

Trykudligningsmoduler - skaber brede ligevægtsprofiler



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

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

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

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

Sandstranden

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

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

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

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

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

q = Ferskvandsflow pr. meter

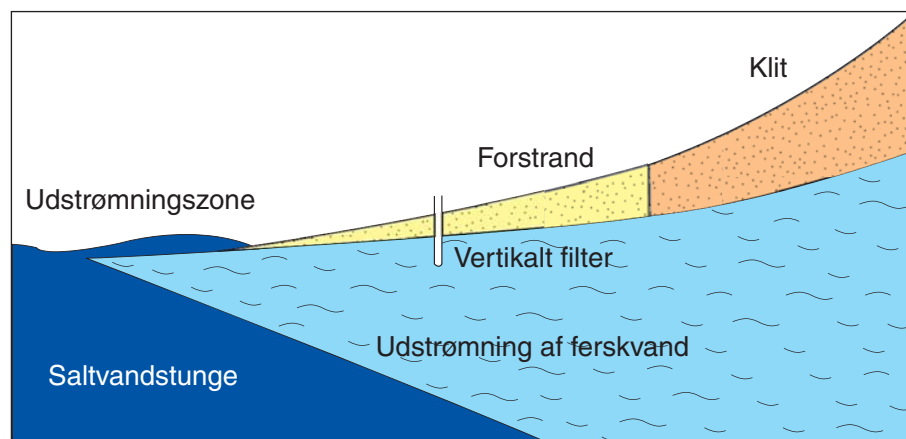
P_s = Densitet af saltvand

P_f = Densitet af ferskvand

K = Hydraulisk ledningsevne

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

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



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

Et eksempel fra Malaysias østkyst, Teluk Chempedak



Strandprofil fra Malaysia. Man ser meget tydeligt de impermeable lag (slam) i stranden som sorte striber. Udsnit: ca. 75 cm gange 1,0 meter (Foto: Poul Jakobsen)



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



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

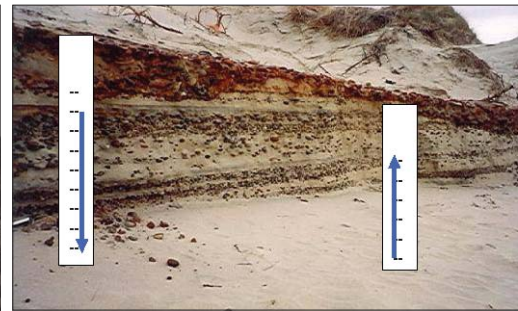
To eksempler fra Vestkysten, Hvide Sande og Gl. Skagen



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



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



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

Lagene i stranden

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

Disse lag kan også være meget tynde

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

Disse meget tynde lag finder man over

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

Tryksonderne

For at dokumentere funktionen af SIC-sy-

Vi borer over hele landet..!

- Kerneboringer
- Hulsneglsboringer
- Højslevboring
- Tørboring
- Luftslylleboring
- Skylléboring

- ring og hør nærmere...



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

100 år

- din sikkerhed for erfaring og kompetence...

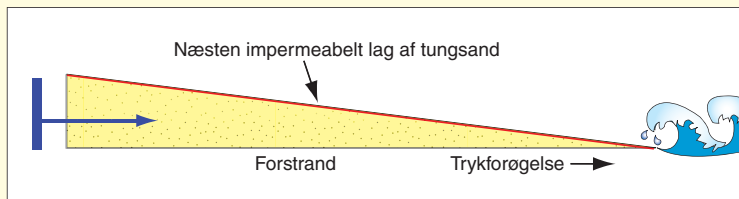
Tungsand på stranden på Vestkysten



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



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



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



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



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

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

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

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



vi gør din jord grøn igen!

meldgaard tilbyder et totalkoncept til jordrens.

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

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

meldgaard MILJØ & GENBRUG A/S

j o r d r e n s

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

Installation i stranden.

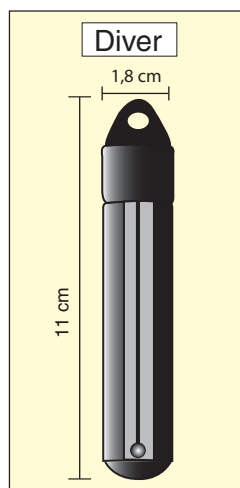
Testinstallationen blev etableret på stranden 5 km syd for Hvide Sande havn i 3 rækker, hvor sensor nr. 1 i alle tre rækker blev placeret i kote 0, og der er 10 m mellem sensorerne ind mod klitten.

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

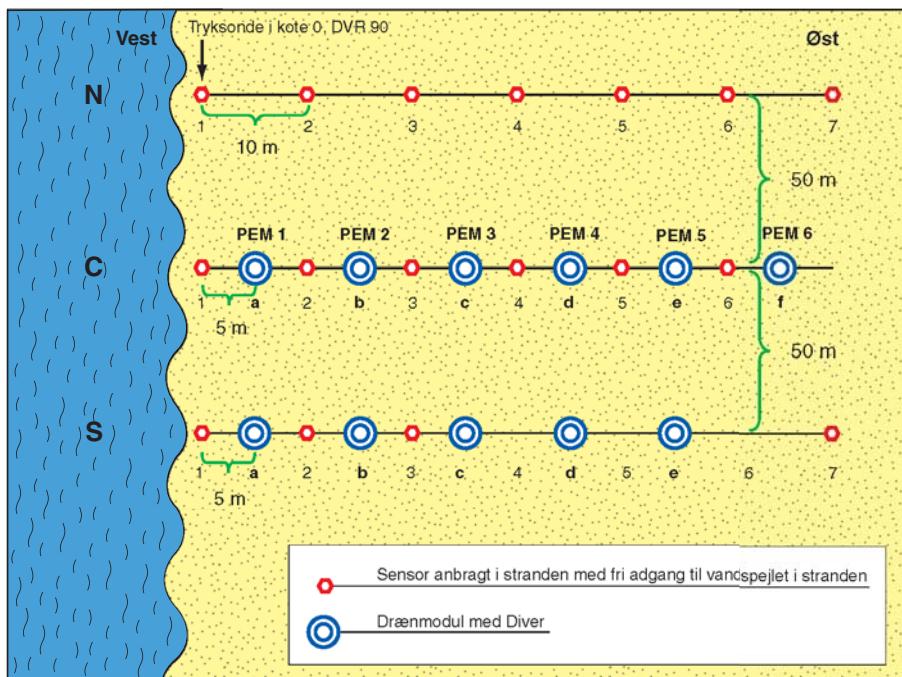
Alle dataloggere blev låst rent tidsmæssigt og målte vandstanden for hver 2 min.

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

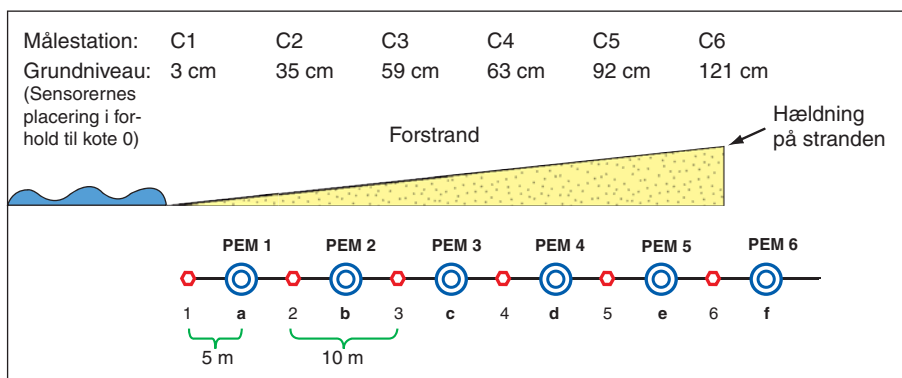
Den sydlige række var reserveret til studerende fra RUC og DTU, hvis installation af data-loggere mv. desværre slog fejl, og eleverne stod derfor efterfølgende med deres projektvejleder uden data efter en uges ophold på Vestkysten.



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



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



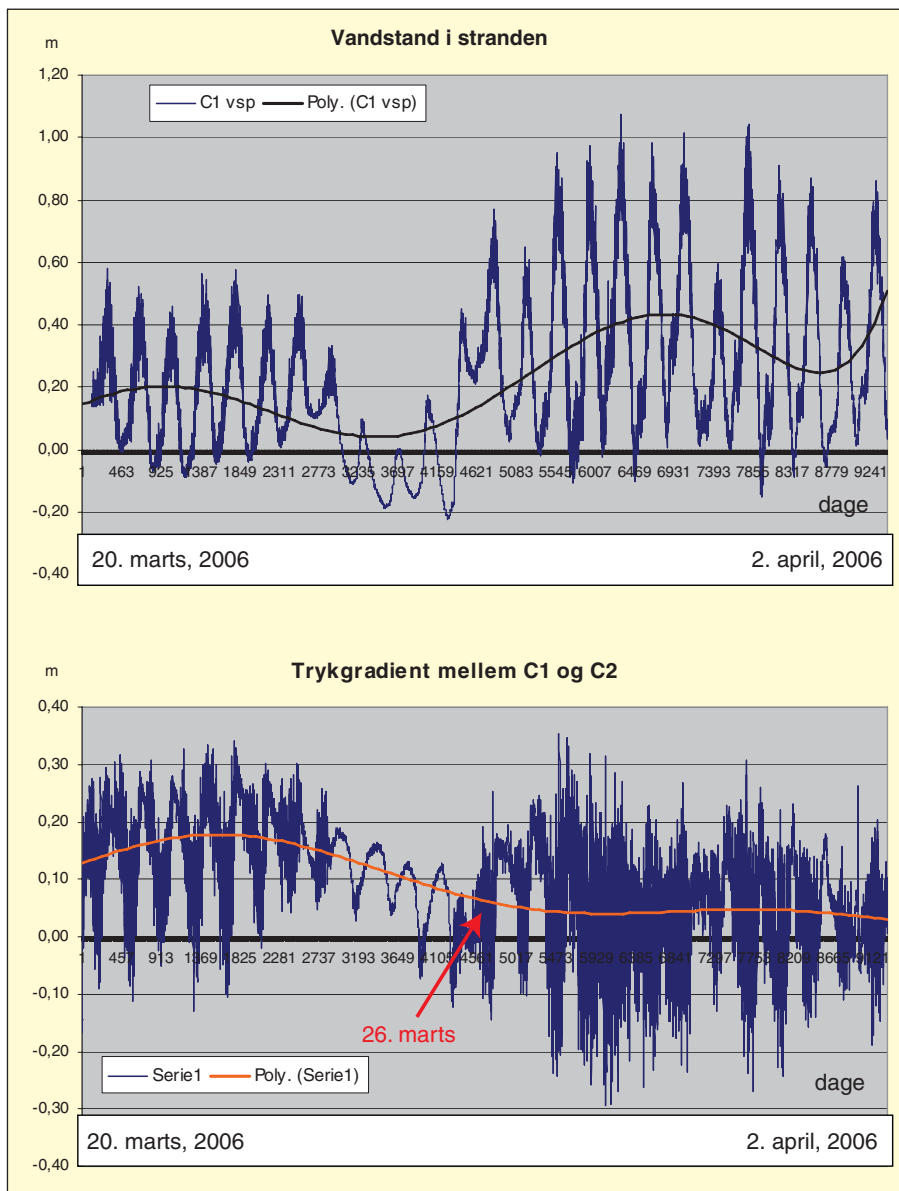
Trykkudligningsmodulerne med sensorer er betegnet PEM 1 - 6. (Grafik: UVH modificeret efter Poul Jakobsens forlæg)



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



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



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

Evaluering

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

Vejrforholdene

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

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

Samtidig fandt en væsentlig rejsning i middelvandstanden på kysten sted.

Vi kan desværre ikke bruge data fra

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

Datakontrol

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

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

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

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

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

NYHED!

Geologisk set

Det sydlige Jylland

En beskrivelse af områder af national geologisk interesse



Engelsk summary
Deutsche Zusammenfassung




Miljøministeriet • Skov- og Naturstyrelsen

Geologisk set

Det sydlige Jylland

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

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

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

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

Tidligere titler i serien kan alle stadig leveres:

Fyn og øerne - Kr. 180
Bornholm - Kr. 180
Det mellemste Jylland - Kr. 220
Det nordlige Jylland - Kr. 180
Alle priser er ex moms

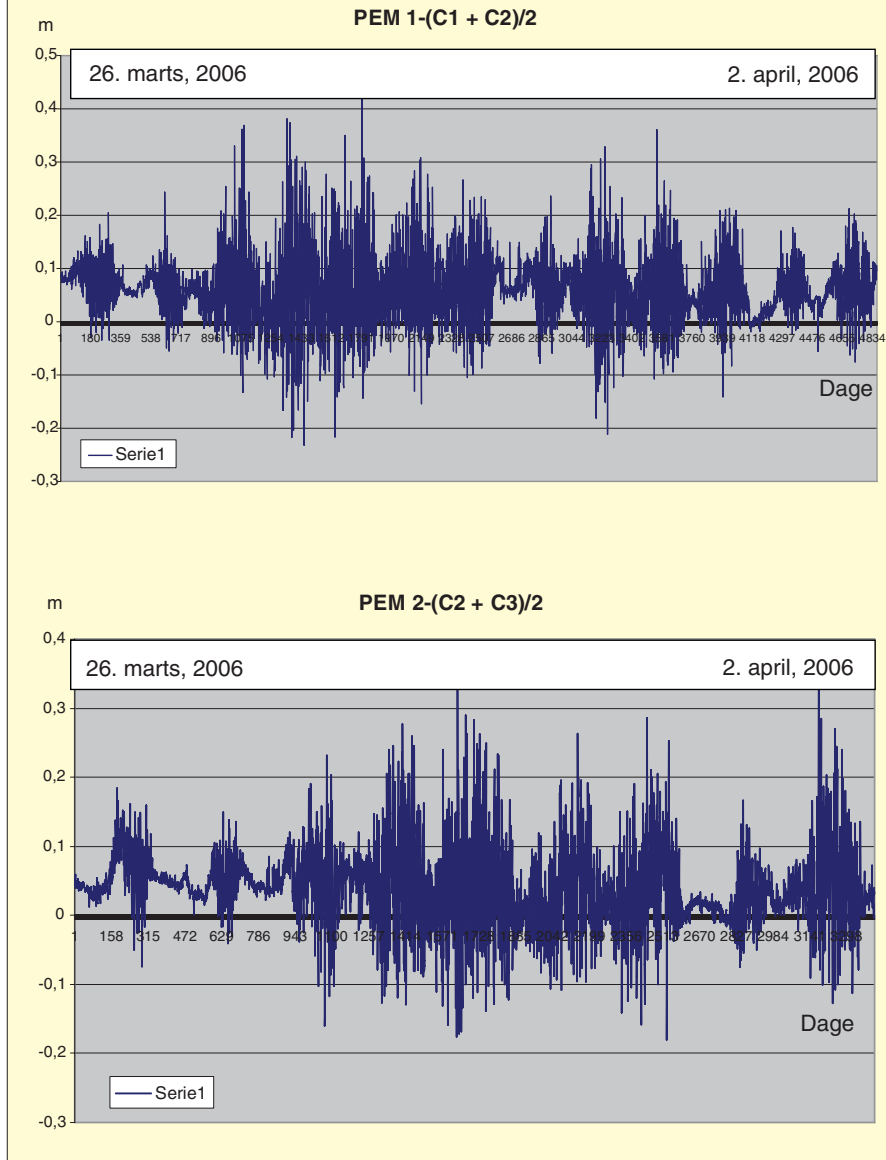
Bestil og få vejledning: 6344 1683
 Webbutik: www.geografforlaget.dk
 Mail: go@geografforlaget.dk



Geologisk tidsskala

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

Trykudligningsmodulerne under vand ved højvande



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

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

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

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

Man ser meget tydeligt tidevandsændringerne i målingerne.

Analysemetode

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

Efterfølgende har vi analyseret dræ-

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

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

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

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

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

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

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

Analysér

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

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

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

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

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

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

Trigge

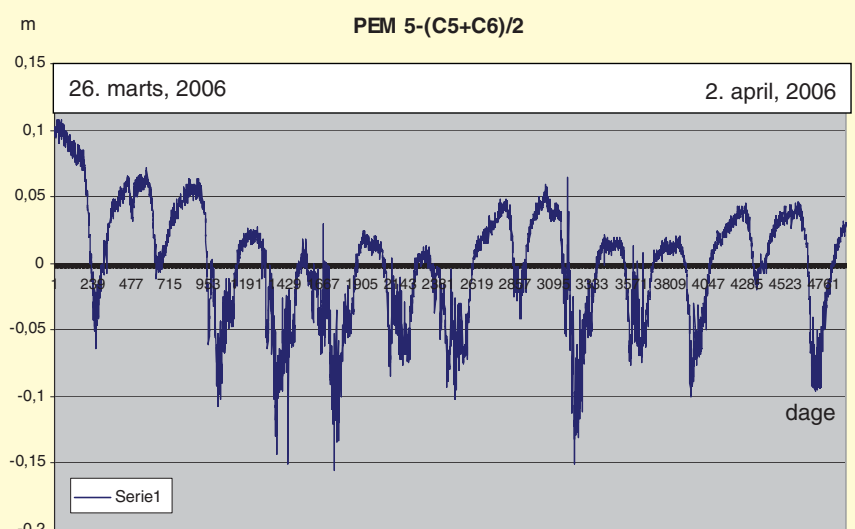
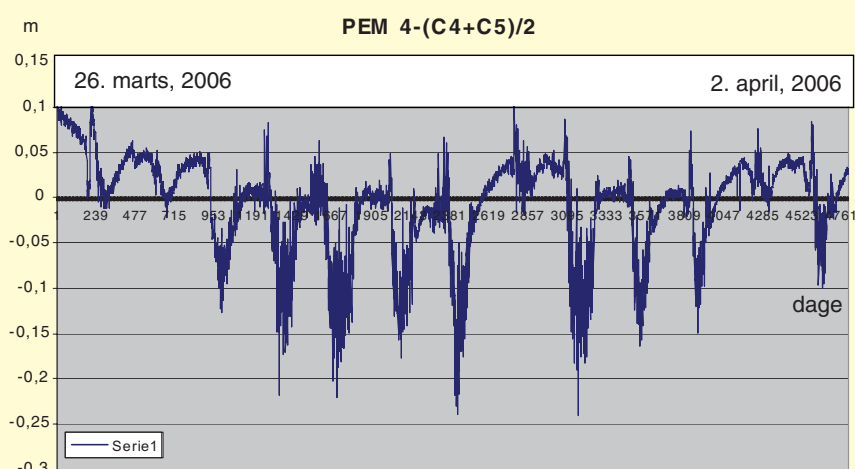
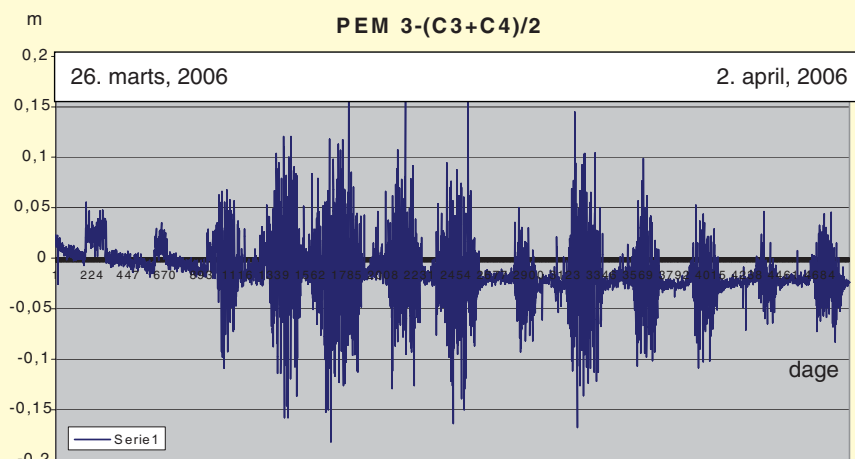
Modulerne virker som en trigger, der holder processerne i gang, når de mere eller mindre impermeable lag er gennembrudt med modulerne.

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

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

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

Trykudligningsmoduler placeret på tør del af stranden



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

Barometertrykket

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

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



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

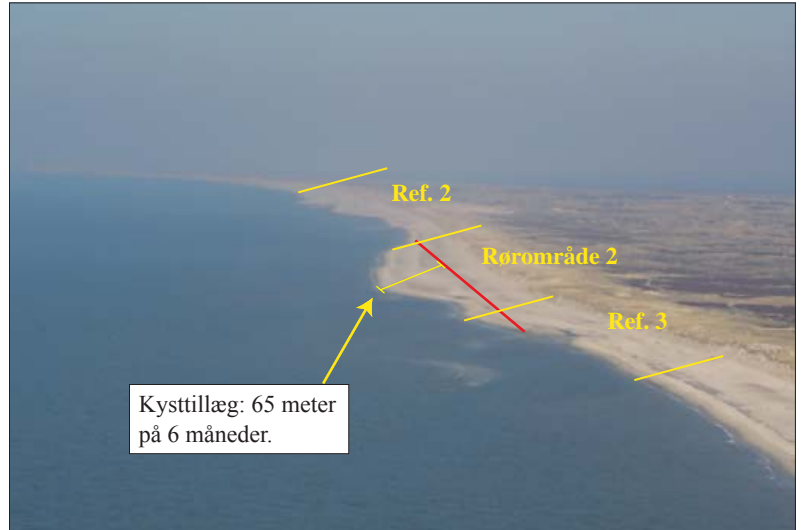
Konklusion.

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

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

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

Disse sandhøfder opfanger den langsgå-



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

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

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

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

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

Kort nyt

Flere skred på Møns Klint

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

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

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



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

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

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

klinten skredet i havet.

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

www.skovognatur.dk/UVH ■