

# Kartlegging av sjødeponi i Frænfjorden ved bruk av sedimentprofilkamera (SPI)



**Hovedkontor**

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internett: www.niva.no

**Sørlandsavdelingen**

Televeien 3  
4879 Grimstad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 37 04 45 13

**Østlandsavdelingen**

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

**Vestlandsavdelingen**

Thormøhlensgate 53 D  
5006 Bergen  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 55 31 22 14

**NIVA Midt-Norge**

Pirsenteret, Havnegata 9  
Postboks 1266  
7462 Trondheim  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 73 54 63 87

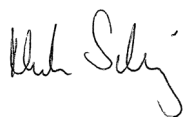
Tittel Kartlegging av sjødeponi i Frænfjorden ved bruk av sedimentprofilkamera (SPI)	Løpenr. (for bestilling) 5890-2009	Dato 15.12.2009
	Prosjektnr. Undernr. O-29288	Sider Pris 17+vedlegg
Forfatter(e)  Morten Thorne Schaanning Bjørnar Andre Beylich Hans Christer Nilsson	Fagområde Miljøgifter marint	Distribusjon
	Geografisk område FrænaMøre og Romsdal	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Hustadmarmor v/Arnstein Amundsen	Oppdragsreferanse
--	-------------------

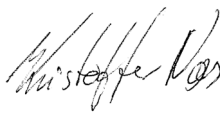
**Sammendrag**

Hustadmarmor A/S slipper ut overskuddsmasser med rester av prosesskjemikalier til deponi i Frænfjorden. I september 2009, ble bunnforholdene på 19 stasjoner i og ved deponiet undersøkt med sedimentprofilkamera. Sedimentprofilkameraet tar bilder av et vertikalt snitt av sedimentenes topplag. Bildene gir grunnlag for vurdering av miljøtilstand basert på BHQ (Benthic Habitat Quality) indeks. Indeksen viste *meget dårlig* tilstand nær utslippspunktet og *dårlig* eller *mindre god* tilstand på de fleste stasjonene i deponiområdet. Påvirkningen avtok med økende avstand fra utslippspunktet og ca 1 km vest for deponiet ble det ikke observert klare spor etter avgangen. Effektene på bunnfaunaen kan skyldes flere faktorer; toksisitet av restkjemikalier i avgangsmassene, hemmet næringsopptak, sedimentasjonshastighet (nedslamming), partiklenes størrelse, partiklenes form eller konsistensen av avgangsmassene på bunnen.

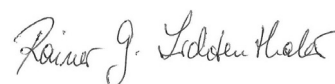
Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Sedimentprofilkamera	1. Sediment profile image
2. Marine sedimenter	2. Marine sediment
3. Tilstandsvurdering	3. Ecological state assessment
4. Gruveavgang	4. Mine tailings



Morten Thorne Schaanning  
Prosjektleder



Kristoffer Næs  
Forskningsleder



Rainer G. Lichtenthaler  
Seniorforsker

# **Kartlegging av sjødeponi i Frænfjorden ved bruk av sedimentprofilkamera (SPI)**

## **Forord**

Prosjektet er utført etter avtale mellom Hustadmarmor AS og NIVA v/Hans Christer Nilsson. Feltarbeidet ble utført av Hans Christer Nilsson og Bjørnar Beylich. Sistnevnte har hatt ansvaret for lagring og analyser av fotomaterialet og produksjon av bilder til rapporten. Nilsson sluttet ved NIVA etter at feltarbeidet var gjennomført, og undertegnede overtok som ny prosjektleder med ansvar for rapportering. Kontaktperson ved Hustadmarmor AS har vært Arnstein Amundsen.

Oslo, 15.12.2009

*Morten Thorne Schaanning*

---



# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>7</b>
<b>2. Metode</b>	<b>7</b>
<b>3. Resultater</b>	<b>10</b>
3.1 Generell beskrivelse	10
3.2 Penetrasjonsdyp	13
3.3 BHQ-indeks	14
<b>4. Oppsummering og diskusjon av de viktigste resultatene</b>	<b>15</b>
<b>5. Konklusjon</b>	<b>16</b>
<b>6. Referenser</b>	<b>16</b>
<b>Vedlegg A.</b>	<b>18</b>

---

## Sammendrag

Hustadmarmor A/S foredler kalkstein til mikronisert kalkslurry for bruk i papirindustrien. I henhold til utslippstillatelse fra SFT pumpes overskuddsmasser fra produksjonen til et deponi i Frænfjorden, Møre og Romsdal. Overskuddsmassene er i hovedsak knust kalk med et lite innhold av andre bergartsmineraler og rester av prosesskjemikalier. Som et supplement til det faste overvåkingsprogrammet, ble bunnforholdene på 19 stasjoner i og ved deponiet undersøkt med sedimentprofilkamera den 01.09.2009. Sedimentprofilkameraet tar bilder av et vertikalt snitt av sedimentenes topplag. Bildene gir grunnlag for beregning av BHQ-indeks (Benthic Habitat Quality) og en vurdering av miljøtilstand. Bildene viste at sedimentene nærmest utslippspunktet var dominert av gul-hvite avgangsmasser uten spor etter bunndyr. Det ble antatt at høye sedimentasjonsrater var hovedårsak til *meget dårlig* tilstand nær utslippspunktet. Både øst, vest og syd for utslippspunktet var fargen mørkere grå eller gråspettet og sedimentene dekket med et tynt, brunaktig toppsjikt med tydelige spor etter bunndyr. I overgangssonen vest for deponiet ble sedimentene fastere i konsistens, faunaen rikere og innslaget av avgang ble mindre synlig. På stasjonen lengst vest (ca 1 km fra deponiet) var det ikke synlige spor etter avgangen. BHQ indeks viste *mindre god* eller *dårlig* miljøtilstand på de fleste stasjonene i deponiområdet. Korrelasjon mellom BHQ indeks og penetrasjonsdyp indikerte en klar sammenheng mellom sedimentenes innhold av avgangsmasser og effekter på bunnsfaunaen. Effektene kan skyldes flere faktorer: toksisitet av restkjemikalier, hemmet næringsopptak, sedimentasjonshastighet (nedslamming), partiklens størrelse, partiklens form eller konsistens av avgangsmassene på bunnen.

# Summary

Title: Sediment Profile Image (SPI) investigation of a soft bottom deposit area in Frænfjorden, W. Norway.

Year: 2009

Author: Morten Thorne Schaanning, Bjørnar Andre Beylich and Hans Christer Nilsson

Source: Norwegian Institute for Water Research, Report No.: 5890-2009, ISBN 82-577-5625-3

Hustadmarmor A/S produces micronized limestone slurry for use in the paper industry. In accordance with discharge permit from the Norwegian Pollution Control Authority, excess masses contaminated with remnants of process chemicals are discharged to a deposit site in Frænfjorden, W. Norway. 19 stations in and nearby the deposit area were surveyed 01.09.2009 using a Sediment Profile Image (SPI) camera. The survey revealed that the sediments close to the discharge point were dominated by soft, yellow-white tailings. High sedimentation rate was probably the main reason for absence of benthic fauna or structures indicating presence of animals at this location. The Benthic Habitat Quality (BHQ) index estimated from the images was fairly well correlated ( $R^2 = 0.8$ ) with the depth of camera penetration into the sediment. This appeared to link the effects on the benthic habitat to presence of tailings. The BHQ- index showed *very poor* conditions close to the discharge point and *poor* or *less good* at most of the stations located within the deposit area. The effects decreased with increasing distance from the discharge. About 1 km outside of the deposit, camera penetration depth was very low and no tailings could be seen in the images. Several factors may contribute to harmful effects of tailings on the benthic communities: These are: toxicity of remnant process chemicals, hampered food uptake, smothering (high sedimentation rates), shape and size of particles or altered consistency of sediments with high content of tailings.

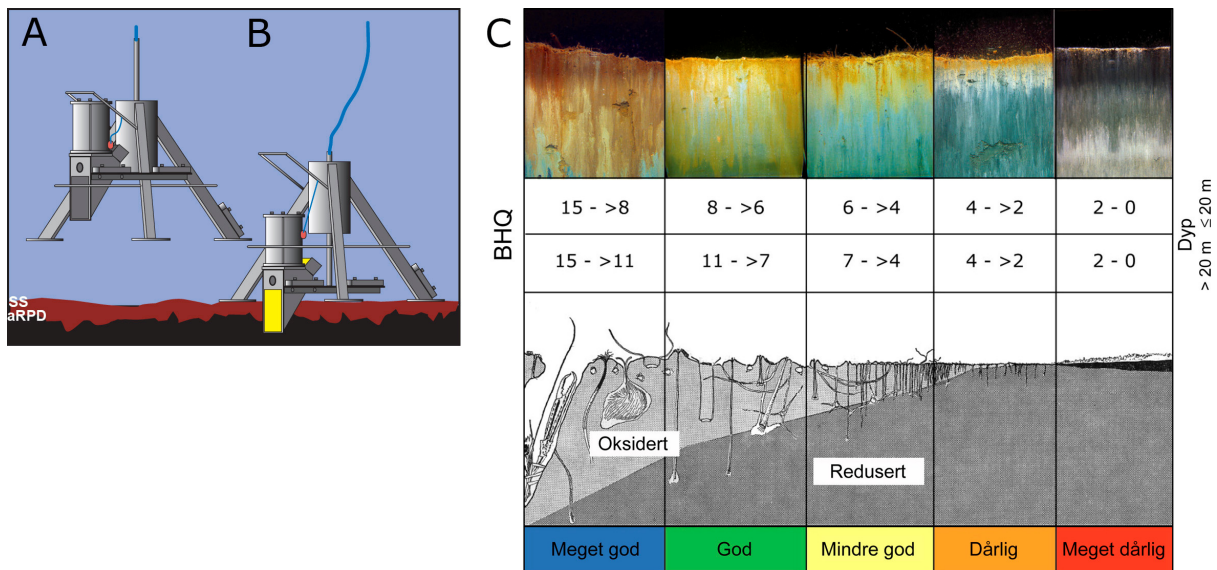
# 1. Innledning

Hustadmarmor A/S er en av verdens ledende produsenter av mikronisert kalkslurry for produksjon av høykvalitets papir. Kalken utvinnes delvis fra lokale gruver og foredles gjennom en flotasjonsprosess der uønskete mineraler skilles ut og går til utslipp sammen med kalk som ikke kan utnyttes i produksjonen. Prosessavgangen med rester av flotasjonskjemikalier og flokkuleringsmidler pumpes via rørledning til et deponiområde i Frænfjorden, Møre og Romsdal, der det gir en betydelig oppbygning av faststoff på sjøbunnen. Deponiområdet og bestemmelser knyttet til deponeringen er gitt i SFT's utslippstillatelse (SFT, 2003). I perioden 1998-2008 har utslippsmengden variert fra 28 til 67 tonn/time). Utslippene i 2008 var i gjennomsnitt 52 tonn/time (Glette m.fl., 2009).

Utbredelsen av de deponerte massene og biologisk status i området er godt dokumentert av Veritas som foretar årlige undersøkelser på en rekke stasjoner i Frænfjorden. Bl.a. er bløtbunnsfauna undersøkt på 9 stasjoner i området hvert 2.-3. år siden 1998. Herværende undersøkelse med sediment profilkamera kom i stand etter ønske fra bedriften som et supplement til det pågående overvåkningsprogrammet.

# 2. Metode

Sedimentprofilfotografering (SPI) er en rask metode for visuell kartlegging sedimentenes topplag og klassifisering av bløtbunnsfauna. Et digitalt kamera med blits er montert i et vanntett hus på en rigg med tre ben (Figur 2). Denne senkes ned til sedimentoverflaten slik at en vertikalstilt glassplate



**Figur 2.** Prinsippskisse for SPI-kamera og bildeanalyse. (A) Kamera og rigg over bunnen (SS = sediment overflate og aRPD = grense mellom det bioturberte oksiderte og reduserte sedimentlaget [apparent redox potential discontinuity]). (B) Kamera med prismet som har trengt ned i sedimentet og bildet eksponeres. (C) Figuren over viser en modell av endringer i faunatype fra upåvirkede bunnsedimenter med en rik, dyptgravende fauna (meget god tilstand) til en grunnlevende, fattig fauna i påvirkede områder (meget dårlig tilstand). Sedimentprofilbildet er vist i toppen av figuren, der brunt farget sediment indikerer oksidert, bioturbert sediment mens sortfarget sediment indikerer reduserte forhold. BHQ-miljøkvalitetsindeks for vanddyb  $\leq 20$  meter og  $> 20$  m er i henhold til EUs vanddirektiv for marine sedimenter (Pearson & Rosenberg 1978, Nilsson & Rosenberg 2006).

presses ned i sedimentet. Bildet tas gjennom glassplaten via et skråstilt speil som til sammen utgjør et prisme. Resultatet er digitale fotografier med detaljer av strukturer og farger av overflatesedimentet. Bildet dekker et 17,3 cm bredt og inntil 26 cm dypt tverrsnitt av sedimentet.

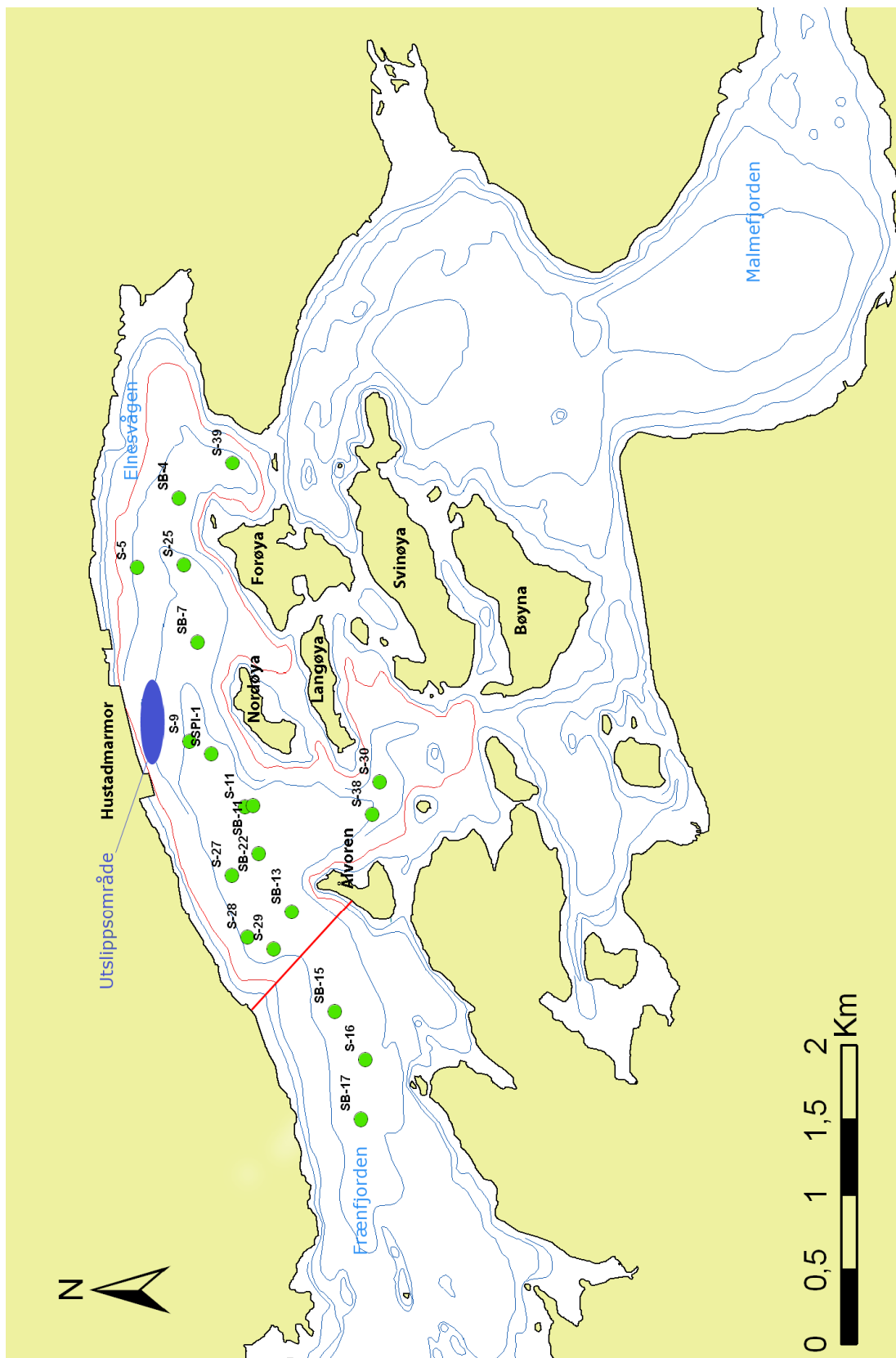
Fra bildene kan en beregne en miljøindeks (Benthic Habitat Quality index; BHQ-indeks) som tar hensyn til strukturer i sedimentoverflaten (rør av børstemark, fødegroper og ekskrementhauger), strukturer under sedimentoverflaten (bløtbunnsfauna, faunaganger og oksiderte tomrom i sedimentet) og fargesjiktninger som indikerer redox-forhold i sedimentet. Indeksen vil normalt kunne gi en tilstandsbeskrivelse som kan sammenlignes med den klassiske modell for faunaens suksisjon langs en forurensingsgradient (Pearson og Rosenbergs, 1978; Rosenberg m.fl. 2004).

Feltarbeidet ble gjennomført 01.09.2009 på i alt 19 stasjoner i eller ved deponiområdet i Frænfjorden. Stasjonsvalget ble gjort med basis i etablerte overvåkingstasjoner (Tor Jenssen, pers.med.). Stasjonsoversikt er vist i Tabell 1 og Figur 1. Deponiområdet er begrenset til dypprenna (under 30 m) innenfor linjen Løsetneset-Ålvora-Langøya-Nordøya-Furøya-Elnestangen (SFT, 20003). Stasjonene SB-17, S-16 og SB-15 ligger således i overgangssonen utenfor deponiområdet. Det blir normalt tatt tre bilder på hver stasjon. Mellom fotografering av hvert bilde ligger båten i ro mens kameraet løftes et par meter over bunnen før det settes ned igjen og utløser neste bilde.

**Tabell 1. Resultater denne undersøkelsen og Veritas undersøkelser i 2005 (Bakke m.fl., 2006) av bløtbunnsfauna (H') og kalkinnhold (% kalk) i finfraksjon fra 0-2 cm sjiktet. Stasjonene er sortert etter østlig lengde slik at SB-17 er lengst ut (vest) mot munningen av fjorden og S-39 lengst øst.**

Stasjon	Denne undersøkelsen				Veritas 2005		
	Lat.	Long.	Pen. (cm)	BHQ	Dyp (m)	H'	% kalk
SB-17	62,83388	7,06455	3,5	6,0	57	5.56	53
S-16	62,83374	7,07245	5,5	6,3	55		39
SB-15	62,83568	7,07870	8,5	6,3	54	4.86	54
S-29	62,83949	7,08669	9,0	5,0	58		77
S-28	62,84111	7,08819	9,0	5,7	56		82
SB-13	62,83844	7,09169	13,5	4,7	66	2.96	89
S-27	62,84215	7,09638	17,5	4,3	59		92
SB-22	62,84057	7,09935	18,0	1,3	64	2.25	91
S-38	62,83378	7,10499	10,0	6,3	50		30
S-11	62,84146	7,10548	10,5	4,0	60		75
SB-11	62,84097	7,10570	16,5	3,3	61	3.53	88
S-30	62,83335	7,10927	5,5	7,0	48		20
SSPI-1	62,84360	7,11235	24,5	0,0	50		93*
S-9	62,84495	7,11395	20,0	0,0	43		93*
SB-7	62,84464	7,12705	23,5	0,0	41	1.99	94
S-25	62,84838	7,13668	11,0	2,5	32		93
S-5	62,84560	7,13725	17,0	3,0	40		81
SB-4	62,84604	7,14608	11,5	4,0	36		90
S-39	62,84282	7,15093	8,5	5,3	32		71

\*målt i 2002

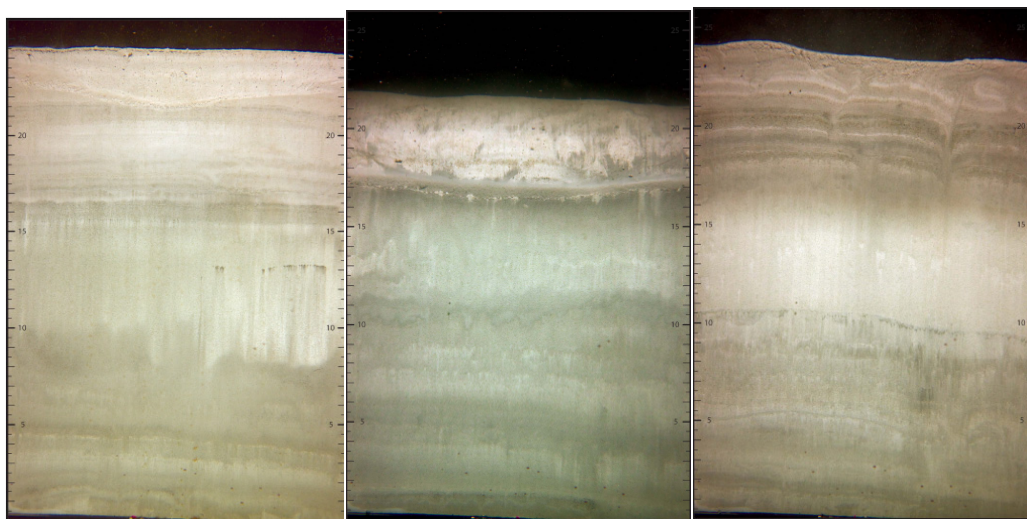


Figur 1. Kart med stasjoner for SPI prøvetaking i 2009. Dybdekote 20 m og deponigrense mot vest er markert med rødt. Iflg utslippstillatelsen er deponering tillatt på dyp under 30 m i dette området.

## 3. Resultater

### 3.1 Generell beskrivelse

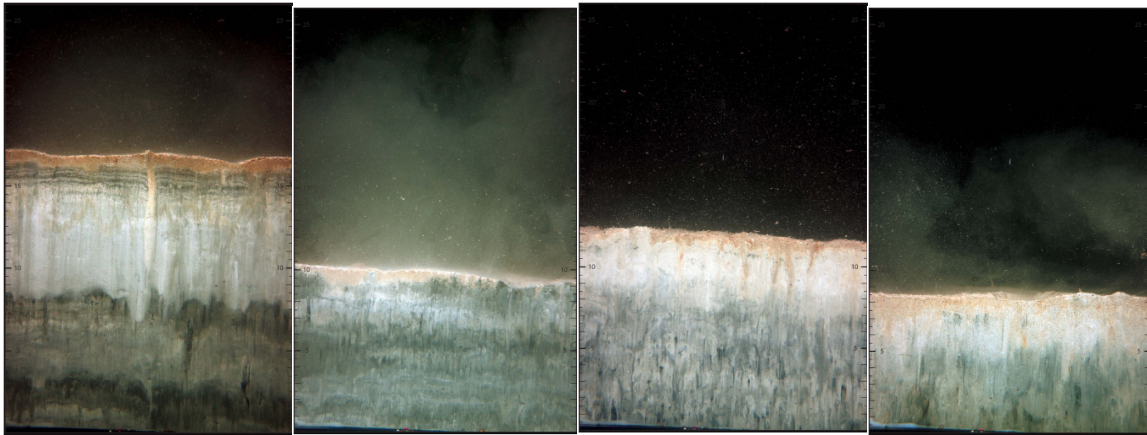
Alle bilder og stasjonsdata er vist i Vedlegg A. Bilder fra samtlige stasjoner er vist i Figur 2-Figur 6. Stasjonene SSPI-1, S-9 og SB-7 (Figur 2) var lokalisert nær utslippspunktet. Bildene viste tykke avsetninger av et materiale med en relativt jevn lys farge og tydelig lagdeling. Lagdelingen kan skyldes variasjoner i produksjon eller utslippsforhold eller naturlige forhold som for eksempel episoder med sterk vind eller nedbør eller årstidsvariasjoner med økt innblanding av biogent materiale i sommerhalvåret. Det ble ikke observert dyr eller spor etter dyr i disse sedimentene. Lagdelingen viser også at bioturbasjonen har vært liten/fraværende i hele tidsrommet siden avsetning. Veritas overvåking (Bakke *et al.*, 2006) har vist at avsetningene på bunnen nær utslippet er finkornige (100% < 63µm) og at kalkfraksjonen (syreløselig fraksjon) utgjør 90-95% (Tabell 1). Til sammenligning er den opprinnelige sjøbunnen i området, representert ved stasjon SB-17, mer grovkornet med en finfraksjon på 5-18% < 63µm og et kalkinnhold på 33-55 % (Bakke *et al.*, 2006).



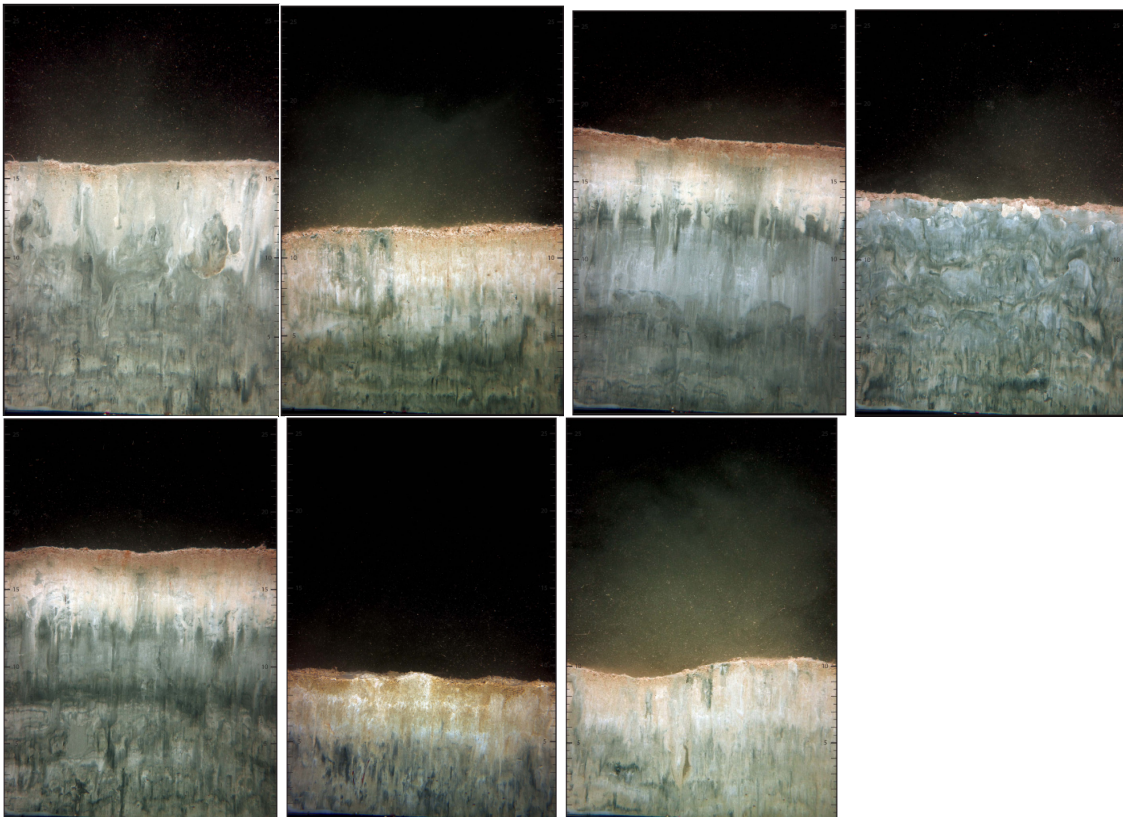
**Figur 2.** SPI-bilder fra utslippsområdet. Bildene viser hvite, nylig avsatte avgangsmasser. Ingen spor etter fauna. Fra venstre mot høyre: SSPI-1, S-9, SB-7.

Både øst og vest for utslippspunktet var fargen mørkere grå eller gråspettet og sedimentene var typisk dekket med et tynt (<10 mm), brunt topplag der dyr og spor etter dyr forekommer på de fleste bildene. Bildene i Figur 3 og Figur 4 viser at disse sedimentene er klart preget av utslippet. Tynt toppsjikt, lite innblanding i underliggende lag og lav forekomst av graveganger tyder på at bioturbasjonen er liten i området. Dette var særlig tydelig på stasjon S-25 som viser en godt bevart lagdeling under det brune topplaget. Slik lagdeling viser fravær av en aktiv, bioturbierende bunnfauna. Bløtbunnsfaunaen i området var i 2005 nokså variabel med typisk diversitet ( $H'$ ) mellom 1.7 ("dårlig") og 3.5 ("god") (Bakke *et al.*, 2006).



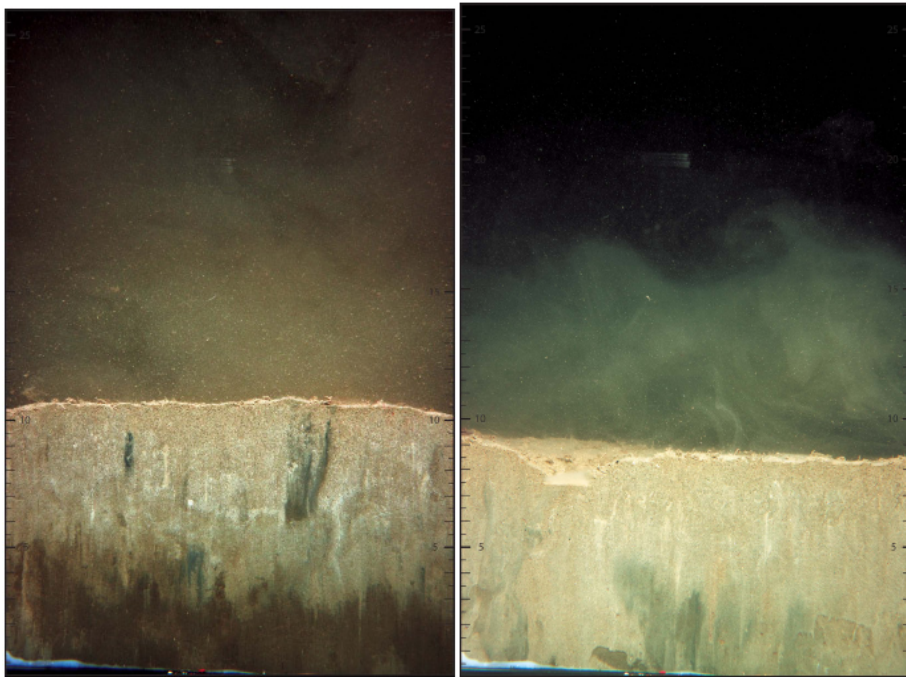


**Figur 3.** SPI bilder fra området øst for utslippet. Fra venstre mot høyre: S-25, S-5, S-4, S-39. Bildene viser sedimenter dominert av avgangsmasser, og et tynt topplag med naturlig, sedimentert materiale og spor etter organismer.

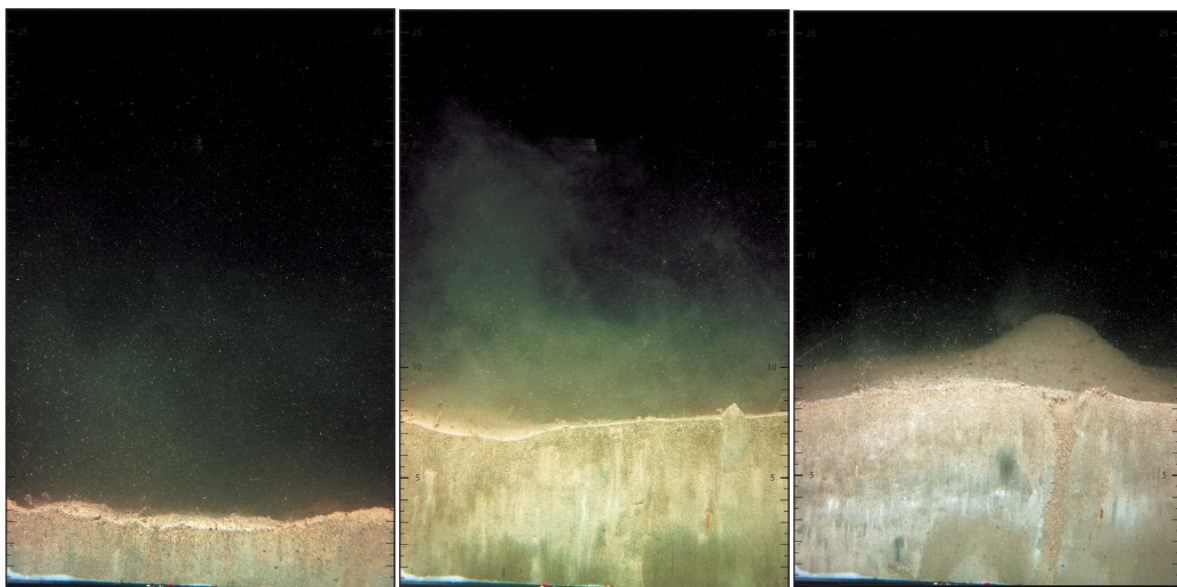


**Figur 4.** SPI bilder fra området like vest for utslippet. Fra venstre mot høyre, øverste rekke: SB-11, S-11, SB22. Nederste rekke SB-13, S-27, S-28, S-29. Bildene viser sedimenter dominert av avgangsmasser, og et tynt topplag med naturlig, sedimentert materiale og spor etter organismer.





**Figur 5. SPI bilder fra de to stasjonene lengst syd, S-38 (venstre) og S-30 (høyre). Bildene viser naturlig sedimentert materiale med tydelige innslag av avgangsmasser. Mange synlige dyr i overflaten.**

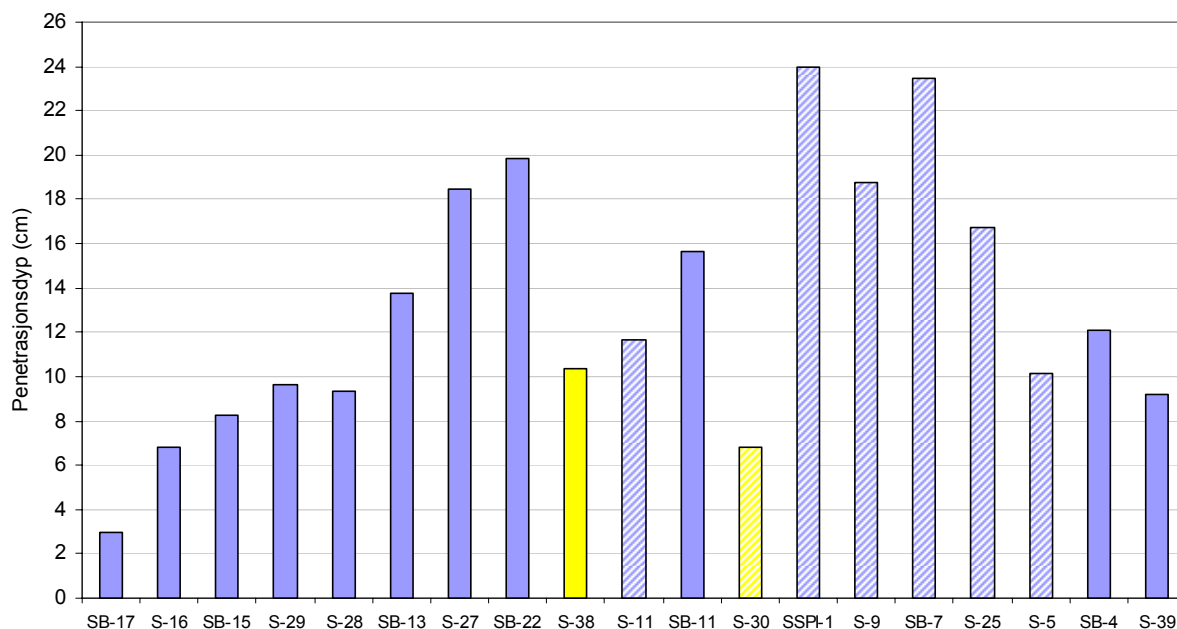


**Figur 6. SPI-bilder fra det vestlige området, SB17, SB-16 og SB-15. De tre stasjonene representerer overgangen fra en lite påvirket sjøbunn (SB-17, venstre bilde) til et sediment med innslag av avgangsmateriale (SB-15, høyre bilde). Alle de tre bildene viser rikelig med graveganger og rør etter sedimentlevende organismer. På bildet til høyre ses en faunagang gravet ut av en stor organisme og en haug i bakgrunnen som kan være lagt opp av samme organisme. På bildet til venstre stikker tykke rør etter rørboende organismer opp av sedimentet, og flere graveganger er synlige.**

De to stasjonene lengst mot syd (S-30 og S-38) (Figur 5) viser mindre spor etter avgangsmateriale og større innslag av brune, naturlige avsetninger. Det var også hyppigere spor av rørbyggende og gravende organismer i disse sedimentene. Denne bedringen fortsetter på de tre stasjonene utenfor deponiet, lengst vest i det undersøkte området (Figur 6). Spor etter avgangsmateriale var tydelig på SB-15 og SB-16, men ikke på SB-17. Dette var i overensstemmelse med faunaundersøkelsene i 2005 som viste høyere diversitet på SB-17 ( $H'=5.6$ ) enn på stasjon SB-15 ( $H'=4.9$ ) (Bakke m.fl., 2006) (Tabell 1).

### 3.2 Penetrasjonsdyp

Når stasjonene sorteres langs øst-vest akse i fjorden ses en gradvis økning av penetrasjonsdypet fra 3 cm på stasjon SB-17 lengst vest til 24 cm på SSPI-1 like ved utslippet (Figur 7). Fra utslippspunktet avtok penetrasjonsdypet på de sørligste stasjonene til 9 cm på S-39. Vekten på kameraet ble redusert på stasjonene nærmest utslippspunktet for å redusere penetrasjonen. Variasjonene i penetrasjonsdyp skyldes trolig først og fremst at avsetningene konsoliderer over tid, slik at eldre avsetninger (Figur 5, Figur 3, Figur 4) gir lavere penetrasjon enn ferske avsetninger nær utslippspunktet (Figur 2). Bare lengst vest i området (stasjonene SB 15-17) er det sannsynlig at penetrasjonsdypet reduseres fordi kameraet kommer ned i den opprinnelige sjøbunnen (Figur 6).



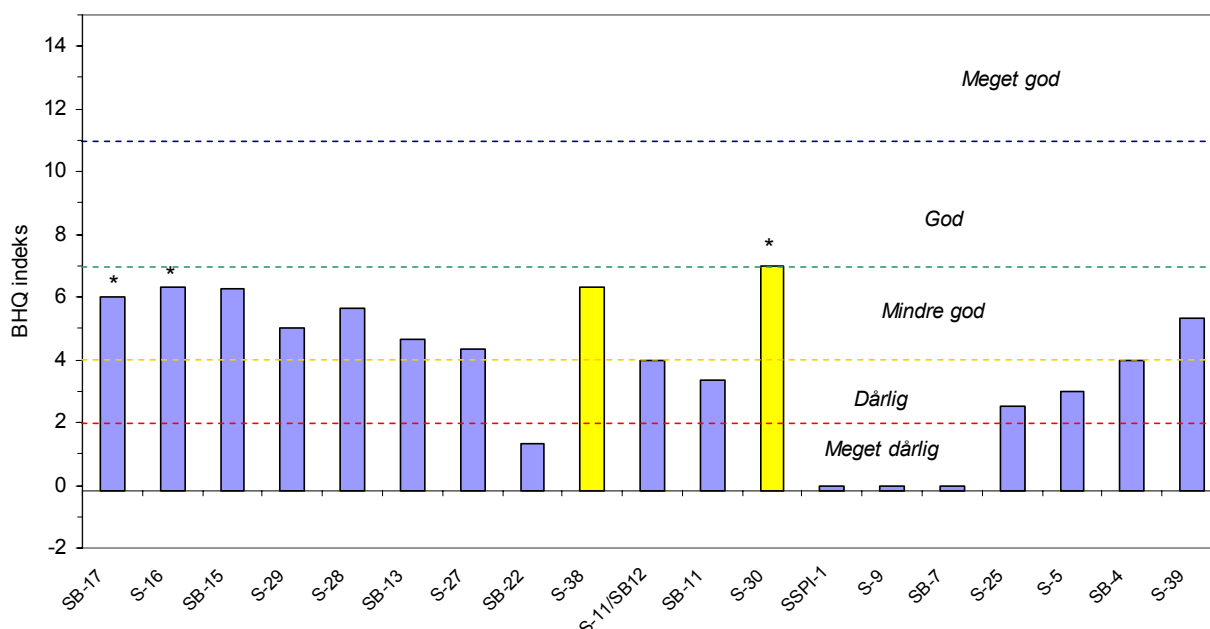
**Figur 7. Penetrasjonsdyp på SPI-stasjoner i Frænfjorden sortert fra vest (SB-17) mot øst (S-39). Helfarget søyle viser stasjoner der det ble brukt 16.8 kg lodd på kameraet. Stripet søyle markerer stasjoner der loddene var tatt for å redusere penetrasjonen. De to stasjonene lengst syd (bilder i Figur 5) er markert med gule søyler.**

### 3.3 BHQ-indeks

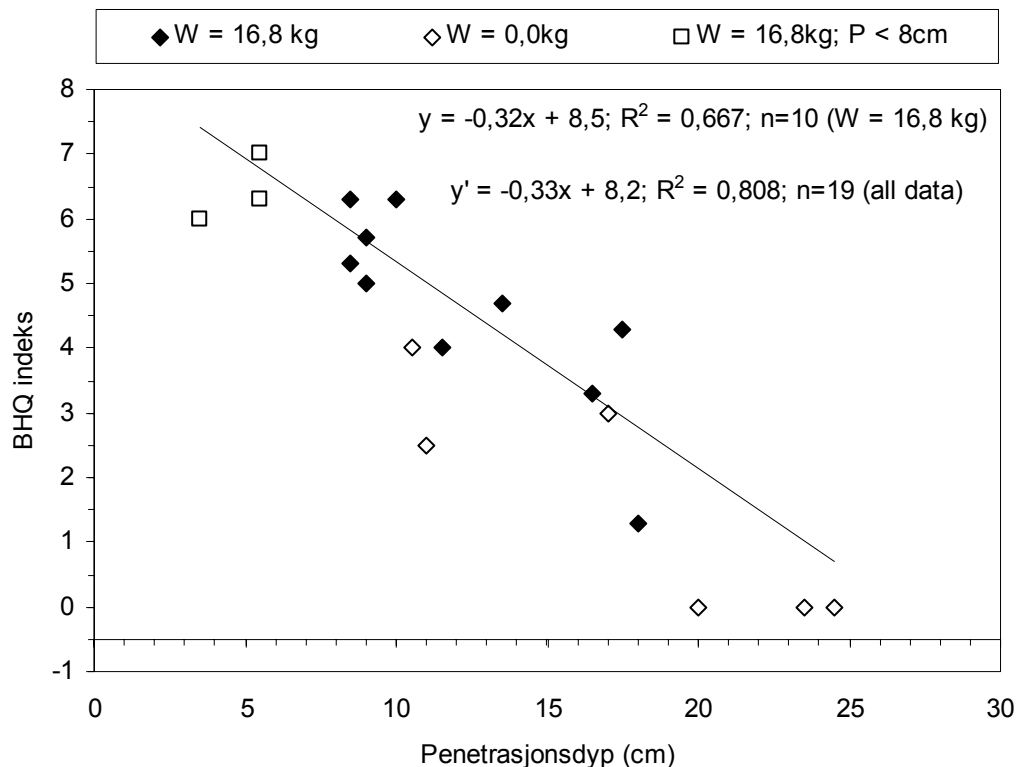
BHQ-indeksen (Benthic Habitat Quality) er en tolking av bildene basert på optelling av strukturer i og under sedimentoverflaten (kap. 2, s.10) og fargesjiktninger som indikerer redox-forhold, eller som her, først og fremst tykkelsen av det bioturberte topplaget. Normalt kreves et penetrasjonsdyp på 8 cm eller mer for å bestemme BHQ-indeks. Dette kravet er ikke oppfylt for stasjonene S-30, S-16 og SB-17, noe som kan ha medført at indeksen er underestimert og gir en for dårlig miljøtilstand på disse stasjonene.

Indeksen viste at tilstanden varierte fra meget dårlig på stasjonene nærmest utslippspunktet (SSPI-1, S-9 og SB-7) til mindre god på stasjonene lengst unna, dvs både mot øst, syd og vest (Figur 8). Det kan ikke utelukkes at stasjonene S-30, S-16 og S-17 ville ha oppnådd bedre klassifisering dersom kameraet ved bruk av mer vekter hadde blitt presset lenger ned i sedimentene.

BHQ avtok tydelig med økende penetrasjonsdyp (Figur 9). Lineær regresjon ga en korrelasjonskoeffisient  $R^2 = 0.667$  for de 10 observasjonene der det ble benyttet samme mengde lodd på kameraet (16,8 kg) og penetrasjonsdypet var tilstrekkelig stort for å tilfredstille kravet til beregning av BHQ ( $P > 8\text{cm}$ ). Ved å inkludere samtlige 19 stasjoner fikk vi en korrelasjonskoeffisient  $R^2 = 0.808$ , og som vist av de to funksjonene  $y$  og  $y'$  i Figur 9, ble ikke regresjonslinjen vesentlig endret. Korrelasjonen mellom de to datasettene synes å bekrefte sammenhengen mellom tilførselene av prosessavgang og effekter på bunnfauna.



Figur 8. BHQ indeks beregnet på grunnlag av SPI-bildene. Stiplede linjer angir grenseverdier for miljøtilstand. \* markerer at BHQ kan være underestimert på grunn av utilstrekkelig penetrasjonsdyp. De to stasjonene lengst syd er markert med gule søyler.



Figur 9. Lineær regresjon mellom BHQ-indeks og penetrasjonsdyp. Opptrukket linje og funksjonen  $y$  er beregnet på grunnlag av de ti observasjonene med  $W=16,8$  kg lodd på kameraet og bildedybde  $P>8$  cm. Funksjonen  $y'$  er beregnet fra alle 19 observasjonene. Korrelasjonskoeffisienten  $R^2 > 0,66$  viser at det er en forholdsvis god korrelasjon mellom de to observasjonene.

## 4. Oppsummering og diskusjon av de viktigste resultatene

Bildene viste klare effekter av avgangsmassene på sjøbunnen i deponiområdet og på to av stasjonene (SB-15, S-16) utenfor deponiområdet. Penetrasjonsdypet var generelt avtagende med økende avstand fra utslippspunktet. Dette kan forklares med at sedimentene er mer konsolidert (sammenpakket) i områder med lavere sedimentasjonshastighet og større innslag av eldre avgangsmasser og naturlige sedimenter. Lave penetrasjonsdyp på stasjonene lengst vest i undersøkelsesområdet viste forholdsvis fast konsistens av den opprinnelige sjøbunnen.

BHQ indeksen var omvendt korrelert med penetrasjonsdypet og varierte fra 0 på tre av stasjonene nærmest utslippspunktet til 6-7 på stasjonene lengst øst, syd og vest. På de fleste av stasjonene i deponiområdet ble tilstanden på grunnlag av SPI-bildene vurdert til klasse III *mindre god* eller IV *dårlig*. Også stasjonene på utsiden av deponiområdet viste BHQ indeks tilsvarende klasse III *mindre god*. Stasjonen lengst vest i undersøkelsesområdet viste imidlertid ingen tydelige spor av avgangsmasser og BHQ-indeksen kan være underestimert som følge av svært liten kamerapenetrasjon.

Fravær av spor etter organismer på stasjonene nærmest utslippspunktet skyldes mest sannsynlig høy sedimentasjonshastighet (nedslamming). Det brune toppsjiktet som var tilstede på de fleste av de andre stasjonene i deponiområdet, tydet på en tidvis tilførsel av partikler fra naturlig sedimentering som kan være et næringsgrunnlag for bunnfauna. Følgelig vil negative effekter av nedslamming på bunnfaunaen trolig avta med økende avstand fra utslippspunktet. På disse stasjonene kan andre faktorer som partiklernes størrelse og form, sedimentenes konsistens, hemmet næringsopptak eller toksisitet av prosesskjemikalier, ha bidratt til utarming av bunnfaunaen.

SPI-bildene gir få holdepunkter for å vekte disse faktorene i forhold til hverandre, men effekter av avgangen på bunnfauna har vært undersøkt tidligere. Således har både tildekking med 2 cm avgangsmasser på sedimenter med naturlig fauna utført ved Marin Forskningsstasjon Solbergstrand (Schaanning m.fl., 2009) og rekoloniseringsforsøk med kasser med avgangsmasser utplassert i Frænfjorden (Glette m.fl., 2009) vist at avgangen har negative effekter på sedimentlevende organismer, spesielt børstemark. Bakke et al. (2006) fant også at flere arter av børstemark som var viktige på stasjonene vest for deponiet var mindre dominerende på mange av stasjonene i deponiområdet. Bakke m.fl. (2008) har påvist tilstedeværelse av prosesskjemikalier i sedimentene på alle undersøkte stasjoner i området fra SB-4 lengst øst til SB-15 i vest. Vannuttrekk fra avgangsmassene har gitt veksthemming hos alger (Källkvist, 2008). Dette gjør det vanskelig å avvise at toksisitet av restkjemikalier i avgangsmassene kan være en medvirkende og muligens viktig faktor i forhold til å forklare de observerte effekter på bunnfaunaen i deponiområdet.

## 5. Konklusjon

Undersøkelsen viste tydelige spor av prosessavgang på alle stasjoner i deponiområdet og på to stasjoner i overgangssonen vest for deponiet. Ca 1 km vest for deponiet viste bildene ingen spor etter avgangen. Penetrasjonsdypet viste svært bløte sedimenter nærmest utslippspunktet og økende fasthet med økende avstand fra utslippspunktet. BHQ-indeksen (Benthic Habitat Quality) var omvendt korrelert med penetrasjonsdypet. BHQ viste *meget dårlig* miljøtilstand på stasjonene nærmest utslippspunktet og *dårlig* eller *mindre god* tilstand på de øvrige stasjonene i deponiområdet og i overgangssonen vest for deponiet. På stasjonene lengst vekk fra deponiområdet var BHQ trolig underestimert pga lave penetrasjonsdyp.

## 6. Referenser

Bakke S., Glette T., Sverdrup L., Jensen T., 2006. Miljøundersøkelse 2005 – Frænfjorden. Veritas Rapport nr. 2006-1241.

Glette, T., Ulfsnes, A. og Jensen T., 2008. Rekolonisering makrofauan: Rapport til Hustadmarmor A/S. Veritas Rapport nr.: 2008-0130.

Glette, T., Nøland, S.A., Jensen, T., 2009. Miljøovervåking Frænfjorden 2008. Veritas Rapport nr. 2009-0010.

Källkvist, T., 2008. Veksthemming marine alger, *Skeletonema Costatum*. NIVA Test rapport, 09.05.2008. 7s.

Nilsson H.C., Rosenberg, 1997. Benthic habitat quality assessment of an oxygen stressed fjord by surface and sediment profile images. *Journal of Marine Systems* 11: 249-264

Nilsson H.C. and Rosenberg R., 2006. Collection and interpretation of Sediment Profile Images (SPI) using the Benthic Habitat Quality (BHQ) index and successional models. NIVA Report no. 5200-2006.

Pearson, T., R. Rosenberg (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 16:229-311.

Schanning, M., K. Næs, H. C. Nilsson, T. Saloranta, J. Gunnarson, F. Nascimento and J. Näslund., 2009. A Box-Core Experiment on Benthic Ecosystem Impacts of Capping Materials for Dioxin Contaminated Sediments. Abstracts from 5<sup>th</sup> International Conference on Remediation of Contaminated Sediments. February 2-5, 2009, Jacksonville, Florida.

SFT, 2003. Utslippstillatelse 408/1993-024. Endring 15.10.2003.

## **Vedlegg A.**








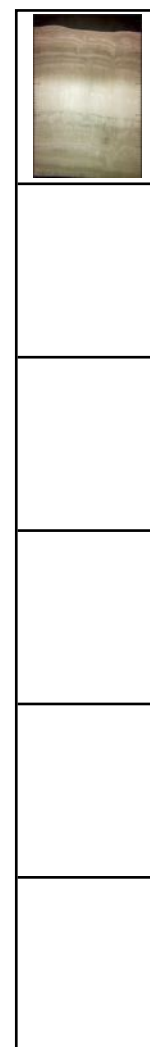
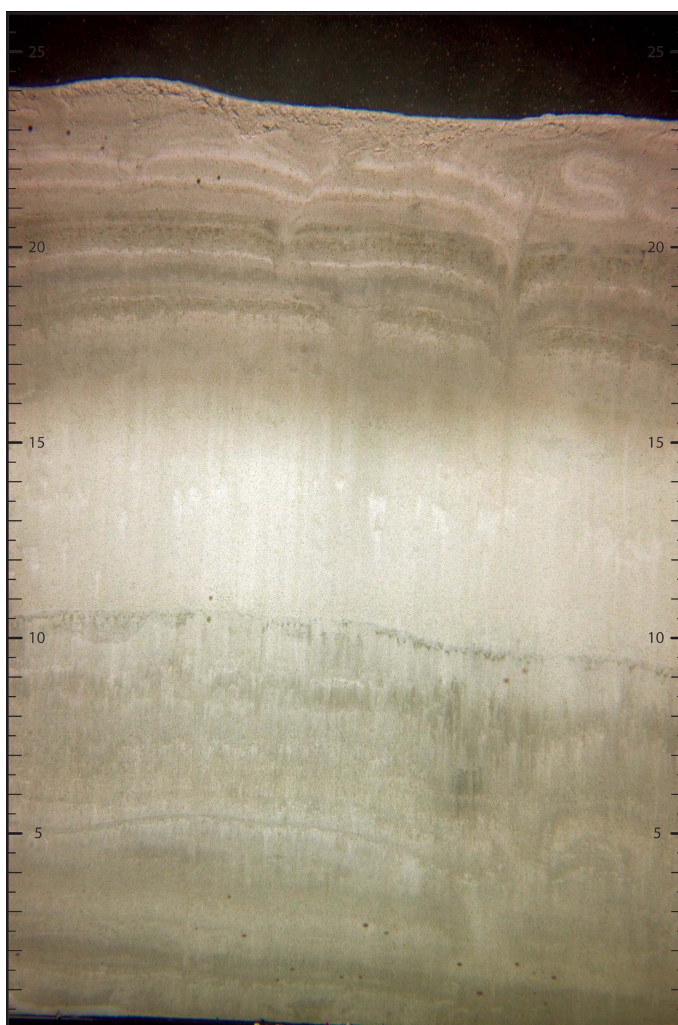
# SB-7 Hustamarmor A/S

Visit ID 2176      Date 2009-09-01      Station SB-7  
 Latitude 62,84464      Longitude 7,12705      Depth (m) 41

Mean Ecological status  


Detailed analyse of shown image

- Image ID 5300
- SB-7s\_5.jpg
- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 0,0



Thumbnail of replicates

## Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
SB-7s_5.jpg					23,5



S-9

Hustamarmor A/S

Visit ID 2177 Date 2009-09-01 Station S-9  
 Latitude 62,84495 Longitude 7,11395 Depth (m) 43

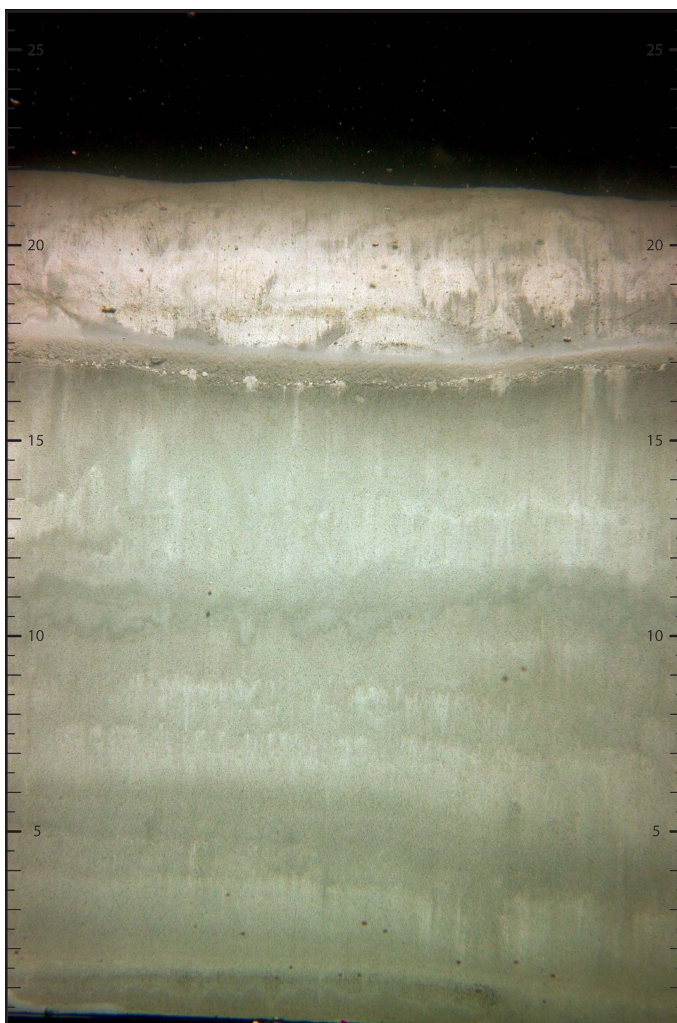
Mean Ecological status



Detailed analyse of shown image

Image ID 5282  
 S-9s\_3.jpg

- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface #
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface #
- aRPD (cm)
- RPD #
- BHQ index  $\Sigma$ #
- Ecological status
- SPI Weight 0,0



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-9s_1.jpg					20,0
S-9s_3.jpg					17,5



S-11

Hustamarmor A/S

Visit ID 2178      Date 2009-09-01      Station S-11  
 Latitude 62,84146      Longitude 7,10548      Depth (m) 60

Mean Ecological status **3**

Detailed analyse of shown image

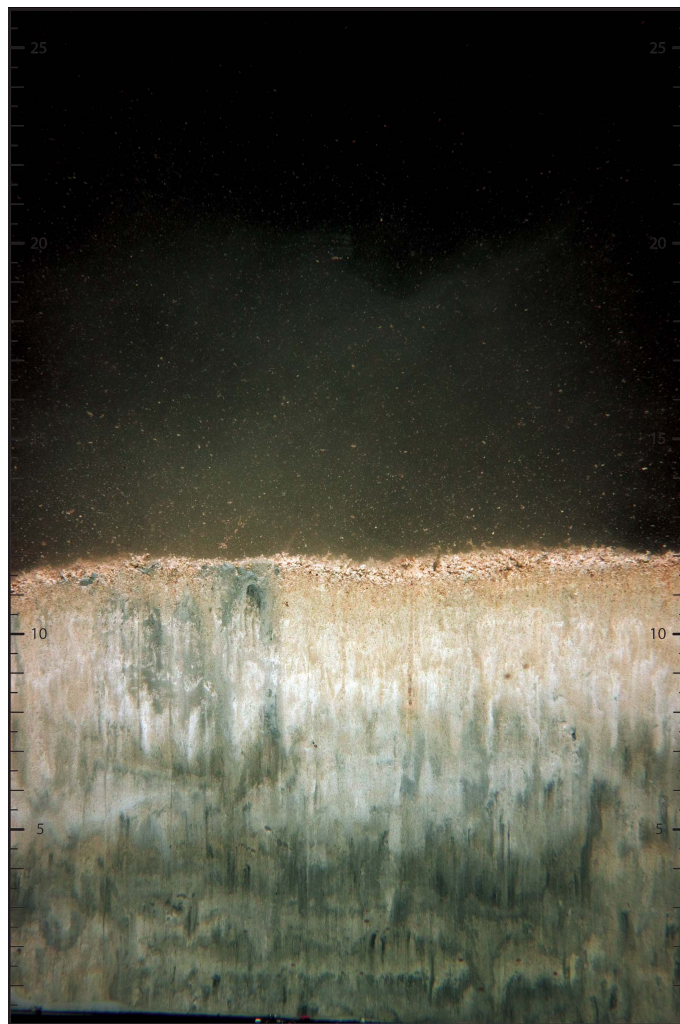
Image ID 5257  
 S-11s\_4.jpg

Fecal 1  
 Small tube 1  
 Large tube 0  
 Brittle star 0  
 Feeding pit 0  
 Mound 0  
 Surface # **2**

Infauna 1  
 Sésil epifauna 0  
 Shallow Burrow 0  
 Deep Burrow 1  
 Oxic void 0  
 Anoxic void 0  
 Subsurface # **2**

aRPD (cm) 0,8  
 RPD # **1**

BHQ index  $\Sigma$  **5**  
 Ecological status **3**  
 SPI Weight 0,0



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-11s_1.jpg	2	2	1,6	6	10,5
S-11s_3.jpg	1	1	1,0	4	12,5
S-11s_4.jpg	2	2	0,8	5	12,0



S-30

Hustamarmor A/S







Visit ID 2179      Date 2009-09-01      Station S-30  
 Latitude 62,83335      Longitude 7,10927      Depth (m) 48

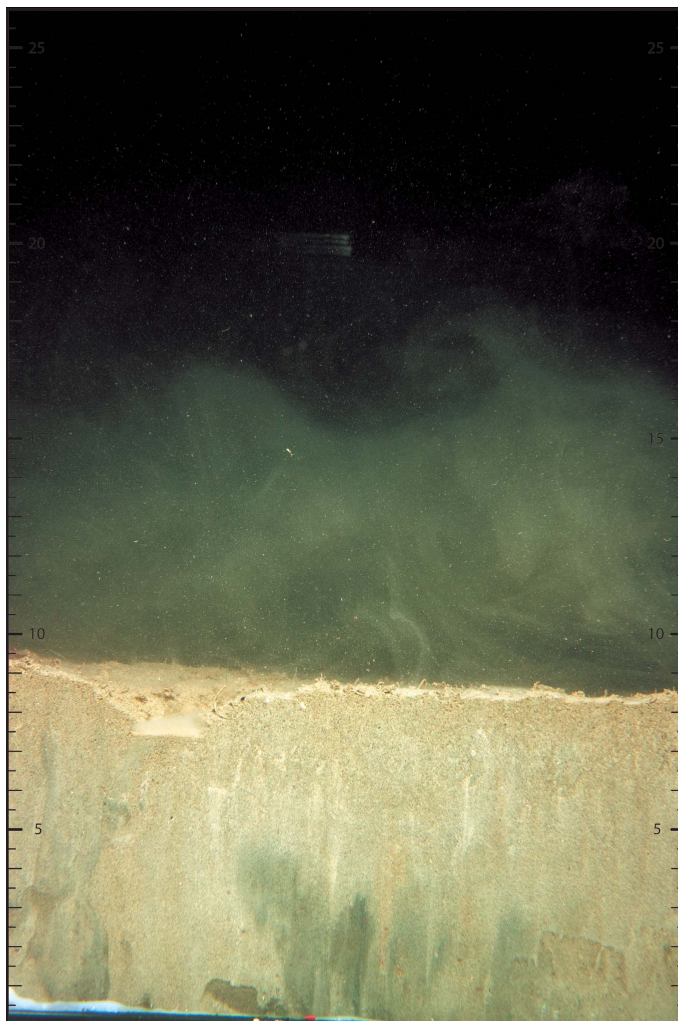
Mean Ecological status



Image ID 5271  
 S-30s\_3.jpg

Detailed analyse of shown image

- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm) 
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 0,0



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-30s_1.jpg					5,5
S-30s_2.jpg					6,5
S-30s_3.jpg					8,5










S-38

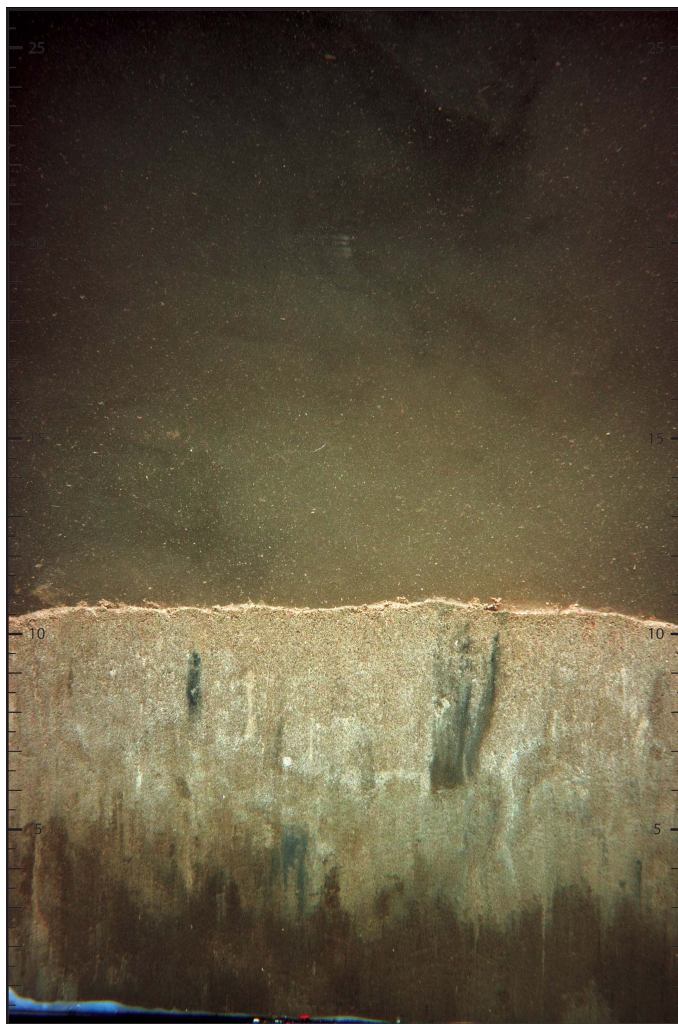
Hustamarmor A/S

Visit ID 2180 Date 2009-09-01 Station S-38  
 Latitude 62,83378 Longitude 7,10499 Depth (m) 50

Mean Ecological status

Detailed analyse of shown image

- Image ID 5274
- S-38s\_3.jpg
- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-38s_1.jpg					10,0
S-38s_2.jpg					10,5
S-38s_3.jpg					10,5



# SB-13 Hustamarmor A/S






Visit ID 2181 Date 2009-09-01 Station SB-13  
 Latitude 62,83844 Longitude 7,09169 Depth (m) 66

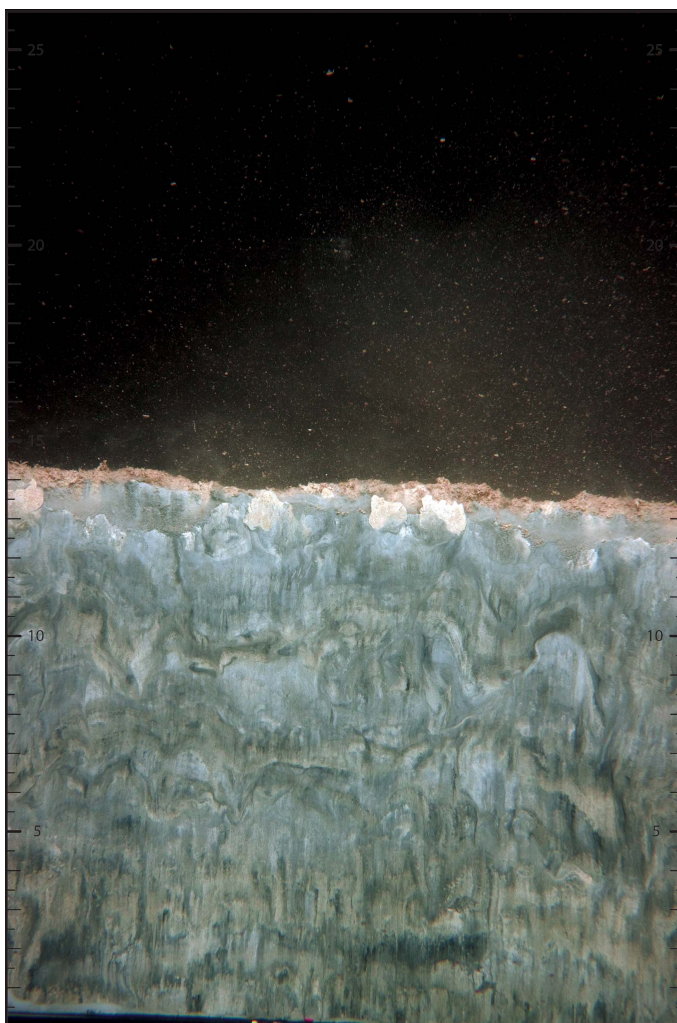
Mean Ecological status



Image ID 5285  
 SB-13s\_3.jpg

Detailed analyse of shown image

- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

## Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
SB-13s_1.jpg					13,5
SB-13s_2.jpg					13,0
SB-13s_3.jpg					14,0
SB-13s_4.jpg					14,5



# SB-15 Hustamarmor A/S

Visit ID 2182      Date 2009-09-01      Station SB-15  
 Latitude 62,83568      Longitude 7,07870      Depth (m) 54

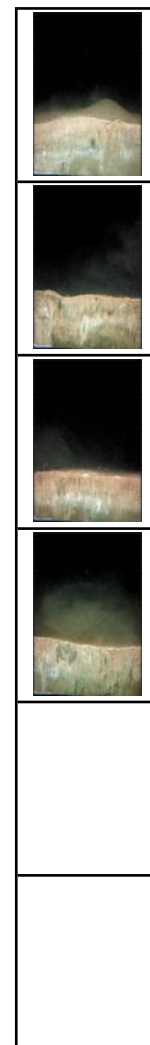
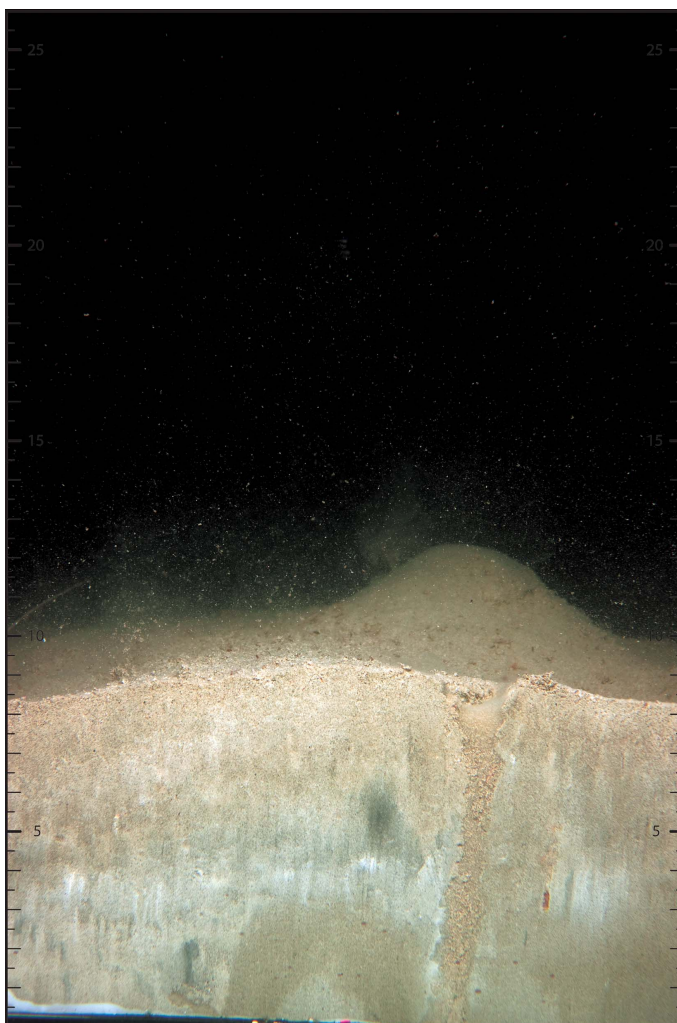
Mean Ecological status



Image ID 5287  
 SB-15s\_1.jpg

Detailed analyse of shown image

- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface #
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface #
- aRPD (cm)
- RPD #
- BHQ index  $\Sigma$ #
- Ecological status
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

## Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
SB-15s_1.jpg					8,5
SB-15s_2.jpg					8,5
SB-15s_3.jpg					7,5
SB-15s_5.jpg					8,5










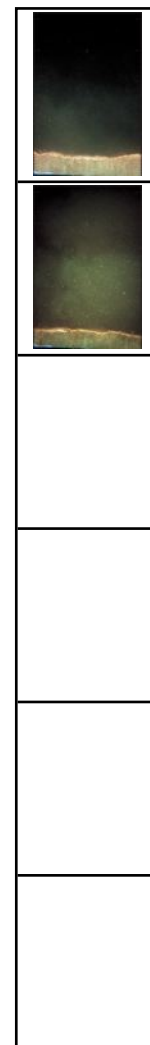
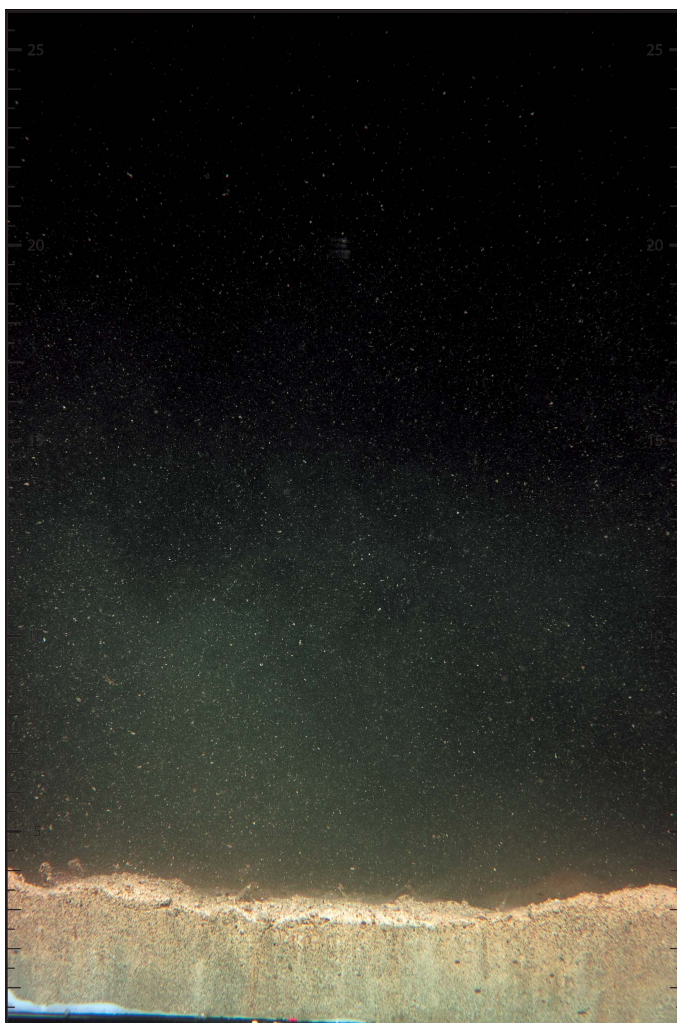
# SB-17 Hustamarmor A/S

Visit ID 2183      Date 2009-09-01      Station SB-17  
 Latitude 62,83388      Longitude 7,06455      Depth (m) 57

Mean Ecological status  


Detailed analyse of shown image

- Image ID 5291
- SB-17s\_3.jpg
- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

## Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
SB-17s_3.jpg					3,5
SB-17s_4.jpg					2,5

S-29

Hustamarmor A/S

Visit ID 2184 Date 2009-09-01 Station S-29  
 Latitude 62,83949 Longitude 7,08669 Depth (m) 58

Mean Ecological status



Image ID 5267  
 S-29s\_2.jpg

Detailed analyse of shown image

- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface #
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface #
- aRPD (cm)
- RPD #
- BHQ index  $\Sigma$ #
- Ecological status
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-29s_1.jpg					9,0
S-29s_2.jpg					10,0
S-29s_3.jpg					10,0










S-28

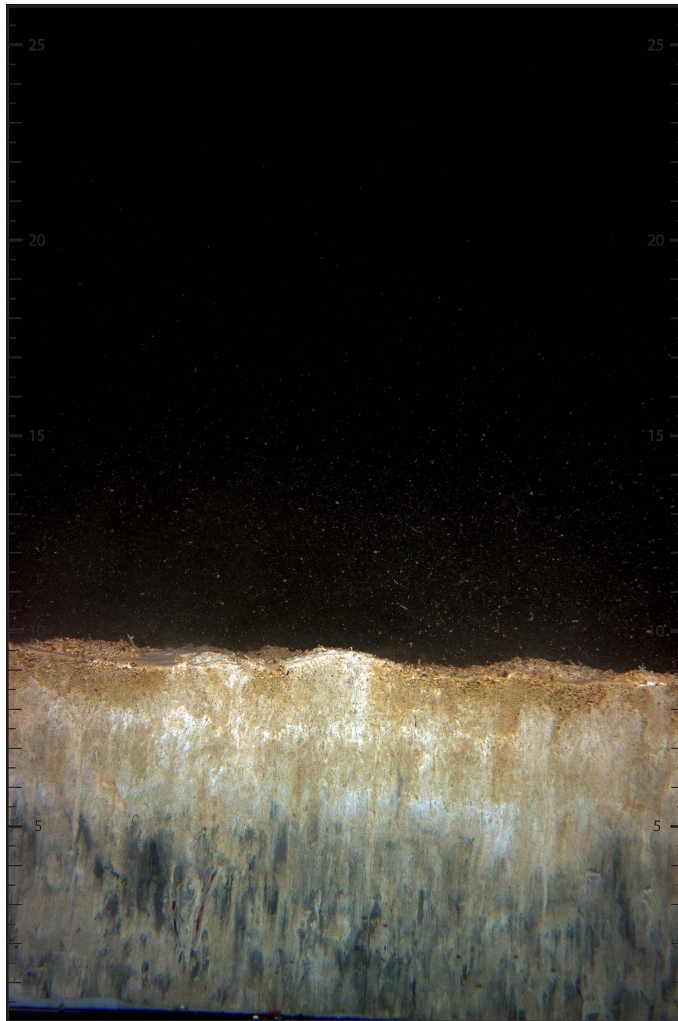
Hustamarmor A/S

Visit ID 2185 Date 2009-09-01 Station S-28  
 Latitude 62,84111 Longitude 7,08819 Depth (m) 56

Mean Ecological status

Detailed analyse of shown image

- Image ID 5263
- S-28s\_1.jpg
- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-28s_1.jpg					9,0
S-28s_3.jpg					9,0
S-28s_4.jpg					10,0



S-27






Hustamarmor A/S

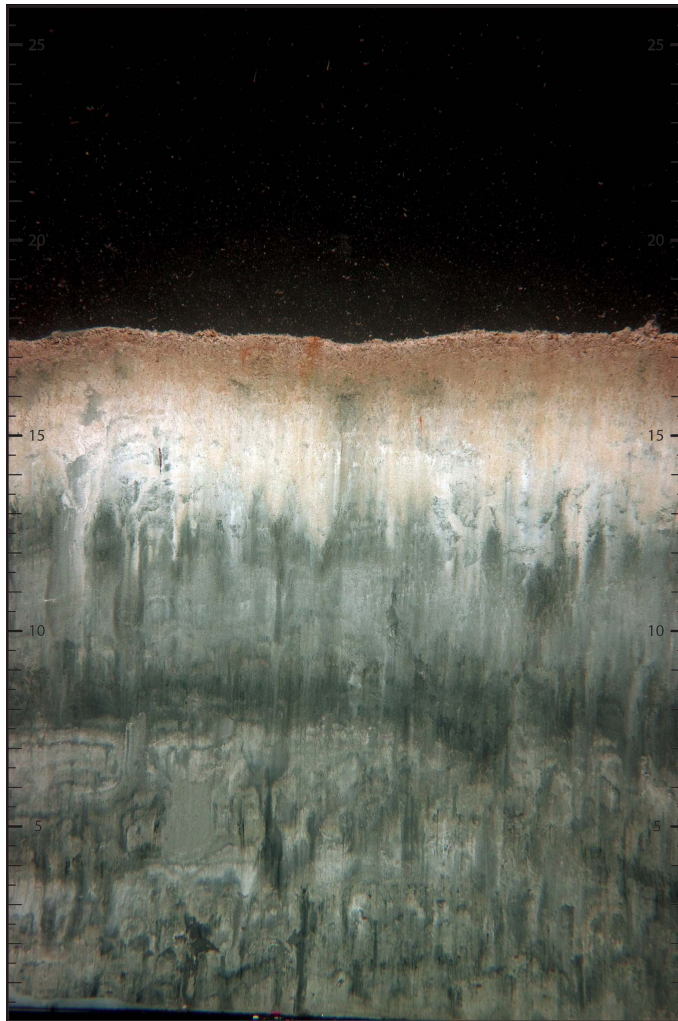
Visit ID 2186      Date 2009-09-01      Station S-27  
 Latitude 62,84215      Longitude 7,09638      Depth (m) 59

Mean Ecological status



Detailed analyse of shown image

- Image ID 5260
- S-27s\_1.jpg
- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-27s_1.jpg					17,5
S-27s_2.jpg					19,0
S-27s_3.jpg					19,0



# SB-22 Hustamarmor A/S






Visit ID 2187 Date 2009-09-01 Station SB-22  
 Latitude 62,84057 Longitude 7,09935 Depth (m) 64

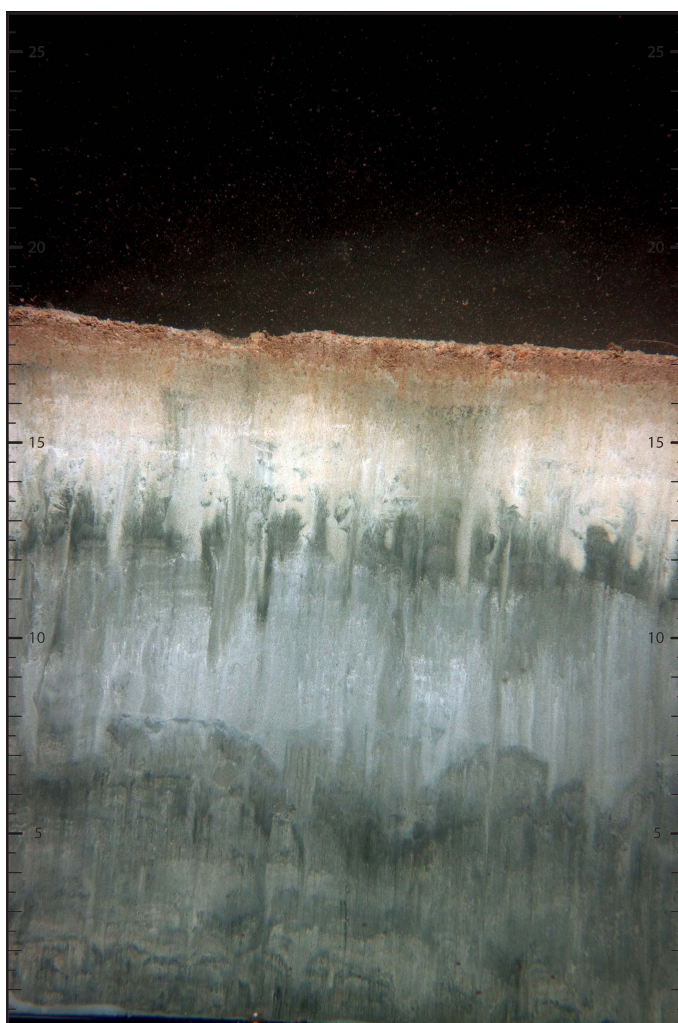
Mean Ecological status



Image ID 5293  
 SB-22s\_1.jpg

Detailed analyse of shown image

- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

## Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
SB-22s_1.jpg					18,0
SB-22s_2.jpg					21,0
SB-22s_3.jpg					20,5



S-39






Hustamarmor A/S

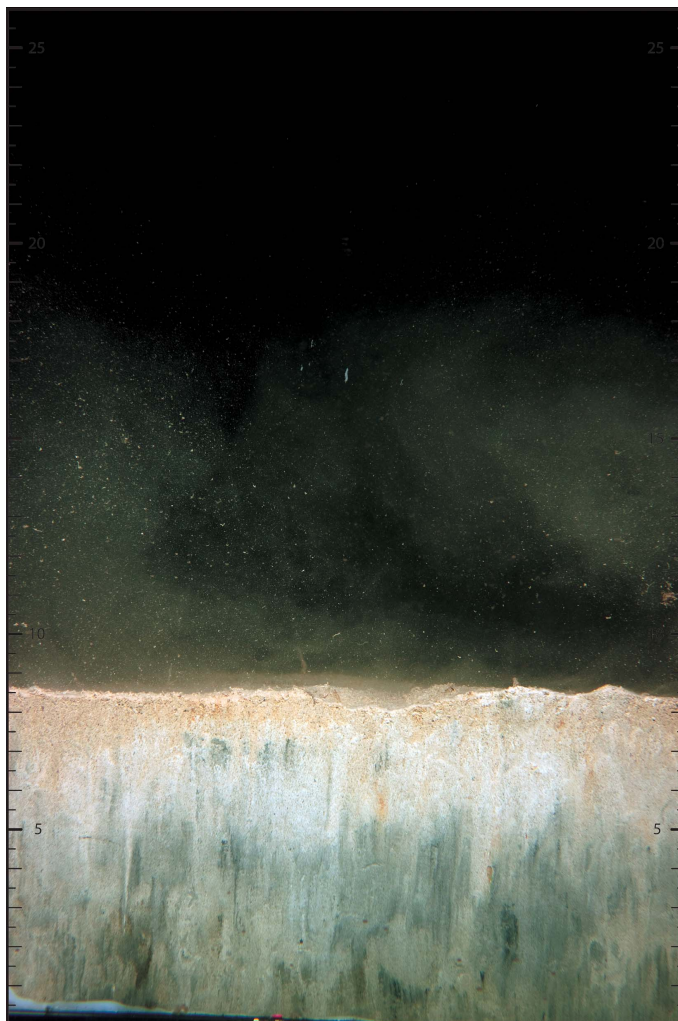
Visit ID 2188      Date 2009-09-01      Station S-39  
 Latitude 62,84282      Longitude 7,15093      Depth (m) 32

Mean Ecological status



Detailed analyse of shown image

- Image ID 5275
- S-39s\_1.jpg
- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-39s_1.jpg					8,5
S-39s_2.jpg					9,0
S-39s_3.jpg					10,0



# SB-4 Hustamarmor A/S

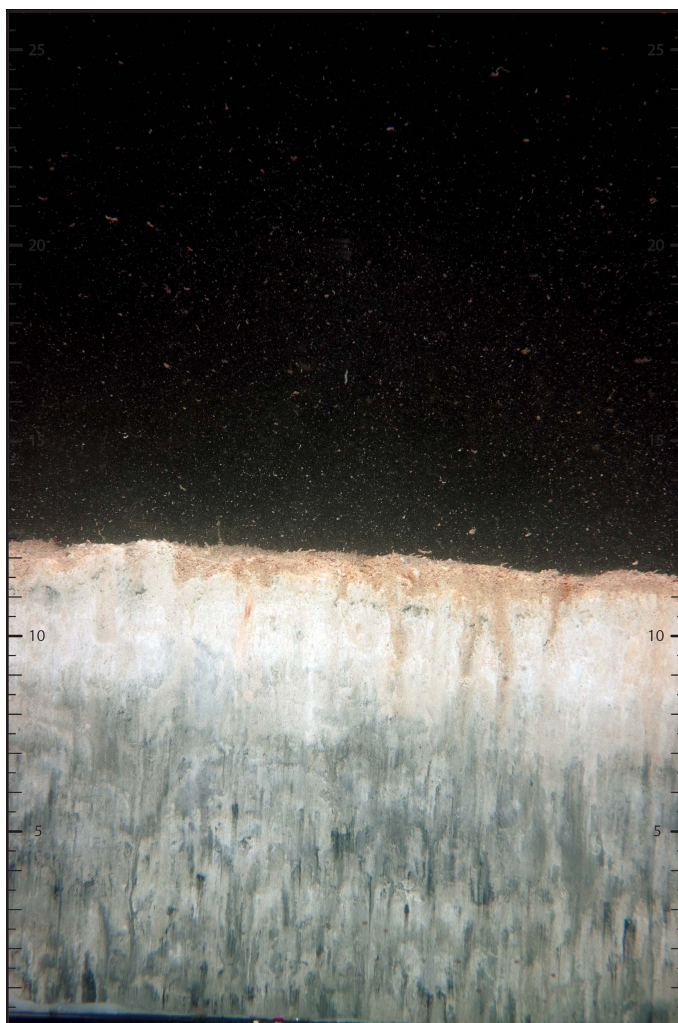
Visit ID 2189      Date 2009-09-01      Station SB-4  
 Latitude 62,84604      Longitude 7,14608      Depth (m) 36

Mean Ecological status



Detailed analyse of shown image

- Image ID 5296
- SB-4s\_1.jpg
- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface #
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface #
- aRPD (cm)
- RPD #
- BHQ index Σ#
- Ecological status
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

## Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
SB-4s_1.jpg					11,5
SB-4s_2.jpg					11,0
SB-4s_3.jpg					14,5
SB-4s_4.jpg					11,5



S-25

Hustamarmor A/S

Visit ID 2190 Date 2009-09-01 Station S-25  
 Latitude 62,84560 Longitude 7,13725 Depth (m) 40

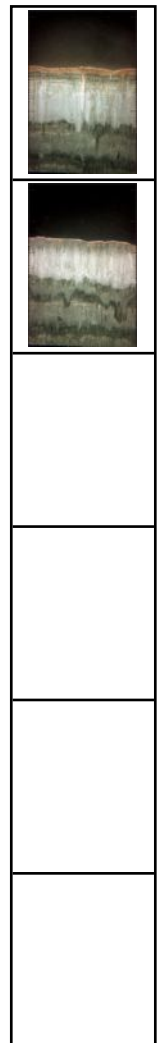
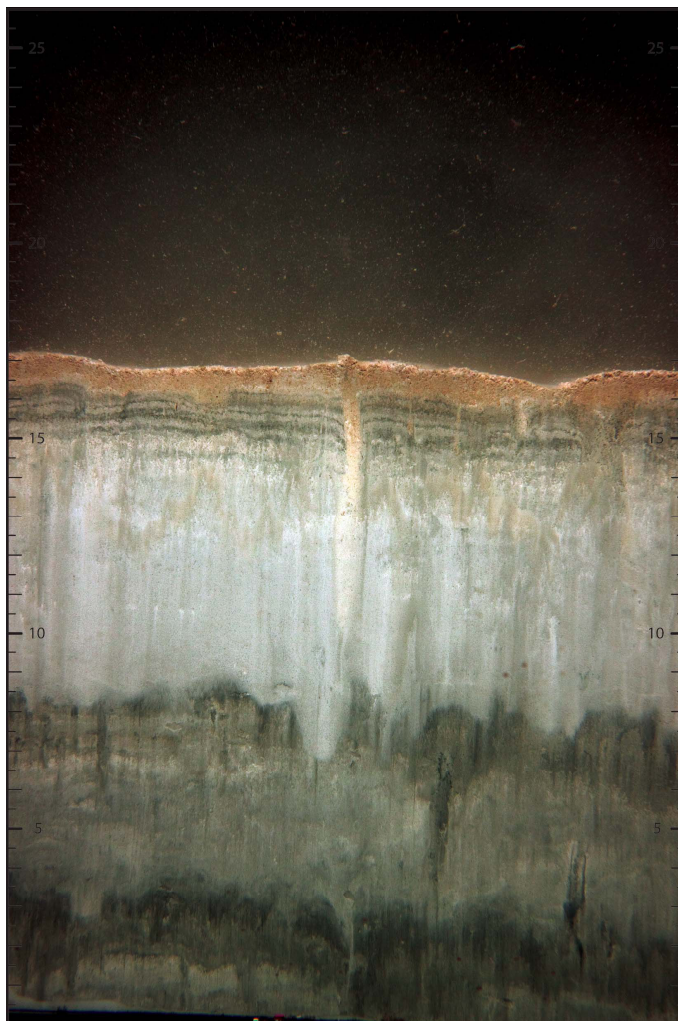
Mean Ecological status



Image ID 5258  
 S-25s\_1.jpg

Detailed analyse of shown image

- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface #
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface #
- aRPD (cm)
- RPD #
- BHQ index  $\Sigma$ #
- Ecological status
- SPI Weight 0,0



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-25s_1.jpg					17,0
S-25s_2.jpg					16,5





S-5

Hustamarmor A/S

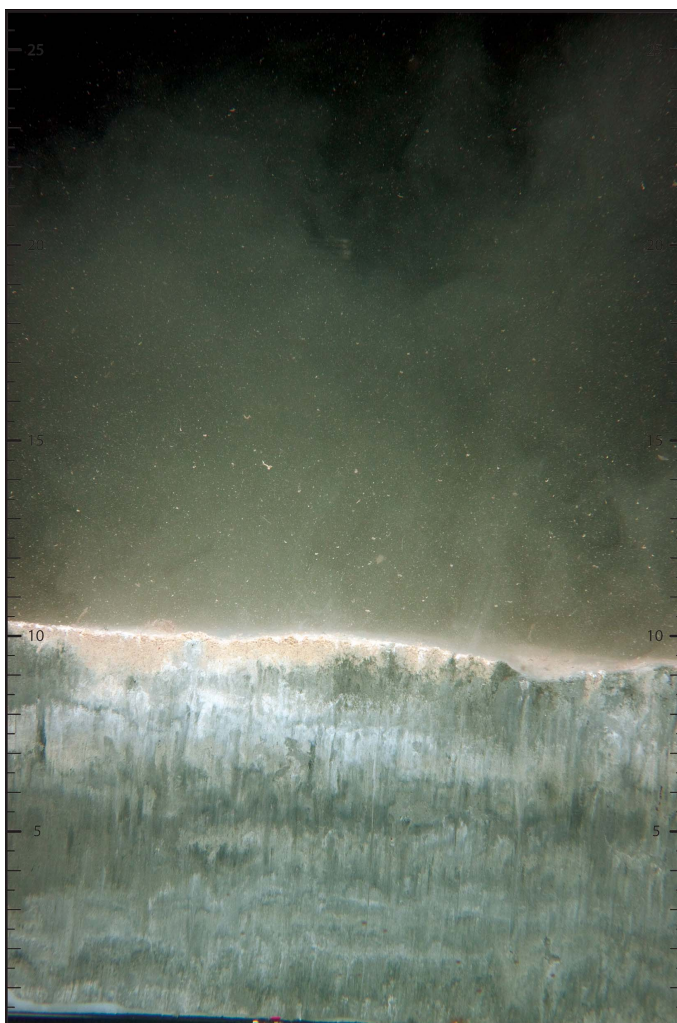
Visit ID 2191 Date 2009-09-01 Station S-5  
 Latitude 62,84838 Longitude 7,13668 Depth (m) 32

Mean Ecological status



Detailed analyse of shown image

- Image ID 5278
- S-5s\_2.jpg
- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface #
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface #
- aRPD (cm)
- RPD #
- BHQ index Σ#
- Ecological status
- SPI Weight 0,0



Thumbnail of replicates

Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-5s_2.jpg					11,0
S-5s_3.jpg					10,0
S-5s_4.jpg					9,5



# S-16







# Hustamarmor A/S

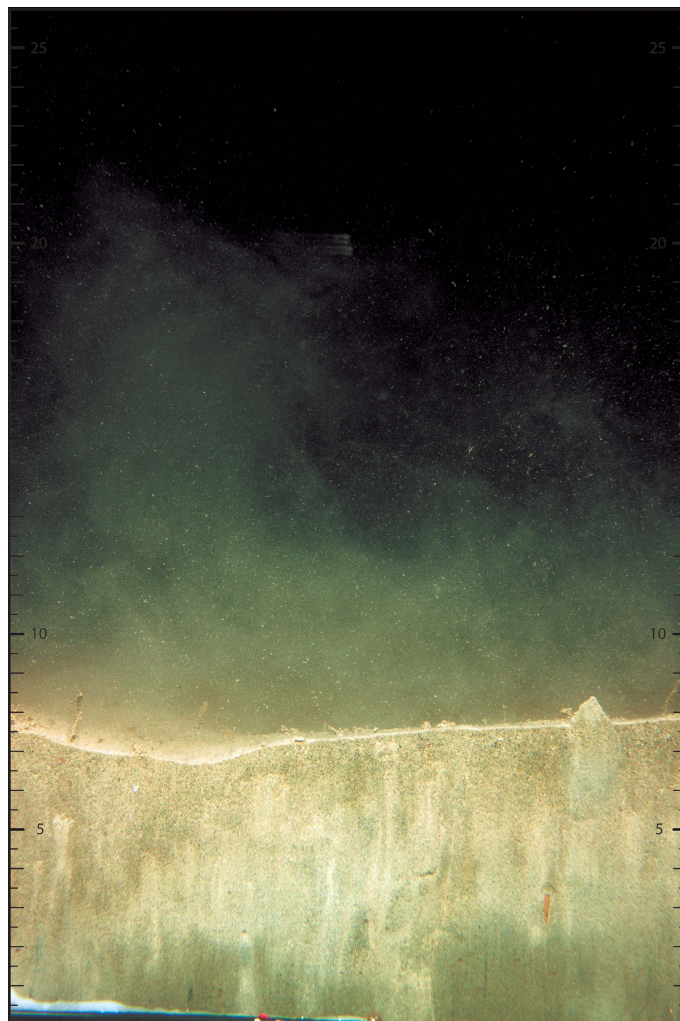
Visit ID 2192      Date 2009-09-02      Station S-16  
 Latitude 62,83374      Longitude 7,07245      Depth (m) 55

Mean Ecological status  


Image ID 5303  
 S-16s\_4.jpg

Detailed analyse of shown image

- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm) 
- RPD # 
- BHQ index Σ# 
- Ecological status 
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

## Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
S-16s_1.jpg					5,5
S-16s_2.jpg					7,5
S-16s_4.jpg					7,5








# SB-11 Hustamarmor A/S

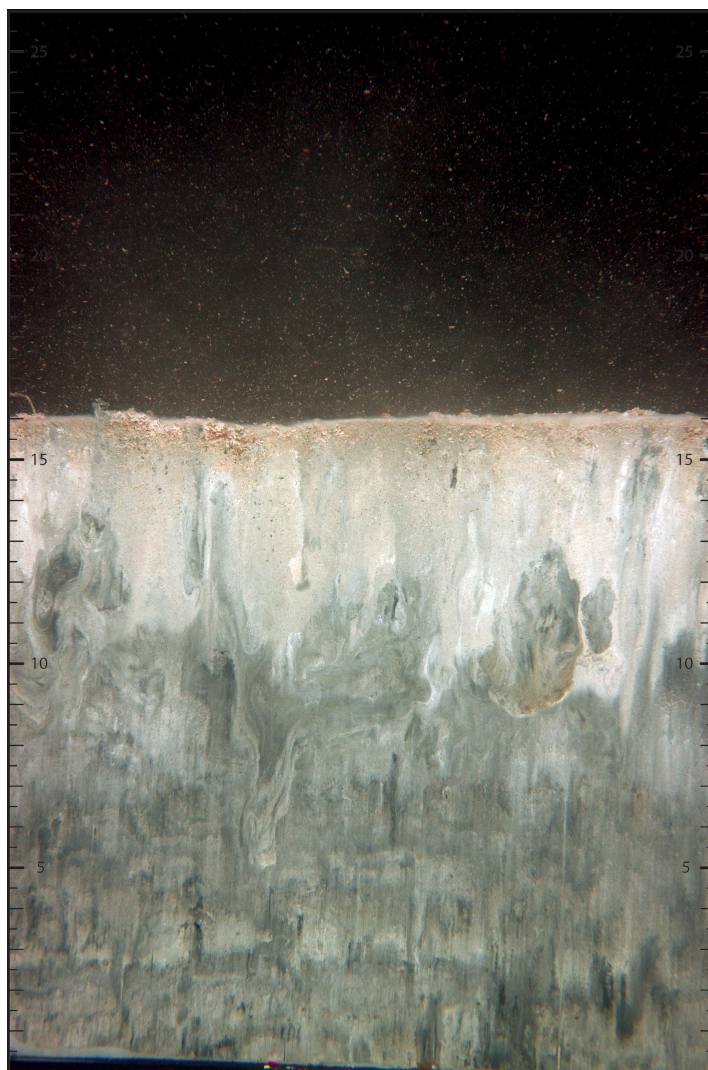
Visit ID 2193      Date 2009-09-02      Station SB-11  
 Latitude 62,84097      Longitude 7,10570      Depth (m) 61

Mean Ecological status



Detailed analyse of shown image

- Image ID 5307
- SB-11s\_5.jpg
- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 16,8



Thumbnail of replicates

## Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
SB-11s_2.jpg					16,5
SB-11s_4.jpg					14,5
SB-11s_5.jpg					16,0






# SSPI-1 Hustamarmor A/S

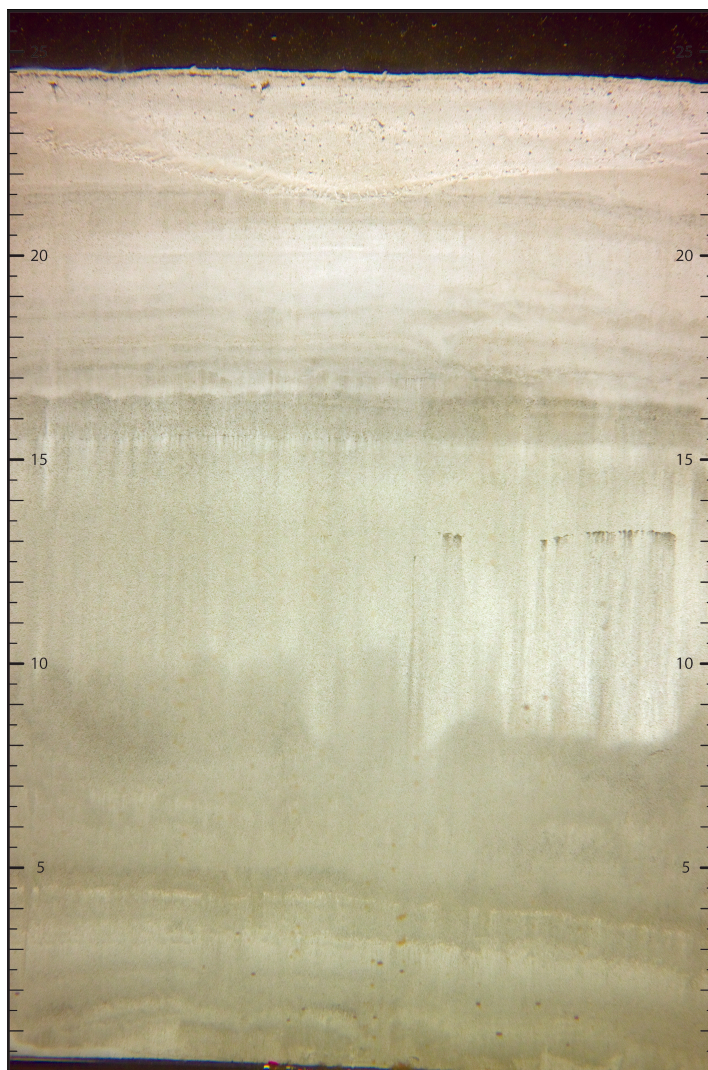
Visit ID 2194      Date 2009-09-02      Station SSPI-1  
 Latitude 62,84360      Longitude 7,11235      Depth (m) 50

Mean Ecological status  


Image ID 5308  
 SSPI-1s\_1.jpg

Detailed analyse of shown image

- Fecal
- Small tube
- Large tube
- Brittle star
- Feeding pit
- Mound
- Surface # 
- Infauna
- Sesil epifauna
- Shallow Burrow
- Deep Burrow
- Oxic void
- Anoxic void
- Subsurface # 
- aRPD (cm)
- RPD # 
- BHQ index  $\Sigma$ # 
- Ecological status 
- SPI Weight 0,0



Thumbnail of replicates

## Summary of image analyse of replicates

File name	Surface #	Subsurface #	aRPD (cm)	BHQ index	Penet. depth (cm)
SSPI-1s_1.					24,5
SSPI-1s_3.					23,5

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo  
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00  
[www.niva.no](http://www.niva.no) • [post@niva.no](mailto:post@niva.no)