

Undersøgelse og forbedring af tildækningsmetoder ved Hårbøllebrovraget

NMU j.nr. 2307



David Gregory

Bevaringsafdelingen, Nationalmuseet



Jørgen Dencker

Vikingskibsmuseet i Roskilde

Undersøgelse og forbedring af tildækningsmetoder ved Hårbøllebrovraget

KUAS §28 bevilling: 2003-222-0121

NMU j.nr. 2307, FMN j. nr. 1264

Grønsund, Hårbølle Fanefjord, Møn

Marin nr. 401661:38

David Gregory & Jørgen Dencker

Februar 2007

Beretning for KUAS §28 bevilling: 2003-222-0121 som i 2006 blev bevilget til Vikingeskibsmuseet og Nationalmuseets Bevaringsafdeling til besigtigelse af den tidligere tildækning af Hårbøllebrovraget og forsøg med nye tildækningsmetoder. Vraget er dateret til ca. 1320 og er beliggende på positionen: 54° 53,210'N/12° 08,150'E (GPS WGS 84).

Indhold

1. Indledning	3
2. Vurdering af vragets bevaringstilstand og den tidligere tildækning.....	4
3. Dynamiske strømforhold omkring vraget.....	4
3.1 Aanderaa Current Meter RCM9.....	5
4. Kornstørrelsesanalyse af sediment prøver	5
5. Afprøvning af tildækning med kunstigt ålegræs og stilladsnet	5
5.1 Principper.....	5
5.2 Kunstigt ålegræs fra Seabed Scour Controls UK.....	7
5.3 Stilladsnet.....	8
6. Resultater	10
6.1 Dynamiske forhold og sedimenttransport omkring Hårbøllebrovraget.....	10
6.2 Kunstigt ålegræs og stilladsnet	11
7. Konklusioner og anbefalinger.....	11
Bilag 1: Afrapportering af strøm og sedimentmålinger ved Hårbølle vrag	13
Bilag 2: Type 12 Frond Mat Installation Procedure.....	29
Bilag 3: Fotoliste.....	40

1. Indledning

Vraget er 8 meter langt, klinkbygget af egetræ, dateret til ca. 1320 og ligger med bunden i vejret på 10,5 m's dybde. Vraget, der har været kendt siden 2002, var kraftigt truet af erosion og blev derfor i 2002-2003 tildækket med sandsække (rapport NMU j.nr. 2307 v/Hanne Marie Myrhøj 27.01.03). Ved samme lejlighed blev der omkring vraget opsat sedimentmålestationer og fyrretræsklodser til vurdering af intensiteten af pæleormsangreb. En besigtigelse i 2004 (rapport NMU j.nr 2307 v/David Gregory december 2004) viste, at selvom der ikke var sket yderligere erosion af vraget, lå en del af sandsækkene frit eksponeret. Træklodserne bar tydelige tegn på pæleormsangreb, men sedimentmålestationerne havde ikke fungeret som forventet, idet de lokalt havde forårsaget en kraftig erosion af havbundssedimenterne. I 2004 blev det af David J. Gregory, Nationalmuseets Bevaringsafdeling anbefalet at flytte fyrretræsklodserne, som havde ændret aflejringsforholdene i negativ retning, længere væk fra vraget, samt at udvikle en ny metode til at måle sedimenterosion. En bevilling fra Kulturministeriet (KUAS J.nr. 2003-3322/10101) i 2004 gjorde det muligt for D. Gregory i 2005 at gennemføre et gæsteforskerophold ved the Western Australian Museum og fik her indsigt i forskellige metoder, der var blevet anvendt til sikring af vrag. Blandt andet var der blevet brugt kunstigt ålegræs og bygningsstilladsnet til dækning af vrag. Metoderne fungerer imidlertid kun, hvis der er strøm i vandet, og der er tilstrækkelig meget sand i vandet fra omgivelserne. Netop disse forhold findes ved Hårbøllebrovraget. Foruden at udføre de tidligere nævnte anbefalinger fra 2004 var formålet med projektet i 2006 :

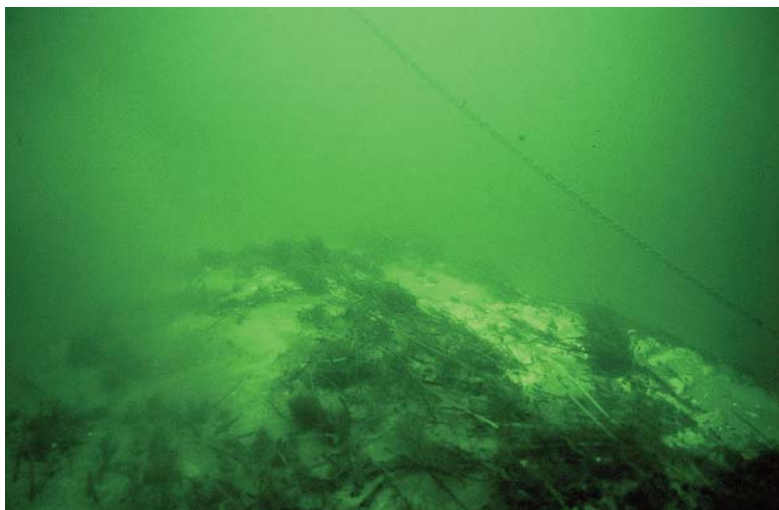
- Vurdering af vragets bevaringstilstand og sikringen fra 2002-2003
- Måling af strømhastighed omkring vraget med en RCM-9 Aanderaa Current Meter i en måned og analyse af sedimentkornstørrelsen omkring vraget
- Udlægning af kunstigt ålegræs og stilladsnet på et testareal ved siden af vraget, hvis effektivitet følges hver 3. måned og evalueres efter et år

Arbejdet blev udført over 7 arbejdsdage i perioderne 5.-8. og 19.-21. september samt den 10. oktober 2006. På grund af helt uforudsigelige strømforhold pludselige strømskift i såvel retning som styrke, tog arbejdet betydeligt længere tid end

oprindeligt planlagt. I varierende omfang deltog David J. Gregory, Jørgen Dencker, Morten Johansen og Kristiane Strætkvern.

2. Vurdering af vrages bevaringstilstand og den tidligere tildækning

Vraget og den tidligere tildækning havde det godt. Der var ikke sket yderligere erosion omkring vraget, og der var ikke eksponeret nye vragdele. Næsten alle sandsækkene var dækket af et tyndt lag sand (Figur 1).



Figur 1: Nuværende tildækning af vraget.

Derimod havde det tidligere etablerede målesystem og målestandene med fyrretræsklodser, der blev nedsat i 2001,

tydeligvis påvirket området. Som det ses på Figur 2 havde det medført kraftig lokal erosion af sedimenterne ved målestandene. I 2006 blev målestandene derfor fjernet fra området.



Figur 2: Målesystemet havde fanget ålegræs og medført lokal erosion

3. Dynamiske strømforhold omkring vraget

Indsamling af strømdata og analyse af sedimentprøver fra havbunden omkring

vraget blev lavet i tæt og frugtbart samarbejde med Geografisk Institut, Københavns Universitet. I dette arbejde havde kandidatstudent Rasmus Ringgaard en koordinerende og analyserende rolle. De anvendte metoder og resultater er beskrevet i

rapporten ”Dynamik og sediment i Grønsund, ved Hårbølle, Møn. September 2006” (Bilag 1).

3.1 Aanderaa Current Meter RCM9

De dynamiske data (strømforhold m.m.) blev logget af et ”Aanderaa Current Meter” model ”RCM9” udlånt af Jesper Bartholdy, Geografisk Institut. Instrumentet målte vandstand,

strømhastighed,

strømretning og

suspenderet sediment.

Instrumentet blev

placeret i et dertil

indrettet metalrør

monteret på en betonfod

og opsat på ca. 10 meter

vand lige syd for vraget

(Figur 3). Data blev

logget med 5 minutters

interval i perioden fra 7. september 2006 til 9. oktober 2006.



Figur 3: *Strømmåler in situ (Aanderaa Current Meter)*

4. Kornstørrelsesanalyse af sedimentprøver

3 sedimentprøver blev indsamlet fra havbunden omkring vraget. Prøverne blev

analyseret på Geografisk Instituts laboratorium af laborant Kirsten Simonsen.

Kornstørrelse blev bestemt ved sigtning, mens det organiske indhold blev bestemt ved glødetab.

5. Afprøvning af tildækning med kunstigt ålegræs og stilladsnet

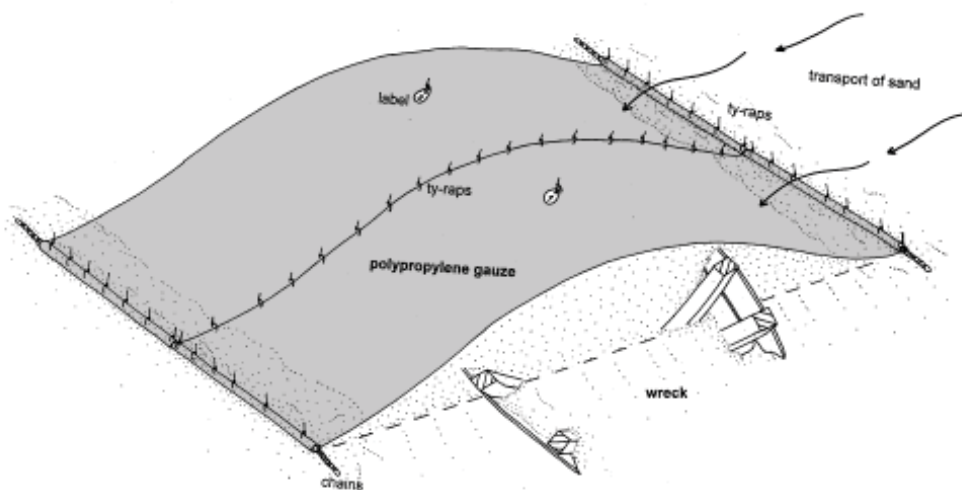
5.1 Principper

Ved brug af kunstigt ålegræs vil ”bladene” fange sandpartiklerne, som aflejres og akkumuleres til en blød ”dyne” af sand (Figur 4).



Figur 4: *Kunstigt ålegræs i Australien.*

I princippet fungerer stilladsnettet på samme måde. Hvis der er strøm og sand i vragsområdet, vil sandpartiklerne blive suspenderet i vandsøjlen. Nettet skal ligge løst henover vraget - det må ikke være stramt, men skal "blafre" i strømmen. Når vandet strømmer igennem stilladsnettet, vil sandpartiklerne sedimentere ud pga. friktion og efterhånden dække vraget (Figur 5).



Figur 5: *Principskitse af stilladsnet hen over vrage*

5.2 Kunstigt ålegræs fra Seabed Scour Controls UK

En 5x2 meter kunstig ålegræsmåtte fra Seabed Scour Controls i England blev anvendt til projektet. Prisen var 9.000 kr. og 3.000 kr. i fragt. Ålegræsmåtten er udviklet til at beskytte olieledninger, kabler og lignende under vandet i områder, der er truet af sedimenterosion. Det blev leveret oprullet på et 6 meter langt stålrør (Figur 6).

Selvom den oprullede måtte vejede ca. 75 kg og var 6 m lang, var den rimelig let at manøvrere fra Vikingeskibsmuseets båd *Dyndspringeren*. Måtten blev transporteret bundet fast på siden af båden



Figur 6: Kunstigt ålegræs fra Seabed Scour Controls.

og sænket ned til havbunden ved hjælp af tovværk. På bunden blev måtten placeret syd for vraget og orienteret således, at de korte ender på 2 meters længde var parallelle med den fremherskende strømretning (ca. nordvest-sydøst). For at sikre at rullen ikke blev taget af strømmen, som til tider var meget voldsom, blev stålrøret sikret med lange jernspyd i begge ender. Derpå blev det yderste hvide transportnet fjernet og



Figur 7: Til venstre ses en af de seks ankerplader, som fastholder måtten på havbunden. Til højre ses måtten udrullet. Græsset holdes nede af sikkerhedsnettet.

måtten rullet ud. De seks ankerplader, der skulle fastholde den udrullede måtte (3 på hver langsideside) blev med håndkraft banket ned til ca. 50 cm's dybde i havbunden (Figur 7).

Til sidst blev det sorte sikkerhedsnet, der sikrer, at dykkerne ikke fanges under monteringen, fjernet, så ålegræsset blev frigjort og kunne rejse sig i vandet (Figur 8).

Den samlede effektive arbejdstid med fixering af selve måtten på bunden var omtrent 1½ time. Arbejdet måtte imidlertid afbrydes flere gange på grund af den til tider kraftige strøm.

Såfremt denne type net skal anvendes en anden gang, bør det overvejes at

anvende en hydraulisk slaghammer, som producenten anbefaler, i

forbindelse med nedbankning af de seks ankerplader. Producentens monteringsvejledning er vedlagt som Bilag 2.



Figur 8: De kunstige ålegræsblade fangede hurtigt sandpartikler.

5.3 Stilladsnet

Fire forskellige typer stilladsnet blev købt fra sikkerhedsfirmaet Petonix i Danmark (samlet pris 11.360 kr.). Maskestørrelsen på tre af nettyperne er den samme (ca. 2.5 mm i diameter), medens nettenes materialevægt varierer. Nettyperne angives med vægten per m² og følgende tre typer blev anvendt: 130 gr/m², 180 gr/m² og 230 gr/m² ("Wind Mesh"). Den fjerde nettype "Shade Cloth" er egentlig ikke stilladsnet, men en nettype, der anvendes til at skygge for bl.a. planter, og som havde en vægt på 95 gr/m² og en rektangulær maskestørrelse på ca. 10 x 2 mm.

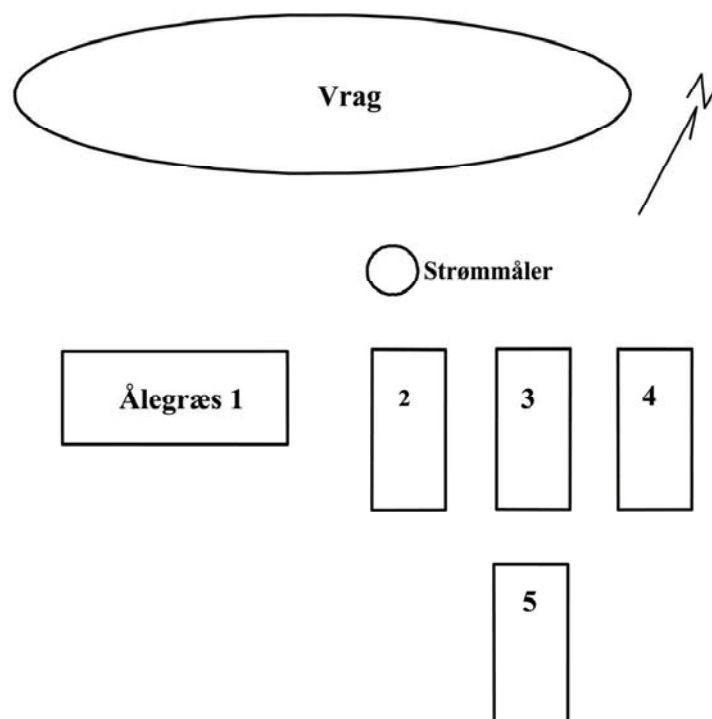
Et 6 x 3 meter stykke af hver nettype blev anvendt til forsøget. Nettet blev på land rullet sammen omkring vandrørene, så de blot skulle rulles ud på bunden og fixeres i

havbunden. Kanten i stykkernes korte ender blev fastgjort med strips til 3 meter lange vandrør (25mm diameter). For hver 50 cm langs de lange sider blev der monteret et presenningøje af messing forstærket med gummi. For at holde nettet fri af bunden, så det kunne ”blafre” i strømmen, blev små fiskeflåd monteret i midten af nettet for hver meter.

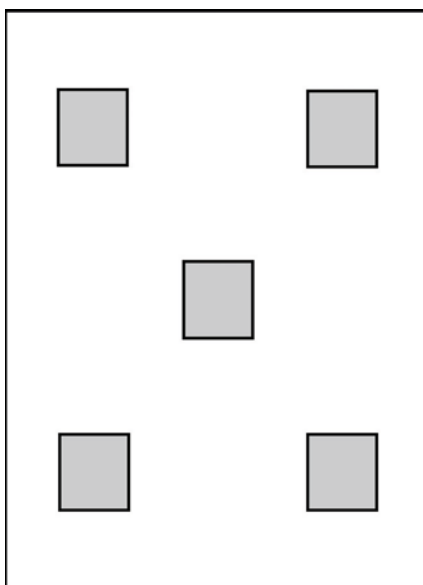
På havbunden blev nettenes korte sider orienteret omtrent vinkelret på strømmens fremherskende retning (NV-SØ). Det ene vandrør blev, for hver 75 cm, fixeret med 50 cm lange metalpløkke, der blev presset ned i havbunden. Nettet blev rullet ud og det andet vandrør fixeret på lignende måde. For at sikre, at det 6 m lange net kunne ”blafre” frit i vandet, var afstanden mellem de 2 vandrør 5 m. Nettets langsider blev fastgjort med mindre metalpløkke i de forstærkede øjer.

For at kunne måle, hvor meget sediment der fanges af de forskellige typer net, blev 5 betonfliser på 20x20 cm lagt ud under hvert net. Ideen er, at en tommestok kan stikkes igennem et lille hul i nettet og så måle det akkumulerede sediments tykkelse over hver flise.

Orienteringen af de fire stilladsnet, det kunstige ålegræs og betonfliserne ses i Figur 9.



Figur 9: Skitse over placeringen af de forskellige tildækningsforsøg.
1: Kunstigt ålegræs; 2. 130 g m^{-2} ; 3. 180 g m^{-2} 3. 95 g m^{-2} ; 4. 95 g m^{-2} 5. 230 g m^{-2}



Figur 10: De fem betonflisers placering under nettene

6. Resultater

6.1 Dynamiske forhold og sedimenttransport omkring Hårbøllebrovraget

En mere detaljeret diskussion af sedimenttransport findes i Bilag 1. I den periode, hvor strømhastigheden blev målt, viste dataene at:

- Strømhastigheden i perioder med primært tidevandsgenereret strøm når op på en hastighed på ca. 0,25 m/s, mens den i perioder med vind- og bølgestuvning når op på ca. 0,5 m/s.
- Kornstørrelsesanalyse viser, at sedimenterne fra havbunden omkring vraget er sammensat af ~81% sand, ~4% ler og ~15% silt, hvilket betyder, at sedimentet er på grænsen til at være "kohæsivt". Konklusionen er, at der ikke i måleperioden var væsentlig lokal erosion omkring vraget. Strømmen har simpelthen ikke været stærk nok til at flytte de lokale sedimenter. Da måleperioden samtidig er repræsentativ for begge de situationer, hvor man normalt ville forvente størst dynamik i Grønsund, kan konklusionen om begrænset erosion, med en vis sandsynlighed, antages at være gældende for hele året. Her skal der naturligvis tages forbehold for, at de 18 m/s fra vest, der optrådte som højeste vindhastighed, ikke svarer til den maksimalt

forventelige vindhastighed i løbet af året i Danmark, hvorfor en kraftigere vindstuvningseffekt og dermed strømhastighed end den målte kan forekomme. Det faktum, at vraget er blotlagt, betyder naturligvis, at der alligevel lejlighedsvis må forekomme lokal erosion. Forklaringen her skal sandsynligvis søges i muligheden for til tider frit bølgeindfald fra Østersøen.

- Desuden viser en sammenligning af strømhastigheden og mængden af suspenderet sediment ikke et entydigt billede. Perioder med høj sedimentkoncentration er sammenfaldende med perioder med høj dynamik, men omvendt er der flere episoder med høj dynamik, hvor der ingen sedimenttransport er. En nærmere analyse af situationerne med høj koncentration af suspenderet sediment viser, at den målte sedimentkoncentration primært stammer fra eksterne kilder – erosion i Smålandsfarvandet eller de ydre dele af Grønsund mod Østersøen.

6.2 Kunstigt ålegræs og stilladsnet

Det har kun været muligt at vurdere effektiviteten af tildækningsforsøget en enkelt gang – to uger efter nedsætningen. Den korte tid til trods, viste det sig, at ålegræsset havde fanget mellem 5 og 15 cm sediment. Af de fire typer stilladsnet havde nettet på 130 g/m² umiddelbart fungeret bedst, da det efter kun to uger havde fanget 5-10 cm sediment. Det er dog for tidligt at konkludere, om de andre stilladsnet vil fungere eller ej, men det er planlagt at fortsætte overvågningen i løbet af 2007.

7. Konklusioner og anbefalinger

Den nuværende tildækning med sandsække beskytter fortsat vraget, og der ligger ikke yderligere vragdele eksponeret. Sandsækkene er delvist dækket af et tyndt lag sand. Det oprindelige målesystem og de moderne fyrretræsklodser, der blev nedsat i 2001, er blevet fjernet fra området, fordi de førte til lokal sedimenterosion omkring vraget.

Ud fra måling af de dynamiske forhold omkring vraget, sammenlignet med kornstørrelse af det lokale sediment, kan det foreløbig og med en vis forsigtighed konkluderes, at yderligere erosion af vraget er højst usandsynligt, fordi der er ikke tilstrækkelig strøm til at erodere de lokale sedimenter. De målte sedimenter i vandet er ikke af lokal oprindelse, men stammer fra områder nord eller syd for Hårbøllebro.

Ved Hårbøllebroprojektet blev der anvendt to forskellige metoder til at fange sedimentpartiklerne:

Kunstigt ålegræs er forholdsvis dyrt, men er nemt at montere under vandet. Det har tilsyneladende en positiv effekt selv efter meget kort tid. Negativt er det imidlertid, at nedbankning af de seks ankerplader til ca. 50 cm's dybde, måske kan gå igennem kulturlag eller ødelægge vragele.

Stilladsnet er meget billigt og nemt at montere under vandet. Foreløbig har én af de anvendte nettyper tilsyneladende haft en positiv effekt selv efter meget kort tid. Ét problem ved anvendelse af stilladsnet synes at være, at ikke alt sand løber igennem nettet. Noget af sandet lægger sig på nettet og tynger det ned, så det ikke kan "blafre". Dette problem kan måske løses ved montering af flere fiskenetsflåd til at øge opdriften. Eller også skal en dykker med jævne mellemrum ryste nettet for at fjerne sedimentet, der har lagt ovenpå det.

Det følgende anbefales:

- Fortsat overvågning af tildækningsforsøgene. Vurdere effekten efter 6, 9 og 12 måneder
- Opsætning af sedimentfælder for opsamling af strømtransporteret sediment og udtagning af prøver fra det aflejrede sediment under nettene og i ålegræsset. Sammenligning af kornstørrelse fra henholdsvis sedimentfælder og prøver fra nettene og ålegræsset med det formål at optimere tildækningsmetoderne. Hvilke kornstørrelser er til stede i vandet, og hvilke kornstørrelser bliver fanget i de forskellige nettyper?
- Fjernelse af stilladsnet og ålegræstæppe, såfremt de er eksponerede og har en negativ påvirkning på det nærliggende vrage

Dynamik og sediment i Grønsund,
ved Hårbølle, Møn.
September 2006

Rasmus Ringgaard
Geografisk Institut
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tel: 22 89 63 13
E-mail: rr@tavern.dk

Indhold

Introduktion.....	2
Strømmåler data.....	3
Instrument og sensorer.....	3
Dataserie.....	4
Sedimentprøver.....	6
Kornstørrelsesanalyse.....	6
Organisk Stof.....	7
Teori – Sammenhængen mellem Dynamik og sedimenttransport.....	7
Generelt om de hydrodynamiske forhold i Grønsund.....	10
Generelt om dataserien.....	10
Analyse af dataserien.....	11
Dynamik i normalperioden.....	11
Dynamik i de tre perioder med væsentlig suspenderet transport.....	11
Konklusion.....	15
Referencer.....	16

Introduktion

I forbindelse med afprøvning af kunstigt ålegræs som sedimentfælde til beskyttelse af et skibsvrag i Grønsund (NMU j.nr. 2307, David Gregory, december 2004), blev det besluttet også at indsamle data om dynamik og sedimentforhold. Håbet er at dataserierne sammen med sedimentationsresultaterne for de forskellige typer ålegræs, kan bruges til at få en generel viden om hvilke dynamiske forhold og hvilken sedimenttype der skal til for, at ålegræsset kan virke effektivt som sedimentfælde.

De dynamiske data blev optaget af et ”Aanderaa Current Meter” model ”RCM9” udlånt af Jesper Bartholdy, Geografisk Institut. Instrumentet blev placeret i en flise med istøbt holder på ca. 10 meter vand. Data blev logget med 5-minutters interval, og dataserien strækker sig fra 7. september 2006 til 9. oktober 2006.

3 sedimentprøver blev indsamlet rundt om vraget. Prøverne blev analyseret på Geografisk Instituts laboratorium af laborant Kirsten Simonsen. Kornstørrelse blev bestemt ved sigtning, mens organisk indhold blev bestemt ved glødetab.

Strømmåler data

Instrument og sensorer

Dataserie		
Start 7. September 2006 kl. 10	Slut 9. oktober 2006 kl. 19	Måleinterval 5 minutter 9313 datarækker

Instrument	Aanderaa current meter RCM9 Serienummer: 262	Aftagelig datalogger med indbygget ur (år,dag,måned,time,minut).
Sensorer		
Vandstand	Trykmåler. Følsomhed +/- 7 cm.	Korrigeret med barometerstand fra DMI's station i Maribo
Strømhastighed	Lyd. Dopplereffekt baseret. Følsomhed +/- 1 cm/s	Målehøjde 0.5 meter over bunden
Strømretning	Indbygget kompas. 360 grader.	
Temperatur	+/- 0.1 grader C	
Salinitet	Konduktivitetmåler	Ude af drift. Giver konstant signal under hele måleperioden
Suspenderet Sediment	Infrarødt lys. Optical Back Scatter (OBS). Måles i NTU	Måler reflektionsgraden af udsendte lyspulser.

Tabel 1. Data om strømmåler

Enheden for suspenderet sediment, NTU, kan omregnes til mg/l via en kalibrering foretaget i det danske vadehav af Bartholdy og Aagaard i 1999 (Bartholdy & Aagaard 2000):

$$C_{mg/l} = 2.289 * NTU_{obs}$$

Kalibreringen kan med rimelighed antages også at være gyldig for sedimentsammensætningen ved Grønsund.



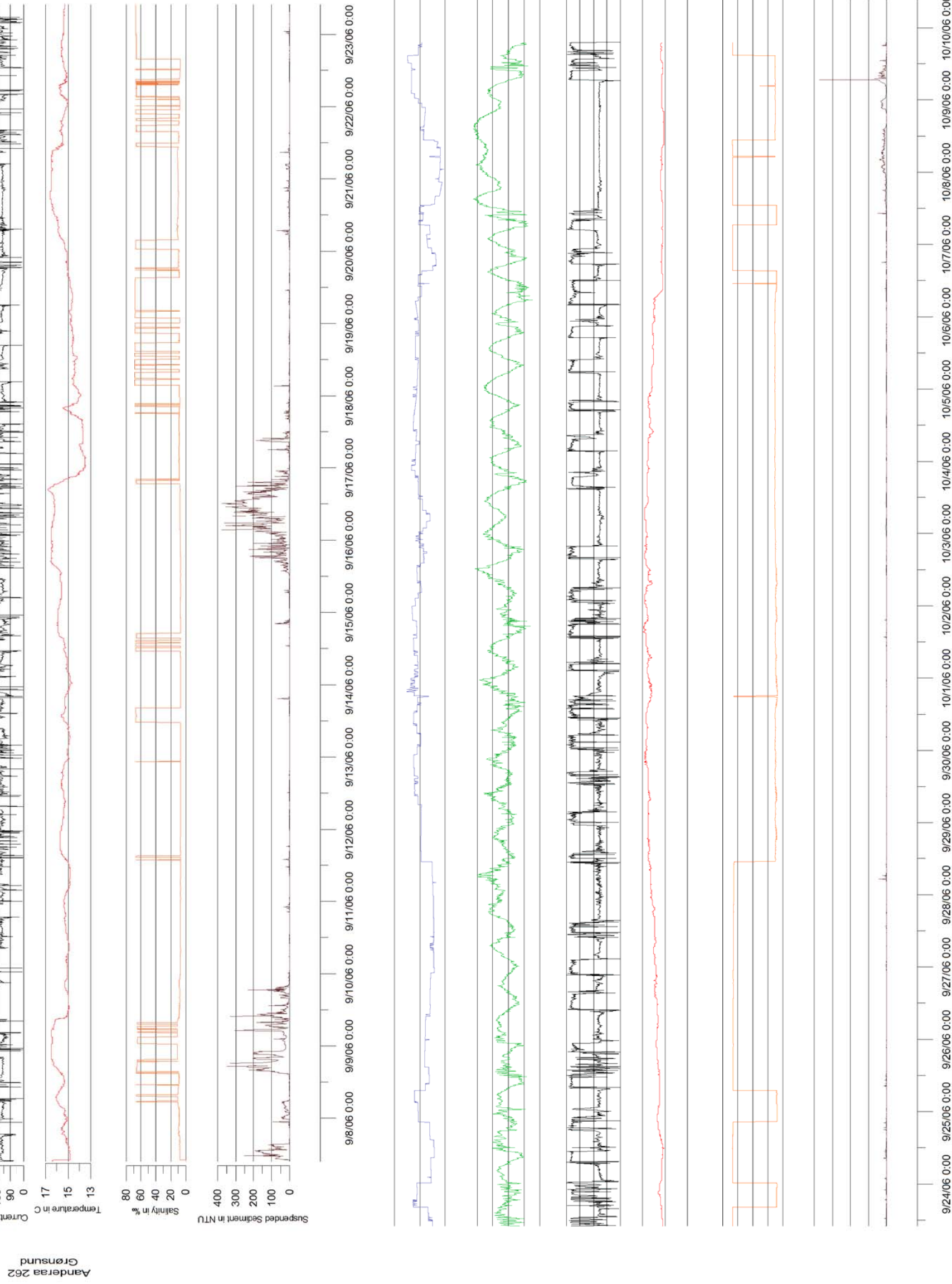
Figur 1
Instrumentets placering på bunden

Dataserie

Rådata og behandlede data i Excel kan fås ved henvendelse til forfatteren.

Figur 2

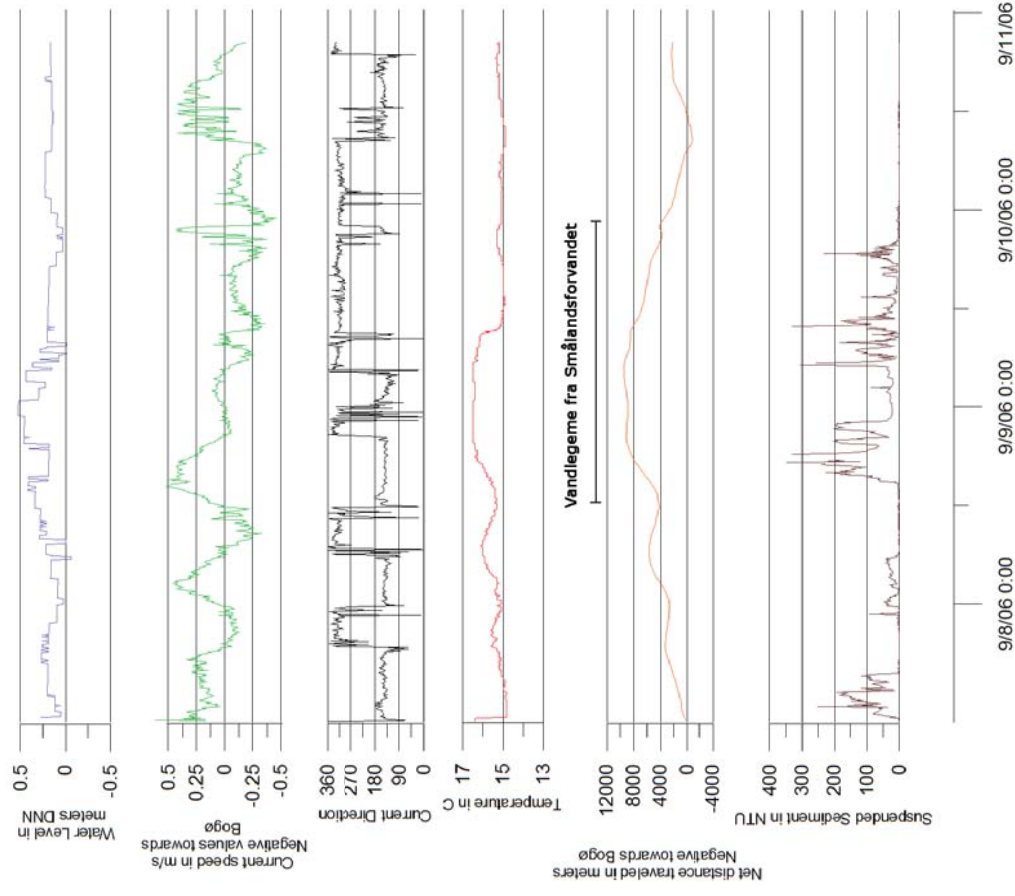
Plot af hele dataserien fra 7. september til d. 9. oktober. Bemærk at salinitetssensoren var i stykker i hele perioden, hvorfor signalet for saltholdighed ikke kan bruges.



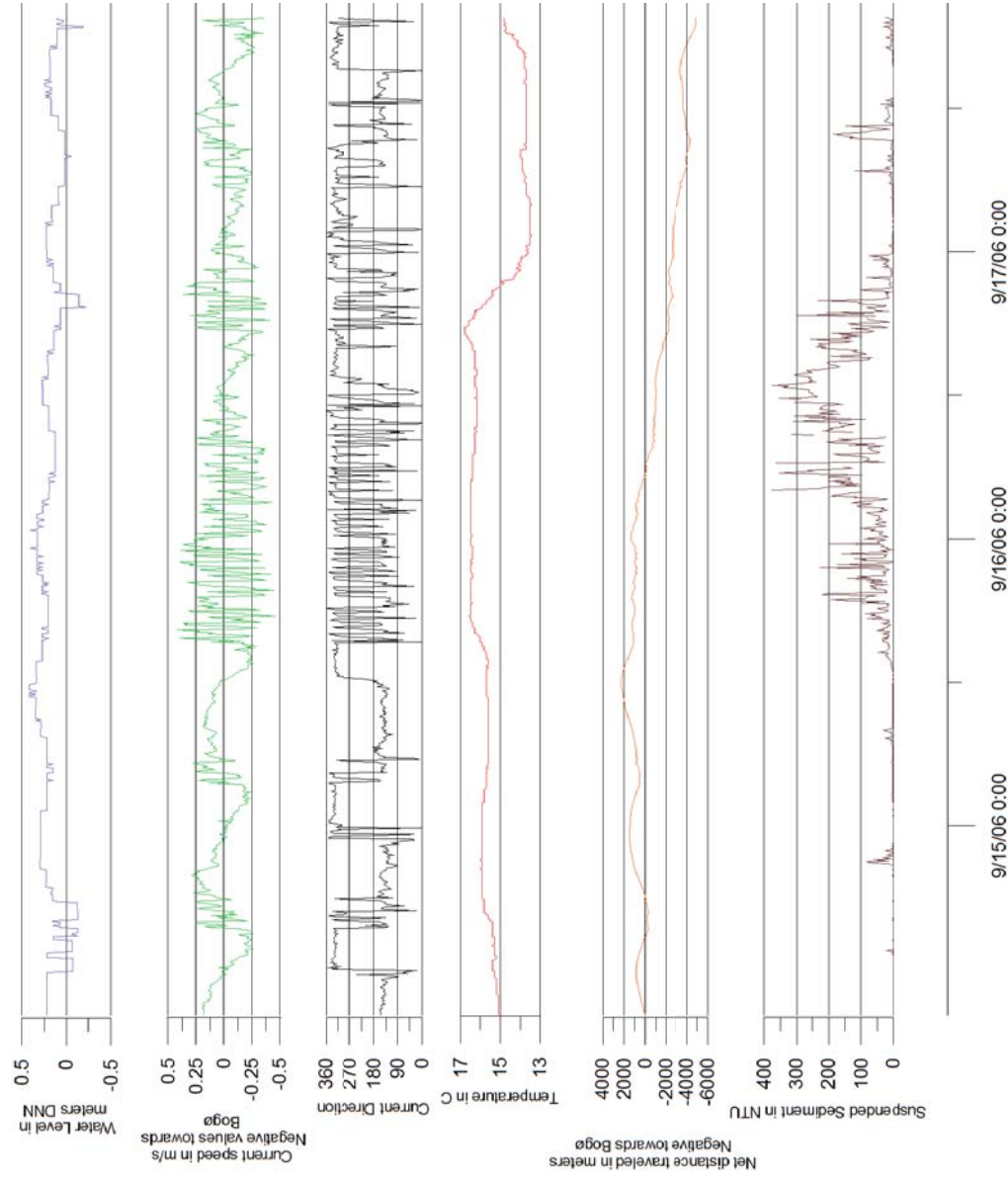
Figurer 3 – 5.

Udsnit af dataserie svarende til de tre perioder hvor der er nævneværdig suspenderet sedimentkoncentration.

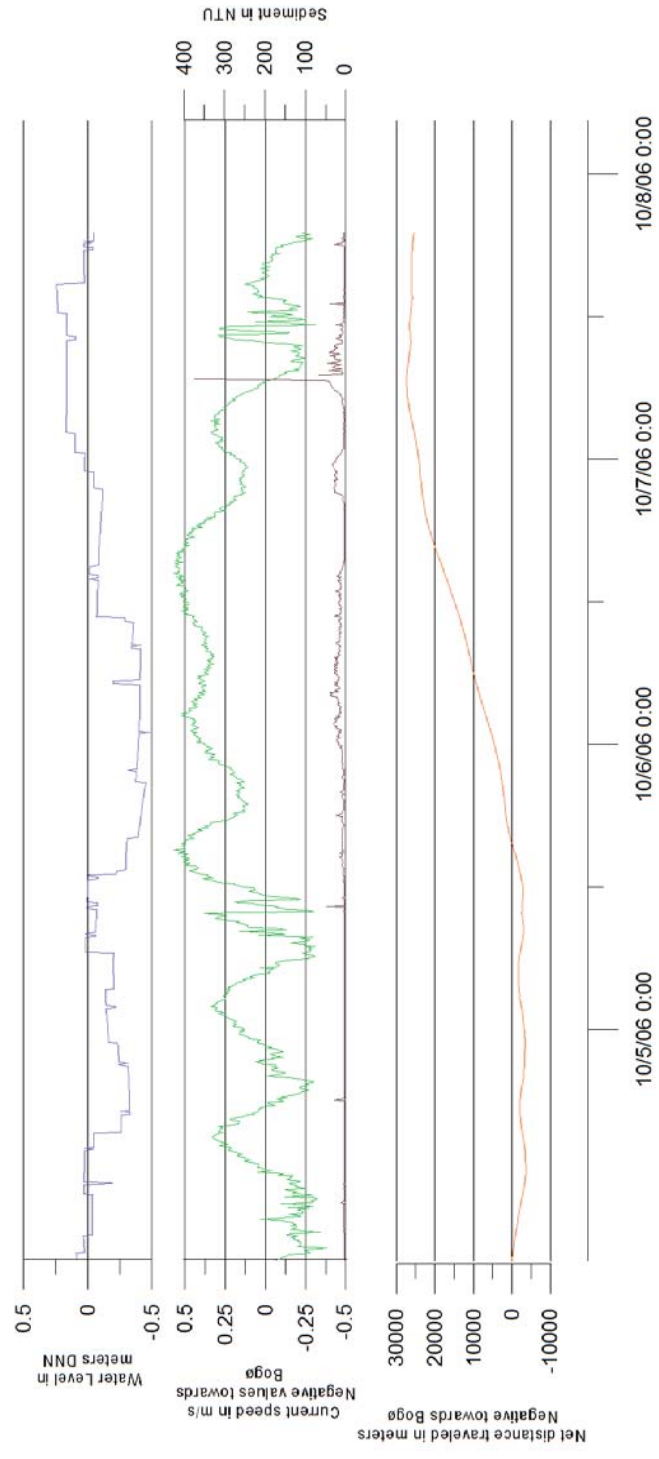
”Net distance traveled” er et udtryk for nettostrømmens bevægelse i østlig retning. Beregnet som en løbende sum af strømhastigheden i østlig retning ganget med måleintervallet i sekunder.



Figur 3
Forstørrelse af dataserie for første periode med høj koncentration af suspenderet sediment.



Figur 4
Forstørrelse af dataserie for anden periode med høj koncentration af suspenderet sediment.



Figur 5
Forstørrelse af dataserie for tredje periode med høj koncentration af suspenderet sediment.

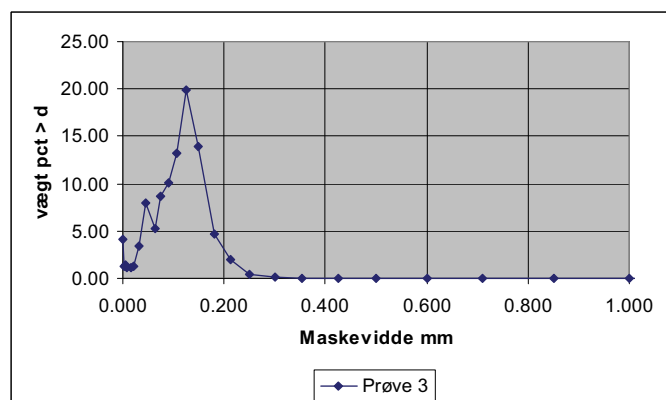
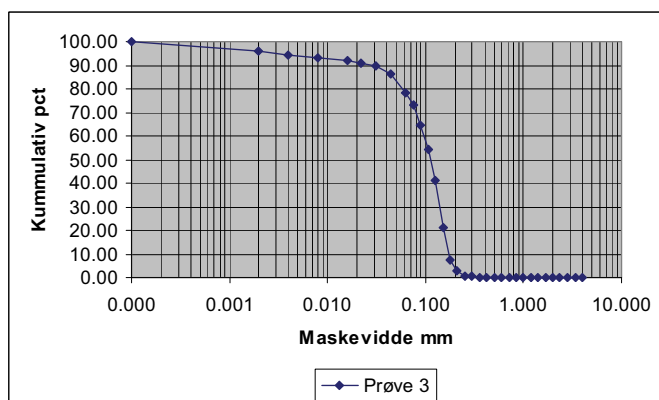
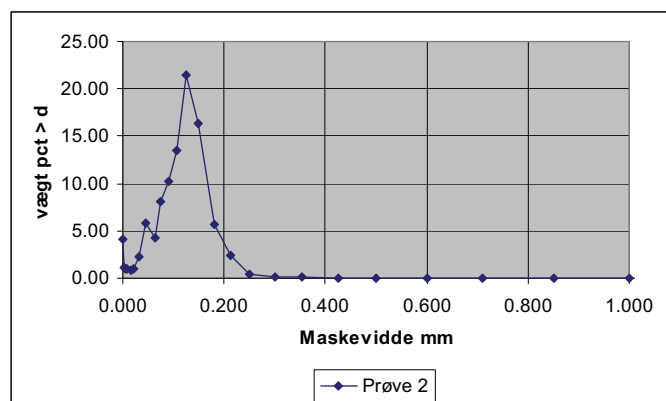
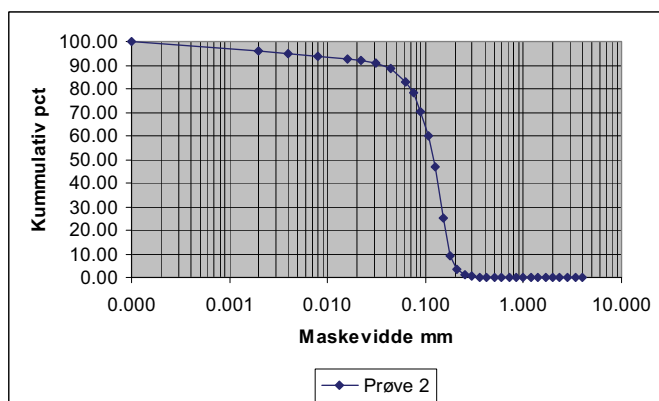
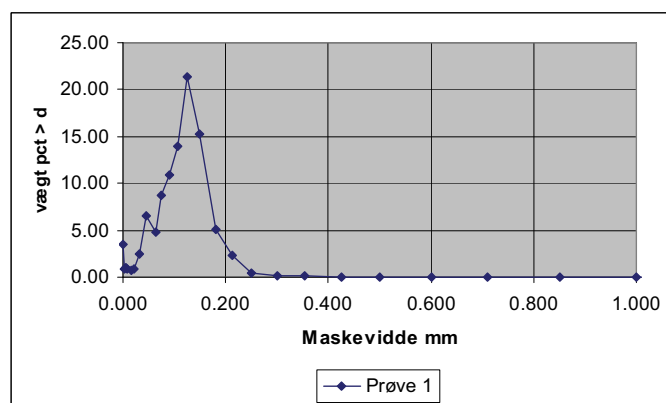
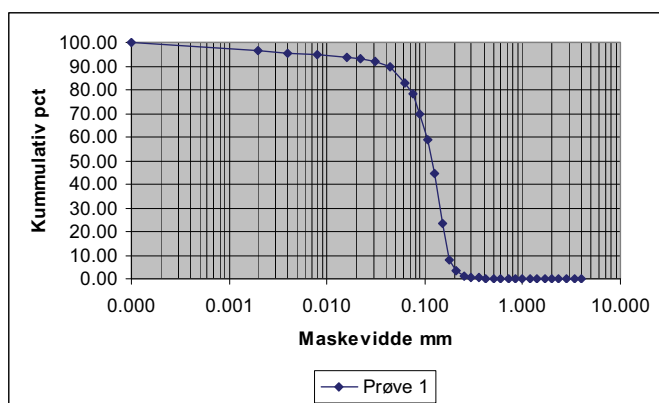
Sedimentprøver

Kornstørrelsesanalyse

Kornstørrelsesanalysen blev gennemført ved sigtning. Procentangivelser i vægtprocent.

Prøve	D ₁₆	D ₅₀	D ₈₄	< 0.063 mm (silt)	< 0.002 mm (ler)
I	2.61 Φ	3.09 Φ	4.06 Φ	83.06 %	96.51 %
II	2.59 Φ	3.06 Φ	4.10 Φ	82.79 %	95.89 %
III	2.64 Φ	3.16 Φ	4.36 Φ	78.33 %	95.88 %
middel	2.61 = 0.164 mm	3.10 = 0.117 mm	4.17 = 0.055 mm	81.39 % = 14.7 %	96.09 % = 3.91 %

Tabel 2. Kornstørrelse for de tre prøver.



Figur 6. Plot af kornstørrelsesfordelingen for de tre prøver

Organisk Stof

Organisk indhold er bestemt ved glødetab.

Prøve	Glødetab (organisk stof)
I	1.27 %
II	1.82 %
II	1.95 %
middel	1.68 %

Tabel 3. Organisk stof i de tre prøver.

Teori – Sammenhængen mellem Dynamik og sedimenttransport

Set på enkeltkornsniveau kan transport eller ikke-transport beregnes ved at opstille kraftligevægten mellem igangsættende og stabiliserende kræfter. Den maksimale igangsættende kræft et korn kan føle, er den forskydningsspænding strømmen kan overføre til overfladen af sedimentet på bunden. Hvis kornet opfattes som kugleformet, kan denne kræft beskrives som:

$$F = \tau_0 * d^2 * \frac{\pi}{4} \propto \tau_0 * d^2 \quad \text{Hvor: } \tau_0 = \text{forskydningsspændingen ved bunden (N/m}^2\text{)}$$

d = korndiameter (m)

De stabiliserende kræfter er primært kornets ”vægt”. Neddykket massefylde gange volumen gange tyngdeaccelerationen:

$$F = (\rho_s - \rho) * g * \frac{\pi}{6} * d^3 \propto (\rho_s - \rho) * g * d^3$$

Hvor: ρ_s = kornets massefylde (kg/m³) (~2650 for kvarts)
 ρ = vands massefylde (kg/m³)
d = korndiameter (m)
g = tyngdeaccelerationen (m/s²)

Kraftforholdet kan nu opstilles (obs! de indbyrdes vinkler inkluderes ikke):

$$\theta = \frac{\tau_0 * d^2}{(\rho_s - \rho) * g * d^3} = \frac{\tau_0}{(\rho_s - \rho) * g * d}$$

θ benævnes shields parameteren efter Albert F. Shields (1936). Shields parameteren giver sammen med Reynolds tal for enkeltkorn mulighed for opstillingen af Shields-digram. (se figur 7). Shields-kurven giver sammenhængen mellem Shields-parameteren og kornstørrelsen, således at det er muligt at give et bud på om en given størrelse korn ved et givent energiniveau vil være i transport eller ligge stille.

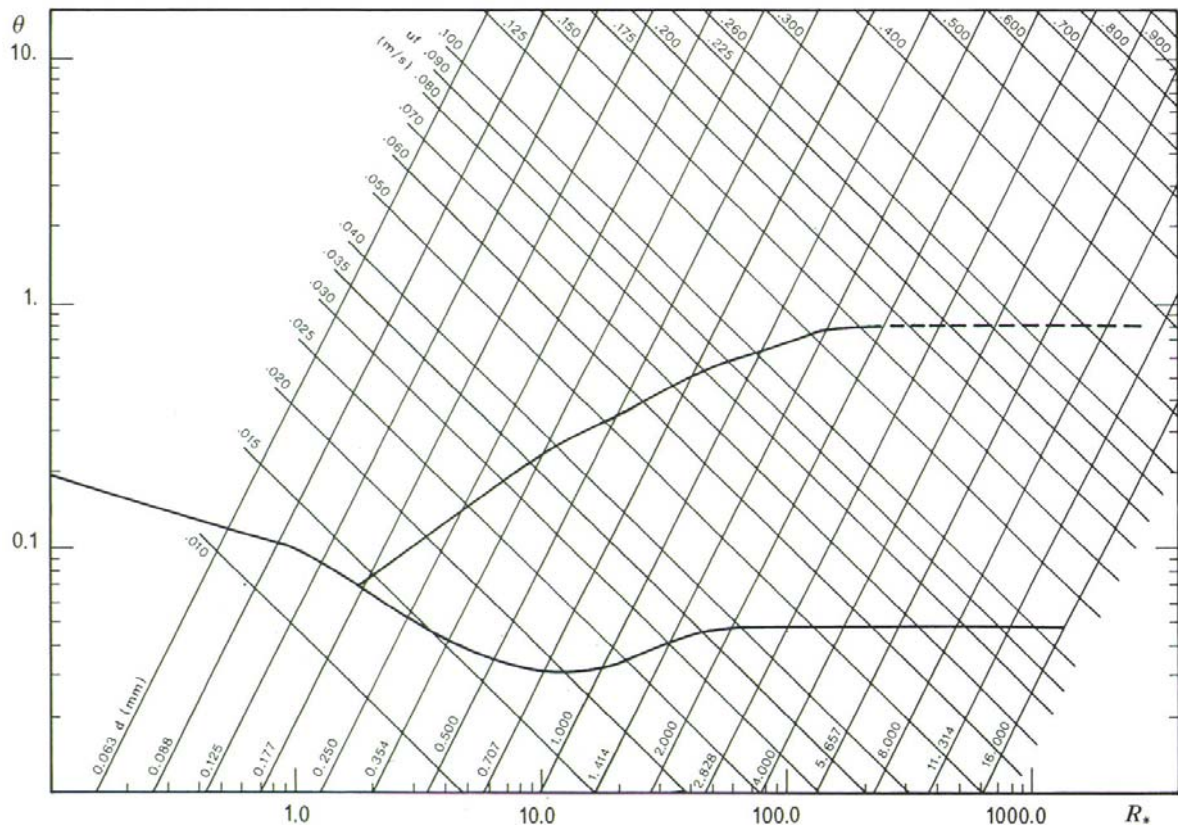


Fig 7. Shields-Diagram for enskornet materiale i 10C vand. Som trykt i Bartholdy (1991)

I diagrammet er indlagt isoliner for korndiameter og friktionshastighed. Der er yderligere indlagt 2 linier. Den fuldt optrukne nedre linie angiver kriteriet "netop transport" mens den øvre angiver kriteriet "suspension". For de helt fine kornstørrelser er de to linier sammenfaldne, da disse korn vil gå direkte i suspension når der er energi nok til rådighed til at bevæge kornene.

Kraftparameteren i Shields-diagrammet som defineret ovenfor er relateret til friktionshastigheden, u_f . Det er egentligt en kunstig regnestørrelse der knytter sig til den føromtalte forskydningsspænding ved bunden som $u_f = \sqrt{(\tau_0/\rho)}$. Friktionshastigheden kan dog siges at have den fysiske betydning at det er den strømhastighed, der kan forventes lige over bunden. Strømmen måles i den til projektet valgte instrumentopstilling 0,5 meter over bunden. Under antagelse af at det logaritmiske hastighedsprofil gælder tæt ved bunden, kan strømhastighederne omregnes til friktionshastigheder efter følgende formel ("law of the wall" – det logaritmiske hastighedsprofil)

$$\frac{u}{u_f} = 8.5 + 2.5 \ln\left(\frac{z}{k}\right)$$

Hvor: u_f = friktionshastigheden (m/s)
 u = strømhastigheden i højden z over bunden (m/s)
 z = højden over bunden (m)
 k = ruheden (m)

Ruheden er eneste ubekendte i ovenstående formel. Fra dykninger i området vides at bunden som oftest er flad uden bundformer. Den samlede ruhed vil derfor alene være styret af ruheden fra sedimentet. Soulsby (1997) foreslår 0.002 m for "Silt/Sand" U_f kan nu beregnes:

$$uf = \frac{u}{8.5 + 2.5 \ln\left(\frac{0.5}{0.002}\right)}$$

Gyldigheden er Shields-kurven på forholdene ved Hårbølle.

Shields-kurven antager enskornet ikke-kohæsivt materiale. Kravet om enskornethed kan ikke opfyldes af det naturligt lejrede sediment. Jævnfør resultater fra Day (1980) vil strømmens kompetence (de største korn den kan flytte) være væsentligt højere i naturligt lejret sediment end i enskornet sediment. I modsætning hertil vil de kohæsive egenskaber af ler og den fine del af siltfraktionen øge sedimentets modstandsdygtighed over for erosion. Med et lerindhold på ~4% og et siltindhold på ~15% ligger sedimentet på grænsen til at være kohæsivt, afhængig af siltens præcise sammensætning. En sidste overvejelse er muligheden for dannelse af biofilm. Alger, ekskrementer fra bunddyr etc. kan være med til at sammenkitte sedimentet. Et fænomen der især iagttages i sedimentet med højt indhold af silt og ler. Et glødetab på 1,68% indikerer en vis organisk aktivitet, ligesom en kraftig lugt af svovl fra sedimentet indikere nedbrydning af organisk materiale.

Det er ikke muligt at give et præcist bud på i hvor høj grad naturligt lejret sediment og kohæsivitet modvirker hinanden på baggrund af de foretagne undersøgelser, lige som graden af biologisk betinget sammenkitning heller ikke kan vurderes. Shields-diagrammet kan dog stadig bruges til at give et overordnet bud på sammenhængen mellem sediment og dynamik, resultaterne må blot ikke opfattes som mere end netop det – en overordnet sammenhæng.

Generelt om de hydrodynamiske forhold i Grønsund.

Grønsund er en del af det samlede system af bælder og sund der forbinder Nordsøen og Kattegat med Østersøen. Strømningsforholdene i Grønsund er derfor stærkt influerede af vandudvekslingen mellem Kattegat og Østersøen. Vandudvekslingen kan deles op i tre primære faktorer: Tidevand, vindstuvning samt ferskvandsudstrømning i Østersøen.

Tidevandet giver anledning til en halv-døgnlig variation (periode = 12t 25m) i strømningsmønsteret med højeste hastigheder midt i flod -og ebbeperioden. Tidevandsbølgen forplanter sig fra Atlanterhavet gennem Nordsøen og Skagerrak ind i de indre danske farvande. Når bølgen når Grønsund er den dæmpet så meget, at forskellen mellem høj og lavvande ligger på omkring 25 cm. Det er derfor ikke forventeligt, at den tidevandsinducerede strøm vil være kraftig nok til at have større betydning for den lokale sedimenttransport.

Vindstuvning kan skabe store vandstandsforskelle mellem Kattegat og Østersøen. Det klassiske eksempel er en kraftig vestenvindssituation, hvor store mængder vand presse gennem Skagerrak ind i Kattegat, hvilket får vandstanden her til at stige kraftigt. Det skaber en stor vandstandsgradient mellem Kattegat og Østersøen, som må udlignes ved strømning gennem sund og bælder. Det er netop i sådanne situationer at man normalt vil forvente de største strømhastigheder, og dermed det største potentiale for erosion.

Ferskvandsudstrømningen til Østersøen beløber sig til ca. 470 km³ på årsbasis (Lund-Hansen et al. 1994). Det er en betydelig mængde, der har stor indvirkning på både strøm og salinitetsforhold langt op i Kattegat. Ferskvandet bliver dog tilført over lange perioder, og selv i vårflommen kan det ikke forventes, at de maksimale strømhastigheder målt i sund og bælder af den grund vil nå samme størrelsesorden som til eksempel ved vindstuvning.

Generelt om dataserien

Hvis der ses overordnet på dataserien, kan der defineres en ”normalsituation”, hvor der ikke er væsentlig vindstuvning eller bølgeaktivitet. Her bliver strømningsforholdene domineret af tidevandet, og den karakteristiske vandstandsvariation med periode på godt 12 timer kan ses. Strømstyrken kulminerer omkring 25 cm/s, med en tendens til lidt kraftigere strøm i flodperioden (mod Østersøen). Generelt er der i normalsituationen stort set ingen suspenderet sedimenttransport.

En nærmere analyse af signalet for suspenderet sediment viser tre perioder hvor der er væsentlig suspenderet transport. Halvandet døgn, centreret omkring d. 9/9, halvandet døgn, centreret omkring d. 16/9 og 2 døgn, centreret omkring d. 8/10. Situationen d. 9/9 og situationen d. 8/10 kan betegnes som den klassiske vindstuvningssituation med

vestenvind, der skaber kraftig østgående strøm gennem Grønsund, mens der den 16/9 er kraftig vind fra øst, der skaber vindstuvning, bølgeaktivitet og vestgående strøm.

Analyse af dataserien

Dynamik i normalperioden

I normalperioden kulminerer den tidevandsdrevne strøm omkring 0.25 m/s. Det kan ses af tabellen til højre (tabel 4), at den resulterende friktionshastighed når op på ~ 0.01 m/s. Jævnfør Shield-diagrammet giver det en placering godt under transportkriteriet for $d_{50} = 0.117$ mm. Det stemmer også godt overens med den målte suspenderede sedimentkoncentration, der i normalperioden er tæt på nul. Det skal her bemærkes, at en stor del af sedimentet er så fint ($< \sim 0.170$ mm) at det vil gå direkte i suspension så snart der er energi nok til at flytte det fra bunden.

u m/s	uf m/s
0	0.00000
0.025	0.00112
0.050	0.00224
0.075	0.00336
0.100	0.00448
0.125	0.00560
0.150	0.00673
0.175	0.00785
0.200	0.00897
0.225	0.01009
0.250	0.01121

Tabel 4. Sammenhørende værdier af strømhastighed (u) og friktionshastighed (uf). Beregnet efter metoden skitseret i teori afsnittet.

Dynamik i de tre perioder med væsentlig suspenderet transport

Vejrdata til brug ved analysen af de enkelte perioder er taget fra DMIs vejrarkiv, for stederne Aalborg Lufthavn og Abed på Lolland.

<http://www.dmi.dk/dmi/index/danmark/vejrarkiv.htm>

Vindstuvning fra vest – 9/9 og 8-9/10

Den 7. september er der middel-kraftig vestenvind over Danmark. Ved Aalborg lufthavn når vinden op på 8 m/s med stød op på 13 m/s. Ved Abed på Lolland når vinden op på 6 m/s stødende til 13 m/s. Vestenvinden presser vand gennem Skagerak ned i Kattegat, og videre gennem sund og bæltet ind i Østersøen. Dette skaber en østgående strømning, der sammenlagt med tidevandet får strømhastighederne til at kulminere omkring 0.5 m/s.

Fra shields-diagrammet ses at $u_f \sim 0.022$ m/s ligger et stykke over suspensionskriteriet for d_{50} . Det er dog bemærkelsesværdigt store værdier af suspenderet sediment der måles. Hastigheden når kun væsentligt over transportkriteriet i kort tid, og det er usandsynligt at de målte niveauer af suspenderet sediment kan være eroderet lokalt. En nærmere analyse viser, at toppen af suspenderet sediment er sammenfaldende med, at der passerer en stor vandmasse fra Smålandsfarvandet ind i Grønsund. (se figur 3). Følges vandmassen vej i tiden efter starten af den høje suspenderede sedimentkoncentration ses, at den suspenderede sedimentkoncentration går mod nul netop som vandmassen er passeret tilbage gennem Grønsund mod Smålandsfarvandet.

u m/s	uf m/s
0.275	0.01233
0.300	0.01345
0.325	0.01457
0.350	0.01569
0.375	0.01681
0.400	0.01793
0.425	0.01906
0.450	0.02018
0.475	0.02130
0.500	0.02242
0.525	0.02354
0.550	0.02466
0.575	0.02578
0.600	0.02690

Det er altså en rimelig antagelse, at den målte suspenderede sedimentkoncentration i alt væsentlighed stammer fra suspension et sted i Smålandsfarvandet, og ikke fra lokal erosion. Yderligere styrkes denne antagelse af, at der i flere andre perioder, hvor strømmen kortvarigt når 0.5 m/s, ikke ses nævneværdig koncentrationer af suspenderet sediment.

Den 8. oktober er en gentagelse af situationen d. 8. september, blot med kraftigere vind over en længere periode. I løbet af den 7. oktober blæser det op, og ved Aalborg lufthavn når vinden 10 m/s stødende til 17 m/s fra vest. Ved Abed blæser det også kraftigt, og vinden når 13 m/s fra vest stødende til 18 m/s. I løbet af den 8. oktober aftager blæsten, men ligger stadig på 8 m/s fra vest stødende til 14 m/s ved Abed. Vindstuvningen skaber en kraftig indstrømning til Østersøen, og over en periode på 36 timer går strømmen udelukkende i retning sydøst. Tidevandet kan stadig ses som en overprägning på den vindstuvningsinducerede strøm. Igen bliver de maksimale strømhastigheder målt midt i flodperioden, hvor tidevandsstrømmen er stærkest og har samme retning som vindstuvningsstrømmen.

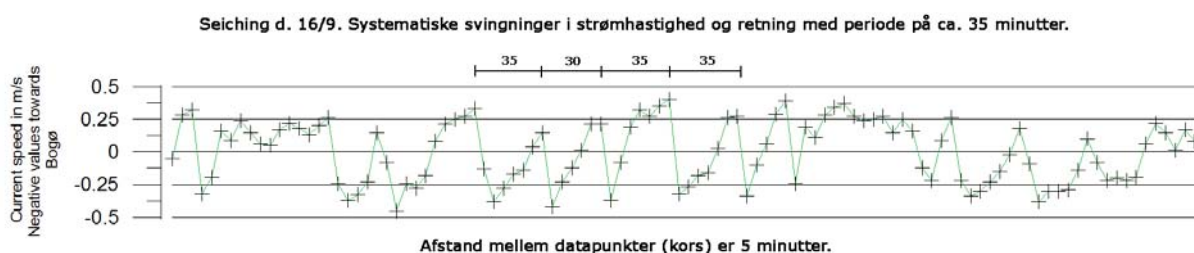
Som i situationen først i september når energiniveauet pænt over transportkriteriet for d_{50} . Signalet for suspenderet sediment er dog væsentligt forskelligt her. Der er 3 toppe i løbet af de 36 timer hvor strømhastigheden når over 0.5 m/s. (se figur 5) Mod den første top stiger suspenderet sediment koncentrationen til omkring 7 NTU. I området med lavere energi mellem første og anden top er koncentrationen stabil, indtil den mod anden top stiger yderligere til omkring 20 NTU. Dette niveau er stabilt indtil tredje top, hvor det falder brat. En lille top på 25 NTU optræder igen i midten af ebbeperioden efter tredje top.

En forsigtig tolkning er at der her er tale om delvis lokal erosion. Koncentrationen begynder allerede at stige i området med skiftende strømretning umiddelbart inden starten af første top. Dermed ser det ikke ud som i situationen d. 7. september, hvor det suspenderede sediment kommer ind med en vandmasse fra Smålandsfarvandet. Omvendt falder koncentrationen brat omkring kulminationen af tredje top. Dette bratte fald, samtidig med at energiniveauet er maksimalt, taler mod en væsentlig lokal erosion. En mulig forklaring på de observerede forløb kan være, at den første stigning stammer fra lokal erosion af tyndt lag nyligt aflejret (og ukonsolideret) sediment, mens den følgende suspenderede koncentration er ført med vandmassen fra Smålandsfarvandet.

Vindstuvning fra øst og bølgeaktivitet – 16/9

Den 16. september blæste der kraftigt fra østsydøst. Vinden nåede 10 m/s stødende til 17 m/s ved Abed. Det skaber en situation med kraftig bølgeaktivitet i de ydre dele af Grønsund. Vinden kan skabe en kraftig stuvningseffekt, der giver mulighed for store vandstands og strømvariationer inde i de centrale dele af Grønsund. Direkte bølgeaktivitet inde i de centrale dele af Grønsund vil dog være begrænsede. Dels er der kun et meget smalt ”vindue” af bølgeretninger det kan komme fobi indsnævringen ved Hårbølle havn, dels vil bølgerne fra Østersøen miste en stor del af deres energi over det lavvandede område ved Tolke Barre ud for Grønsund.

Strømretningen omkring d. 16 viser en serie af systematiske svingninger med en periode på godt en halv time. (se nedenstående figur). Fænomenet kaldes Seiching, eller egensvingninger. Der kan i dette tilfælde være tale om en dobbelteffekt. Dels kan den kraftige vind presse vand ind gennem indsnævringen ved Hårbølle, hvorefter vandet forplanter sig som en stående bølge ind gennem bassinet mellem Bogø og Falster. Dels kan vindens påvirkning af vandoverfladen i selve bassinet skabe vindstuvning i den ene ende af bassinet, der ved ændring i vindhastighed eller retning vil skabe en retur bølge der skvulper frem og tilbage gennem bassinet.



Figur 8. Eksempel på seiching under anden periode med høj suspenderet sedimentkoncentration.

Idet seicher opfører sig fysisk som bølger, kan svingningsperioden anslås efter følgende formel (Lund-Hansen et al. 1994):

$$T = \frac{2 * L}{\sqrt{g * h}}$$

Hvor: T = svingningsperioden (s)
L = Bassinlængden (m)
g = tyngdeaccelerationen (m/s²)
h = middeldybden af bassinet (m)

Under antagelse af en middeldybde i bassinet på 15 meter, kan formlen løses med henblik på L ved brug af den observerede svingningstid på ~35 minutter:

$$L = \frac{2100 * \sqrt{9.82 * 15}}{2} \approx 12.7 km$$

Dette svarer pænt til dimensionerne af bassinet mellem Hårbølle og Sortsø gab. Seiching effekten er i øvrigt noget, der kan ses flere steder i datasættet, men på intet tidspunkt så udtalt som d. 16/9.

Den suspenderede sedimentkoncentration starter med at stige nogen tid inden Seiching effekten starter. Stigningen sker umiddelbart i forlængelse af en vestgående strømning, hvilket indikerer at det observerede suspenderede sediment er ført med en vandmasse fra de ydre dele af Grønsund. Det må da også i situationen med kraftig østenvind og bølgeaktivitet forventes, at der suspenderes store mængder sediment i den ydre lavvandede eksponerede del af Grønsund. I det meste af perioden med høj suspenderet sedimentkoncentration er netto-strømmen svagt vestgående, hvilket giver en løbende tilførsel af suspenderet sediment til de indre dele af sundet. Samtidig sikrer de kraftige seicher en høj dynamik i de indre dele, hvilket er med til at holde de store mængder tilført sediment i suspension.

Den suspenderede sedimentkoncentration falder igen et stykke tid efter den kraftige bølgeaktivitets ophør. Den stadig vestgående strøm fører en ny og koldere vandmasse ind fra Østersøen, uden væsentligt indhold af suspenderet sediment. Igen ser størstedelen af de suspenderede sediment ud til at stamme fra eksterne kilder. Det kan ikke afvises at dynamikken dannet ved seiching også kan have skabt nogen lokal erosion, men da den målte strømhastigheden ikke når meget over 0.3 m/s ($u_f \sim 0.013$) i perioden, er det jævnfør shields-kurven usandsynligt at der har været tale om en væsentlig effekt.

Konklusion

Den teoretiske sammenhæng mellem den aktuelle kornstørrelse og dynamikken i shields-diagrammet viser, at strømhastigheden skal nå over ca. 0.3 m/s før sedimentet, udtrykt ved d_{50} , kan begynde at eroderes. Hertil skal lægges, at kohæsivitet og biofilm yderligere kan hæve den krævede værdi. Måleserien viser, at strømhastigheden i perioder med primært tidevandsgenereret strøm når ca. 0.25 m/s, mens den i perioder med vind- og bølgestuvning når ca. 0.5 m/s. En sammenligning af hastigheden med signalet for suspenderet sediment viser imidlertid ikke er entydigt billede. Perioder med høj sedimentkoncentration er sammenfaldende med perioder med høj dynamik, men omvendt er der flere episoder med høj dynamik hvor der ingen sedimenttransport er. En nærmere analyse af situationerne med høj koncentration af suspenderet sediment viser, at den målte sedimentkoncentration primært stammer fra eksterne kilder – erosion i Smålandsfarvandet og de ydre dele af Grønsund mod Østersøen.

Konklusionen bliver derfor, at der ikke i måleperioden er væsentlig lokal erosion. Da måleperioden samtidig er repræsentativ for så vidt at den indeholder begge de situationer hvor man normalt vil forvente højest dynamik i Grønsund, kan konklusionen om ringe erosion med en vis ret antages at gælde hele året. Her skal naturligvis tages forbehold for at de 18 m/s fra vest der optrådte som højeste vindhastighed ikke svarer til den maksimalt forventelige vindhastighed i løbet af året i Danmark, hvorfor en kraftigere vindstuvningseffekt og dermed strømhastighed end den målte kan forekomme.

Det faktum at vraget er blotlagt betyder naturligvis at der alligevel lejlighedsvis må forekomme lokal erosion. Forklaringen her skal sandsynligvis søges i muligheden for frit bølgeindfald fra Østersøen.

Som det fremgår af figuren til højre er det en relativt smal åbning bølgerne skal passere igennem. Kombineret med det faktum at ebbedeltaet (dybde ca. 2 meter) foran Grønsund vil afbøde en del af bølgeenergien, er det kun i helt særlige tilfælde at store bølger vil nå de indre dele af sundet.

Der er altså tale om en lokalitet hvor der normalt ikke vil forventes nævneværdig erosion. Det skal dog tages forbehold for de ganske særlige vejr-situationer, hvor der kan opstå erosion. Vraget er derfor meget følsomt for ”tilfældige” variationer i vejret fra år til år. Man kan tænke sig en årrække med dynamiske forhold, som i den målte dataserie, hvor der stort set igen erosion finder sted, efterfulgt af en periode med voldsom erosion, fordi vejret netop har ramt den præcist rigtige vindretning og styrke.



Figur 9

Foto fra Google Earth © over den østlige del af Grønsund. Bemærk ebbedeltaet der skærmer for en del af bølgeindfaldet fra sydøst.

Referencer

Shields, A. (1936). Anwendung der Aehnlichkeits-Mechanik und der Turbulensforschung auf die Geschiebebewegung. Preussische Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin.

Day, T.J. (1980). A study of initial motion characteristics of particles in graded bed material. Geol. Survey of Canada, Current Research, Part A, Paper 80-1A, p. 281-286. [Som refereret i Bartholdy (1991)]

Bartholdy, J. (1991). Sedimenttransport i strømmende vand. Geografisk Institut. 1991.

Lund-Hansen, L.C., Christiansen, C., Jürgensen, C., Richardson, K., Skyum, P. (1994). Basisbog i fysisk-biologisk Oceanografi. Gads Forlag. København.

Soulsby, R.L. (1997). Dynamics of marine sands. Thomas Telford. London.

Bartholdy J., Aagaard, T. (2000). Storm surge effect on a back-barrier tidal flat of the Danish Wadden Sea. In: Geo-Marine Letters, 2001, vol. 20.



Seabed Scour Control Systems Ltd

Harfreys Road, Harfreys Industrial Estate,
Great Yarmouth, Norfolk NR31 0LS, U. K.

Tel: + 44 (0)1493 443380 * * Fax: + 44 (0)1493 443390

E-Mail: info@sscsystems.com

Web Site: www.scourcontrol.co.uk

SEABED SCOUR CONTROL MATS

TYPE 12

ROLLED MAT INSTALLATION PROCEDURE

The procedure included is for installation of the Type 12 Mat (5m x 2.5m with 8 Safe Anchors). Installation of the Type 25 / 30 Mats is exactly the same but there are more anchors to be installed).

SSCS Doc: T12Instal.002 July, 1995.

SSCS ROLLED SCOUR CONTROL TYPE 12 MAT INSTALLATION PROCEDURE

- 1) A pre-dive meeting between the client representative and the diving Supervisor to discuss dive procedures and Work Scope is recommended (on occasions an SSCS supervisor can be provided if required).
- 2) Mat deployment will require Two (2) Divers in the water at the same time.
- 3) Diving equipment K.M.B. 18 or similar is recommended. Diver's head mounted camera is advisable for monitoring operation.
- 4) Moor the vessel over the work location, or proceed on duplex DP, inspect seabed and locate position at which leading edge of Mat is to be installed, and divers establish down lines at the required position of leading edge of Mat on the pipeline and as close as possible to Mat laying area.
- 5) Strobe lights could be used during night operations or bad visibility.
- 6) Test and lower hydraulic Gun and hose – if available with cyalume light sticks attached.
- 7) Divers to test hydraulic impact Gun and then set hose and Gun close to work area.
- 8) Remove outer black anti abrasion cover before placing Mats on the overside lowering crane. Do **NOT** remove anchor tie-wraps or the 6 banding straps holding the Mat tight. These are marked by **white** loops.
- 9) The weight of one Type 12 (2500mm x 5000mm) Mat with core is 100 kgs in air, overall length 5820mm - diameter 350mm.

(The weight of one Type 25 (5000mm x 5000mm) Mat with core is 140 kgs in air, overall length 5820mm - diameter 500mm; and the weight of one Type 30 (7500mm x 5000mm) Mat with core is 180 kgs in air, overall length 5820mm - diameter 550mm).
- 10) Attach core ends to down lines so that the Mat is correctly orientated in the direction of roll. Attach crane / derrick line to crane / mat slings / strops. Supervisor to give approval to launch Mat.

T12 ROLLED MAT INSTALLATION PROCEDURE (cont'd)

- 11) Lower Mat to 0.5m above the sea bed.
- 12) Divers to position themselves at each end of Mat and release crane slings - then position Mat in accordance with SSCS layout / installation instructions ready to drive anchors.
- 13) Each Mat has 3 direction indicating arrows showing the direction of roll.
- 14) Position the Mat with the 4 facing anchors upwards and cut tie-wraps holding anchors to Mat.
- 15) Set all of the first row of anchors approximately 12" - 18" (305mm – 430mm) from edge of Mat and using the hydraulic impact Gun, drive the 4 anchors in turn to the maximum 1000mm spigot depth.
Caution should be taken not to drive the spigot into any hard debris on the seabed as this could cause damage to the anchor and spigot. Replacement anchors with straps are stored in dive stage / bell / work basket together with spare spigots.
- 16) Diver to report position and maximum depth of each anchor driven to Supervisor.
- 17) Supervisor should monitor and record actual sequence of anchoring on Mat deployment sheet.
- 18) When all 4 front anchors of the first row have been driven cut the 6 banding straps marked by **white** bands. Then pull the rip cord to opening the white net. The Mat is now ready for rolling.
NOTE: The Mat should be pulled tight in the direction of roll by lifting and pulling the Metal Spool (Core) away from the centre line.
- 19) Keep impact Gun hydraulic hose in front of Mat to keep equipment and diver's hose free.
- 20) Roll out the Mat and the 2nd and final row of Safe Anchors will appear in clear plastic sleeves. Remove from the sleeves and drive each in turn to maximum depth of spigot 1m. Report to Dive Supervisor when each anchor has been completed.
- 21) As the Mat is rolled out a cover net or "Safe Net" will appear. Care should be taken not to catch Safe Net (cover net). When Mat is completely laid, Divers will find a Rip Cord attached to a small Marker Buoy, the Rip Cord is to activate Mat. The Rip Cord can be stored under Mat until needed.

T12 ROLLED MAT INSTALLATION PROCEDURE (cont'd)

22) Cut tie wraps holding Spool (Core) to Mat. Empty Spool is to be recovered and returned to SSCS base.

23) Repeat the above procedure for subsequent Mats.

24) The Mats must NOT be activated until ALL adjacent Mats have been installed to prevent Diver or ROV entanglement in the fronds. When Mats are activated, Safe Nets (cover nets) should be removed and recovered to the surface. Care should be taken that ROVs and their thrusters are kept clear of the fronds until such time as the sediment bank has built up over the fronds.

25) Recover hydraulic equipment after dive and wash with fresh water.

26) Make a video survey of the activated mats if visibility permits.

Mat Type 12 has 8 retention anchors.	} Additional
Mat Type 25 has 16 retention anchors.	} Anchors may
Mat Type 30 has 24 retention anchors.	} be attached.

27) Average Installation times for each of the Standard Mats (after installation of the 1st Mat):

i)	Type 12 Mat	15 - 20 mins
ii)	Type 25 Mat	25 - 30 mins
iii)	Type 30 Mat	40 - 45 mins

To these times must be added time for any necessary vessel re-positioning movements at or round an installation site.

Seabed Scour Control Systems Limited
Harfreys Road, Harfreys Industrial Estate,
Great Yarmouth, Norfolk NR31 0LS, U. K.
Tel : +44 (0)1493 443380 * * Fax : +44 (0)1493 443390
E-mail : info@sscscsystems.com * * Web Site : www.scourcontrol.co.uk

Seabed Scour Control Systems Limited

SEABED SCOUR CONTROL MAT

TYPE 12 MAT

MAT INSTALLATION SEQUENCE

FIGURE NO

- 1 Detail showing Scour Control Mat packed for travel / storage
- 2 Detail showing Scour Control Mat prepared for installation
- 3 Detail showing deployment rigging for pipeline scour protection
- 4 Detail showing installation start position - four end anchors driven
- 5 Detail showing Mat unrolling and subsequent anchor deployment
- 6 Detail showing anchor attachment points and subsequent driven anchor positions

Note : These Figures may be Faxed or sent by Post.

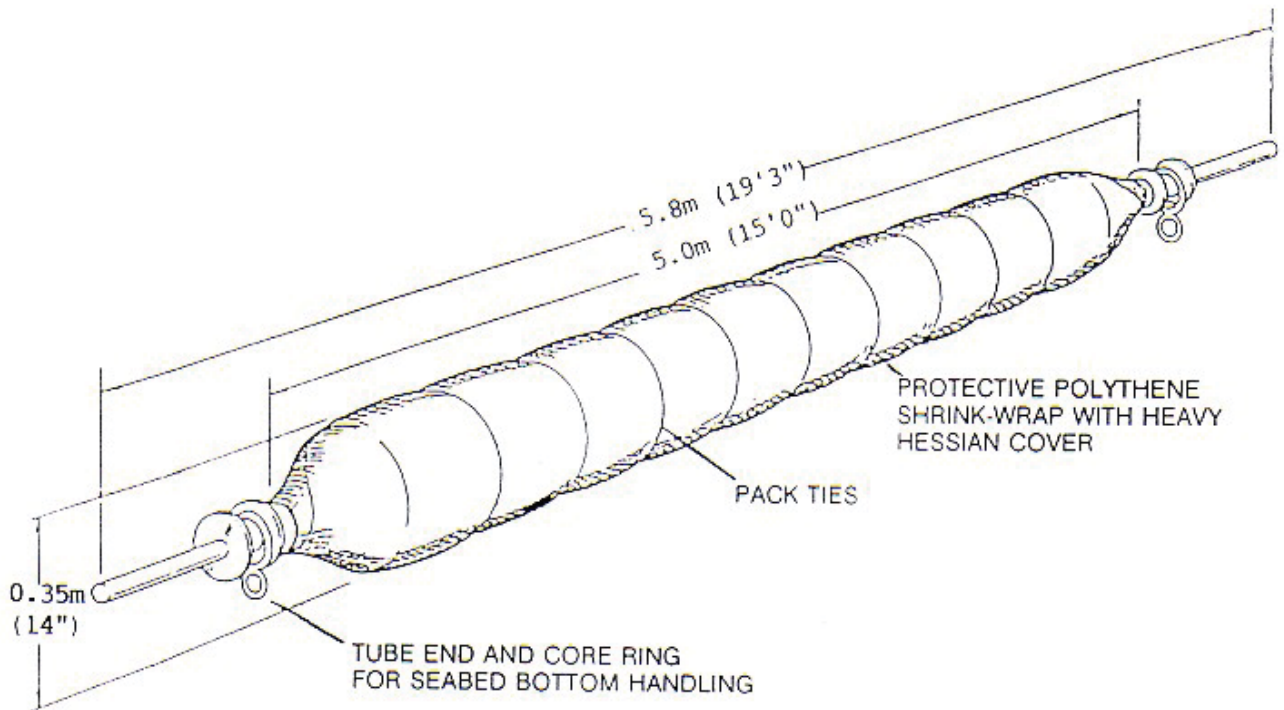
<u>CLIENT</u>		SIG	DATE	Seabed Scour Control Systems Limited
	<u>PROJECT</u>	DRG'N		
		APPV'D		
		REV.		

DRG TITLE _____

DRG NO. _____

SEABED SCOUR CONTROL MAT
TYPE 12

PACKED TRAVEL/STORE MODE



SHIPPING DETAIL/GROSS AIR WEIGHT = 100Kg(220lb)
CUBE = LENGTH X DIAMETER

FIGURE 1

REVISIONS

ALL DESIGNS PATENTS & COPYRIGHTS
THE PROPERTY OF SSCS LTD.

<u>CLIENT</u>		SIG	DATE	Seabed Scour Control Systems Limited
	DRG'N			
	APPV'D			
<u>PROJECT</u>	REV.			

DRG TITLE _____

DRG NO. _____

SEABED SCOUR CONTROL MAT
TYPE 12

PRE-INSTALLATION: PROTECTIVE HESSIAN WRAP AND BLACK POLYTHENE COVER REMOVED TOPSIDE IMMEDIATELY BEFORE LOWERING TO SEABED

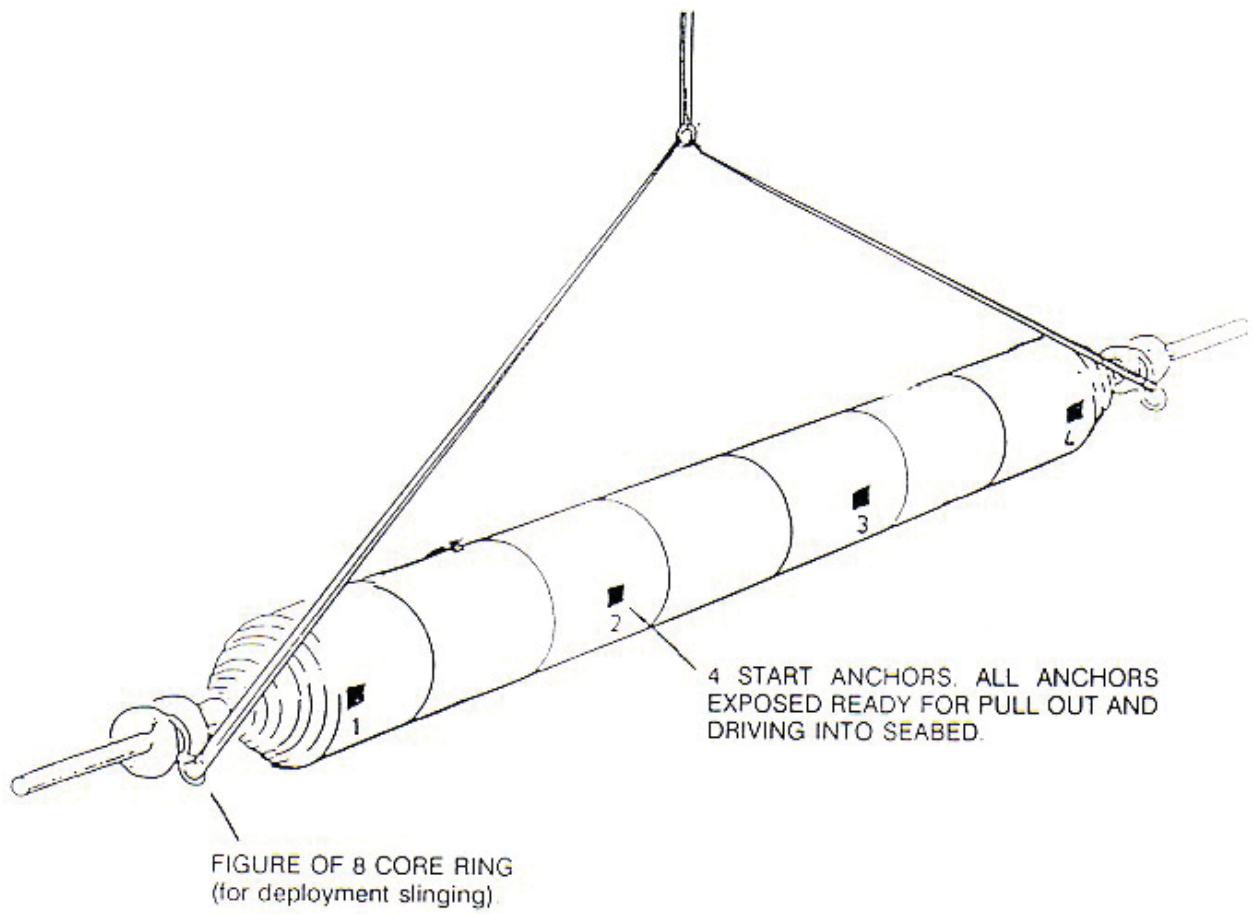


FIGURE 2

REVISIONS

ALL DESIGNS PATENTS & COPYRIGHTS THE PROPERTY OF SSCS LTD.

<u>CLIENT</u>		SIG	DATE	Seabed Scour Control Systems Limited
	DRG'N			
	APPV'D			
<u>PROJECT</u>	REV.			

DRG TITLE _____

DRG NO. _____

SEABED SCOUR CONTROL MAT
TYPE 12

DEPLOYMENT FROM VESSEL

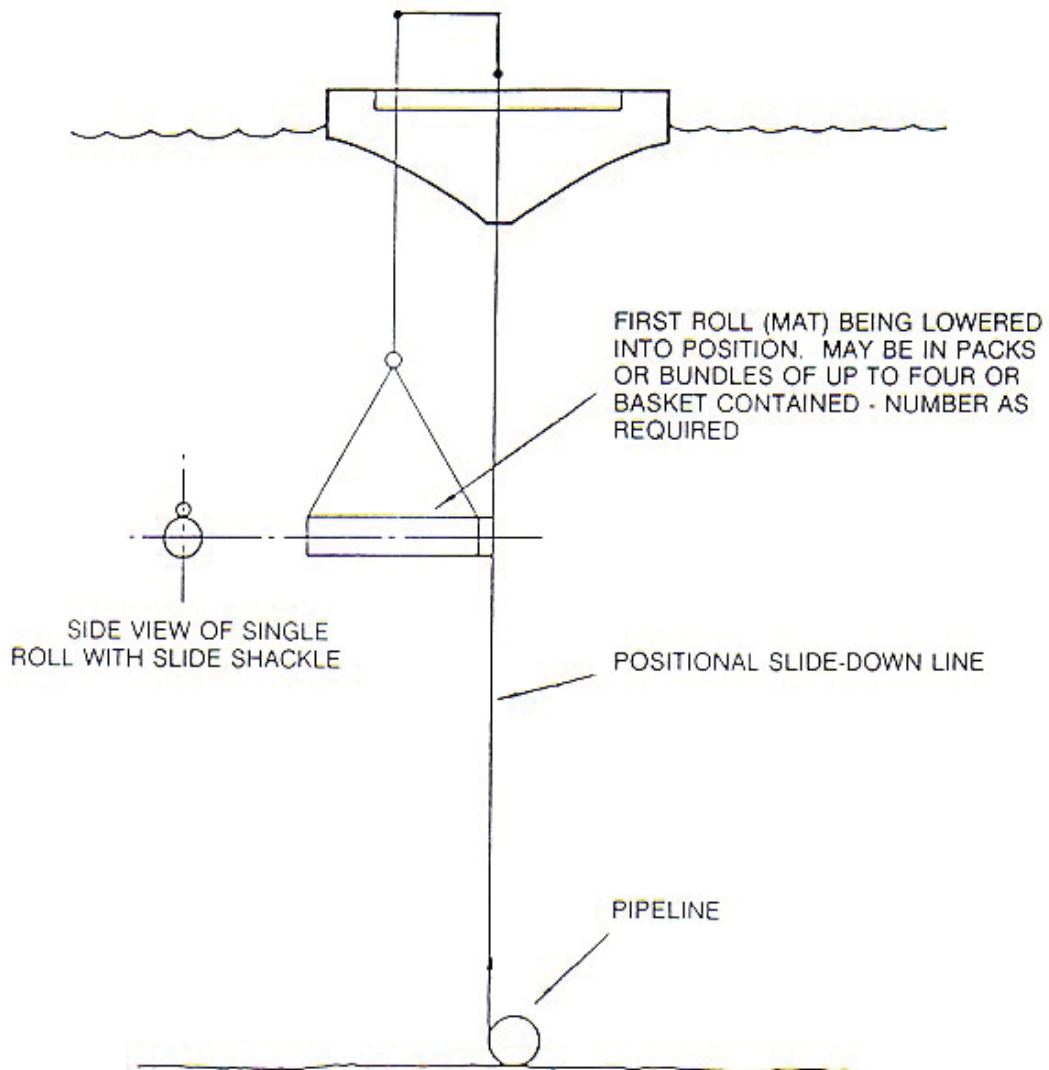


FIGURE 3

REVISIONS

ALL DESIGNS PATENTS & COPYRIGHTS
THE PROPERTY OF SSCS LTD.

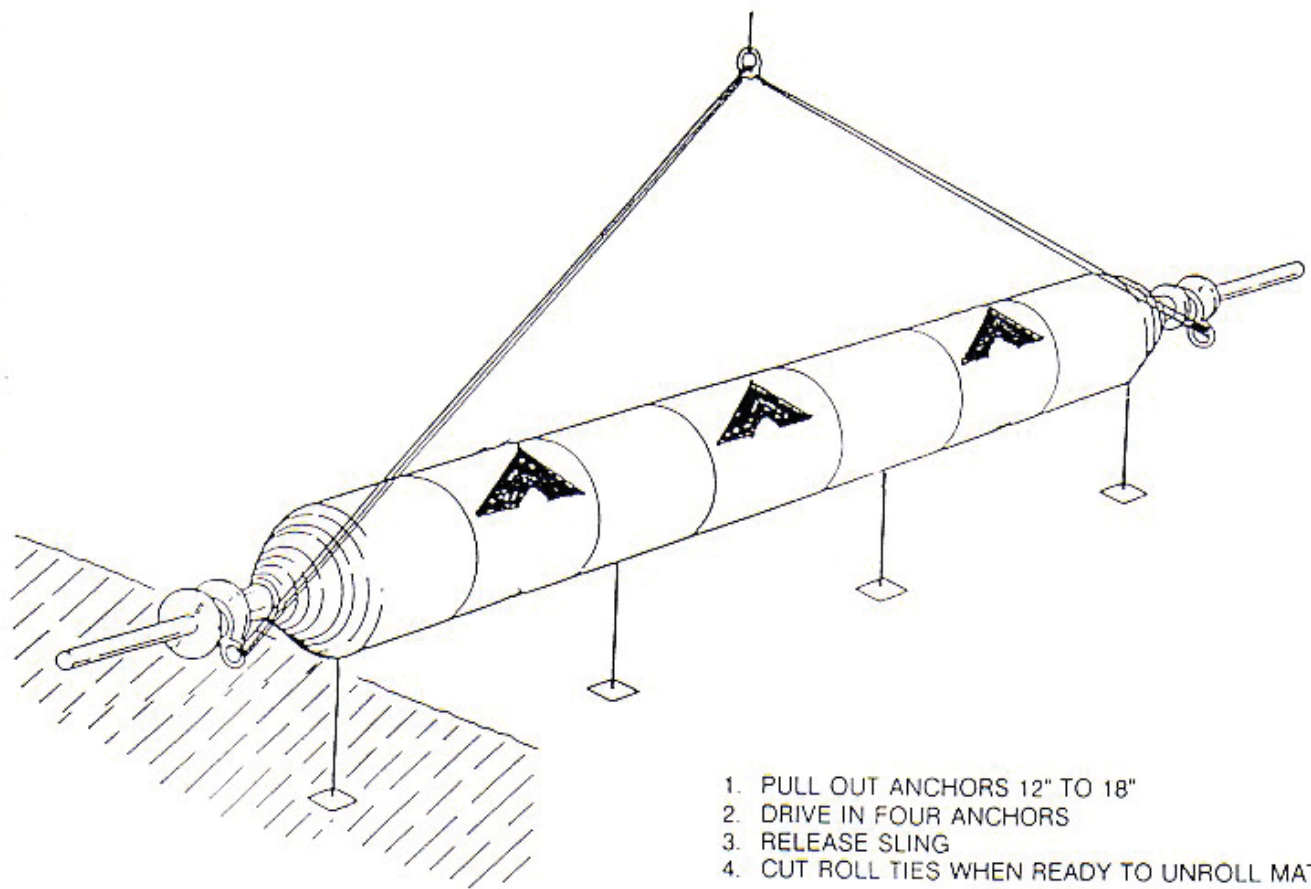
<u>CLIENT</u>		SIG	DATE	Seabed Scour Control Systems Limited
	DRG'N			
	APPV'D			
<u>PROJECT</u>	REV.			

DRG TITLE _____

DRG NO. _____

SEABED SCOUR CONTROL MAT
TYPE 12

SEABED START POSITION



1. PULL OUT ANCHORS 12" TO 18"
2. DRIVE IN FOUR ANCHORS
3. RELEASE SLING
4. CUT ROLL TIES WHEN READY TO UNROLL MAT

FIGURE 4

REVISIONS

ALL DESIGNS PATENTS & COPYRIGHTS
THE PROPERTY OF SSCS LTD.

<u>CLIENT</u>		SIG	DATE	Seabed Scour Control Systems Limited
	DRG'N			
	APPV'D			
<u>PROJECT</u>	REV.			

DRG TITLE

DRG NO.

SEABED SCOUR CONTROL MAT
TYPE 12

MAT END ANCHORED READY FOR UNROLLING AND DRIVING IN REMAINING END ANCHORS

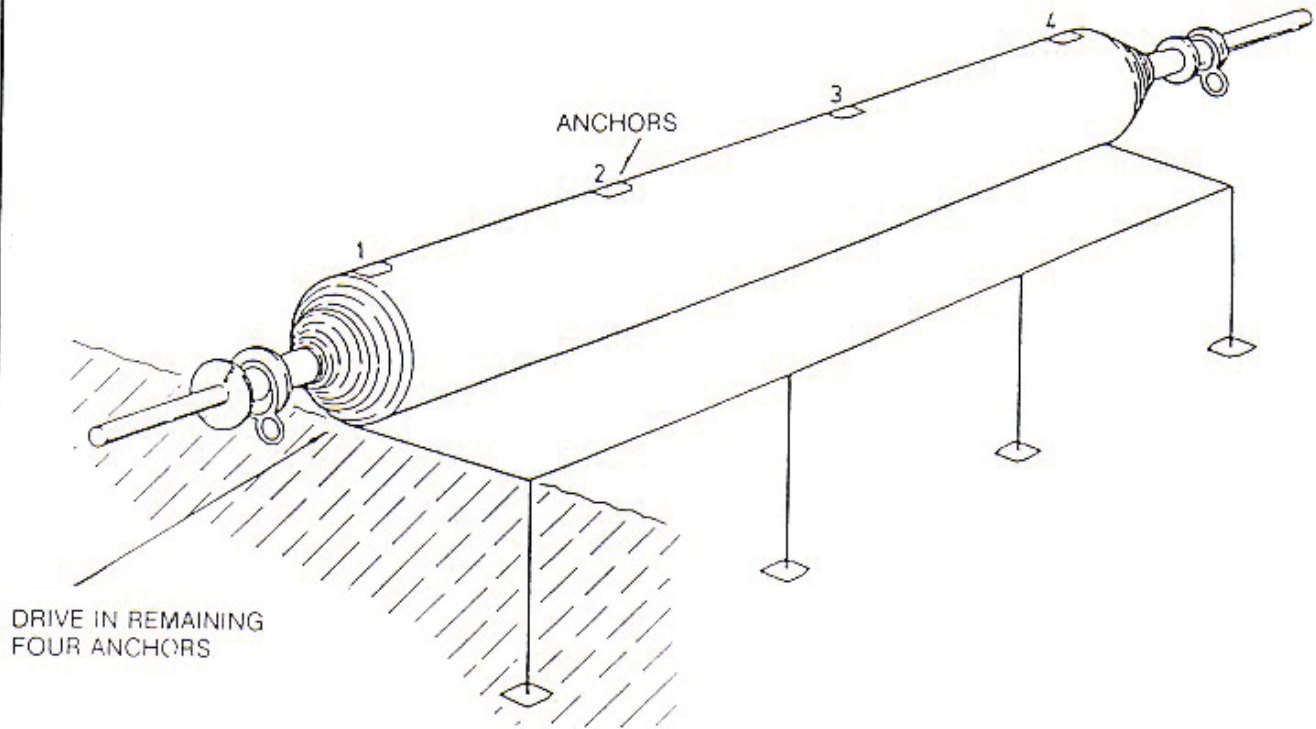


FIGURE 5

REVISIONS

ALL DESIGNS PATENTS & COPYRIGHTS
THE PROPERTY OF SSCS LTD.

CLIENT

PROJECT

DRG'N
APPV'D
REV.

SIG

DATE

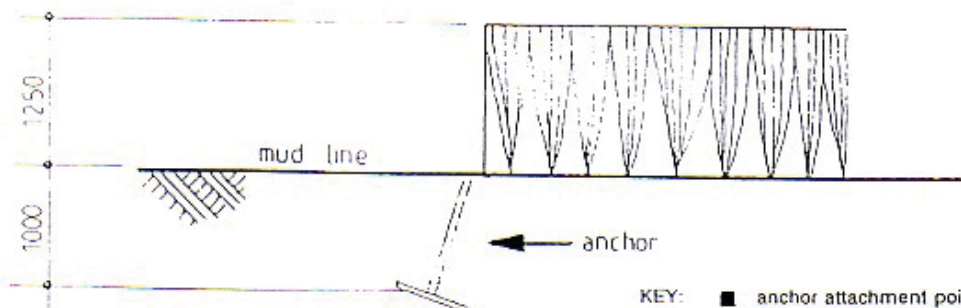
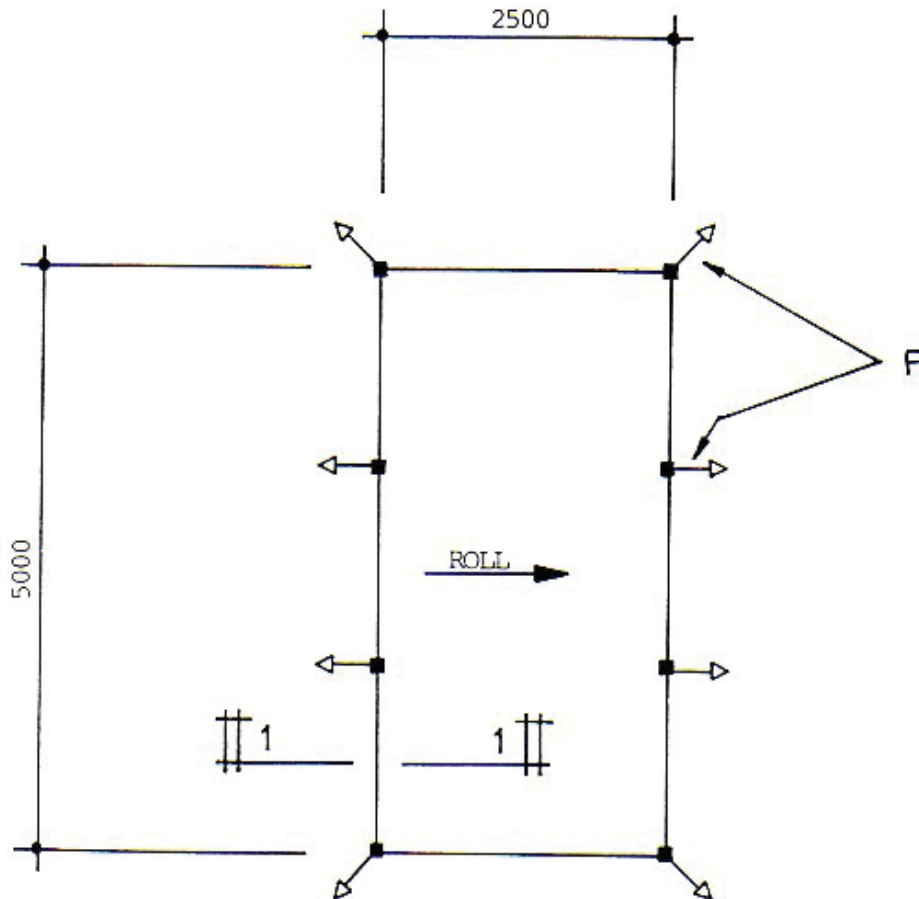
[Signature]
15/6/00

**Seabed Scour
Control Systems
Limited**

DRG TITLE

DRG NO.

**SEABED SCOUR CONTROL MAT
TYPE 12**



KEY: ■ anchor attachment point
 ▲ position of driven 1 tonne anchor
 P pull out distance of anchor prior to driving:
 305mm (12") to 450mm (17.75")

REVISIONS

NOT TO SCALE

SECTION 1-1

ALL DESIGNS PATENTS & COPYRIGHTS
THE PROPERTY OF SSCS LTD.

MAT INSTALLATION

FIGURE 6

Bilag 3 Fotoliste

J.nr. 2307

Hårbøllebro

Billednummer	Billedtekst	Fotograf
2307-cd-0001	Dårligt vejr i Kikhavn	David Gregory
2307-cd-0002	Dårligt vejr i Kikhavn	David Gregory
2307-cd-0003	Dårligt vejr i Kikhavn	David Gregory
2307-cd-0004	Wotan i Kikhavn	David Gregory
2307-cd-0005	Dårligt vejr i Kikhavn	David Gregory
2307-cd-0006	Dårligt vejr i Kikhavn	David Gregory
2307-cd-0007	Søgræsmåtte på kajen i Hårbølle havn	David Gregory
2307-cd-0008	Søgræsmåtte på kajen i Hårbølle havn	David Gregory
2307-cd-0009	Søgræsmåtte på kajen i Hårbølle havn	David Gregory
2307-cd-0010	Søgræsmåtte på kajen i Hårbølle havn. Forankringsplade	David Gregory
2307-cd-0011	Søgræsmåtte på kajen i Hårbølle havn.	
2307-cd-0012	Søgræsmåtte i Hårbølle havn	
2307-cd-0013	Søgræsmåtte bæres ombord på "Dyndspringeren" i Hårbølle havn. Morten Johansen	
2307-cd-0014	Søgræsmåtte bæres ombord på "Dyndspringeren" i Hårbølle havn. Morten Johansen	
2307-cd-0015	Søgræsmåtte bæres ombord på "Dyndspringeren" i Hårbølle havn. Morten Johansen	David Gregory
2307-cd-0016	Søgræsmåtte ombord på "Dyndspringeren" i Hårbølle havn.	David Gregory
2307-cd-0017	Søgræsmåtte placeret på bunden. Før udrulning	David Gregory
2307-cd-0018	Søgræsnet forankres i bunden. Dykker: Jørgen Dencker	David Gregory
2307-cd-0019	Søgræsnet forankres i bunden. Dykker: Jørgen Dencker	David Gregory
2307-cd-0020	David Gregory, Jørgen Krumbæk og Morten Johansen på "Dyndspringeren"	David Gregory
2307-cd-0021	Pæl med træprøver	David Gregory
2307-cd-0022	Pæl med træprøver	David Gregory
2307-cd-0023	Pæl med træprøver	David Gregory
2307-cd-0024	Dykker: Morten Johansen på vej i vandet fra "Dyndspringeren". Lineholder: Jørgen Krumbæk	David Gregory
2307-cd-0025	Dykker: Morten Johansen på vej i vandet fra "Dyndspringeren". Lineholder: Jørgen Krumbæk	David Gregory
2307-cd-0026	Strømmåler på "Dyndspringeren"	David Gregory
2307-cd-0027	Kristiane Strætkvern i dykkerdragt på "Dyndspringeren"	David Gregory
2307-cd-0028	Kristiane Strætkvern på "Wotan"	David Gregory
2307-cd-0029	Kristiane Strætkvern på "Wotan"	David Gregory
2307-cd-0030	Dårligt vejr i Klinthavn	David Gregory
2307-cd-0031	Søgræsnet	David Gregory
2307-cd-0032	Strømmåler	David Gregory
2307-cd-0033	Søgræsmåtte på bunden	David Gregory
2307-cd-0034	Søgræsmåtte på bunden	David Gregory
2307-cd-0035	Søgræsmåtte på bunden	David Gregory
2307-cd-0036	Søgræsmåtte på bunden	David Gregory

Billednummer	Billedtekst	Fotograf
2307-cd-0037	Måling	David Gregory
2307-cd-0038	Måling	David Gregory
2307-cd-0039	Måling	David Gregory
2307-cd-0040	Måling	David Gregory
2307-cd-0041	Sandsække ved vraget	David Gregory
2307-cd-0042	Sandsække ved vraget	David Gregory
2307-cd-0043	Pæl med træprøver på bunden	David Gregory
2307-cd-0044	Pæl med træprøver på bunden	David Gregory
2307-cd-0045	Strømmåler på bunden	David Gregory
2307-cd-0046	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0047	Strømmåler på bunden	David Gregory
2307-cd-0048	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0049	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0050	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0051	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0052	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0053	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0054	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0055	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0056	Søgræsmåtte udrullet på bunden	David Gregory
2307-cd-0057	Strømmåler	David Gregory
2307-cd-0058	Strømmåler	David Gregory
2307-cd-0059	Strømmåler	David Gregory
2307-cd-0060	Søgræsmåtte	David Gregory
2307-cd-0061	Søgræsmåtte	David Gregory
2307-cd-0062	Søgræsmåtte	David Gregory
2307-cd-0063	Søgræsmåtte, forankring	David Gregory
2307-cd-0064	Søgræsmåtte, forankring	David Gregory