

Miljøvenlig kystbeskyttelse Strandforbedring Nordsjælland



SIC Skagen Innovationscenter
Dr. Alexandrinesvej 75
9990 Skagen
Tlf 98 44 57 13
Mail: sic-denmark@mail.tele.dk

Generelt

SIC systemet baseret på trykudligningsmoduler er udviklet og afprøvet på den jyske vestkyst SV for Gl. Skagen.

Systemet er afprøvet under kontrollerede forhold og resultaterne viser nu, at SIC systemet er langt mere effektiv end høfder og bølgebrydere, idet høfder og bølgebrydere ligger passive inde på stranden når områderne er trykudlignet.

Situationen er den efter 3 år, at referenceområderne reelt er taget af havet og treårsrapporten er derfor baseret på sammenligning med eksisterende kystbeskyttelse baseret på høfder ved Gl. Skagen og bølgebrydere ved Lønstrup.

Der er meget som tyder på at SIC systemet er verdens mest effektive kystbeskyttelsessystem, idet systemet er baseret på dræning af strandene og bølgeenergi.

Resultaterne er beskrevet på side 19 – 30.

Nordsjælland.

Der er sideløbende gennemført følgende kysttekniske undersøgelser på Sjællands nord kyst:

Ålsgårde Hellebæk
Vejby Strand
Smidstrup Strandvej

Formålet med disse pilotprojekter er at gennemføre kysttekniske undersøgelser under forskellige forhold.

Ifølge kystdirektoratet er der en østgående sedimenttransport på ca. 40.000 kubikmeter i østlig retning fra Hundested mod Helsingør.

Sedimenttransporten er beregnet med baggrund i erosionen på strækningen, som er ca. 60 km lang og det svarer således til en erosion på ca. 0,66 kubikmeter pr. meter pr. år i profilet.

Sedimenttransporten er således meget beskeden ved Hundested men øges i retningen mod Helsingør med de akkumulerede mængder.

Kystprofilet på nord kysten er imidlertid forstejlet mange steder på grund af hårde konstruktioner i form af skråningsbeskyttelse samt høfder og bølgebrydere på strækningen.

Kysten er således generelt inde i en meget negativ udvikling, idet hårde konstruktioner generelt er skadelige for kysten i sin helhed.

Skråningsbeskyttelse kan således på ingen måde stå alene, idet den foranliggende strand forsvinder på få år, så området ikke kan passeres på stranden.

Kystsikringspolitikken på Sjællands nord kyst bør derfor revideres og ændres med øjeblikkelig virkning med baggrund i de faktiske forhold.

Tisvildeleje/Vejby Strand.



Bølgebryderen ved Tisvildeleje er årsag til stor læsideerosion øst for Tisvildeleje og det ses meget tydeligt at revlen presses ud i havet.

Konstruktioner Vejby Strand.



Efterfølgende er der så bygget høfder og bølgebrydere øst for bølgebryderen ved Tisvildeleje for at stoppe læsideerosionen fra bølgebryderen ved Tisvildeleje og vi har således en dominoeffekt hele vejen ned ad kysten med det resultat at profilet er forstjålet.

Vejby Strand.



Skråningsbeskyttelse Vejby Strand.



Stranden er borte og det bliver dybere og dybere uden for stenene.

Skråningsbeskyttelse vest for Smidstrup Strandvej.



Skråningsbeskyttelsen ligger i en fremskudt position med læside erosion til følge.

Den samme situation gør sig gældende på længere strækninger på nord kysten og vi kan derfor konkludere at de hårde konstruktioner ødelægger naturen og strande.

Bølgebrydere.



SIC trykudlignede området ved bølgebryderne i Lønstrup i 1999. Resultatet var, at bølgebryderne ved normal vandstand lå passive inde på stranden.



I 1999 forlangte Kystdirektoratet trykudligningsmodulerne fjernet, så de kunne fortsætte sandfordringen i området. Efter tre års sandfordring var lagunerne 30 meter dybe og havde i juli 2002 en vanddybde på 80 cm. inde ved skråningsbeskyttelsen i lagune 2 fra syd. Der er en nordgående sedimenttransport på 700.000 kubikmeter årligt og vi kan derfor konkludere at bølgebrydere rent kystteknisk er særdeles ineffektive.

Lønstrup 2. påskedag 2002



Billedet viser situationen ved bølgebryderne ved Lønstrup. Bilen er sunket i lagune nr. 2 påskelørdag 2002. Der var 25 cm lavvande den pågældende dag.

Lønstrup d. 17 juli 1999.



Her ses bølgebryderne ved Lønstrup d. 17 juli 1999, hvor stranden var trykkudlignet med SIC-metoden.

Læsideerosion



Men ikke nok med at bølgebrydere er meget ineffektive i forhold til den investerede kapital, men bølgebrydere medfører også stor læsideerosion, som vi ser her nord for Lønstrup.

Virkningsgraden af bølgebrydere er derfor direkte negativ og bør ikke anvendes inden for kystbeskyttelse.

Vi kan derfor på det foreliggende grundlag konkludere at hårde konstruktioner er direkte skadelig for vore strande og kystbeskyttelsespolitikken baseret på hårde konstruktioner bør derfor revideres.

Vi har derimod særdeles gode resultater med trykudligningsmetoden på Sjællands nord kyst, idet metoden enten har givet positivt kysttillæg eller i det mindste bevaret kysten, hvis sedimenttilgang ikke har været til rådighed.

Ålgårde.



Stranden ved Langes Bro var smal og fyldt med ral d. 12 januar 2000, da trykudligningsanlægget blev etableret



Tre måneder senere var stranden hævet 29 cm og en sandstrand er under opbygning.

Ålgårde



Efter 14 måneder lå der en flot bred sandstrand foran Ålgårde

Stranden blev efterfølgende ødelagt i forbindelse med forlængelsen af Langes bro og uddybning af havnen som bragte profilet ud af balance.

Ålsgårde.



Klædefabrikken.

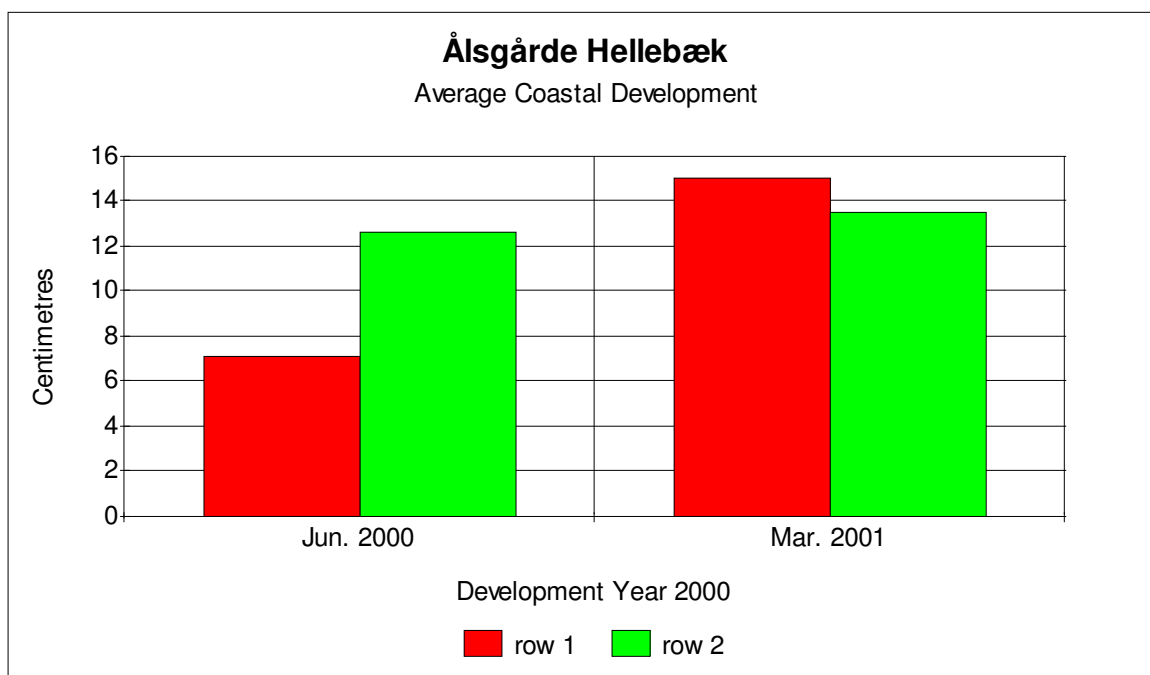


Billedet viser det kritiske område med blåler ved Klædefabrikken i Hellebæk, hvor konstruktionerne medfører læsideerosion

Hellebæk.



Billedet viser stranden ved Hellebæk i marts 2001, hvor der er et kysttillæg på 2,0 – 7,0 meter



Forsøget resulterede i et kysttillæg på 2,8 kubikmeter pr. meter, men blev efterfølgende delvis ødelagt, idet Langes bro blev forlænget med 20 meter. Dette medførte at revlesystemet blev presset ud i havet og der opstod efterfølgende kysterosion fra Langes Bro til Majorgården

Vejby Strand.



I området uden skråningsbeskyttelse blev der registreret en generel kystopbygning.



I området med skråningsbeskyttelse er stranden tabt og det vil efterfølgende blive dybere uden for skråningsbeskyttelsen

Stranden er desværre ødelagt på grund af forkert design, men kan genskabes med en kombination af sandfodring og trykudligning.



I området med bølgebrydere og trykudligningsmoduler blev der registreret en generel strandopbygning mellem bølgebryderne



Til trods for den generelle opbygning bag og mellem bølgebryderne rykkede 2 lodsejere modulerne op og den ene lavede fremskudt skråningsbeskyttelse, samtidig med at grundejeren bag bølgebryder nr. 1 bortgravede ca. 100 kubikmeter sand bag ved bølgebryder nr. 1, som blev lagt op på toppen af skråningsbeskyttelsen.
Læg venligst mærke til stadiet, som er 110 cm langt.

Smidstrup Strandvej



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



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



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



Trykudligningsmodulerne i skræntfoden er under neddækning i sand og vegetationen breder sig.

Smidstrup Strandvej



Billedet viser stranden nedstrøms for trykudligningsanlægget 1 måned efter stormen fra NV d. 16 januar med 11,0 cm højvande.

Konklusion.

Vi kan på det foreliggende grundlag konkludere at SIC metoden er en meget effektiv og miljøvenlig kystbeskyttelsesmetode samtidig med at metoden er meget billig i relation til ældre og mindre effektive kystbeskyttelsesmetoder baseret på høfder bølgebrydere samt skråningsbeskyttelse.

Effektiviteten kan på ingen måde diskuteres, når høfder og bølgebrydere ligger passive inde på stranden, hvis profilet er fladt ud for det trykudlignede område, eller der er stor langsgående sedimenttransport.

SIC metoden bør derfor foretrækkes i stedet for løsninger med hårde konstruktioner, som dels ødelægger stranden og samtidig giver skader på stranden nedstrøms.

Store dele af den sjællandske nord kyst er imidlertid så eroderet eller bragt ud af balance med hårde konstruktioner, så det er nødvendigt at tilføre kystprofilet sand i større mængder.

Det kan derfor anbefales at hele den nordsjællandske kyst trykudlignes snarest muligt for at begrænse skaderne.

Trykudligningsanlæggene vil blive udført med dykkede moduler så modulerne ikke vil være synlig på stranden i badesæsonen.

Efter 2 - 3 år med trykudligning har man et beslutningsgrundlag for en eventuel sandfodring i et balanceprofil.

Profilen skal tilføres 20 – 40 kubikmeter sand i et balanceprofil i de områder, hvor stranden er ødelagt med konstruktioner.

Vi kan her nævne foran skråningsbeskyttelsen ved Vejby Strand og Udsholt strand samt vest for Langes Bro i Ålsgårde.

Nord kysten bør således tilføres ca. 600.000 kubikmeter på en 20 km lang strækning, så nord sjælland får en af Europas flotteste badestrande.

Denne mængde svarer til erosionen fra Hundested til Helsingør i de sidste 15 år og er derfor nok til at genskabe en bred bade strand på Sjællands nordkyst.

Sandet er til rådighed i nærliggende områder i Kattegat og arbejdet kan udføres af danske sandsugningsfirmaer i perioder med ledigt materiel.

Badelivet på sjællands nord kyst vil således virke som en magnet på Københavns befolkning, som vil lægge millionbeløb i de nordsjællandske byer

Tilsvarende anlæg er allerede etableret på den svenske vestkyst. Anlæggene er betalt af de svenske kommuner, som lægger meget stor vægt på økonomien i turisterhvervet.

Vi ser det således som en kommunal opgave at genopbygge strandene på Sjællands nord kyst i et samarbejde med amterne.

Sandfodringen er et projekt til ca. 15,0 mio. kr. hvor initialudgiften kunne deles mellem amterne og kommunerne.

Udgiften til initialfodringen er således kun ca. 1,5 mio. kr. pr. kommune og et tilsvarende beløb til amterne.

Efterfølgende er driftsudgiften kun på ca. 1,0 mio. kr. årligt for af trykudligningsanlægget i de enkelte kommuner.

Lignende anlæg er allerede etableret i Ystad, Malmø, Ängelholm og Båstad.

Ängelholm kommune investerede således 6.0 mio. kr. i en sandfodring, som efterfølgende er stabiliseret med SIC metoden.

Der er således tale om afprøvet teknik, som nu benyttes i store dele af verden, idet SIC metoden er effektiv miljøvenlig og prisbillig.

Det er imidlertid først nu at SIC systemet er velafprøvet og den reelle meget høje virkningsgrad er kendt efter forsøg i 5 år.

Man kan således ikke kritisere de konsulenter, som har anbefalet hårde konstruktioner på Sjællands nord kyst, idet der ikke har været brugbare alternativer tidligere.

Skagen d. 17 februar 2003.

Poul Jakobsen

Effektiv miljøvenlig kystbeskyttelse

baseret på

trykudligningsmoduler



De sidste fem år har hølften nordøst for Gl. Skagen været dækket af sand og ligget passivt inde på stranden ved normal vandstand, takket være SIC metoden.

SIC Skagen Innovationscenter
Dr. Alexandrinesvej 75
9990 Skagen
Tlf 98 44 57 13
Mail sic-denmark@mail.tele.dk
Web: www.Skagen-Innovation.dk

Resume

Et kontrolleret forsøg over tre år ved Gl. Skagen viser nu at SIC-metoden, der er baseret på trykudligningsmoduler, er et effektivt og miljøvenligt kystbeskyttelsessystem.

Effekten af trykudligningsmodulerne ses tydeligt på nedenstående billede fra Gl. Skagen, hvor hølften nordøst for Stuhrs villa har ligget passiv inde på stranden ikke blot i de tre år, forsøget har varet, men siden etableringen i 1997.



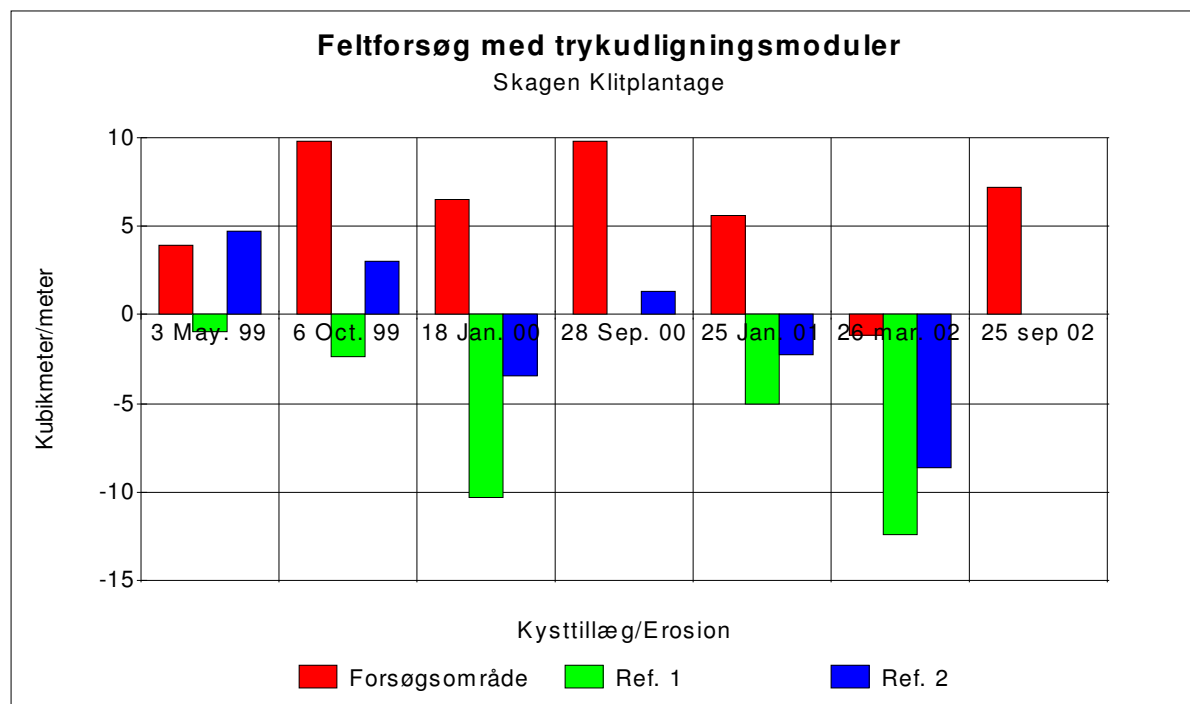
Da det første trykudligningsanlæg blev etableret i 1997 i forbindelse med et andet projekt, opdagede man efter nogle måneder, at det nu var muligt at gå uden for hølften ved normal vandstand. Samtidig kunne man ved lavvande se en ny sandhølften, og på baggrund af disse positive effekter opstod ideen om en ny og miljøvenlig kystbeskyttelsesmetode baseret på trykudligningsmoduler.

I januar 1999 blev der således etableret et kontrolleret forsøg sydvest for Gl. Skagen under ledelse af professor dr. tech. Hans Falk Burcharth.

Samtidig har vi haft lejlighed til at sammenligne SIC-metoden med den traditionelle kystbeskyttelse, der er baseret på skråningsbeskyttelse, hølfter og bølgebrydere samt sandfodring og kombinationer af disse.

Efter tre års permanent drift i Gl. Skagen såvel som på en lang række andre lokaliteter i både Danmark og udlandet er arbejdet nu afsluttet og evalueret med særdeles positive resultater.

Resultat af kontrolleret feltforsøg



Det kontrollerede forsøg over tre år viser, at trykudligningsmodulerne skaber et balanceprofil i forsøgsområdet, der meget hurtigt genopbygges efter højvandssituationer med storm.

Resultatet er endog meget signifikant, idet kystopbygningen langs stranden i forsøgsområdet var på 9,8 kubikmeter pr. meter allerede den første sommer og 8,5 kubikmeter i sommeren 2002 efter en vinter med fire højvandssituationer over 80 cm. i perioden 28. jan. til 9. marts.

De år, hvor vinterklimaet er mildere med hensyn til storm og højvande, ses en mindre opbygning i forsøgsområderne den efterfølgende sommer. Det skyldes, at trykudligningssystemet opbygger et såkaldt balanceprofil (Equilibrium profile).

Opbygningen i forsøgsområdet er meget regelmæssig som det fremgår af ovenstående graf, modsætningsvis referenceområde 1 og 2, der viser en erosion på henholdsvis 12,4 og 8,6 kubikmeter fra forsøgets start frem til 26. marts 2002.

Samme udvikling gør sig gældende ved høfderne i Gl. Skagen og bølgebryderne ved Lønstrup, idet der i lagunerne mellem sidstnævnte konstruktioner sker en kystlinietilbagerykning på 15-30 meter i samme periode.

Indledning

Det kontrollerede forsøg sydvest for Gl. Skagen blev indledt d. 28. januar 1999, hvor der blev etableret et trykudligningsanlæg på en 1050 meter lang strækning.

I forbindelse med forsøget blev der nedsat en forsknings- og følgegruppe, der medvirkede ved udvælgelsen af forsøgsområdet og de to referencetrækninger. I referencetrækningerne blev der ikke etableret trykudligningsmoduler.

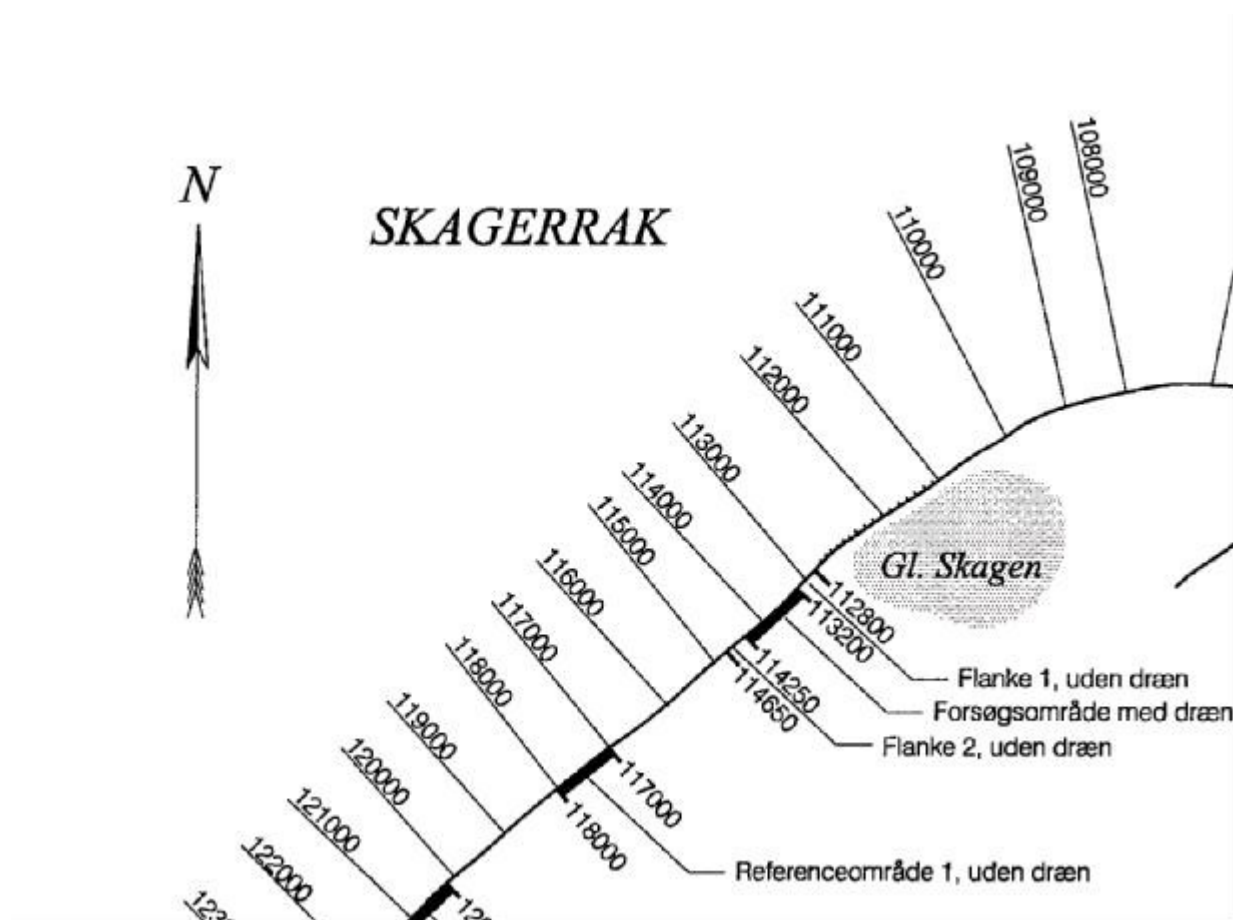
Opmålingerne i hele testperioden er udført af det rådgivende ingeniørfirma Carl Bro Gruppen.

Projekt- og følgegruppe

Projekt- og følgegruppen består af følgende medlemmer:

Hans Falk Burcharth	Professor dr. tech., Aalborg Universitet
Frede Jensen	Statsskovrider, Nordjyllands Statsskovdistrikt
Bjarke Jensen	Landinspektør, Nordjyllands Amt
John Jensen	Civilingeniør, Kystdirektoratet
Poul O. Jørgensen	Ekspertisechef, Carl Bro Gruppen
Stig Trollebø	Teknologisk Innovation A/S
Poul Jakobsen	SIC – Skagen Innovationscenter

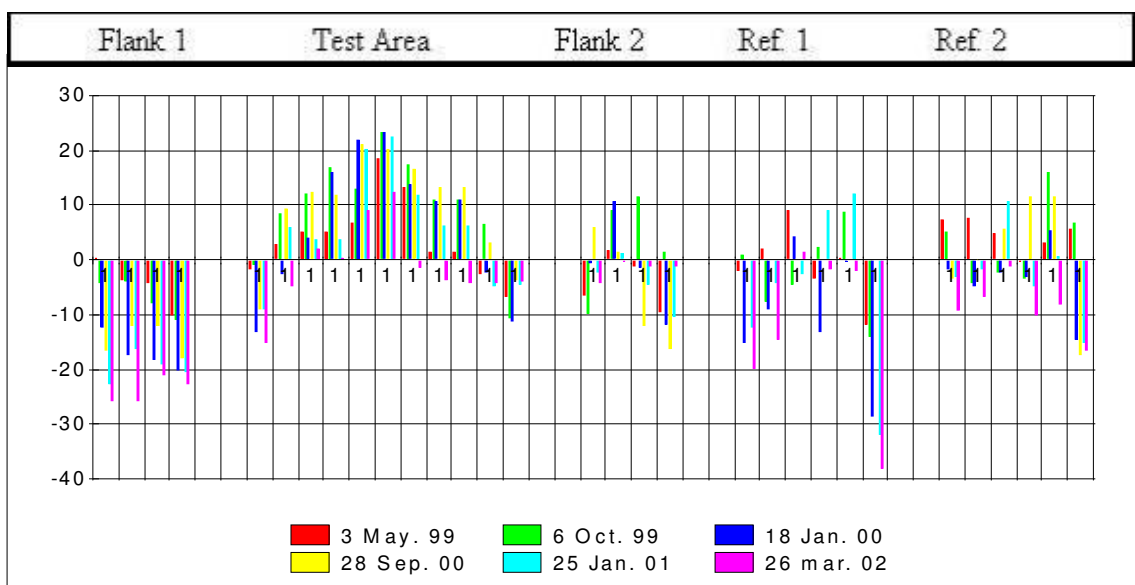
Forsøgets placering



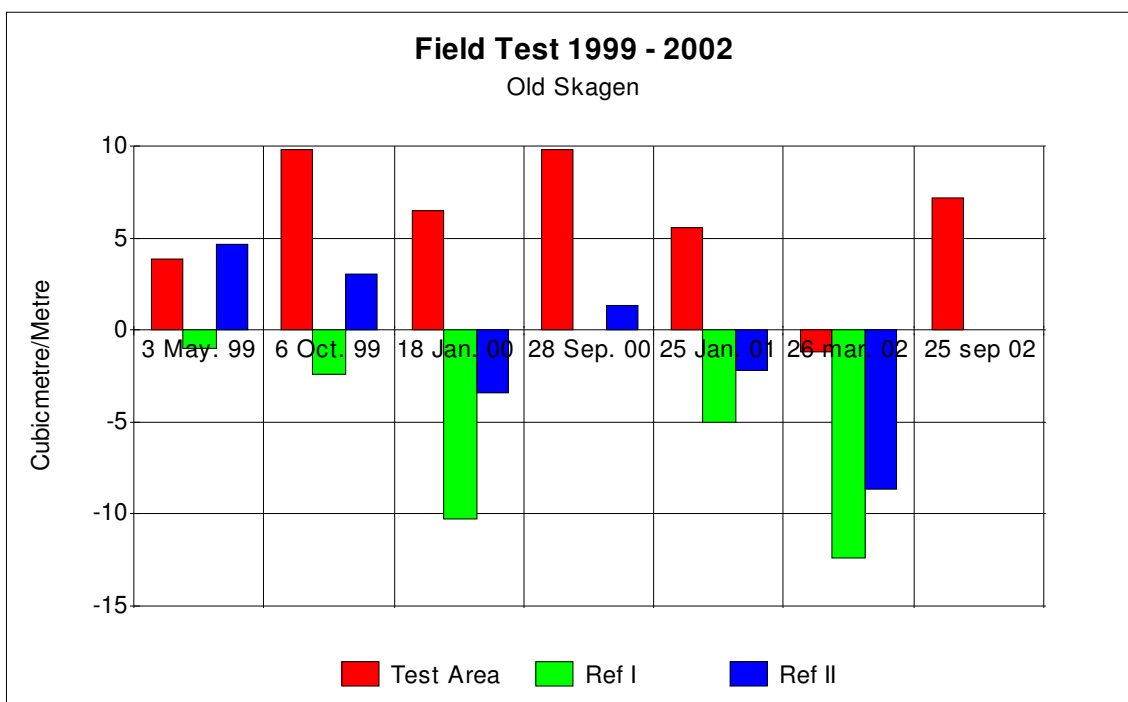
Forsøgsområdet ligger 600 meter sydvest for Gl. Skagen, mens referenceområde 1 og 2 ligger henholdsvis fem og otte km. sydvest for Skagen.

Referenceområde 1 ligner forsøgsområdet mest, idet kysttilbagerykningen på forsøgsstrækningen i de sidste 150 år har været på 250 meter, mens kysttilbagerykningen i referenceområde 1 og 2 i samme periode har været på henholdsvis 220 og 120 meter.

Udviklingen i forsøgsområdet og referenceområderne er helt entydige, idet der ses en systematisk opbygning i forsøgsområdet. Denne regelmæssige opbygning genfindes hverken i flanke- eller referenceområderne.



I referenceområde 1 ses en kysterosion på op til ca. 40 kubikmeter pr. meter, mens der i forsøgsområdet blev målt et kystillæg på op til 24 kubikmeter pr. meter.



Efter tre års kontinuerlig drift af anlægget ses den regelmæssige opbygning i forsøgsområdet meget tydeligt, mens udviklingen i referenceområderne følger den historiske udvikling i området. Den gennemsnitlige tilbagerykning i forsøgsområdet har i de seneste 150 år været 1,66 meter om året, mens den i referenceområde 1 og 2 har været på henholdsvis 1,47 meter og 0,8 meter.

Måleprogram

Kystprofilen er opmålt på følgende datoer:

28. januar 1999

6. oktober 1999

18. januar 2000

28. september 2000

25. januar 2001

26. marts 2002

25. september 2002.

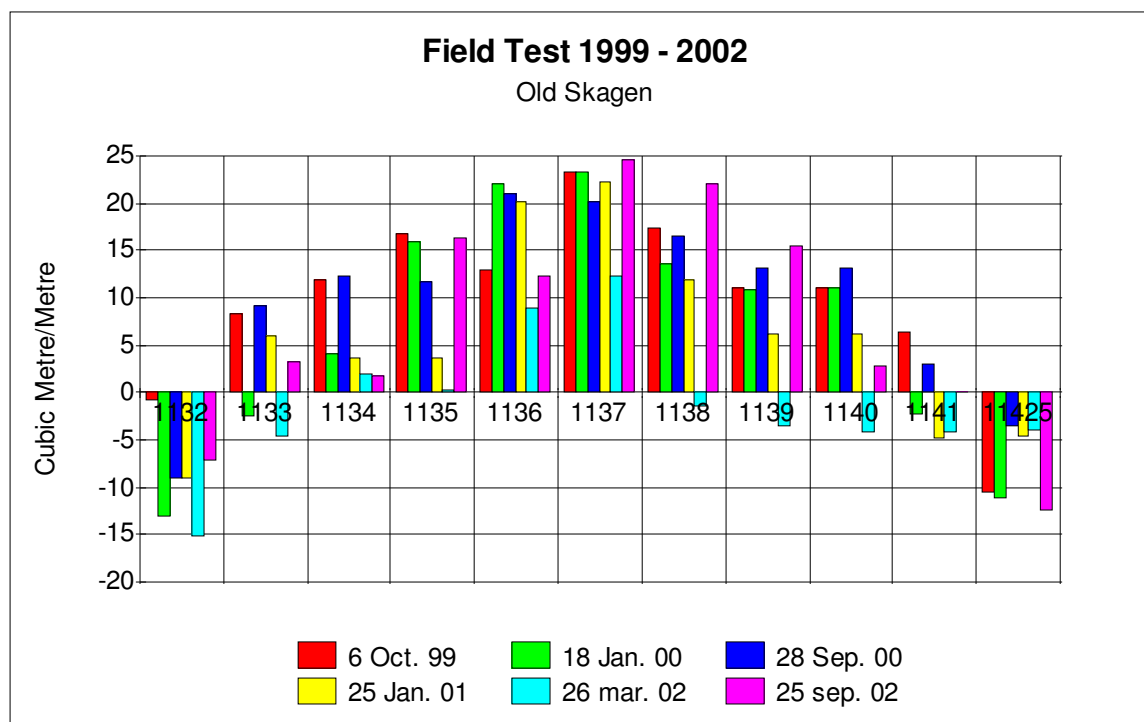
Måleprogrammet for forsøgets første år er fastlagt af projekt- og følgegruppen.

Eksperterne besluttede, at profilerne i forsøgs-, flanke- og referenceområderne skulle opmåles i slutningen af september samt på årsdagen for anlæggets etablering.

Forsøgsperioden blev aftalt til at vare et år med efterfølgende evaluering ved professor, dr. tech. Hans Falk Burcharth. Af videnskabelige årsager har SIC imidlertid fortsat driften af anlægget.

Forsøgsresultaterne efter det første år var helt entydige, idet der ses en kystopbygning på 6,5 kubikmeter pr. meter i forsøgsområdet modsætningsvis erosion i flanke- og referenceområderne.

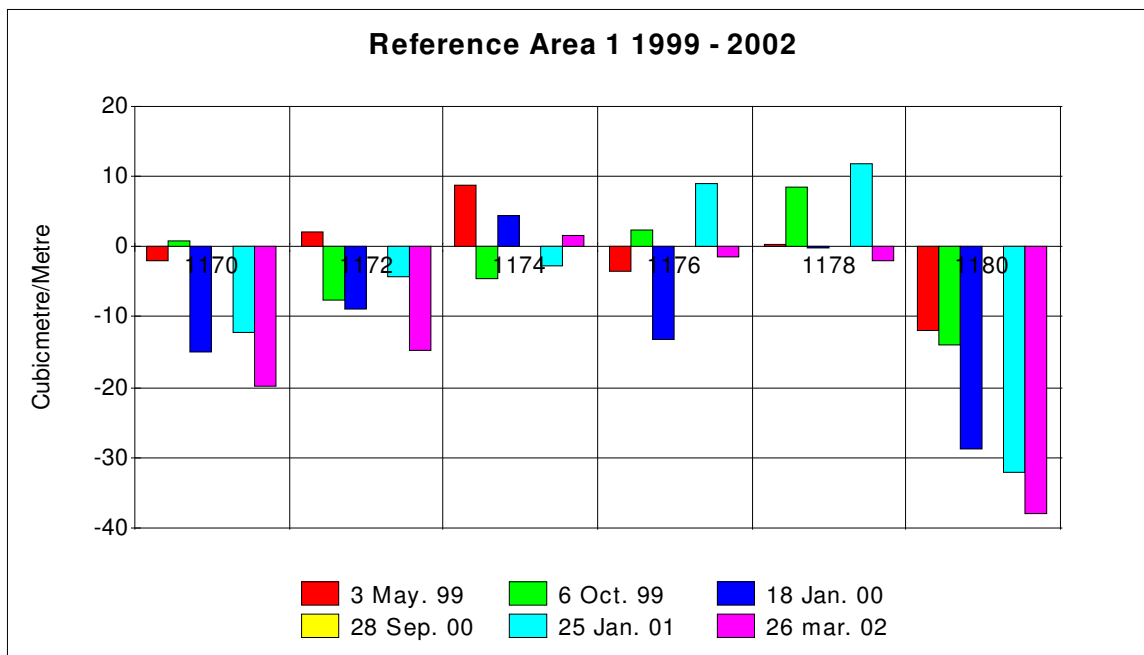
Forsøgsområdet



Ovenstående figur viser måleresultaterne i forsøgsområdet i de enkelte målelinier i perioden oktober 1999 frem til september 2002.

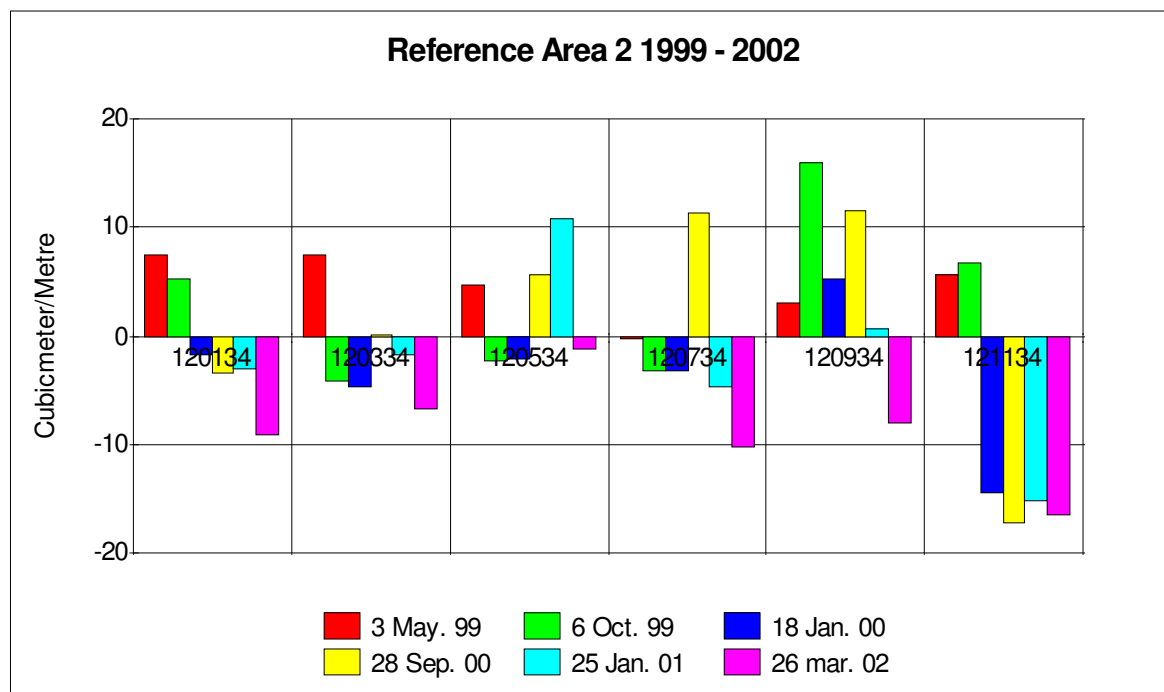
Opmålingen i januar 2002 måtte udskydes to måneder på grund af højvande og kuling og blev først gennemført 26 marts samme år. Derfor besluttede man at gennemføre endnu en opmåling 25. september for at dokumentere, at profilet i forsøgsområdet fortsatte de to tidligere års tendens med regelmæssig opbygning med en opbygning på 8,5 kubikmeter pr. meter.

Referenceområde 1



Forsøgsområdets systematiske genopbygning genfindes ikke i referenceområde 1, der sluttede med en erosion på -12,4 kubikmeter per meter samt en tilbagerykning på kystlinien på 9,2 meter.

Referenceområde 2



Heller ikke i referenceområde 2 genfindes forsøgsområdets systematiske genopbygning. Referenceområde 2 sluttede med en erosion på -8,6 kubikmeter per meter og en tilbagerykning på kystlinien på 14,02 meter.

Konklusion på kontrolleret feltforsøg

I løbet af forsøgets syv første måneder stabiliserede kystprofilen i forsøgsområdet sig i et balanceprofil med et kystillæg på 9,8 kubikmeter pr. meter.

Efterfølgende har kystprofilen været stabil i mere end tre år, idet dræningen af stranden medfører en hurtig genopbygning af stranden efter stormsituationer med højvande.

I løbet af den treårige forsøgsperiode er kystlinien i gennemsnit rykket 2,1 meter frem i forsøgsområdet. Derimod følger referenceområderne den historiske udvikling, hvor der i de sidste 150 år er set en gennemsnitlig kysttilbagerykning på 1,5 meter og 0,8 meter pr. meter.

I referenceområderne har den gennemsnitlige kysttilbagerykning i forsøgsperioden imidlertid været 3,9 meter pr. år, hvilket forklares med flere - og voldsommere - storme og højvandssituationer end normalt.

Efter at trykudligningsmodulerne er fjernet har vi konstateret en kysttilbagerykning mellem høfderne ved Gl. Skagen på 20 – 25 meter. Samme tendens ses ved Lønstrup, hvor kysttilbagerykningen mellem bølgebryderne er på op til 30 meter efter, at trykudligningsmodulerne er fjernet.

Det har imidlertid været overraskende, at kombinationen af skråningsbeskyttelse og bølgebrydere er særdeles ineffektiv, idet konstruktionerne ved Lønstrup ikke har kunnet bjærge sig selv med en nordgående sedimenttransport på 700.000 kubikmeter netto om året. Sandfodringen ved bølgebryderne ved Lønstrup må således betragtes som en ren nødforanstaltning for at bevare konstruktionerne.

Udgiften til kystbeskyttelses anlægget ved Lønstrup udgjorde i begyndelsen af firserne ca. 16,0 mio. kr. Efterfølgende er der sandfodret for 1,2 mio. kr. årligt, i alt 24,0 mio. Samlet har udgifterne altså beløbet sig til ca. 40 mio. kr.

En mere effektiv og miljøvenlig løsning vil kun koste 6,0 mio. kr. for samme 20årige periode.

Udlandet

Sideløbende med forsøget ved Gl. Skagen har SIC etableret trykudligningsanlæg i Ghana, Australien og Sverige. I Sverige er anlæggene etableret i samarbejde med svenske kommuner med det formål at stoppe kysterrosionen på lokaliteterne og genskabe brede badestrande. Her såvel som i Ghana og Australien har man set samme entydigt positive resultater som ved Gl. Skagen.

SIC-systemet

SIC-systemet er et kystbeskyttelsessystem på naturens egne præmisser, idet effekten er baseret på dræning af stranden samt bølgeenergi, der tilfører sediment til stranden i et naturligt balanceprofil. Som det fremgår af efterfølgende billeder ligger konstruktionerne passive inde på stranden, når man trykudligner områder med stor sedimenttransport på vestkysten.

Vi kan derfor konkludere at SIC metoden er mere effektiv end traditionel kystbeskyttelse baseret på konstruktioner og sandfodring.

Skagen d. 16. november 2002

Poul Jakobsen

Efterfølgende billeder viser kystudviklingen i høfdeområdet ved Gl. Skagen og bølgebryderne ved Lønstrup i perioden 1998 – 2002.

Gl. Skagen



Før trykudligningsmodulerne blev etableret i april 1998, lå høfderne ved Gl. Skagen 10 – 15 meter ude i havet.



Efter et års trykudligning i 1998/99 ligger høfderne ved Gl. Skagen passivt begravet i sand 5 – 10 meter inde på stranden.

Gl. Skagen 2002



Trykudligningsmodulerne blev fjernet i november måned 2001 efter krav fra Kystdirektoratet. I juli 2002 ligger høfderne igen 10 – 15 meter ude i havet.



Området nordøst for Stuhrs Villa er fortsat trykudlignet. Som et tydeligt bevis for SIC-metodens effektivitet ligger høfden stadig inde på stranden - passiv og dækket af sand efter fem år.

Lønstrup



SIC trykudlignede også området ved bølgebryderne i Lønstrup i 1999. Resultatet var, at bølgebryderne ved normal vandstand lå passive inde på stranden.



I 1999 forlangte Kystdirektoratet trykudligningsmodulerne fjernet, så de kunne fortsætte sandfodringen i området. Efter tre års sandfodring var lagunerne 30 meter dybe og havde i juli 2002 en vanddybde på 80 cm. inde ved skråningsbeskyttelsen.

Lønstrup 2. påskedag 2002



Billedet viser situationen ved bølgebrydere ved Lønstrup. Bilen er sunket i lagune nr. 2 påskelørdag 2002. Der var 25 cm lavvande den pågældende dag.

Lønstrup d. 17 juli 1999



Her ses bølgebrydere ved Lønstrup d. 17 juli 1999, hvor stranden var trykudlignet med SIC-metoden.

