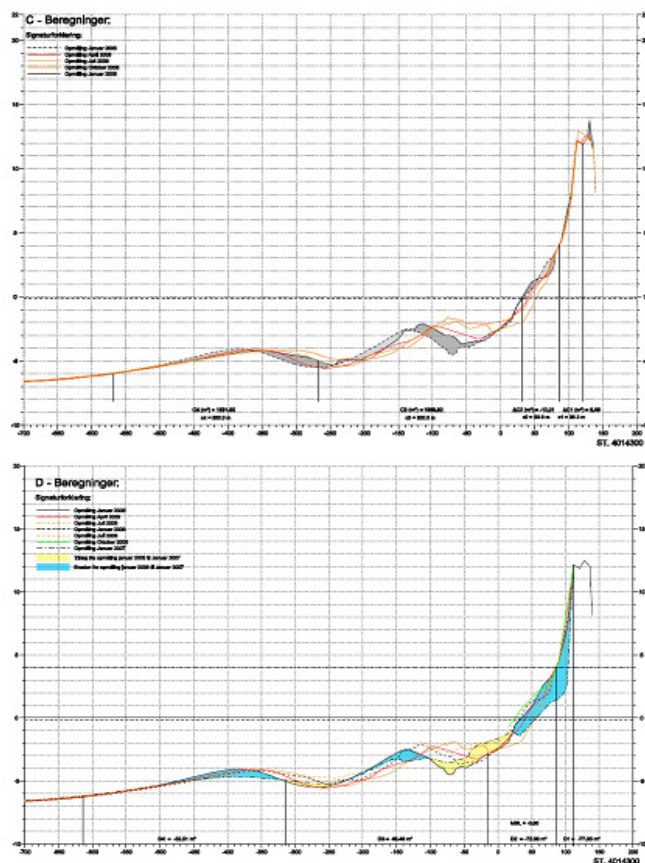


4 OPMÅLINGER

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.

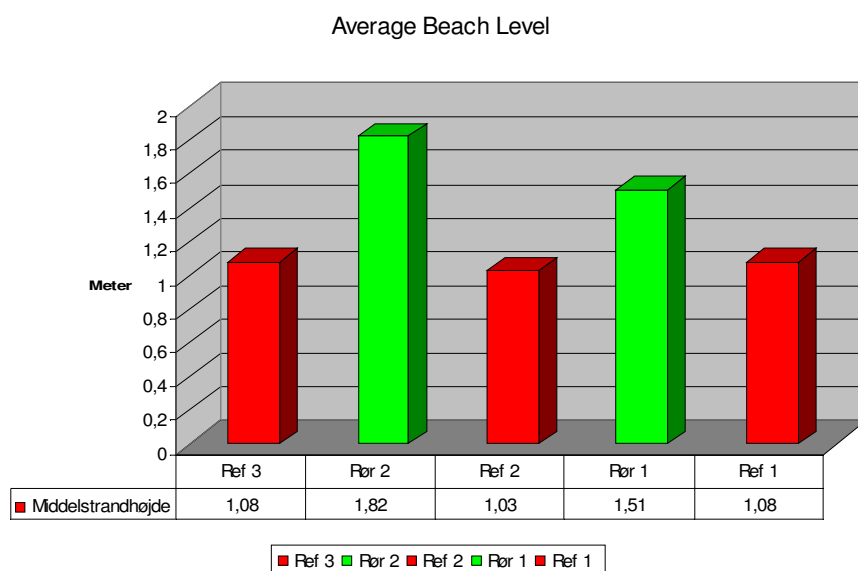
I det følgende er der især fokuseret på landmålingerne, idet resultaterne heraf må betragtes som de essentielle for målet med landvindingen.

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.

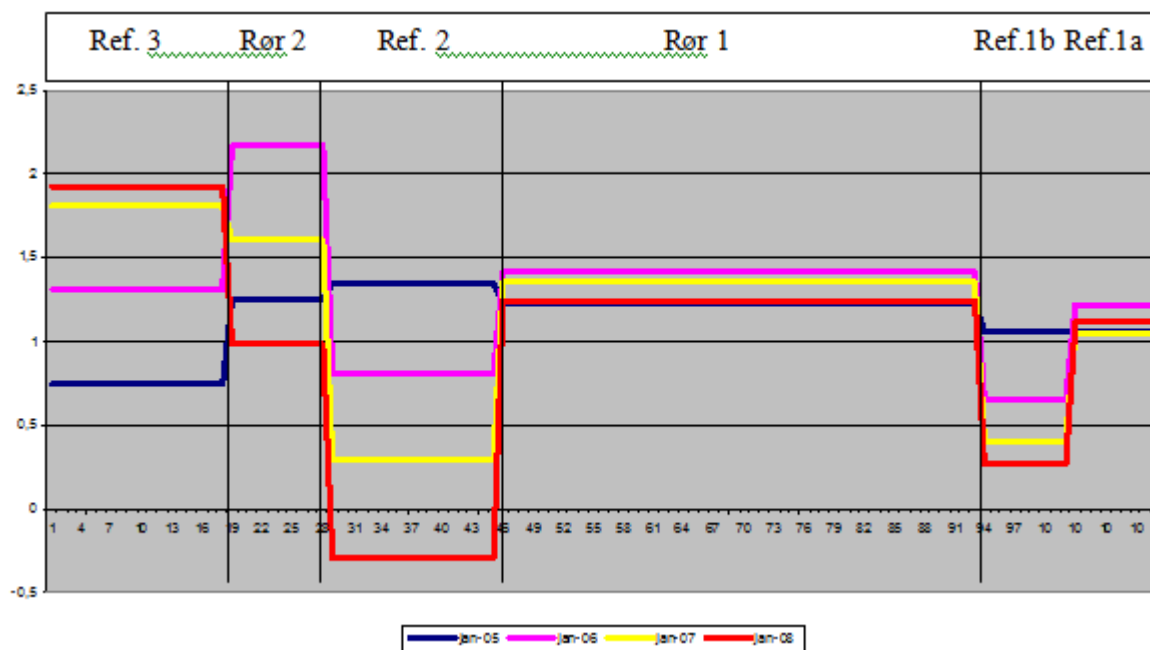
Efter et år ser de tilsvarende værdier således ud.

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?

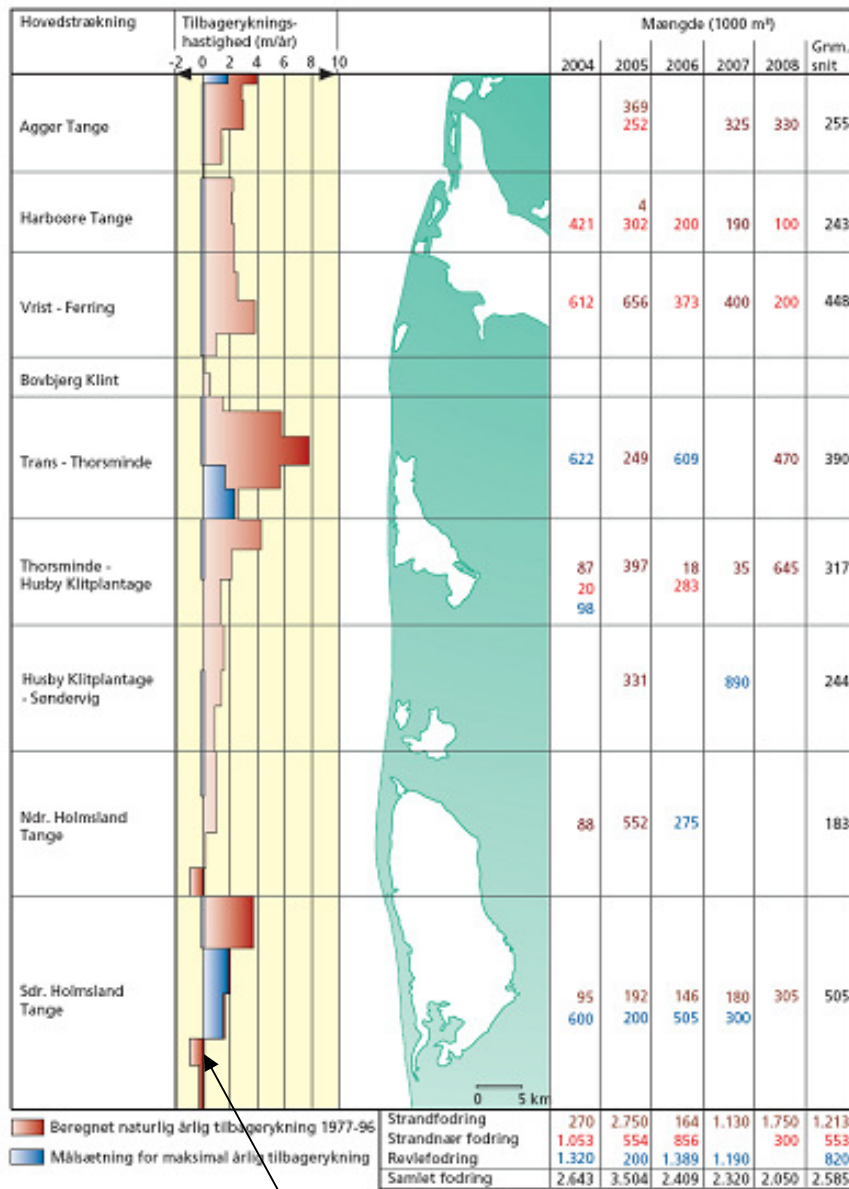
Normalt vil der findes store variationer i sedimentbalancen over tid og sted langs kysten. I nogle områder vil der generelt over tid ske en nettoaflejring, mens der i andre områder sker en nettoerosion.

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

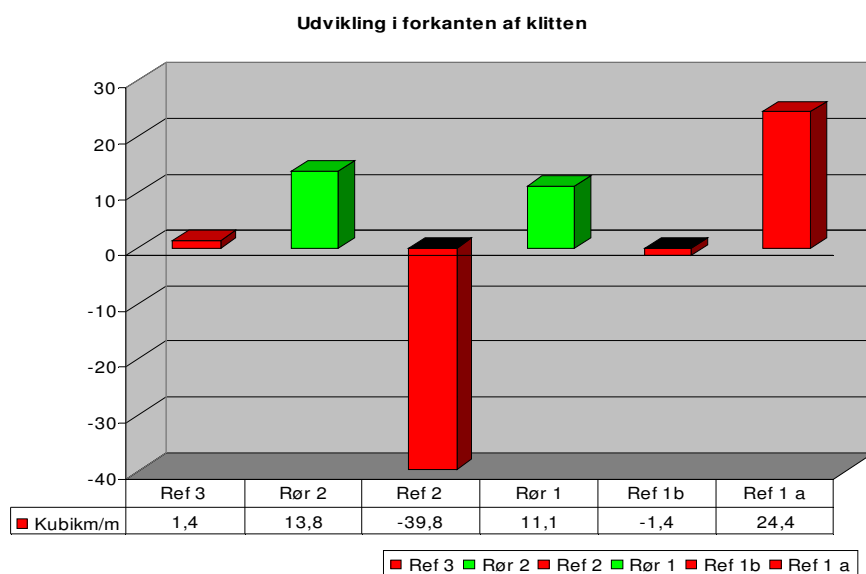


KYSTDIREKTORATET, den 31.08.2007
Gr. 103-x-65 Nr. 652

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.

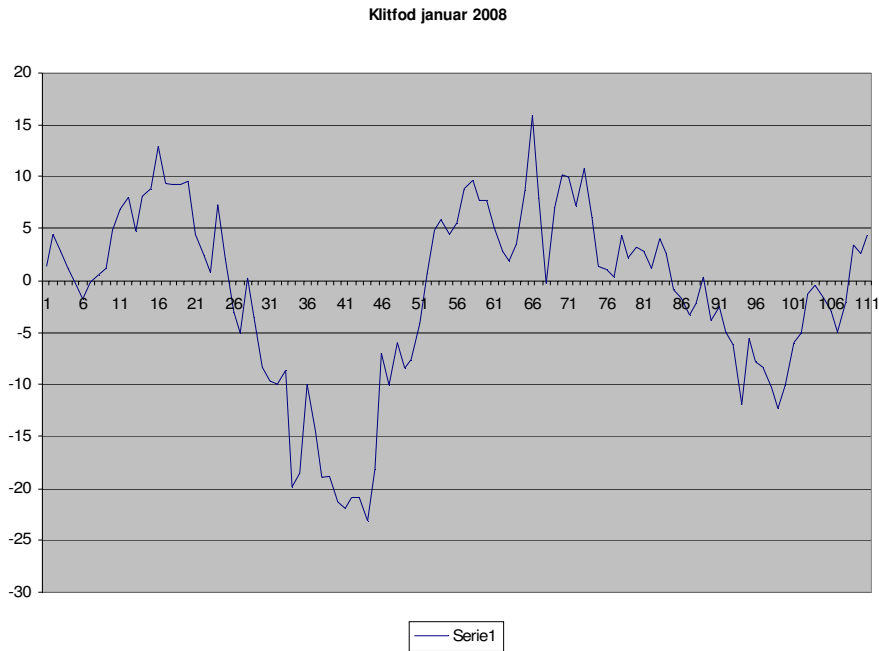
6.1 Klitfoden

Beregninger af gennemsnittet for ændringer i klitfodens 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 klitfodens placering	REF 3	RØR 2	REF 2	RØR 1	REF 1
Ændring i meter	+ 4,6	+ 2,8	- 15,7	+ 2,2	- 4,4

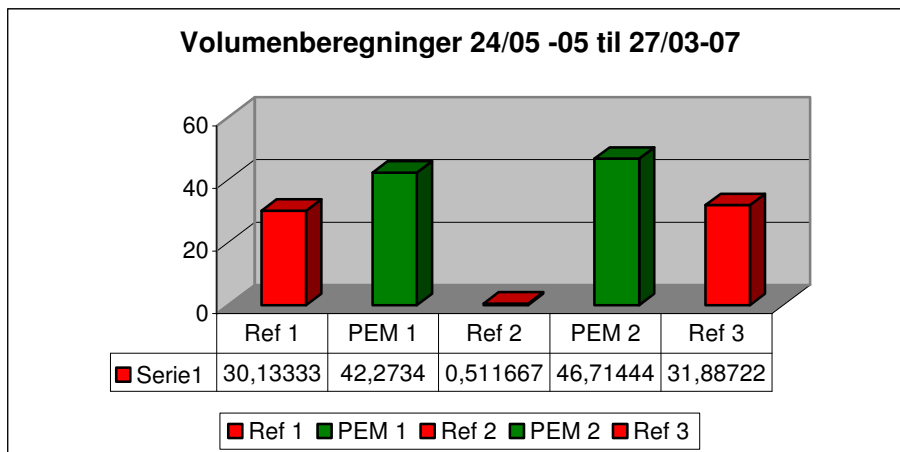
Det ses, at der registreres samme billede som tidligere – aflejring i rør-områderne og i REF 3 og erosion i REF 1 og REF 2.

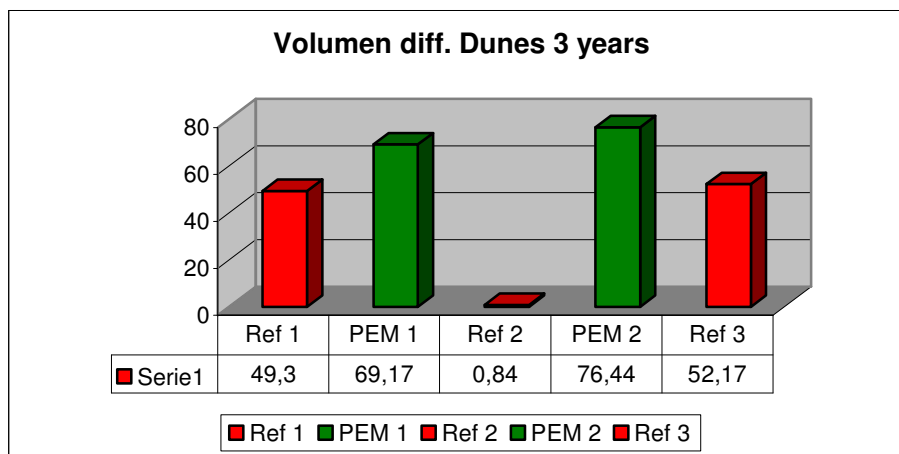
Nedenstående figur, der er hentet fra opmålingsmaterialet, viser variationen over de enkelte målepunkter og er således baggrunden for ovenstående gennemsnitsværdier.



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 drænedede områder med en opbygning på 69 – 76 m³ pr. meter over 3 år.

Modsætningsvis er sandopbygningen i REF 1 og REF 3 kun ca. 50 m³ i samme periode, mens sandopbygningen i klitområdet i REF 2 er kun 0,84 m³. 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).

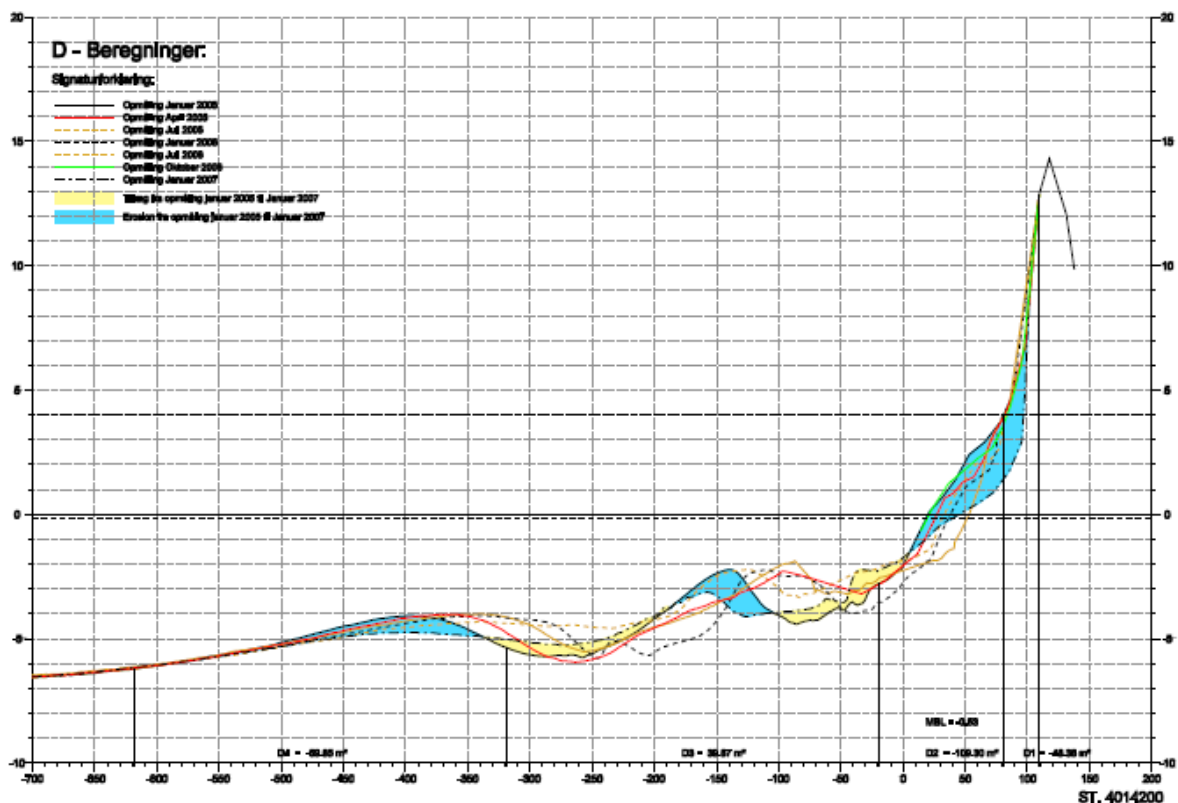
7 OFF SHORE

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.

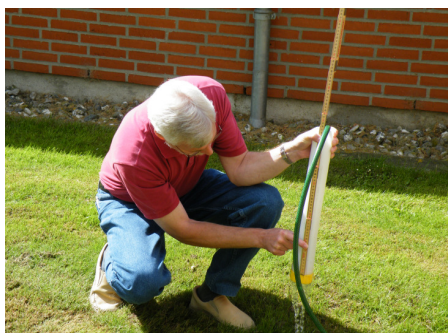
DGE kan kun støtte SIC i protesterne i den forbindelse. Det er uforståeligt at KDI har udført denne sandfodring i et referenceområde i et forsøg, der skal vise om sandfodring kan erstattes af andre metoder. Betydningen af "referencen" går således totalt tabt. Det er ligeledes uforståeligt, at professorerne 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 tilkøbet 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 m³ pr. meter kystlinie – eller 2 m³ 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 $11,25 \cdot 0,2 = 2,25 \text{ m}^2$. Det betyder, at det samlede volumen, der flyttes fra lavvande til højevande over ca. 6 timer pr. meter vil være 13,5 m³.

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 vægtyldeforskellen 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.