

Hannevika

Undersøkelser vedrørende
tildekkingen av forurensede
sedimenter



Hovedkontor

Gaustadaléen 21
0349
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Hannevika. Undersøkelser vedrørende tildekkingen av forurensede sedimenter	Løpenr. (for bestilling) 5328-2007	Dato 31.5.2007
	Prosjektnr. Undernr. 26281	Sider Pris 52
Forfatter(e) Jarle Molvær og Aud Helland	Fagområde Oseanografi Miljøgifter	Distribusjon
	Geografisk område Vest-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Fylkesmannen i Vest-Agder, Kristiansand.	Oppdragsreferanse 2003/93
--	------------------------------


Sammendrag

Bakgrunnen for prosjektet er myndighetenes behov for mer informasjon om sedimentene i Hannevika og hvilke faktorer som kan ha medvirket til at tildekkingen i enkelte områder ikke er tilfredsstillende.

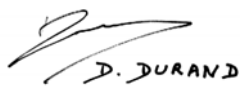
Målinger under skipsankomster/-avganger viste moderat til liten oppvirvling og spredning av sedimenter. Grunnen er sannsynligvis forsiktig bruk av motor og propell og at bunnen langs hovedkaia allerede er renslyt for sedimenter. I forhold til målinger i 2001 var oppvirvlingen redusert. Enkelte kortvarige episoder med høy turbiditet kan skyldes utslipp av avløpsvann fra Falconbridge eller kommunalt overløp. Påvirkningen fra passerende ferjer er neppe av betydning, men man kan ikke se bort fra at avløpsvann fra utslipp nordøst for Hannevika i noen grad påvirker tilstanden.

Forurensede sedimenter utenfor hovedkaias NV ende kan skyldes direkte utslipp fra bedriften samt en stadig akkumulasjon av oppvirvlet sediment. Høye metallkonsentrasjoner i Hannevikas midtre del kan også forklares som resultat av et direkte utslipp samt tilførsel fra udekkede sedimentflater. Det synes fortsatt å være en viss tilførsel av rødt Fe-slam til området.

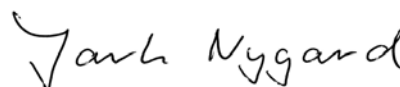
Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Hannevika	1. Hannevika
S Sedimenter	2. Sediments
3. Oppvirvling	3. Resuspension
4. Overdekking	4. Covering



Prosjektleder



Forskningsleder



Fag- og markedsdirektør

O-26281

Hannevika

Undersøkelser vedrørende tildekkingen av forurensede
sedimenter

Forord

Den foreliggende rapporten er utarbeidet av Norsk institutt for vannforskning på oppdrag for Fylkesmannen i Vest-Agder.

Bakgrunnen for prosjektet er myndighetenes behov for mer informasjon om sedimentene i Hannevika og hvilke faktorer som kan ha medvirket til at tildekkingen i enkelte områder ikke er tilfredsstillende.

Jon Egil Vinje, Multiconsult Kristiansand, takkes for konstruktivt samarbeid og mange gode innspill til prosjektgjennomføringen. Øyvind Sivertsen, Multiconsult Kristiansand, takkes for god hjelp under utsetting og opptak av strømmålere. Hallvard Olsen, Lillesand kommune, både førte båten og bisto med praktisk hjelp på en utmerket måte under feltarbeidet.

Ved NIVA har Aud Helland ledet arbeidet med sedimentprøvetaking mens Jarle Molvær hadde ansvar for målingene omkring oppvirvling og spredning av sedimenter i forbindelse med skipsanløp og –avganger. Sistnevnte har også vært prosjektleder.

Oslo, 31.5.2007

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn og formål for prosjektet	7
2. Metodikk og data	9
2.1 Skipsanløp og -avganger i måleperioden	9
2.2 Utslipp fra Falconbridge Nikkelverk	11
2.3 Utslipp av kommunalt overvann	12
2.4 Målinger av partikkeloppvirvling og spredning	13
2.5 Etterkontroll av tildekkingslaget	16
3. Resultater	18
3.1 Vannmassene i Hannevika	18
3.2 Automatisk registrering av turbiditet og strøm	18
3.3 Manuelle målinger av turbiditet og vannkvalitet	32
3.4 Etterkontroll av sedimenter og dekkmasser	37
3.4.1 Sedimentenes generelle beskaffenhet	37
3.4.2 Erosjon og sedimentasjon	42
4. Sammenfattende vurdering	44
5. Anbefalinger	45
6. Litteratur	46
Vedlegg A. Oversikt over utslipp fra Falconbridge Nikkelverk	47
Vedlegg B. Sedimentkjerner fra Hannevika 10.11.2006	50

Sammendrag

Den foreliggende rapporten er utarbeidet av Norsk institutt for vannforskning for Fylkesmannen i Vest-Agder. I 2002 ble det igangsatt en tildekking av de forurensede sedimentene i Hannevika. Bakgrunnen for denne rapporten er myndighetenes behov for mer informasjon om sedimentene i Hannevika og hvilke faktorer som kan ha medvirket til at tildekkingen i enkelte områder ikke er tilfredsstillende.

Undersøkelser av oppvirvling og spredning av sedimenter i forbindelse med skipstrafikk

Målingene omfattet

- Målinger av strømrretning, strømhastighet, turbiditet, temperatur og saltholdighet med 1-2 minutters intervaller
- målinger av turbiditet, temperatur og saltholdighet med sonde på omkring 10 stasjoner i Hannevika og i Vesterhavn
- vannprøver for analyse av totalt suspendert materiale i Hannevika og i Vesterhavn

I tillegg har Falconbridge Nikkelverk gitt opplysninger om skipsanløp/-avganger i tidsrommet da målingene foregikk.

Målingene i Hannevika tyder på en varierende, men jevnt over liten oppvirvling og spredning av sedimenter i forbindelse med skipstrafikken ved hovedkaia. Dette skyldes sannsynligvis fire faktorer:

1. Forsiktig bruk av motor (liten og kortvarig propelleffekt) ved ankomst og avgang:
2. Relativt stor avstand mellom området der propellen brukes og målepunktet:
3. Rengjøring under hovedkaia
4. Renspyling av bunnen langs hovedkaia: sannsynligvis har skipstrafikken ved hovedkaia for lenge spylt bort de lett eroderbare sedimentene.

Sammenlignet med målingene i 2001 var oppvirvlingen i forbindelse med skipsbevegelser klart mindre høsten 2006.

Det ble registrert enkelte kortvarige situasjoner med høy turbiditet utenom ankomst eller avgang av skip. Årsaken til dette er ukjent, men kan være utslipp av industrielt og kommunalt avløpsvann til Hannevikas indre del.

Inntransport av forurensede sedimenter fra områdene utenfor Hannevika

Målinger av turbiditet og partikkelmengde under ferjeanløp viste en betydelig lokal partikkeloppvirvling ved ankomst av *Silvia Ana*, men mindre ved ankomst av *MasterCat*. Oppvirvlingen skjer så langt unna at dette neppe i merkbar grad påvirker sedimentene i Hannevika.

Målinger av strømmens retning og hastighet på stasjon S3 i Hannevikas østre ende sannsynliggjør at fortynnet avløpsvann fra utslipp øst og nord for hovedkaia iblant kan bli ført inn i Hannevika.

Kontroll av sedimenter og dekkmasser

Prøvetaking av bunnsedimentene viste en tilfredsstillende overdekking av sand og sandblandet leire varierende fra ca 20 til 40 cm mektighet. Generelt var dekkmassene mer sandige i de dypeste lagene og leire iblandet sand i de øvre lagene. Dette forklarer hvorfor man i etterundersøkelsene ikke fant sand i overflaten som forventet. En kan derved utelukke at utlagt sand kan være erodert og transportert ut av området. Dette var lite sannsynlig i og med at området i utgangspunktet har vært et depositionsområde for forurenset finkornet rødt Fe-slam.

Dekklag og underliggende masser var klart avgrenset. Disse klare overgangene tilsier at det ikke har vært noen innblanding mellom de to lagene.

Under dekkmassene ble det registrert rødt Fe-slam. De størst mektighetene (opptil > 60 cm) ble registrert utenfor Falconbridge på 20 – 30 m dyp. Slike lag ble ikke funnet i den sørlige delen av bukta. I denne delen av bukta ble grå, tilsynelatende uforurenset, leire med rester av skjell og snegl påtruffet fra 60 cm sedimentdyp.

Utenfor Falconbridge kaia ble det også registrert rødt Fe-slam på 5- 20 cm mektighet med sandlag over og under. Dette mellomliggende laget tilskrives tilførsler fra under kaiene etter at bukta ble tildekket. Dette er i overensstemmelse med at overdekkingen i Hannevika ble utført et år før området under kaiene ble tildekket med betongmadrasser og før øvrige grunnområder ble dekket til ytterligere. I denne perioden mottok dypområdet utenfor kaiene rødt Fe-slam fra skipsoppvirvling og annen forstyrrelse. Tilførselen var svært høy sammenlignet med naturlige prosesser.

Overnevnte konklusjoner viser at området utenfor kaiene har hatt den største sedimenttilveksten i området. Tilveksten har vært stor både pga nærheten til Falconbridge med de utslippene som har vært derifra og fordi sedimenter som avsettes i skråningen inn mot kaia etter hvert vaskes ned i nærliggende dypområde. Sistnevnte er en naturlig prosess som alltid pågår i slike områder.

Tilnærmet alle kjerner hadde rødt Fe-slam i overflaten. Dette tyder på at det fortsatt foregår eller har foregått en tilførsel av slikt sediment etter at området ble tildekket. Sannsynlig kilde er dårlig tildekkede områder som ble påvist ved dykkerundersøkelser i 2004 og 2005 og grunne områder < 10 m, som i utgangspunktet ikke skulle dekkes til, samt tilgrensende områdene utenfor Hannevika som ikke er tildekket. Etter påvisning av utildekkede områder i 2004 ble det foretatt en ytterligere tildekking i august 2004. Dykkerundersøkelser ett år etter (august 2005) påviste imidlertid fortsatt utildekkede områder utenfor Falconbridge kaia.

De høyeste konsentrasjonene av bl.a. nikkell og arsen i nyavsatt materiale (0 – 2 cm overflatesediment) er påvist sentralt i Hannevika. Årsaken til spesielt høye konsentrasjoner i dette området kan være flere:

- Tilførsel fra utslipp nr. 9 og 14 gir utvilsomt et bidrag.
- Bunntopografien i bukta er endret og kan ha blitt mer ujevn. Dette vil lokalt skape akkumulasjonsområder for fine partikler som ofte er de mest forurensete. En ujevn topografi fører til mer flekkvis fordeling av miljøgifter i sedimentene.
- Avstanden til dårlig tildekkede områder er relativt kort. Finpartikulært materiale i grunnområdene vil med tiden arbeide seg ut til dypereliggende områder.

Akkumulasjon av sedimenter samt høye metallkonsentrasjoner utenfor hovedkaias vestre ende kan skyldes direkte utslipp (nr. 14) samt gjentatte tilfeller av sedimentasjon av (mindre) mengder sedimenter som virvles opp i forbindelse med skipsbevegelser.

Anbefalinger

Det er tydelig at Hannevika fortsatt mottar rødt Fe-slam. En tildekking av gjenværende utildekkede områder i Hannevika vil stoppe tilførselen av dette slammet.

Falconbridge slipper fortsatt ut Fe og andre metaller til Hannevika. Om dette er i en annen form enn tidligere har vi ikke oversikt over. Ved å kjøre en full ICP analyse av dagens utslipp fra Falconbridge og sammenligne dette med sammensetningen av eldre utslipp (fås fra gamle avsetninger) kan en få en ide om dagens nyavsatte materiale er fortsatte utslipp eller resedimentasjon av gamle avsetninger.

Det er aktuelt å kvantifisere hva utslippene av kommunalt overvann tilfører Hannevika av metaller.

For å vurdere om utslipp til området nord og øst for Hannevika – eller oppvirvling av sedimentene her – er et kildeområde kan en mulighet være å tilsette en tracer til avløpsvann eller bunnsedimenter og se om dette kan spores inn i Hannevika. NIVA har benyttet slike tracere i andre sammenhenger.

1. Bakgrunn og formål for prosjektet

I 2002 ble det igangsatt en tildekking av de forurensede sedimentene i Hannevika (**Figur 1**, **Figur 2** og **Figur 3**). Dekklaget skulle ideelt ha en tykkelse på minst 25 cm. Undersøkelser i 2004 (Næs og Rygg, 2004) og 2005 (Skaar, 2005, Nilsson, 2005) viste at tildekkingslaget i enkelte områder ikke var tilfredsstillende. Det var knyttet flest spørsmål til området fra den NV enden av Falconbridgekaia til ut i sentrale deler av bukta. I områdene ved kaia kan årsaken til utilfredsstillende dekklag være erosjon, mens i de sentrale områdene kan årsaken være gjennombrudd i, eller oppressing av de løse underliggende sedimentene. Det kan også være en sedimentfokusering sentralt i bukta med partikler transportert inn fra omkringliggende områder.

Det skal derfor gjennomføres undersøkelser av strømforhold, karakterisering av sedimenter og målinger av sedimentasjon med sedimentfeller for å vurdere i hvilken grad sedimentene i Hannevika blir påvirket av:

1. *Skipsanløp og –avganger i trafikkhavn og ved kaier. Falconbridges havneområde står sentralt, men også muligheten for påvirkning fra Silvia Ana og MasterCat skal undersøkes.*
2. *Generell inntransport av forurensede sedimenter til Hannevika fra områdene utenfor.*
3. *Intern oppvirvling med påfølgende spredning – innen det overdekkede området*
4. *Erosjon eller nedsynking til underliggende sedimentlag*

Prosjektet bygger også på undersøkelsene av sedimentoppvirvling som NIVA utførte utenfor Falconbridge og Elkem høsten 2001 (Bjerkeng og Molvær, 2002), med støtte fra senere undersøkelser av propelloppvirvlet fjordsediment utenfor Elkem Fiskå (Ruus et al., 2005) og i Sandefjord (se bl.a. Bakke et al., 2005), samt undersøkelser som i 2004-2005 er utført i Hannevika som del av tildekkingsprosjektet (spesielt Næs og Rygg, 2004, Bergh-Christensen et al., 2004, Skaar 2005a,b, Nilsson, 2005).



Figur 1. Hannevika med båt på vei til Falconbridges hovedkai (kilde: Telefonkatalogen)



Figur 2. Oversikt over tildekninger i Hannevik og ved Falconbridges hovedkai tidsrommet 1998-2004 (kilde: Fylkesmannen i Vest-Agder).

Faser	Deloppgave	2002				2003				2004				2005				2006			
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Fase 1	Tildekking Hannevika																				
	Tildekking kaier sone 1-4																				
Fase 2	Madrass under kaia																				
	Tildekking: grunne områder, langs kai, utildekkede topper																				
Fase 3	BioConsult sedimentkjemi																				
	NIVA SPI og bunndyrundersøkelse																				
	BioConsult dykkerundersøkelse																				
	Anker dykkerservice, dykkerundersøkelse																				
Fase 4	NIVA etterundersøkelse																				

Figur 3. Tidskjema for tildekking og et utvalg av etterkontroller i området

2. Metodikk og data

2.1 Skipsanløp og -avganger i måleperioden

I tidsrommet 24.8-20.9.2006 var der 5 båtanløp ved Falconbridge (*Tabell 1*). Størrelsen av båtene varierer mye. Hovedkaia er 242 m lang. Mattebåter ligger med baugen fram til hovedkaias vestre ende (jfr. *Figur 4*), mens de langt mindre soda-, svovelsyre- og saltsyrebåtene legger til ved hovedkaias midtre og østre del.

Sodabåter forhales iblant, men uten bruk av propeller. Mattebåter og syrebåter forhales normalt ikke.

Tabell 1. Båtanløp og -avganger ved Falconbridges hovedkai i tidsrommet 24.8-20.9.2006 (opplysninger fra Falconbridge Nikkelverk)

Dato	Kl.	Skip	Tonnasje	Ankomst/avgang	Kommentar
24.8.06	1055	Federal Weser	DWT:37350	Ankomst	Mattebåt
25.8.06	1430	Federal Weser	"	Avgang	Mattebåt
26.8.06	0455	Wilson Brugge	DWT:3700	Ankomst	Sodabåt
29.8.06	0110	Wilson Brugge	"	Avgang	Sodabåt
1.9.06	1340	Mozelborg	DWT: 9000	Ankomst	Mattebåt
2.9.06	1615	Mozelborg		Avgang	Mattebåt
14.9.06	0930	Federal Matane	DWT: 27781	Ankomst	Mattebåt
15.9.06	1115	Federal Matane	"	Avgang	Mattebåt
19.9.06	Ca. 19	Nordstraum	DWT: 4750	Ankomst	Svovelsyrebåt
20.9.06	0805	Nordstraum	"	Avgang	Svovelsyrebåt



Figur 4. Federal Weser ved kai, 24.8.2006

Vurdering av hvorvidt de hurtiggående fergene (*Silvia Ana* og *MasterCat*) mellom Kristiansand og Danmark skaper oppvirvling i havnebassenget var også en oppgave. Rutetidene er vist i **Tabell 2**. Vi er ikke kjent med forsinkelser av betydning ved ankomster eller avganger.

Tabell 2. Avganger og ankomster for *Silvia Ana* og *MasterCat*.

Båt	Tid	Ankomst/Avgang	Kommentar
Silvia Ana	09	Avgang	Tidsrommet 24.8-3.9.06
	15	Ankomst	
	17	Avgang	
	23	Ankomst	
MasterCat	0730	Avgang	Tidsrommet 24-31.8.06
	12	Ankomst	
	1630	Avgang	
	1930	Ankomst	
MasterCat	0730	Avgang	Tidsrommet 1-20.9.06
	1230	Ankomst	
	1330	Avgang	
	1830	Ankomst	



Figur 5. *Silvia Ana manøvrerer i havnebassenget. Lagmannsholmen sees så vidt i høyre kant av bildet. Der er et område med skum, med turbulente vannmasser og oppvirvlede sedimenter mellom båten og Lagmannsholmen.*

2.2 Utslipp fra Falconbridge Nikkelverk

Fylkesmannen i Vest-Agder og bedriften har oversendt opplysninger om utslippene av forurensende stoffer til Hannevika og området umiddelbart utenfor (**Figur 6, Tabell 3** og Vedlegg A). Der er fire utslipp til Hannevika. To avløpsledninger (utslipp nr. 8 og 5.9 på bedriftens oversiktskart) fører oppsamlet overflatevann og regnvann som først er ledet til en settletank. Ledningen med utslipp nr. 8 munner ut midt på hovedkaia, like ved kaikanten. Ledningen for utslipp nr. 5.9 munner ut på 20-25 m dyp utenfor hovedkaiaes vestre halvdel.

Utslipp nr. 9 ledes ut i samme området som nr. 5.9, dvs. rett sør for hovedkaia. Som det framgår av Vedlegg A slippes det der ut metaller. Utslipp nr. 14 ledes ut i strandsonen (nær land) vest for hovedkaia. Også her slippes ut metaller. Vannmengdene er store – og varierende – og på årsbasis utgjør utslippene nr. 14 og nr. 9/5.9 totalt ca. 23000 m³/d.

De tre øvrige utslippene fra Falconbridge (nr. 20, 3 og 7) munner ut hhv.

- ved land nord i Kolsdalsbukta
- på 30-35 m dyp øst-nordøst for østre ende av hovedkaia
- på ca. 25-30 m like øst for østre ende av hovedkaia

Tilstanden i Hannevika påvirkes i første rekke av utslipp nr. 9 og nr. 14 som særlig bidrar med nikkel, jern og sink. Dessuten vil sannsynligvis manøvrering (baking) av båter ved østre enden av hovedkaia iblant føre fortynnet avløpsvann fra utslipp nr. 7 innover i bukta. Strømretningen utenfor Hannevika er varierende og sannsynligvis i hovedsak nord-sør. Det betyr i så fall at fortynnet avløpsvann fra utslippene 20, 3 og 7 iblant føres sørover til munningen av vika med risiko for at noe føres inn i Hannevika med tidevann eller pga. virkning av vind.



Figur 6. Plassering av utslipp fra Falconbridge Nikkelverk og av kommunalt overvann. For nærmere beskrivelse se teksten i kap. 2.2-2.3 og Vedlegg A.

Tabell 3. Utslipp pr. år fra Falconbridge Nikkelverk som gjennomsnitt for 2003, 2004 og 2004 (kilde SFT).

Forbindelse	Nikkel	Kobber	Cobolt	Jern	Arsen	Kadmium	Sink	Bly	Dioksiner
Gj.snitt utslipp 2003-2005, målt	1207 kg	741 kg	129 kg	649 kg	374 kg	0 kg	128 kg	12 kg	0,25 g
Konsesjonskrav i tillatelse gjeldende 1.1.04	2200 kg	1800 kg	300 kg	2200 kg	400 kg	10 kg	700 kg	120 kg	0,5 g/år

2.3 Utslipp av kommunalt overvann

Som en del av avløpssystemet knyttet til Bredalsholmen rensanlegg har Kristiansand to utslipp av overvann til Hannevika, på 12-15 m dyp (**Figur 6**). Utslippene brukes når vannmengdene i avløpsnettet er uvanlig store pga. nedbør eller snøsmelting. Kommunen opplyser at i 2006 utgjorde det ene utslippet 33000 m³ (det sørligste av de to utslippene) og det andre 730 m³. I august 2006 var de i drift en gang (utslipp av 53 m³) og i september tre ganger (utslipp av 37 m³). Mer presis tidsangivelse er ikke mulig.

Der finnes ingen analyser av overvannet og trolig er konsentrasjonene betydelig lavere enn i vanlig råkloakk, men en indikasjon på konsentrasjoner og mengder kan en kanskje få ved gjennomgang av resultatene fra analyser av avløpsvannet som kommer inn på rensanlegget. Vannprøver som er tatt under stor vannmengde inn på anlegget er spesielt interessante.

2.4 Målinger av partikkeloppvirvling og spredning

Hensikten med målingene av strømforhold, turbiditet og partikkelkonsentrasjon er å framskaffe

1. datagrunnlag for å kunne vurdere målene 1-3 i foranstående kapittel.
2. konkrete opplysninger om partikkelmengde og spredningsveier (utslipp, oppvirvling i forbindelse med skipanløp/-avganger) til støtte for tolkning av data fra sedimentkjernene og sedimentfellene.
3. data til bruk i simuleringsmodeller for oppvirvling og spredning

Automatisk registrerende målere

Det ble benyttet to automatisk registrerende instrumenter av type Aanderaa RMC9. Disse registrerer strømretning, strømhastighet og turbiditet, samt temperatur og saltholdighet. Målerne har intern klokke. Data fra strømmåling og turbiditet kan sammenholdes med opplysninger om båtanløp og –avganger og gi grunnlag for å bedømme hvorvidt der skjer en påvirkning. Tekniske data for RCM9-måleren er gitt i **Tabell 4**.

Den tredje måleren var en vertikalt profilerende akustiske måler som registrerte strømretning og – hastighet i 1 m tykke lag i hele vannsøylen (type Aanderaa RDCP600, se **Tabell 5**). Turbiditeten blir ikke målt i disse lagene, men signalstyrken (styrken av det akustiske retursignalet) i hvert lag gir vanligvis en god indikasjon på partikkelmengden, og dermed også hvorfra en evt. økt mengde kommer fra. Data sammenholdes med opplysninger om båtanløp og –avganger (inkludert Silvia Ana og MasterCat) og gir grunnlag for å bedømme hvorvidt der skjer en påvirkning.

Målerne ble plassert i posisjoner som vist i **Figur 7**. Hensikten med disse tre målepunktene var:

S1: gi opplysninger om oppvirvling fra skip som ankommer/-forlater hovedkai (RCM9).

S2: beskrive tilstanden i den sentrale delen av overdekkingsområdet, der kontamineringen ser ut til å øke. Måleren vil gi opplysninger om strømhastighet ved bunnen, herunder hvilke strømretninger som medfører høy turbiditet (partikkelmengde) og tidspunktene for når det i så fall skjer. Tidspunktene kan sammenholdes med manøvrering av skip til og fra Falconbridges kai og evt. med varierende utslipp (RCM9).

S3: Beskrive inntransport fra områdene utenfor, herunder fra ferjene. Her brukes den vertikalt profilerende måleren (RDCP600).

Målerne ble innstilt for å registrere med korte tidsintervall slik at man med rimelig sikkerhet ville registrere evt. økning i turbiditet pga. effekten av propellen. Måling med 1 min. intervall på stasjon S2 førte til at serien ikke dekket så langt tidsrom som for stasjon S1 og S3. Se for øvrig **Tabell 6**.

Tabell 4. Spesifikasjoner for Aanderaa RCM9 Mk II.

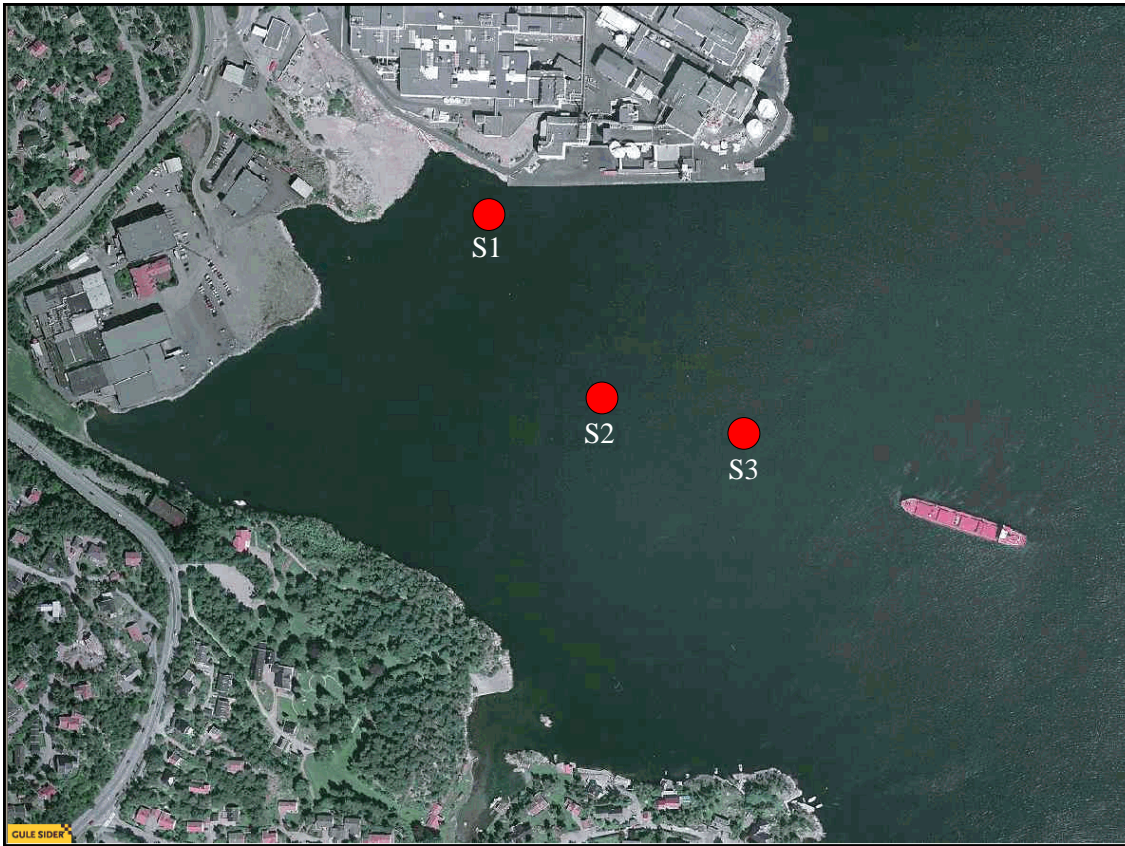
Parameter	Nøyaktighet
Temperatur	0,05 °C
Konduktivitet	0,05mS/cm
Retning	$\pm 5^0$
Hastighet	$\pm 1\%$ av avlest verdi
Turbiditet	2% av full skala

Tabell 5. Spesifikasjoner for Aanderaa RDCP600

Parameter	Nøyaktighet
Temperatur	0,05 °C
Retning	$\pm 4^0$
Hastighet	0,5 cm/s

Tabell 6. Data for de tre posisjonene der målinger ble gjort i tidsrommet 24.8-20.9.2006

Stasjon	Måler	Måledyp	Bunndyp	Intervall
S1	RCM9	12	15 m	2 minutt
S2	RCM9	10	23 m	1 minutt
S3	RDCP600	29	31 m	5 minutt

**Figur 7.** Plassering av instrumenter for måling av strømhastighet, strømretning og turbiditet (kartgrunnlag: Telefonkatalogen).

Manuelle målinger av turbiditet og partikler

Ved utsetting og opptak av instrumentene ble det gjort manuelle målinger (bruk av STD med turbiditetsensor og direkte overføring til PC, kombinert med vannprøver fra dyp med høy turbiditet) ved båtavganger (ved Falconbridge, *Silvia Ana* og *MasterCat*). Plassering av vannprøvestasjonene er vist i **Figur 8**. I august ble målingene sør for ferjekaia gjort i forbindelse med ankomst av *Silvia Ana* (jfr. **Figur 5**.) mens turbiditetsmålinger i september skjedde ved ankomst av *MasterCat*. Sondens sensor for måling av turbiditet var kalibrert i forhold til ISO-standard og verdiene uttrykkes i FTU (Formazin Turbidity Units) Måleintervallet var 0-62 FTU. **Tabell 7** viser sondens målenøyaktighet. Man kan merke seg at de aller fleste registreringene av turbiditet var under 5 FTU, og usikkerheten er da $<0,1$ FTU.

Tabell 7. SD204-sonden. Parametre og presisjon.

Parameter	Usikkerhet
Temperatur	$\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
Saltholdighet	$\pm 0,1\%$
Turbiditet	$<2\%$ FTU

STD-sonden var innstilt på registrering hvert sekund. Ved å senke den langsomt fra overflaten og til bunnen fikk man registrering med ca. 0,5 m intervall. En økning i turbiditet er en rimelig sikker indikasjon på økt partikkelinnhold i vannmassen og resultatene ble både brukt til en oversikt over oppvirvling og som grunnlag for å ta vannprøver i dyp med spesielt høy turbiditet. For å verifisere registreringene med STD-sonden ble det ved flere punkter tatt vannprøver som ble analysert mht. total suspendert materiale (TSM).



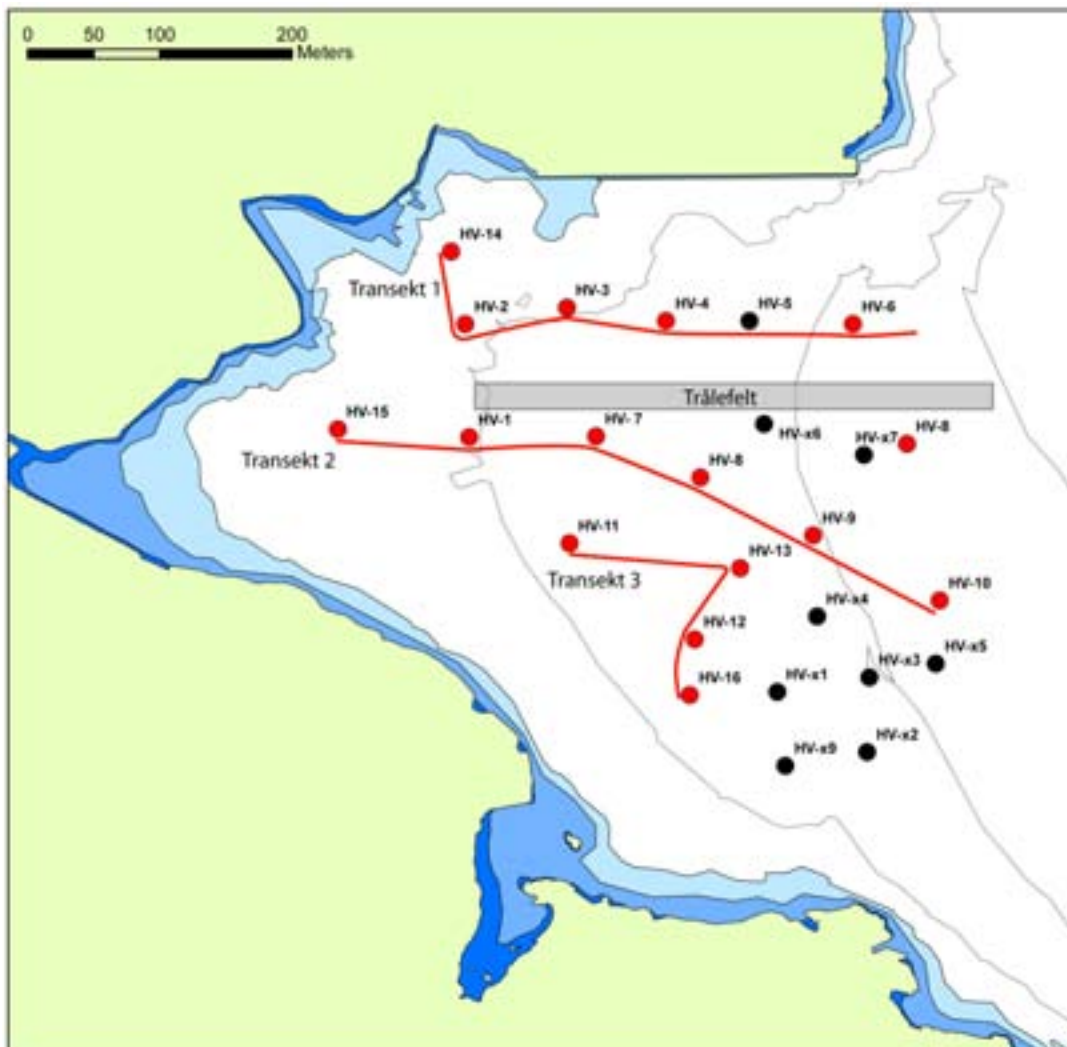
Figur 8. Stasjoner for måling av turbiditet og innsamling av vannprøver den 24.8.06 (øverst) og av turbiditet den 20.9.06 (nederst). Kartgrunnlag: Telefonkatalogen.

2.5 Etterkontroll av tildekkingslaget

Feltarbeidet med innsamling av bunnsedimenter i Hannevika ble utført 10 – 11.11.06 ved bruk av Universitetet i Oslo sin båt F/F ”Trygve Braarud” med skipper Sindre Holm.

Bunnsedimentene ble prøvetatt med en KC-gravity corer for å få et visuelt inntrykk av sedimentenes beskaffenhet med hensyn til mektighet av dekklaget, de underliggende forurensede sedimentene og de pre-industrielle uforurensede lagene. Prøvetakeren er ikke egnet til prøvetaking av det øverste nyavsatte ”fluffy” laget (øvre 1-2 cm) av sedimentene fordi den er utrustet med en såkalt ”core catcher” som forstyrrer overflaten. For å få gode prøver av topplaget bør det benyttes en mindre kjernepøvetaker (Niemistö 1974) eller evt. prøvetaking ved dykking. Sedimentene var for harde til at det lyktes å få opp lange kjerner med Niemistö prøvetakere. Denne har en indre rørdiameter på 6 cm, mens KC prøvetakeren har en indre rørdiameter på 8 cm. Det lyktes å ta kjerner på opp til 120 cm lengde med KC prøvetakeren.

Totalt ble det forsøkt tatt prøver fra 25 punkter i Hannevika (**Figur 9**). I enkelte områder besto bunnen av kompakt leire iblandet stein (pukk). Her var det ikke mulig å få opp prøver. Totalt lyktes det å få 15 gode kjerner fra området (jfr. røde symboler i **Figur 9**). Kjernene ble snittet langsetter og gitt en visuell beskrivelse (**Figur 27**, **Figur 28** og **Figur 29**) og fotografert. Det ble deretter tatt prøver av utvalgte lag for i ettertid å kunne dokumentere sammensetningen av dekklaget, det forurensede laget samt de dypere uforurensede sedimentene. Disse prøve ble frosset ned etter hvert om bord i skipet og lagres nå frosset ved NIVAs laboratorium i påvente av eventuelle senere analyser.

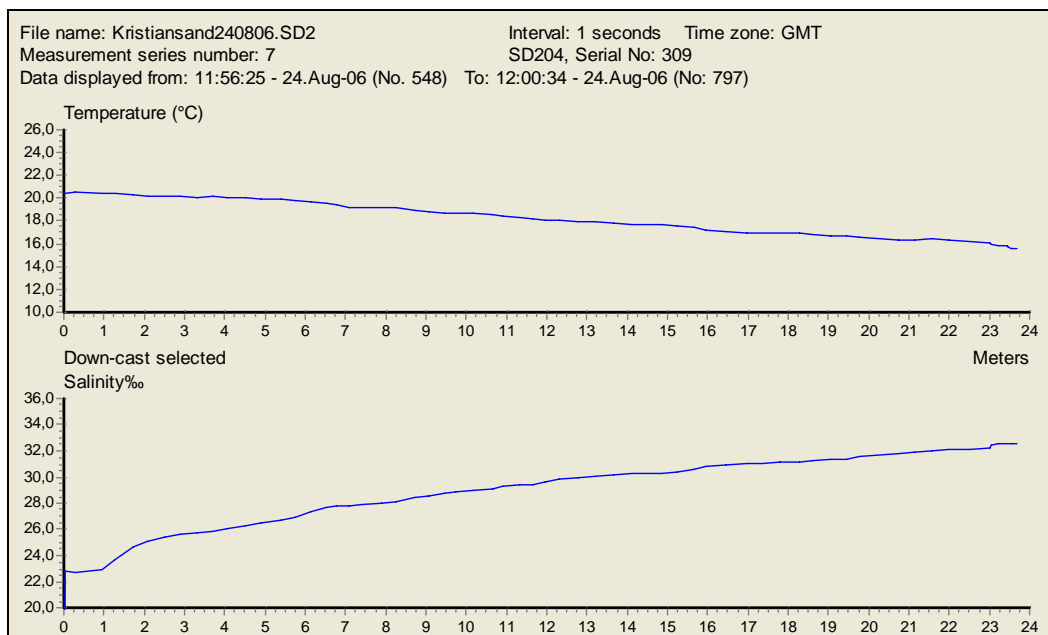


Figur 9. Prøvetakingspunkter for bunnsedimenter i Hannevika 10 – 11.11.06. Røde symboler markerer stasjoner hvor det lyktes å få tatt kjerner. Svarte symboler markerer områder hvor det ikke lyktes å få opp kjerner. Røde linjer markerer transekter jfr. **Figur 27**, **Figur 28** og **Figur 29**. Blått felt markerer trålefelt for bløtbunnsundersøkelser.

3. Resultater

3.1 Vannmassene i Hannevika

Hannevika har liten direkte tilførsel av ferskvann og både i august og i september var vannmassene svakt vertikalt sjiktet som vist i **Figur 10**. Man kan imidlertid merke seg et forholdsvis homogent overflatelag med tykkelse på ca. 1 m og tydelig lavere saltholdighet.



Figur 10. Vertikalprofil for temperatur (øverst) og saltholdighet (nederst) i vannmassene midt i Hannevika (stasjon S2) den 24.8.2006

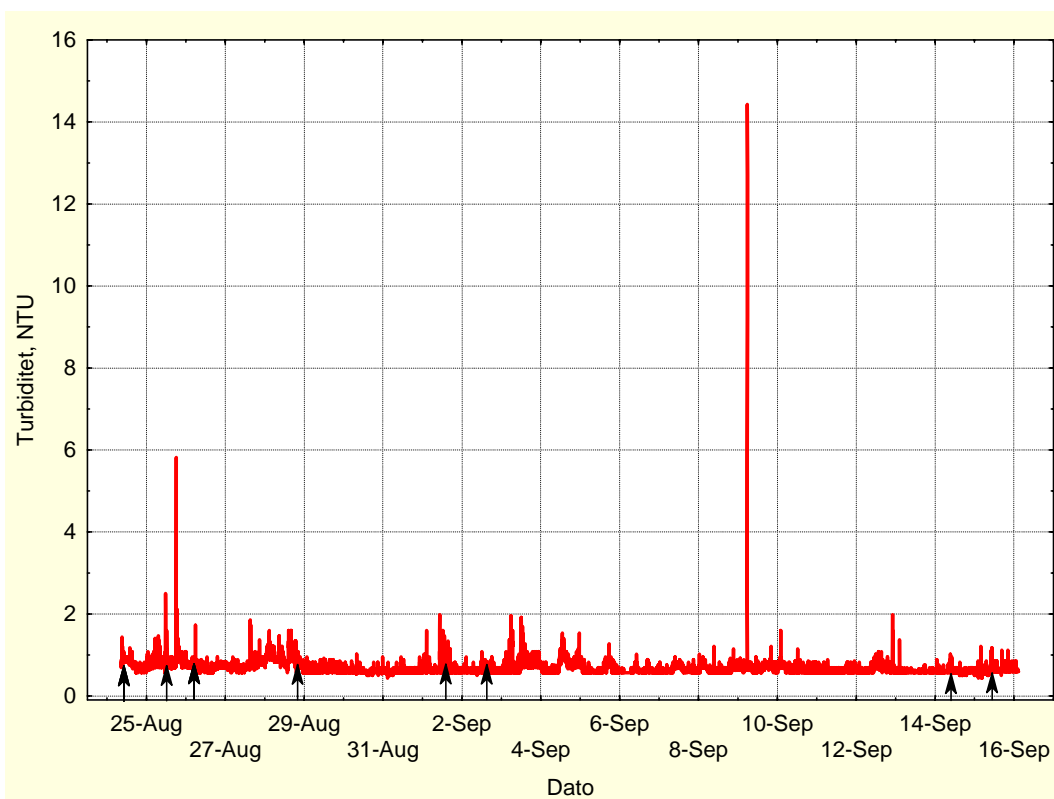
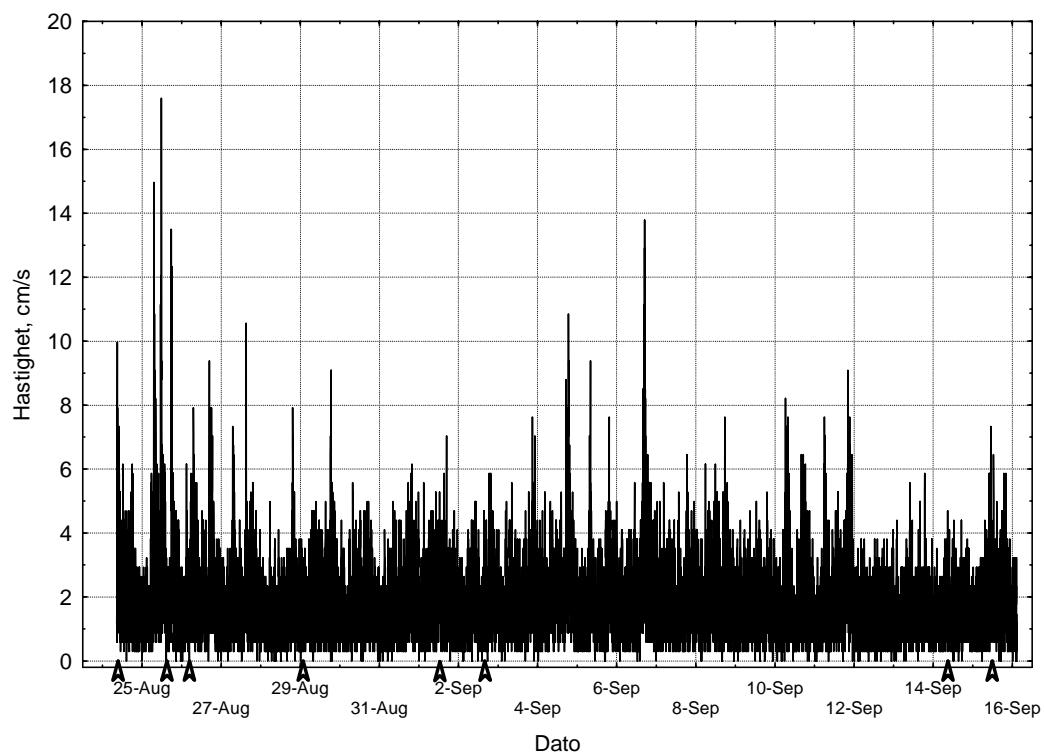
3.2 Automatisk registrering av turbiditet og strøm

Stasjon S1, utenfor hovedkaia vestre ende

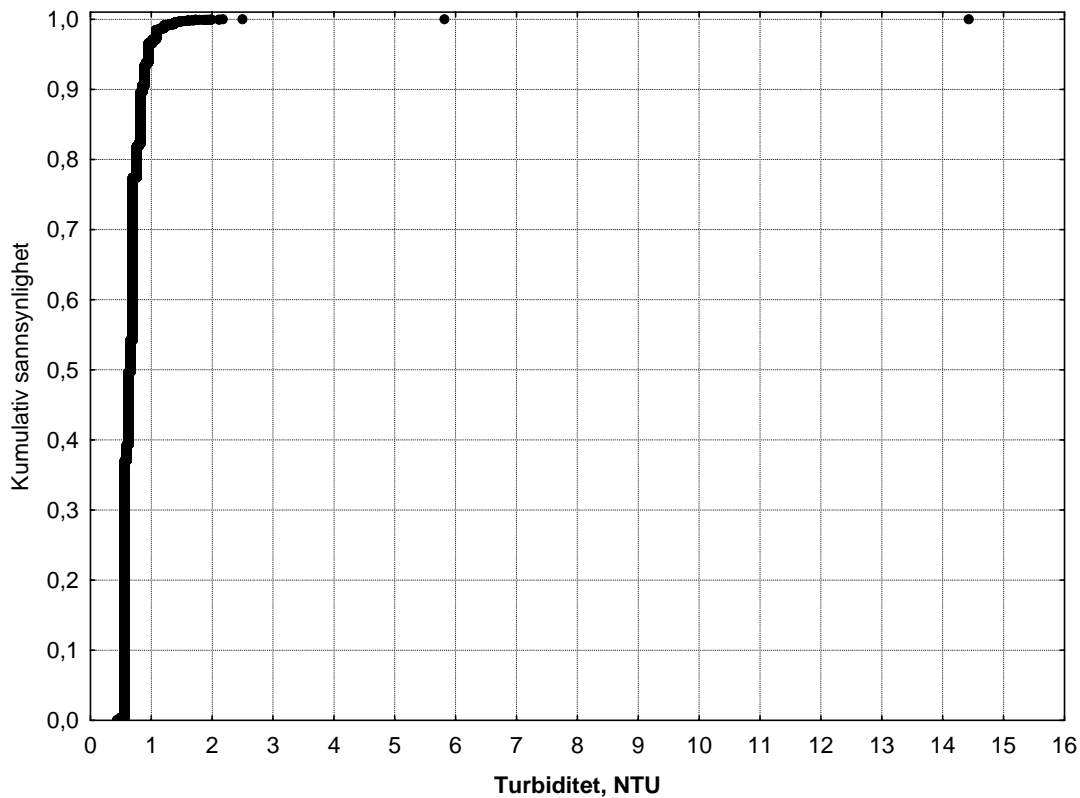
Målingene ble utført for å undersøke om bruk av propell i forbindelse med manøvrering til og fra hovedkai fører til økt strømhastighet og turbiditet ved kaiens vestre ende, dvs. indikere oppvirvling av sedimenter. Resultatene er vist i **Figur 11**. De fleste skipsankomster/-avganger kunne spores som en økning i strømhastigheten (jfr. også **Tabell 8**), men bare ved ankomst av *Federal Weser* ble det registrert forholdsvis sterk strøm (opp til 10 cm/s). Som tidligere nevnt er ikke Falconbridge kjent med andre båtbevegelser enn de som er vist i **Tabell 1**.

Sett i forhold til et "normalnivå" på ca. 0,5-1 NTU var turbiditetverdiene jevnt over lave (jfr. også **Tabell 8**). Av 16386 registreringer var bare 4 verdier over 2 NTU (**Figur 12**). Maksimumverdien på 14,3 NTU den 9.9.06 kl. 0542 kan ikke sees i sammenheng med noen kjent skipsbevegelse. To verdier fra 25.8.06 (5,8 NTU kl. 1806 og 2,5 NTU kl. 1138) ble registrert den dagen *Federal Weser* forlot Hannevika, men tidspunktene samsvarer ikke med tidspunktet for avgang. Derimot sees mindre økninger i turbiditet ved enkelte andre skipsbevegelser

Vi har sammenlignet tidspunktene for høy turbiditet med tidspunkt for mye nedbør på Kjevik, men finner heller ikke der noen sammenheng. En annen mulighet er utslipp til Hannevika (se nærmere omtale nedenfor, under Stasjon S2).



Figur 11. Stasjon S1 ved vestre ende av hovedkai. Strømhastighet (øverst) og turbiditet (nederst). På øverste figur er tidspunkt for avganger-/ankomster vist med piler på tidsaksen.



Figur 12. Kumulativ fordeling av turbiditet målt på stasjon S1.

Tabell 8. Strømhastighet og turbiditet på stasjon S1 under båtanløp og -avganger ved Falconbridges hovedkai i tidsrommet 24.8-20.9.2006 (opplysninger fra Falconbridge Nikkelverk)

Dato	Kl.	Skip	Ankomst/avgang	Strømhastighet, cm/s	Turbiditet, NTU
24.8.06	1055	Federal Weser	Ankomst	5-10	< 1,4
25.8.06	1430	Federal Weser	Avgang	< 7	< 1,6
26.8.06	0455	Wilson Brugge	Ankomst	< 6,5	< 0,8
29.8.06	0110	Wilson Brugge	Avgang	< 2,5	< 1,2
1.9.06	1340	Mozelborg	Ankomst	< 4,5	< 0,7
2.9.06	1615	Mozelborg	Avgang	< 2,7	< 0,7
14.9.06	0930	Federal Matane	Ankomst	< 3,8	< 0,6
15.9.06	1115	Federal Matane	Avgang	< 6	< 1,2

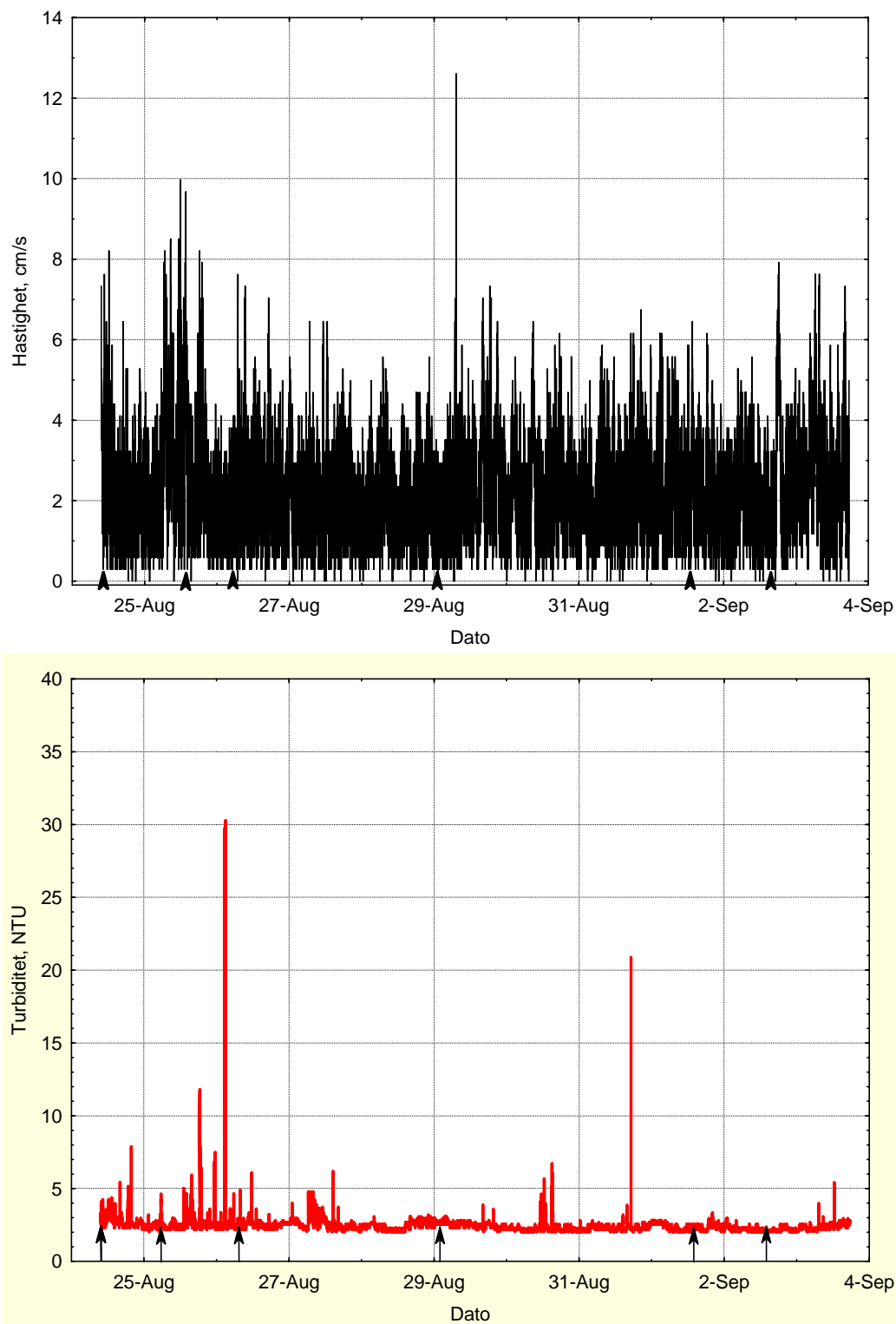
Stasjon S2, midt i Hannevika

Hensikten var å se om bruk av propell i forbindelse med manøvrering til og fra hovedkai ville føre til økt turbiditet i Hannevikas sentrale del, dvs. indikere oppvirvling av sedimenter enten pga. bruk av slepebåter eller baugpropeller – eller ved at partikler som transporteres med propellstrømmen vestover etter hvert strømmer tilbake i vikas midtre del. Resultatene mht. strømhastighet og turbiditet er vist i **Figur 13**.

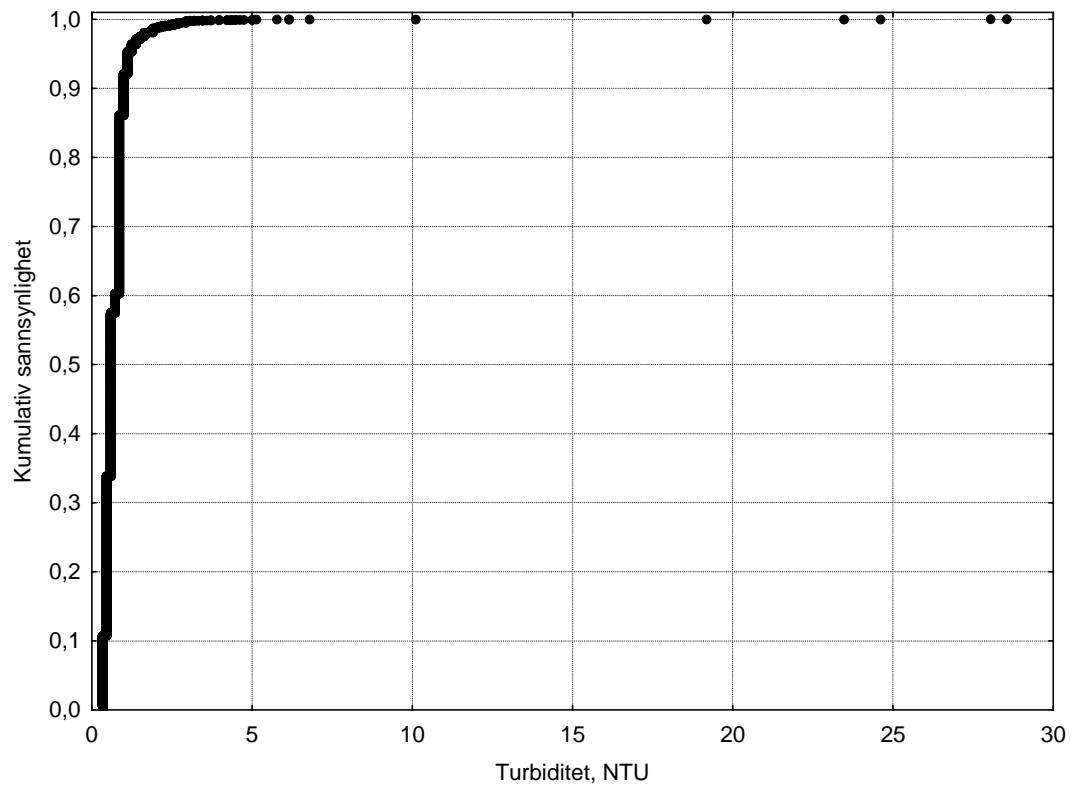
Det er vanskelig å se noen helt klar sammenheng mellom strømhastigheter og skipsanløp/-avganger, men igjen ser det ut til at *Federal Weser* skiller seg ut med et tydelig signal omkring avgang og ankomst.

Sett i forhold til et ”normalnivå” på ca. 0,5-1 NTU for turbiditet var verdiene jevnt over lave, og det var relativt få registreringer 2 NTU (**Figur 14**). Maksimumverdiene på ca. 30 NTU den 26.8.06 og ca. 22 NTU den 31.8.07 kan ikke sees i sammenheng med noen kjent skipsbevegelse. Noen høye verdier fra 25.8.06 (5-10 NTU) kan skyldes ankomst av *Federal Weser*, mens høye verdier i tidsrommet kl. 0140-0150 samsvarer ikke med tidspunktet for kjente avganger eller ankomster. Derimot sees mindre økninger i turbiditet ved enkelte andre skipsbevegelser

Som tidligere nevnt var det heller ikke sterk nedbør eller uvanlig stor avrenning fra land omkring disse tidspunktene. En annen mulighet er at det gjennom de fem avløpsledningene som munner ut vest og sør for hovedkaia (se **Figur 6**) i varierende grad slippes ut avløpsvann med stort partikkelinnhold. Vi kjenner ikke partikkelkonsentrasjonen/turbiditeten i disse vannstrømmene, men vurdert ut fra vannmengden alene er det sannsynlig at de tre industriutslippene (ca. 23000 m³/d, jfr. Vedlegg A) har betydelig større påvirkning enn det kommunale overvannet (ca. 0,09 m³/d som gjennomsnitt i 2006). I august var for øvrig de kommunale overløpene i drift bare en dag (jfr. kap. 2.3) og kan dermed ikke ha sammenheng med høy turbiditet både den 26.8.06 og 31.8.06.



Figur 13. Stasjon S2 sør for hovedkai. Strømhastighet (øverst) og turbiditet (nederst). Tidspunkt for avganger/-ankomster vist med piler på tidsaksen.



Figur 14. Kumulativ fordeling av turbiditet målt på stasjon S2.

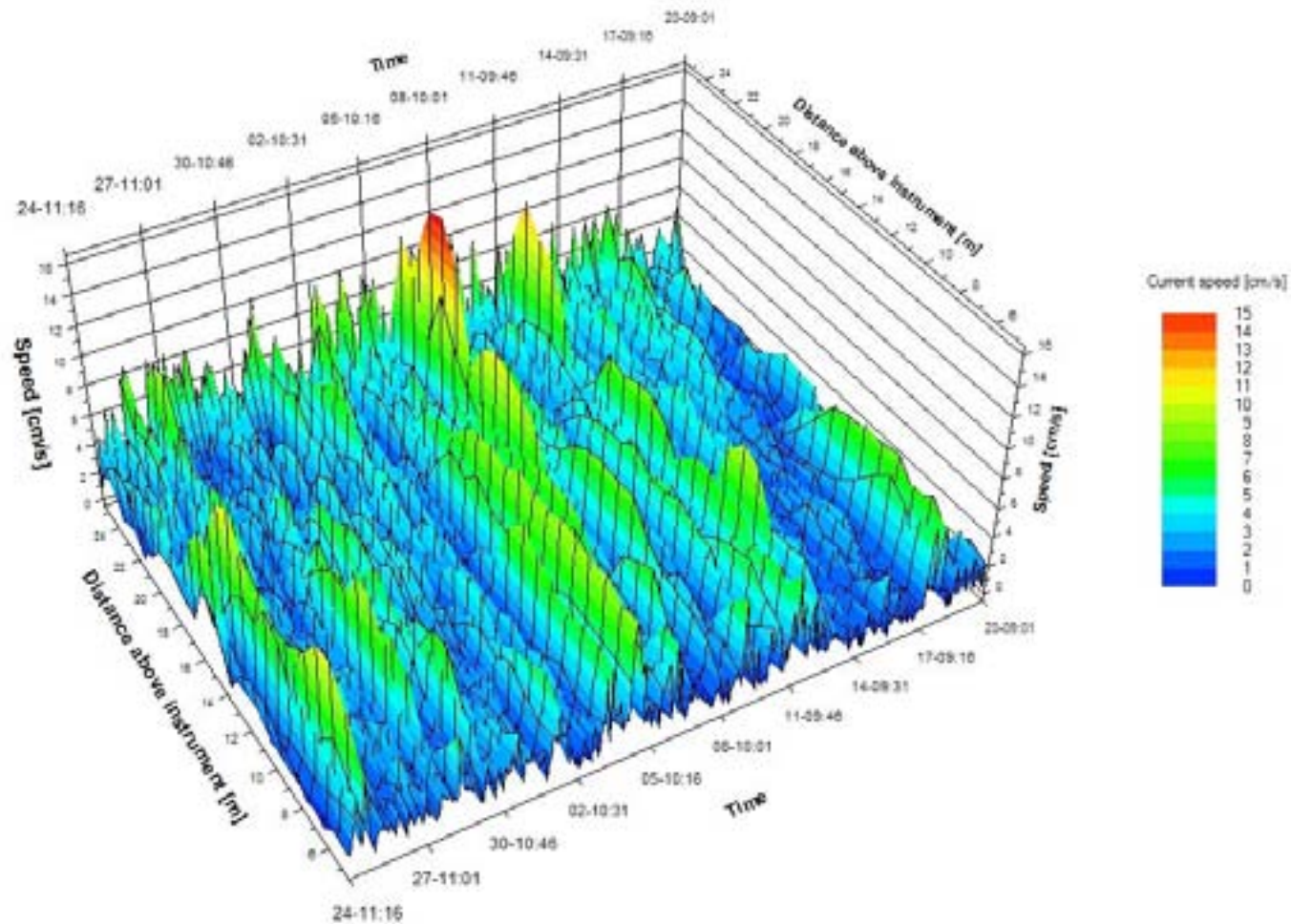
Stasjon S3, i Hannevikas østre ende

Figur 15 og **Figur 16** oppsummerer resultatene fra måleren på stasjon S3. Bunndypet var 31 m og første registrering var dermed i 28 m dyp. Derifra registrerte den strømretning, strømhastighet og signalstyrke i 1 m tykke vannlag.

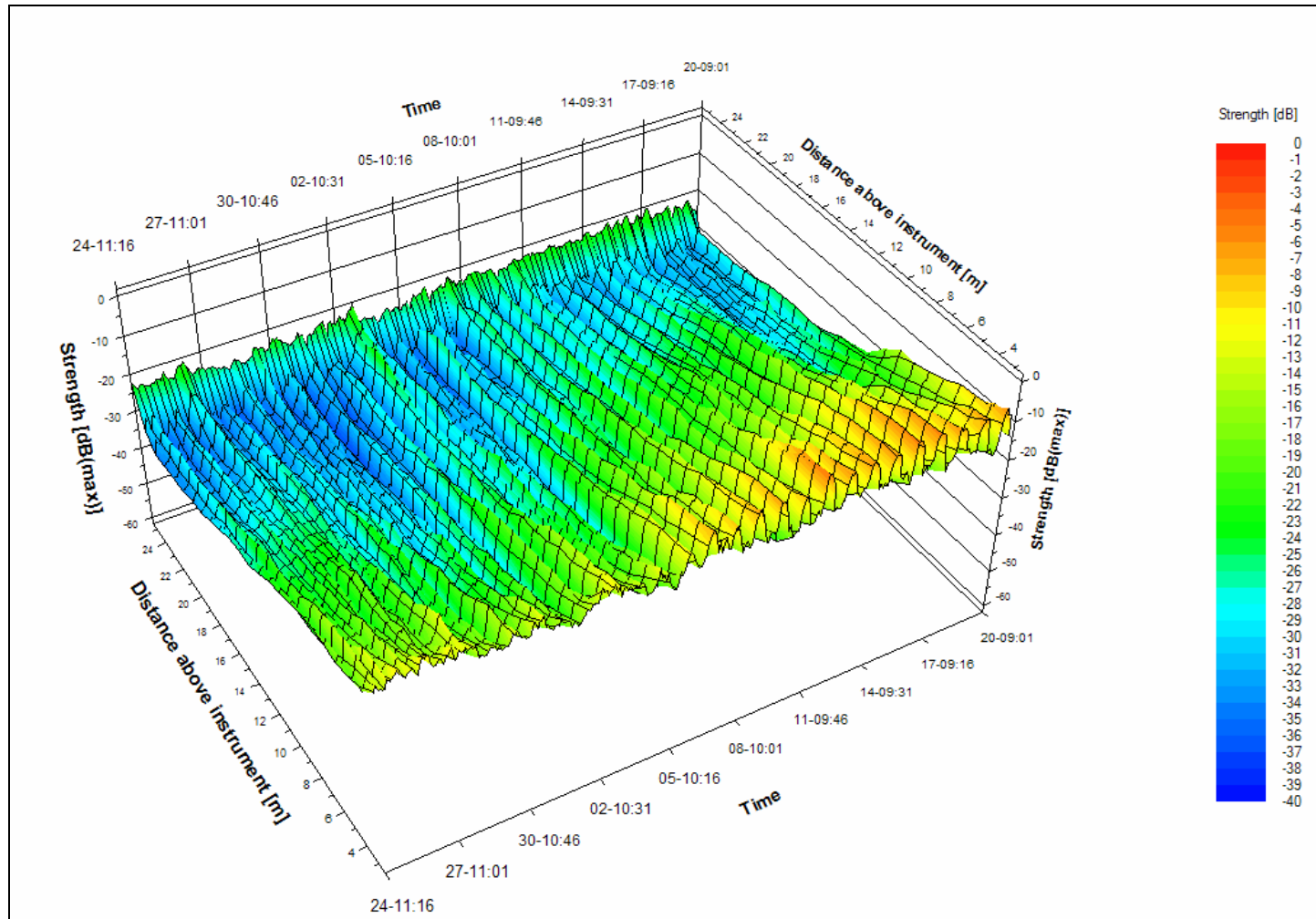
Hastigheten var varierende både mht. tid og i vertikalprofilen mellom måleren og overflata. Det samme gjelder signalstyrken som kan være et mål på partikkelmengden i vannet. For signalstyrken var det påfallende at den nær bunnen økte med tiden. Årsaken til dette vet vi ikke.

I **Figur 18** er strømhastigheten ved bunnen vist mer i detalj. Tidsvariasjonene i hastigheten er ganske store og en spektralanalyse viser (**Figur 19**) at foruten det halvdaglige tidevannet preges tidsserien av en hel rekke perioder. Mange av periodene (lenger enn vist i Figuren) skyldes sannsynligvis varierende meteorologiske forhold (vind og lufttrykk). Vi har ikke klart å se noen sammenheng mellom passerende ferjer og variasjonene.

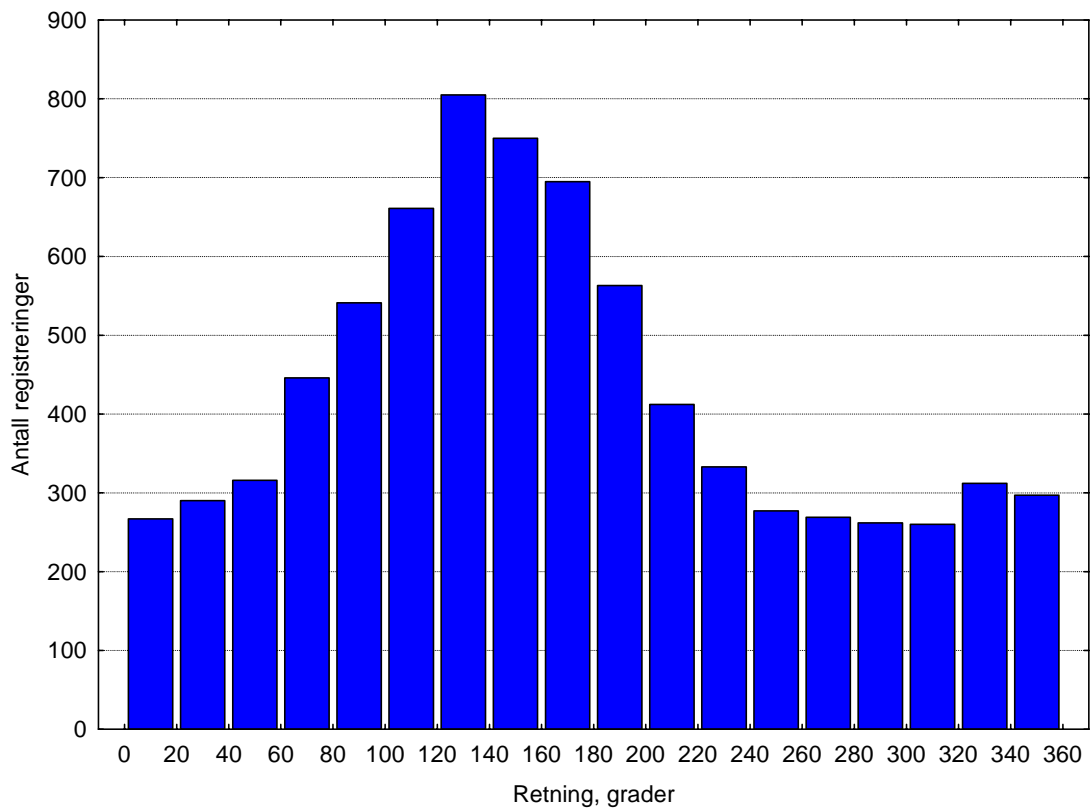
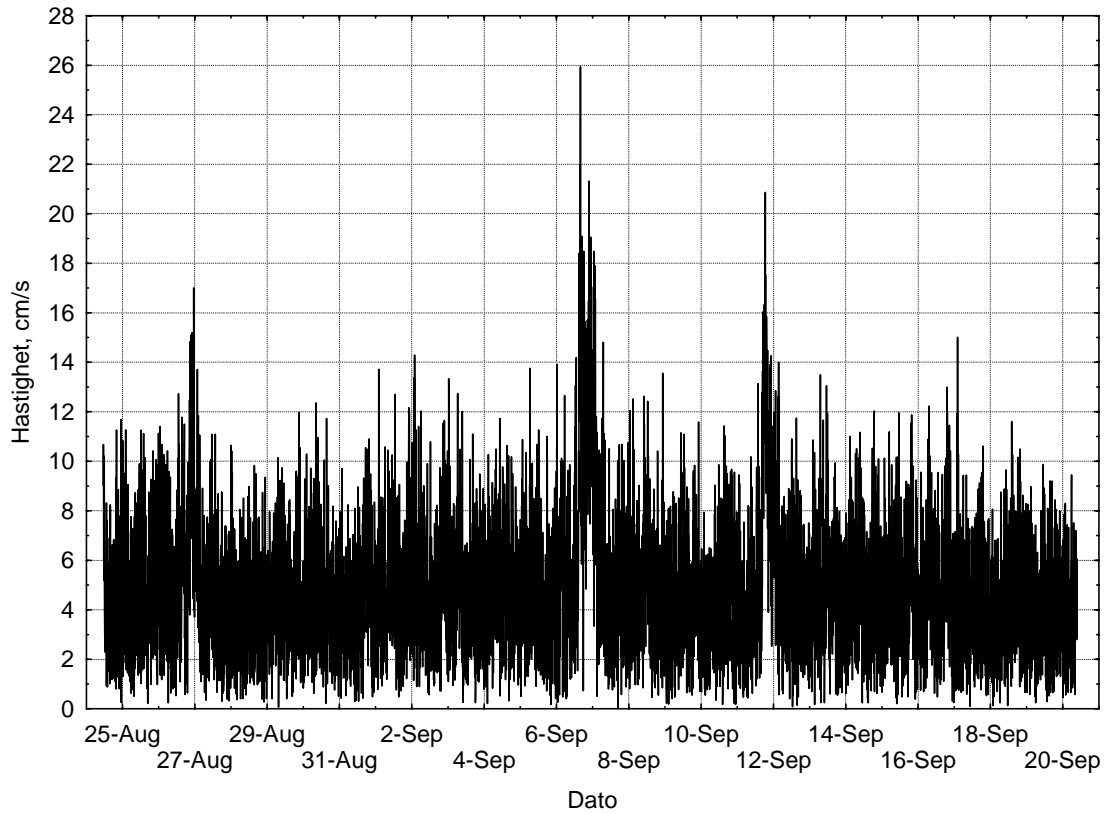
Figur 20 og **Figur 21** viser strømmens komponent i nord-sør og øst-vest retning i ca. 4-5 m dyp og øst-vest komponenten i ca. 20 m dyp. Det er periodevis ganske sterk strøm både i nord-sør retning og i øst-vest retning. Som påpekt under kap. 2.2 betyr dette at avløpsvann fra utslippene øst og nord for hovedkaias østre ende periodevis kan bli ført inn i Hannevika.



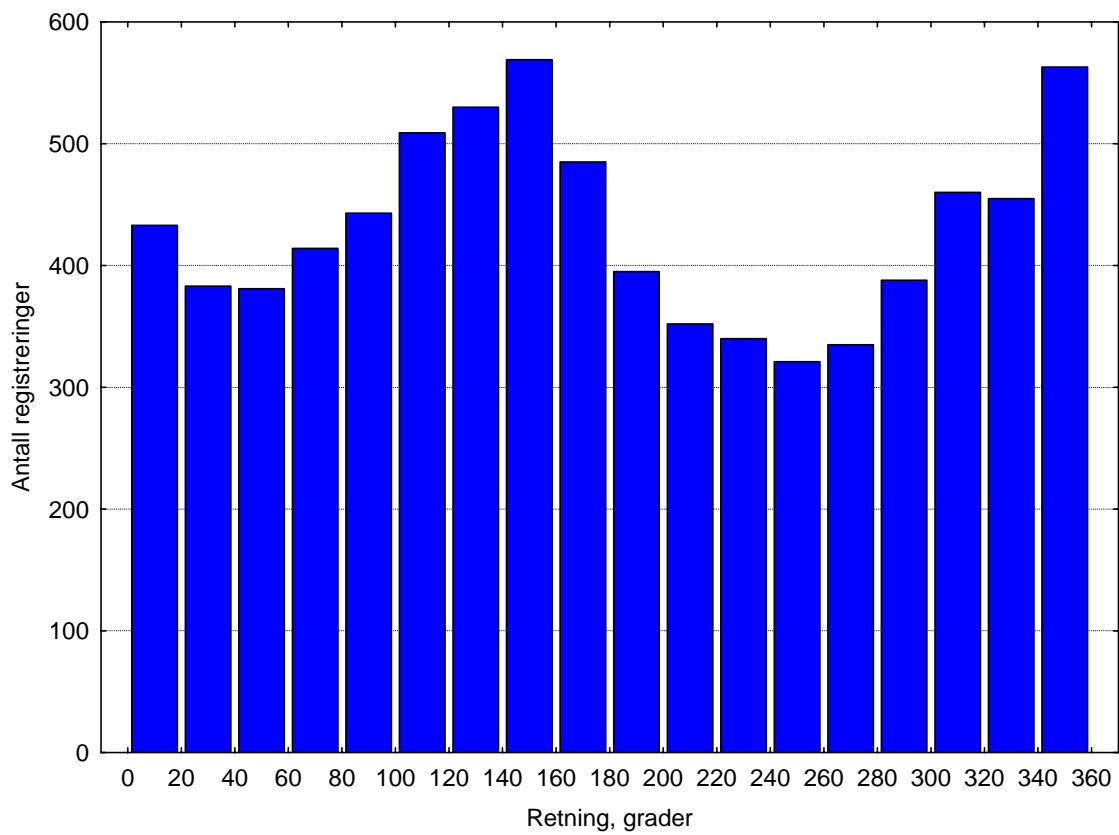
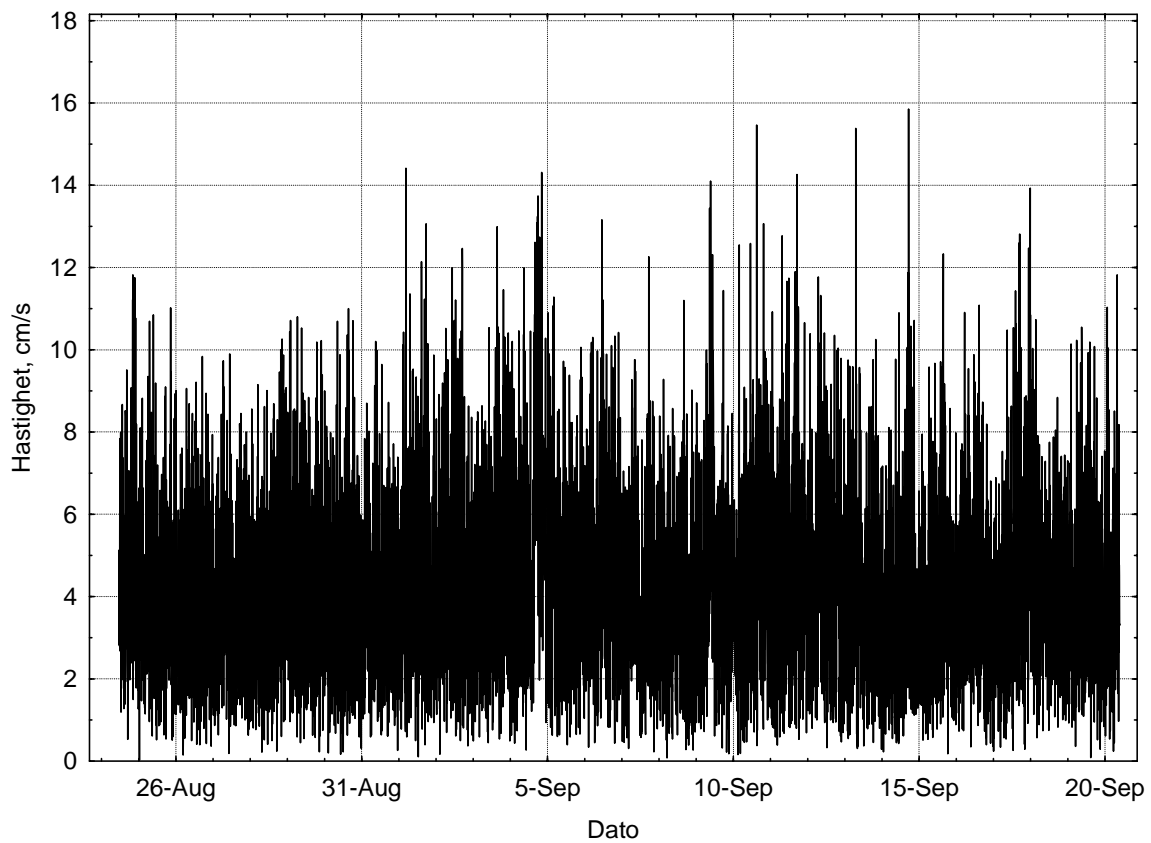
Figur 15. Horisontal strømhastighet (cm/s) målt med RDCP-måleren i østre enden av bukta. Variasjonene er ganske store og der er enkelte episoder med forholdsvis sterk (8-12 cm/s) strøm nær overflata. Fargeskalaen til høyre angir hastigheten. Merk at avstanden måles fra måleren og opp mot overflata. Tidsaksen (Time) angir tiden som dag-minutt. Til eksempel tilsvare 24-11:16 tidspunktet 24. august kl. 11:16.



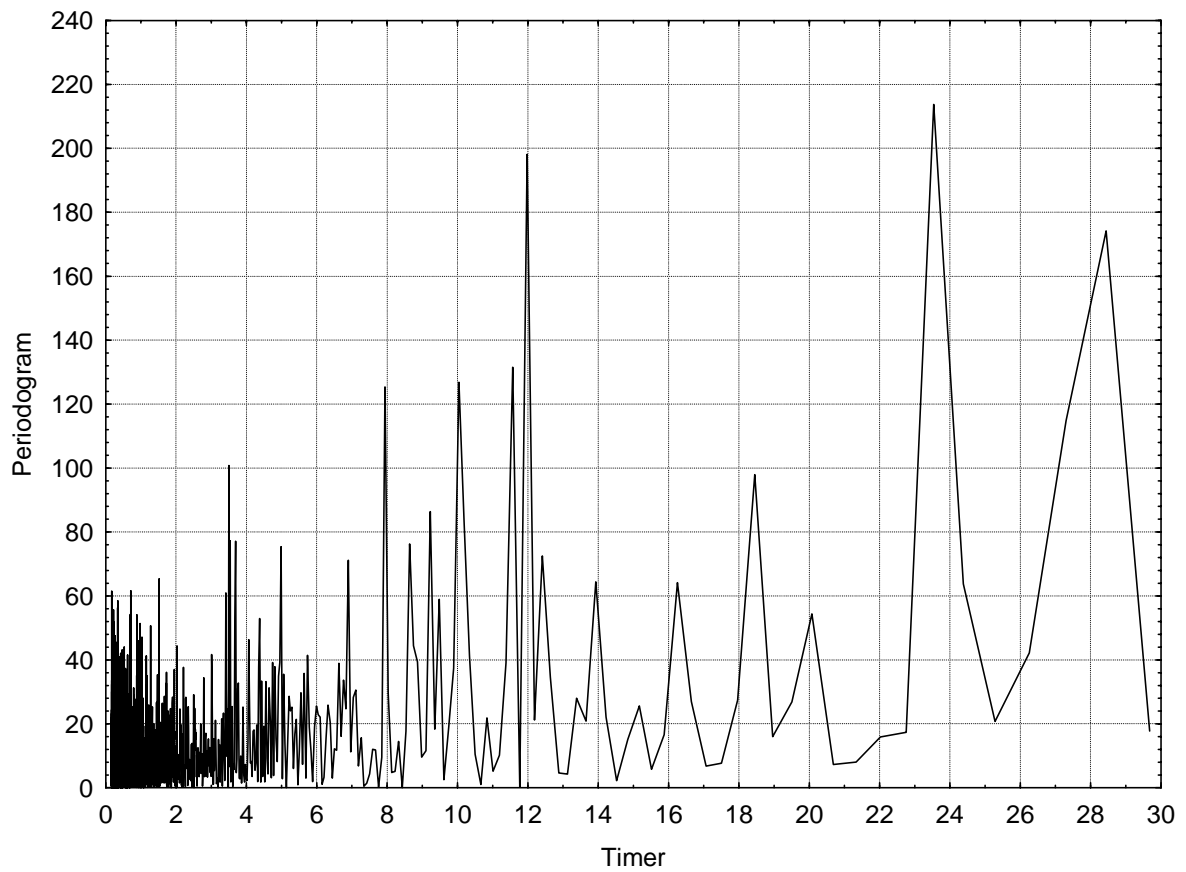
Figur 16. RDCP-måleren i østre enden av bukta. Signalstyrken er en indikasjon på mengden av partikler i vannmassen og indikerer høyest konsentrasjon av partikler nærmest bunnen, men også en viss økning mot overflata. Merk at avstanden måles fra måleren og opp mot overflata.



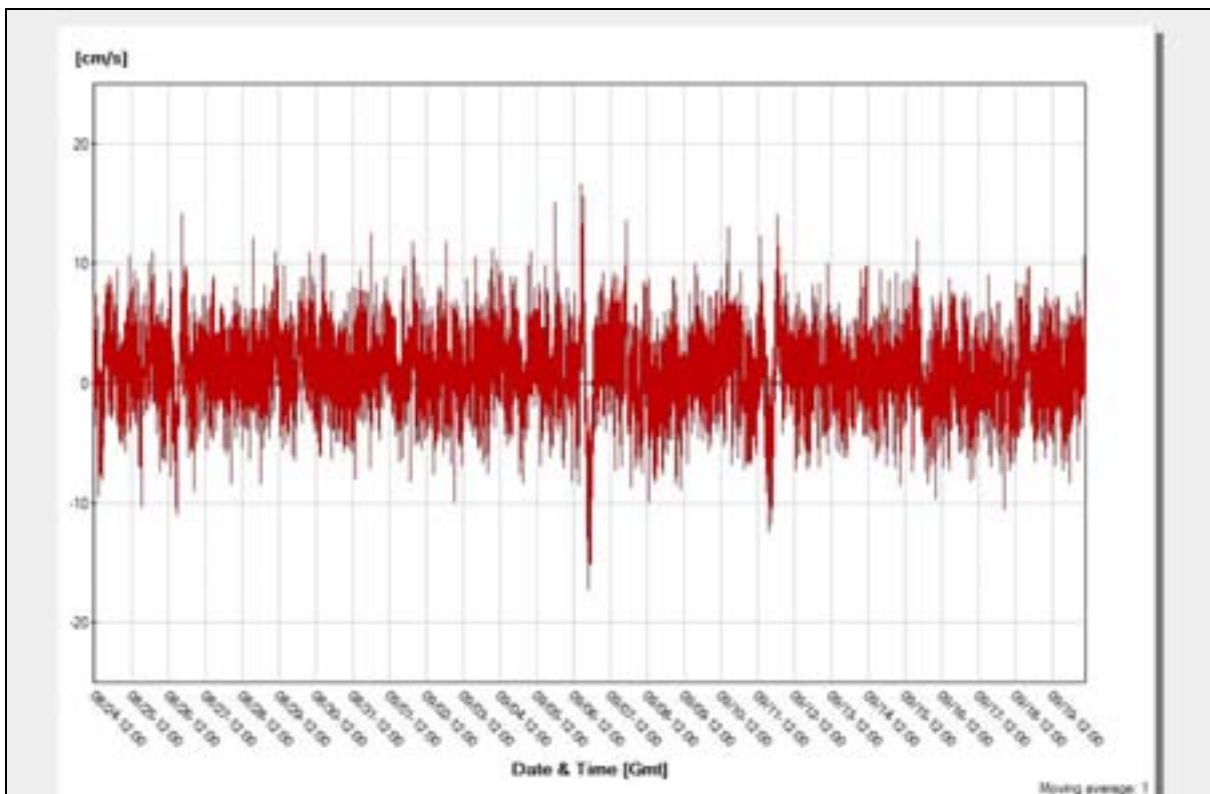
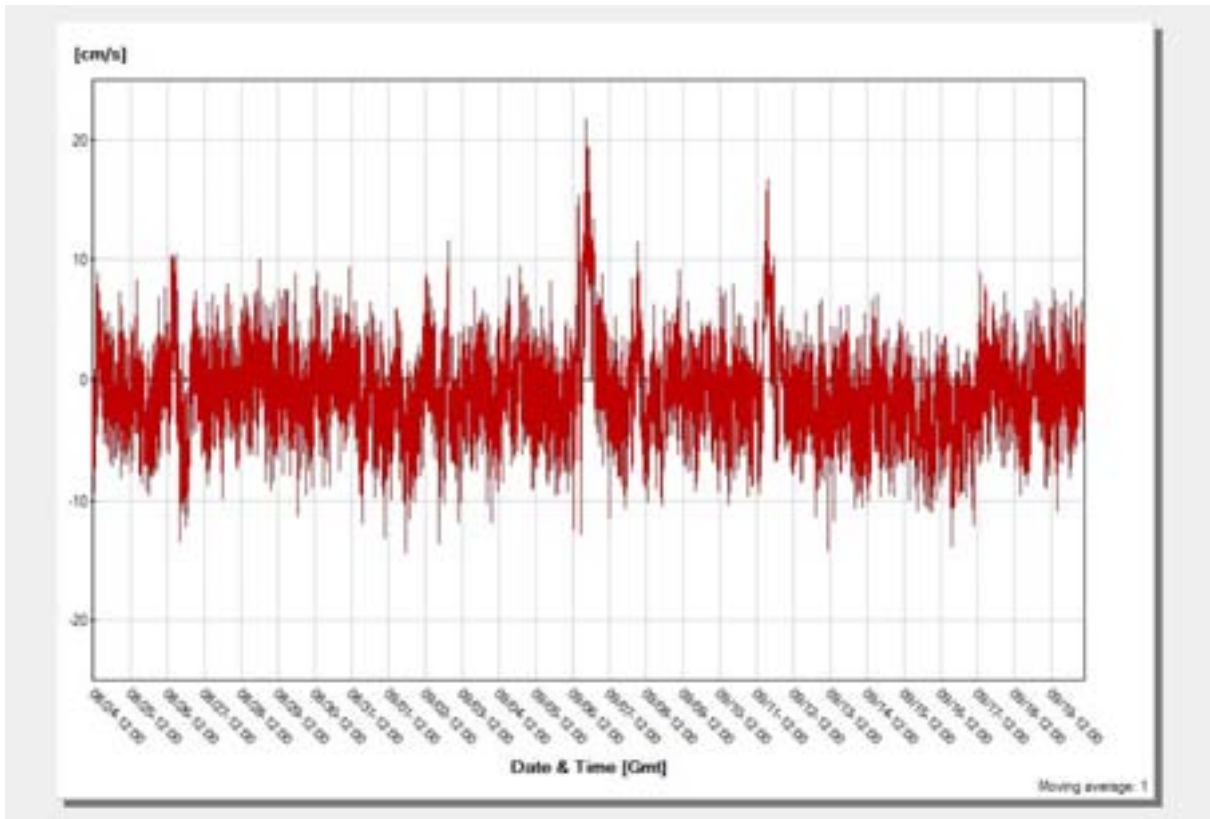
Figur 17. Måling av strømhastighet og strømretning i 4 m dyp på stasjon S3.



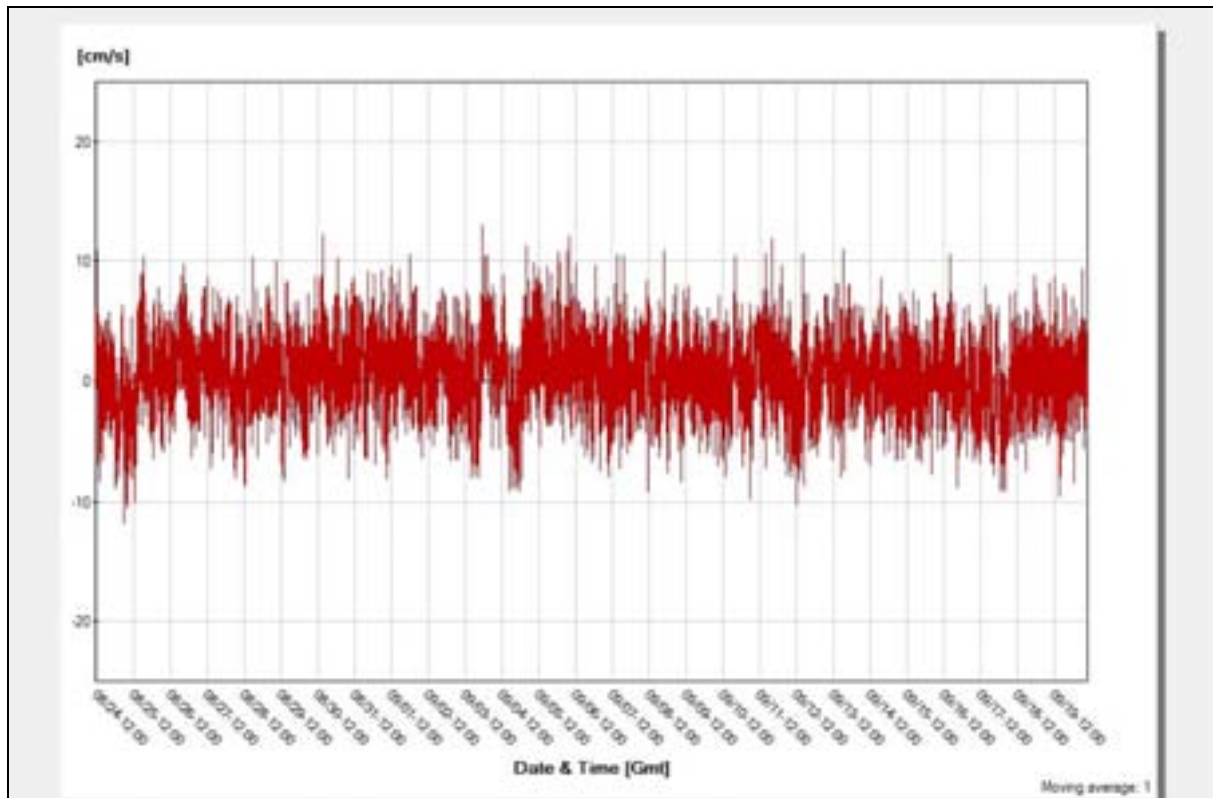
Figur 18. Måling av strømhastighet og strømretning i 28 m dyp på stasjon S3.



Figur 19. Resultat av analyse som viser de dominerende periodene for strømmen i 28 m dyp på stasjon S3. Variasjonsmønsteret er svært uregelmessig, men vi ser påvirkningen av det halvdaglige tidevannet (periode 12,4 timer).



Figur 20. Stasjon S3, 4-5 m dyp. Strømhastighet i nord-sør retning (øverste figur) og øst-vest retning (nederste figur). Vannmassene beveger seg både nord-sør ved munningen av Hannevikka og øst-vest, dvs. inn og ut av bukta.



Figur 21. Stasjon S3, ca. 20 m dyp. Strømhastighet i øst-vest retning. Vannmassene beveger seg inn og ut av bukta.

3.3 Manuelle målinger av turbiditet og vannkvalitet

Målinger den 24. august 2006

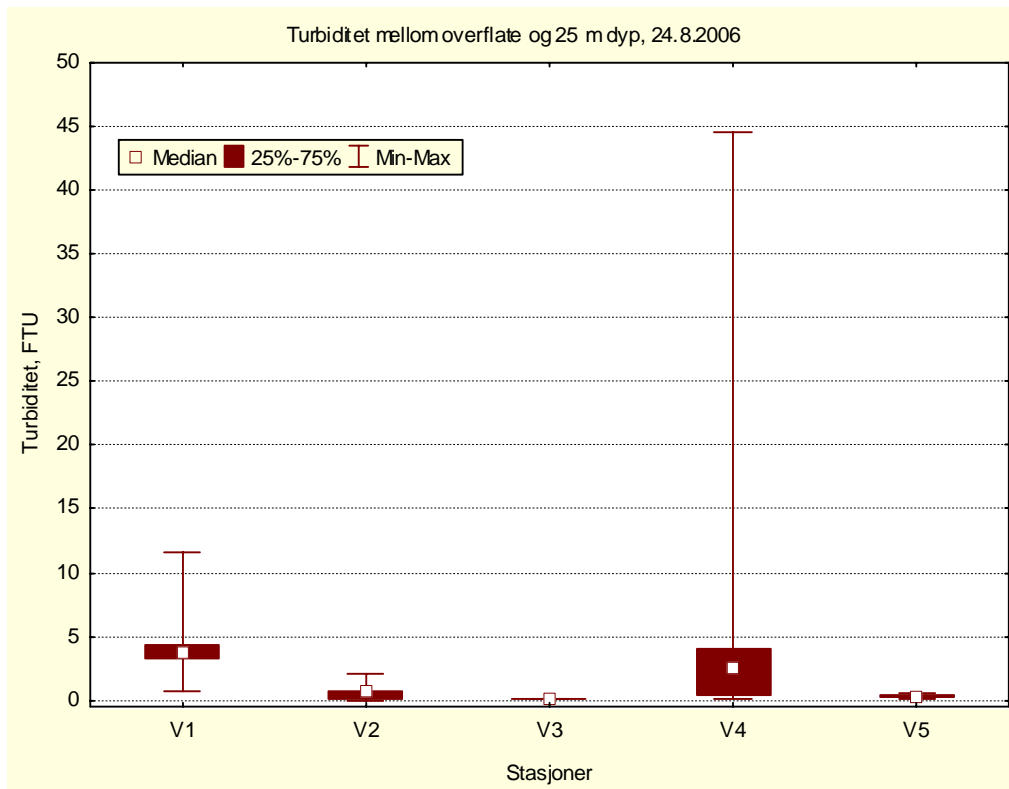
Resultatene av turbiditetsmålingene den 24. august er sammenfattet i **Figur 22** og for stasjonene V1-V4 vist i detalj i **Figur 23**

To stasjoner skiller seg ut:

- Hovedkai vest (stasjon V1 i **Figur 8**) der målingene ble gjort umiddelbart etter ankomst av *Federal Weser*.
- Sør for ferjekai (stasjon V4 i **Figur 5**) der målingene ble gjort umiddelbart etter at *Silvia Ana* hadde snudd og bakket inn til kaia.

Begge stasjonene viser oppvirvling av sedimenter. Ved V4 kunne oppvirvlede partikler sees tydelig på overflata.

Hannevika østre og Vesterhavn midtre viser omtrent samme verdier og representerer sannsynligvis normalnivåer.



Figur 22. Sammenfatning av turbiditetsmålinger mellom overflate og maksimalt 25 m dyp den 24. august. Stasjonene på x-aksen kan gjenfinnes i **Figur 8**.

I alt ble det tatt 10 vannprøver som ble analysert mht. totalt suspendert materiale (**Tabell 9**). Til sammenligning er det vanlig å måle TSM-verdier på 0,3-1 mg/l i fjorder og kystfarvann.

Da alle verdiene viste seg å være relativt lave ble analyse mht. suspendert gløderest utelatt. Det er påfallende at lav TSM-verdi ble målt i overflata ved ankomst av *Silvia Ana*. Forklaringen er trolig at vannprøven ble tatt etter at målingen av turbiditet ble gjort, og at partiklene lå samlet i tynne og smale lag på overflaten. Vannhenteren ble ikke plassert i et slikt lag.

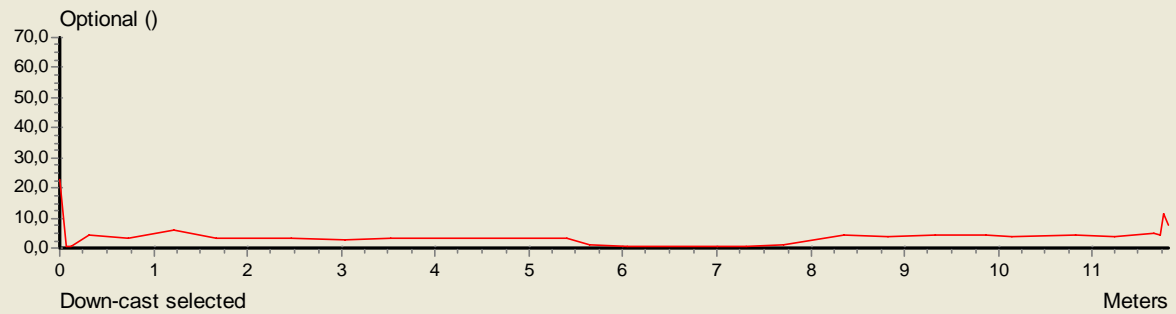
File name: Kristiansand240806.SD2

Interval: 1 seconds Time zone: GMT

Measurement series number: 6

SD204, Serial No: 309

Data displayed from: 11:41:48 - 24.Aug-06 (No. 353) To: 11:45:02 - 24.Aug-06 (No. 547)



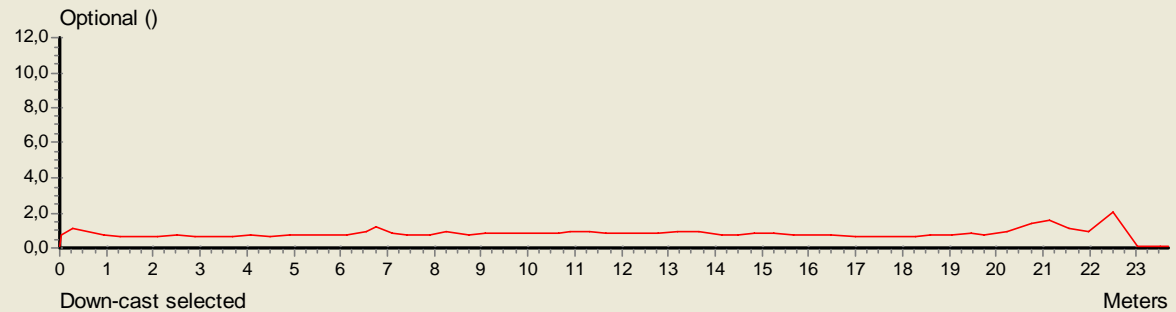
File name: Kristiansand240806.SD2

Interval: 1 seconds Time zone: GMT

Measurement series number: 7

SD204, Serial No: 309

Data displayed from: 11:56:25 - 24.Aug-06 (No. 548) To: 12:00:34 - 24.Aug-06 (No. 797)



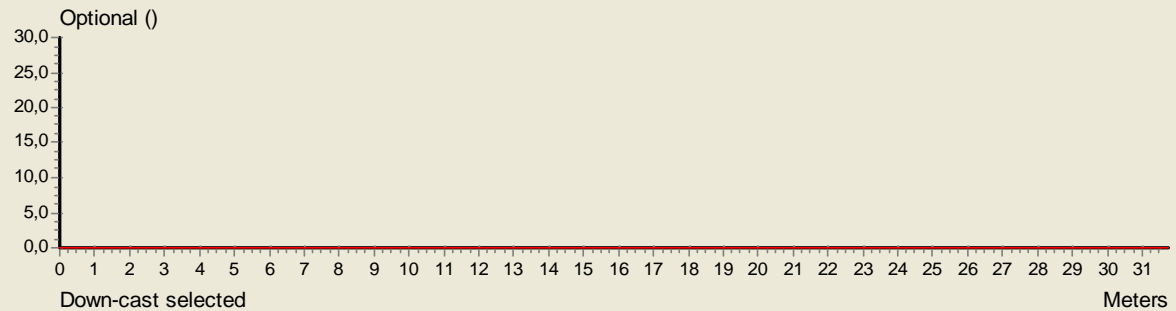
File name: Kristiansand240806.SD2

Interval: 1 seconds Time zone: GMT

Measurement series number: 8

SD204, Serial No: 309

Data displayed from: 12:13:23 - 24.Aug-06 (No. 798) To: 12:16:53 - 24.Aug-06 (No. 1008)



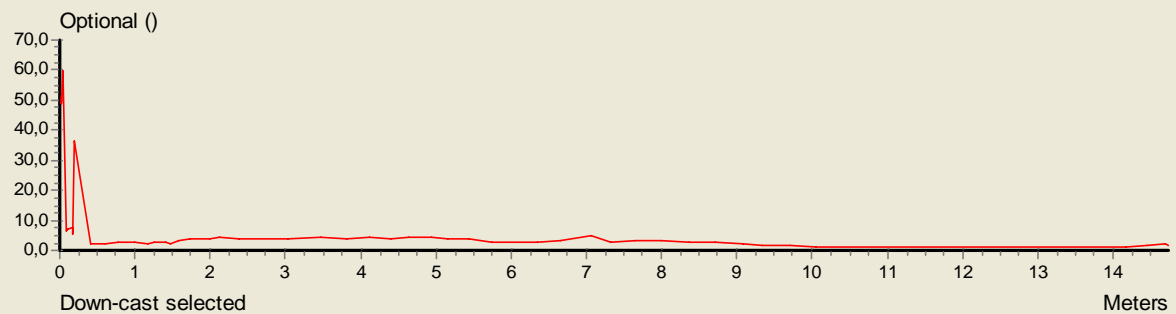
File name: Kristiansand240806.SD2

Interval: 1 seconds Time zone: GMT

Measurement series number: 9

SD204, Serial No: 309

Data displayed from: 12:54:05 - 24.Aug-06 (No. 1009) To: 12:56:46 - 24.Aug-06 (No. 1170)



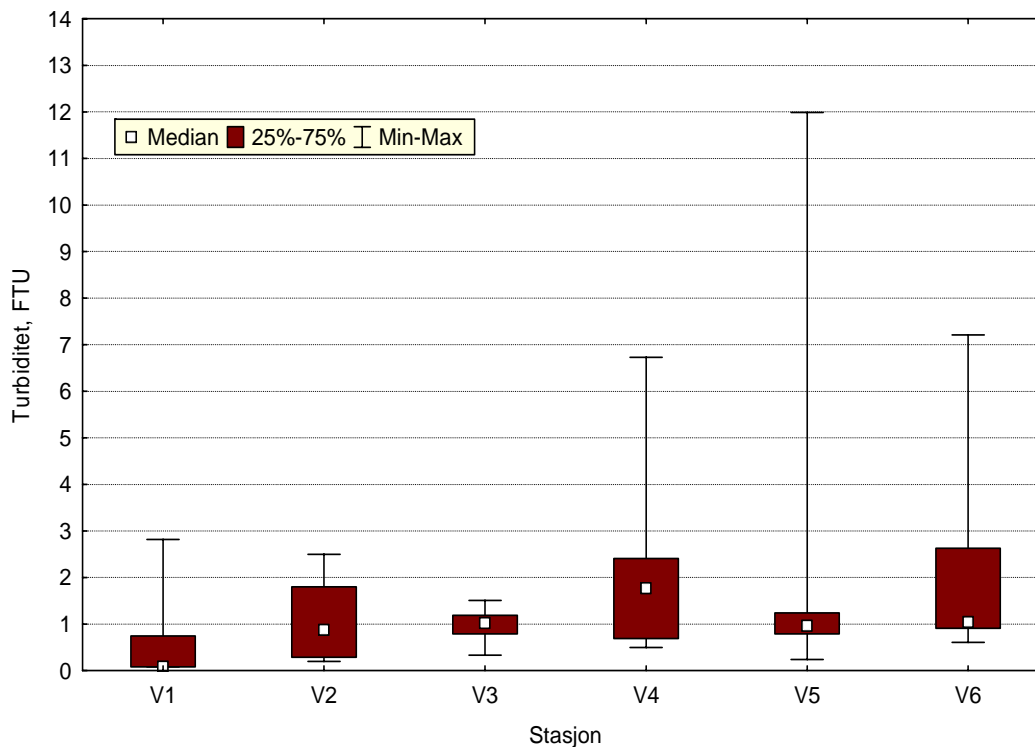
Figur 23. Vertikalprofil av turbiditet 24.8.06 for stasjonene V1 (øverst), V2, V3 og V4 (nederst)

Tabell 9. Vannprøver 24.8.2006 (for stasjonsplassering, se *Figur 8*).

Stasjon	Dyp (m)	Totalt suspendert materiale (mg/l)
V1	1	0,47
	9	0,31
V2	1	0,37
	22	0,32
V3	1	0,38
	30	0,47
V4	1	0,60
	10	0,47
V5	1	0,83
	2	0,73

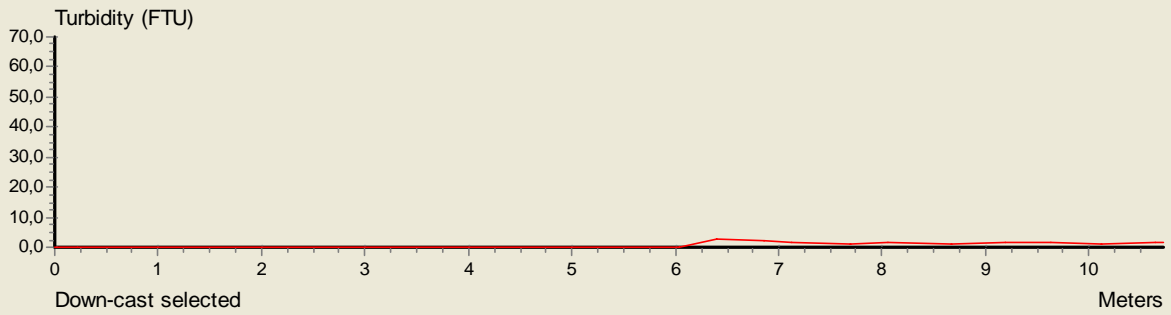
Målinger den 20. september 2006

Stasjonene der det ble gjort målinger av turbiditet er vist i *Figur 8* (nedre del) og resultatene er sammenfattet i *Figur 24* og i mer detalj på *Figur 25* og *Figur 26*. Målingene på stasjonene V4 og V5/V6 ble gjort hhv. før og etter ankomst av *MasterCat*. Sør for ferjekaia ble det målt forholdsvis høy turbiditet. Ved V4 lå det turbide laget nær overflata mens det på V5 og V6 lå fra 6 m dyp og ned mot bunnen.

**Figur 24.** Sammenfatning av turbiditetsmålinger mellom overflate og maksimalt 25 m dyp den 20. september. Stasjonene på x-aksen gjenfinnes i *Figur 8* - nederste del.

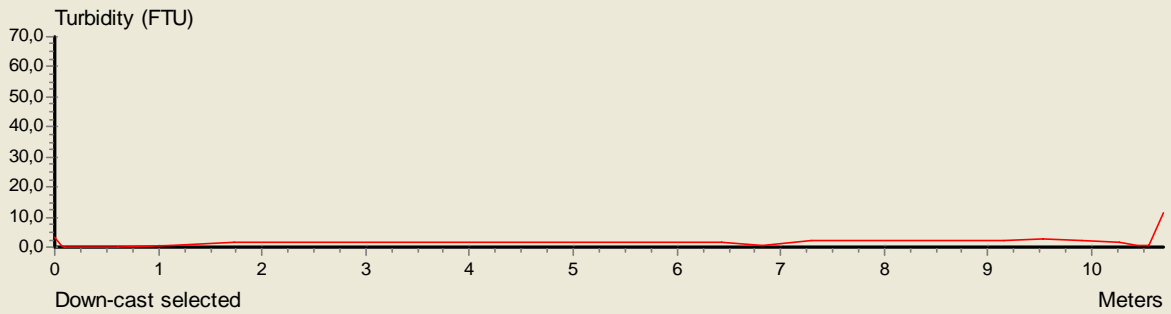
File name: Kristiansand 200906.SD2
 Measurement series number: 3
 Data displayed from: 07:45:45 - 20.Sep-06 (No. 40) To: 07:48:26 - 20.Sep-06 (No. 201)

Interval: 1 seconds Time zone: GMT
 SD204, Serial No: 309



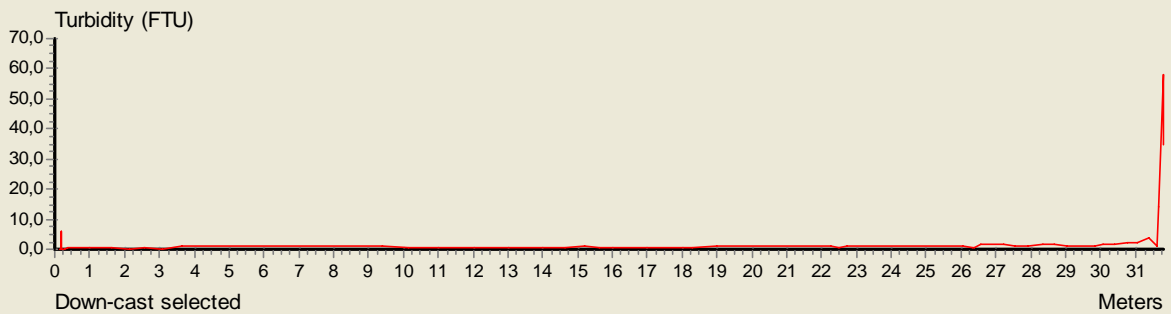
File name: Kristiansand 200906.SD2
 Measurement series number: 4
 Data displayed from: 07:55:24 - 20.Sep-06 (No. 202) To: 07:57:37 - 20.Sep-06 (No. 335)

Interval: 1 seconds Time zone: GMT
 SD204, Serial No: 309



File name: Kristiansand 200906.SD2
 Measurement series number: 5
 Data displayed from: 08:21:11 - 20.Sep-06 (No. 336) To: 08:25:00 - 20.Sep-06 (No. 565)

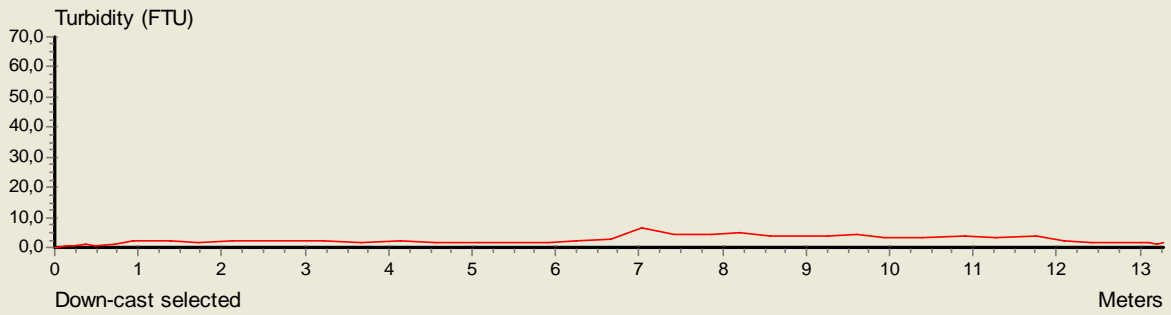
Interval: 1 seconds Time zone: GMT
 SD204, Serial No: 309



Figur 25. Vertikalprofil av turbiditet 20.9.06 for stasjonene V1 (øverst), V2, V3 (nederst)

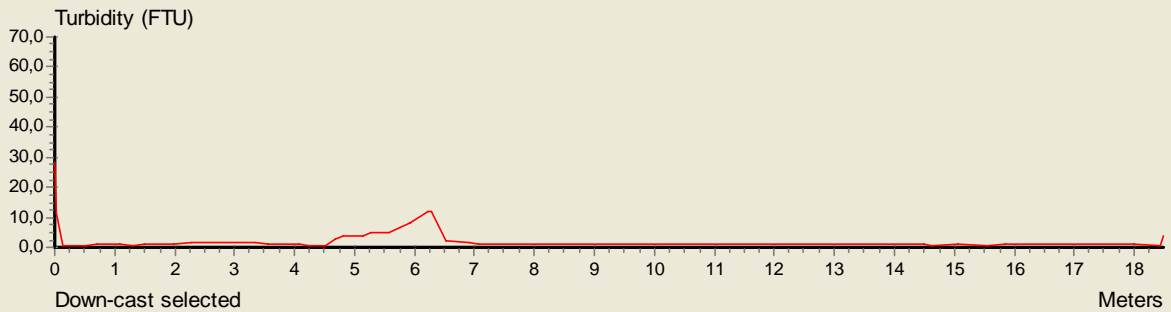
File name: Kristiansand 200906.SD2
 Measurement series number: 9
 Data displayed from: 10:10:10 - 20.Sep-06 (No. 1395) To: 10:11:57 - 20.Sep-06 (No: 1502)

Interval: 1 seconds Time zone: GMT
 SD204, Serial No: 309



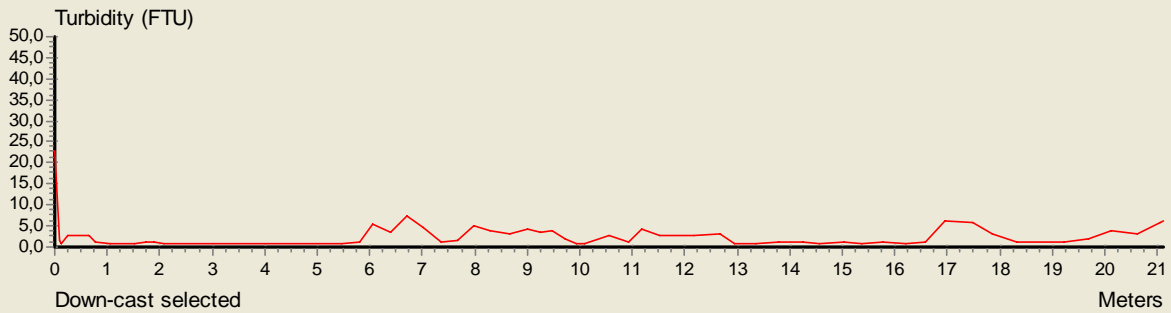
File name: Kristiansand 200906.SD2
 Measurement series number: 10
 Data displayed from: 10:40:44 - 20.Sep-06 (No. 1503) To: 10:43:08 - 20.Sep-06 (No: 1647)

Interval: 1 seconds Time zone: GMT
 SD204, Serial No: 309



File name: Kristiansand 200906.SD2
 Measurement series number: 11
 Data displayed from: 10:45:26 - 20.Sep-06 (No. 1648) To: 10:47:36 - 20.Sep-06 (No: 1778)

Interval: 1 seconds Time zone: GMT
 SD204, Serial No: 309



Figur 26. Vertikalprofil av turbiditet 20.9.06 for stasjonene V4 (øverst), V5, V6 (nederst)

3.4 Etterkontroll av sedimenter og dekkmasser

3.4.1 Sedimentenes generelle beskaffenhet

Sedimentene fra kjerneprøvetakingen besto i hovedsak av 5 typer avsetninger:

- relativt grov, ren sand (tilførte dekkmasser)
- sandblandet leire (tilførte dekkmasser)
- rødt Fe-slam (forurenset industrislam)
- finkornet svar slam, leire (antatt forurenset slam)
- grå leire med og uten skjellrester (tilsynelatende uforurenset naturlig sediment)

I **Figur 27 - Figur 29** er de ulike kjernene beskrevet ut fra visuelle observasjoner. Overgangen mellom ulike lag er ofte gradvis, dette er forsøkt illustrert ved gradvis farge-endring. Eksempelvis ser en ofte at grå antatt uforurenset leire blir lysere grå med økende sedimentdyp. I figurene er det markert transektter (røde linjer). I det følgende er sedimentene beskrevet langs disse transektene. Transektene følger ikke alltid rette linjer. Dette er fordi det ikke lyktes å få opp sedimentkjerner på alle ønskede posisjoner. Totalt ble bunnen forsøkt prøvetatt i 25 punkter, men på grunn av hard leire i klumper iblandet ofte grus og pukk lyktes det ikke å få opp prøver fra mer enn 15 punkter. Disse ”bom skuddene” er markert med svarte symboler i kartene mens posisjoner hvor det lyktes å få opp prøver er markert med røde symboler.

Transekt 1

Nord i bukta utenfor brygga til Falconbridge, langs transekt 1 (**Figur 27**) lyktes det å få tatt 2 kjerner på over 100 cm. Alle kjernene i dette transektet, med unntak av de fra stasjon 2 og 3, hadde nytt tilført rødt Fe-holdig sediment i overflaten. Som nevnt i kap. 2.5 er ikke den benyttede prøvetakeren egnet til nøyaktig prøvetaking av de øvre 1 – 2 cm. Det betyr at det kan ha vært rødt slam i overflaten også på stasjon 2 og 3, men at dette ble blåst bort under prøvetaking.

Alle kjerner hadde et lag av dekkmasser fra 20 – 35 cm tykt. Tildekkingsmassene besto av renere sand i først del av utleggingen, mens massene mot slutten besto for en større del av sandholdig leire.

Den største mektighetene av rødt Fe-slam (> 60 cm) under dekklaget ble påvist i dette området. Den totale mektigheten av slammet kunne ikke fastslås. Det lyktes altså ikke å komme ned i grå homogene leirer (tilsynelatende uforurenset). Kjernen fra stasjon 14 som lå lengst inn i bukta hadde den største totale mektigheten (120 cm). Det røde Fe-slammet hadde her en overdekning av tilførte masser på ca 35 cm. Midt i dette dekklaget påtraff en et ca 5 cm tykt rødt Fe-slamlag. Tilsvarende ble observert på stasjon 6 som lå lengst ut i bukta. Her var imidlertid det røde mellomliggende Fe-laget ca 20 cm tykt. Denne lagdelingen kan forklares ved at tildekkingen i Hannevika foregikk i flere runder (jfr. **Figur 3**). Bukta ble tildekket før områdene under kaiene ble dekket. Da en ble klar over at forurenset Fe-slam fra under kaiene ble virvlet opp av skipstrafikken og spredt ut i bukta, oppå nylig tildekkede områder, ble området under kaiene dekket med betongmadrasser. Da dette arbeidet var utført ble bukta ytterligere tildekket. På de øvrige stasjonene i transektet ble det ikke påvist så store mektigheter av det røde Fe-slammet, dette gjaldt særlig stasjon 3 og 4. Det kan skyldes at kjernen brast under prøvetaking i overgangslaget mellom sand og rødt Fe-slam, disse avsetningene har forskjellig tetthet. Den totale mektigheten kan derved ikke anslås (markert med ? i **Figur 27**).

Transekt 2

Alle kjernene i dette transektet, med unntak av den fra stasjon 1, hadde nytt tilført rødt Fe-holdig sediment i overflaten (**Figur 28**). Alle kjerner hadde dekklag bestående av sandblandet leire med sjikt av grovere sand. Dekklaget varierte fra 20 til 50 cm tykkelse.

I dette transektet ble den lengste kjernen (100 cm) tatt på stasjon 1. Under dekklaget på 40 cm påtraff en 20 cm med rødt Fe-slam og deretter grå til mørk grå siltig leire. Sedimentene på stasjon 7 som lå lenger ut i bukta mot øst viste de samme sjiktningene som stasjon 1, med dekkmasser på 50 cm

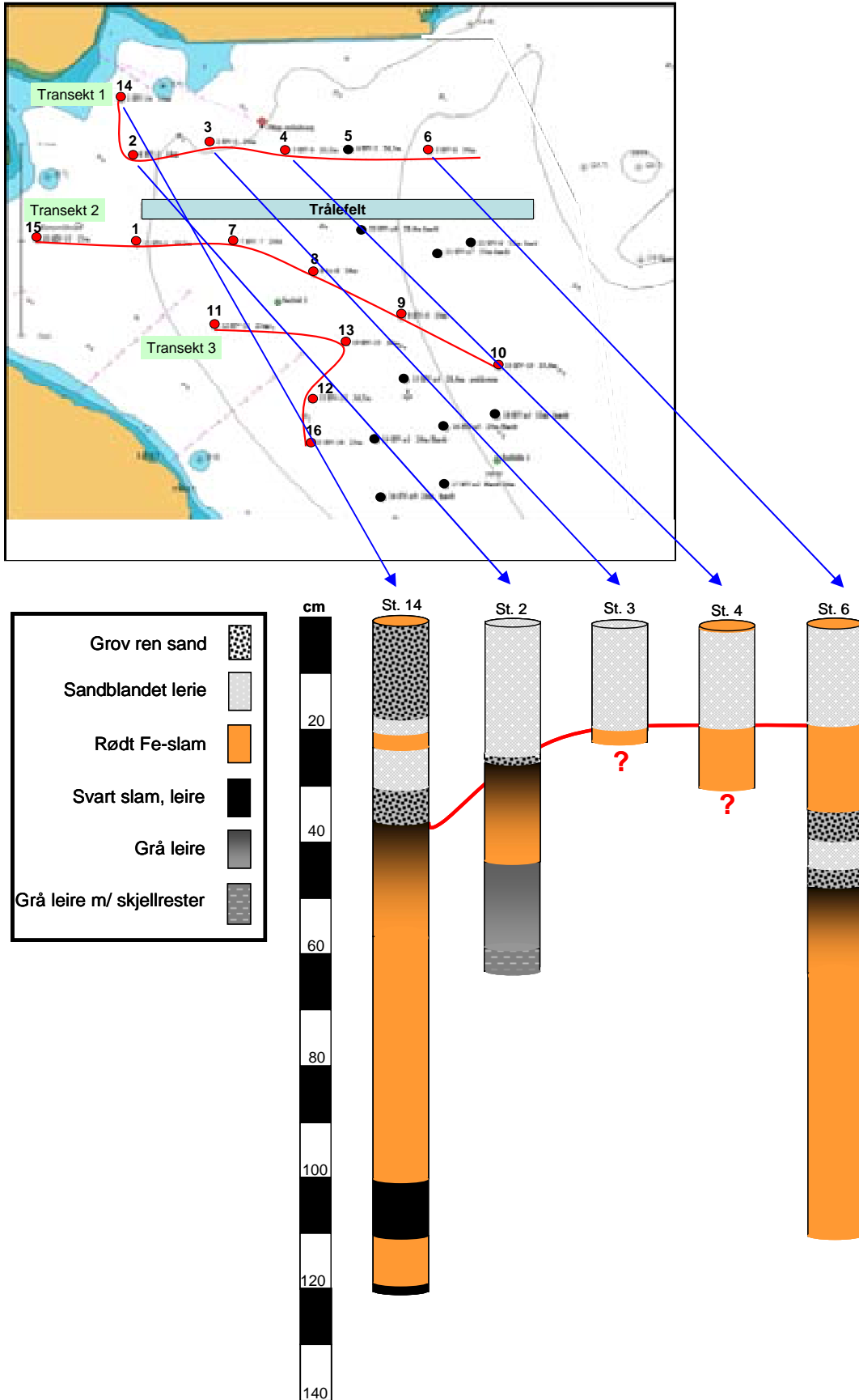
tykkelse og deretter et ca 20 cm tykt rødt Fe-slam lag. På øvrige stasjoner i transektet var ikke kjernene lange nok til å penetrere gjennom det røde Fe-holdige slammet. Ved prøvetaking vil kjernene gjerne bryte i overgangene fra en sedimenttype til en annen på grunn av tetthetsforskjeller. Det er derfor rimelig å anta at bruddet mellom dekkmassene og Fe-slammet lå omtrent i sedimentdypet merket med ? i **Figur 28**.

Transekt 3

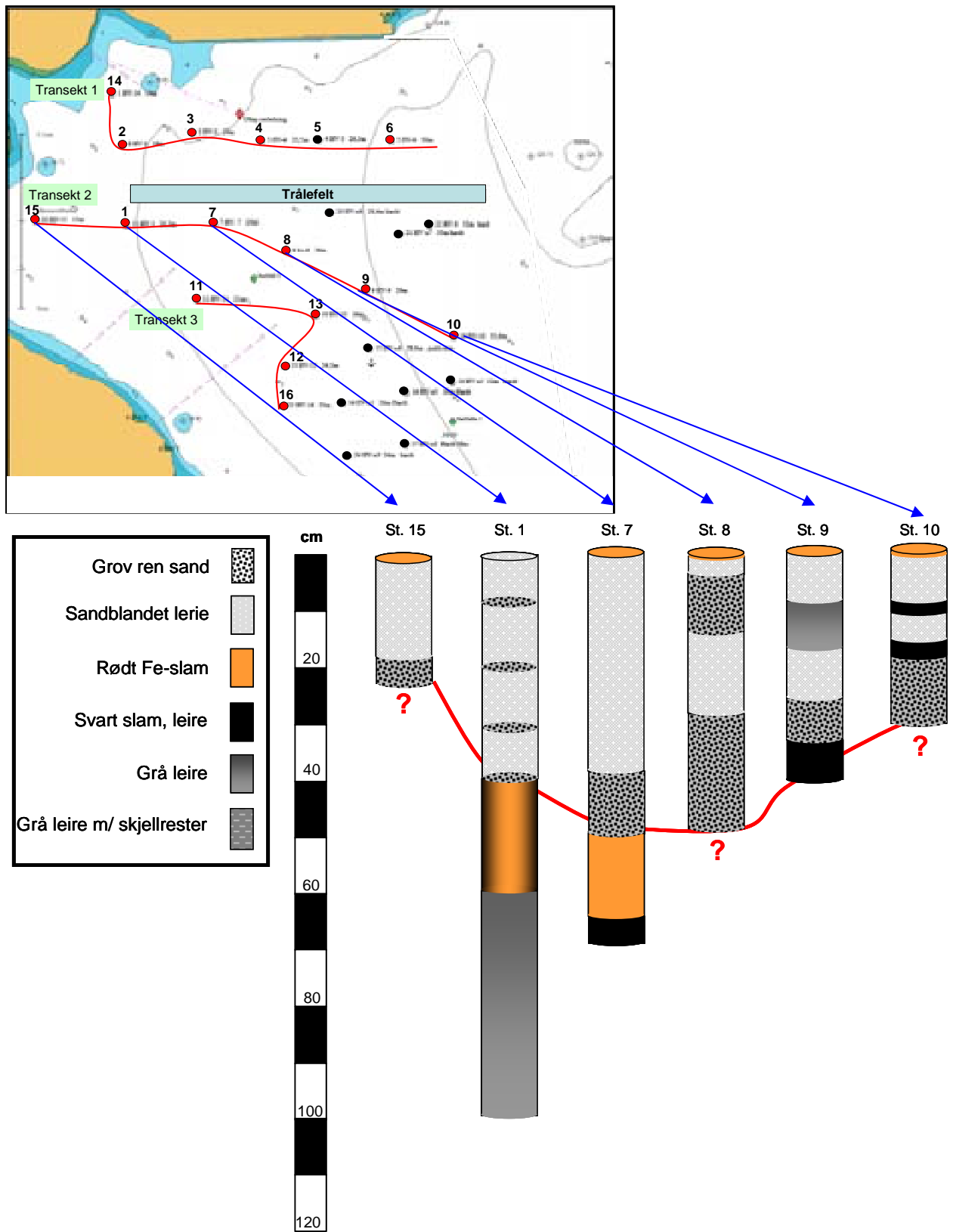
Alle kjernene i dette transektet, med unntak av den fra stasjon 12, hadde nytt tilført rødt Fe-holdig sediment i overflaten (**Figur 29**). Alle kjerner hadde dekklag bestående av sandblandet leire med tendens til grovere sand nedover i dekklaget. Dekklaget varierte i tykkelse fra 30 til 45 cm.

De fleste kjernene penetrert godt ned i tilsynelatende uforurensede sedimenter (må verifiseres ved kjemiske analyser). De dypeste lagene besto av homogen grå siltig leire med innslag av skjell og sneglerester. Slike lag ble påtruffet ved ca 60 cm sedimentdyp. Over disse avsetningene ble sedimentene gradvis mer svart og med noe høyere vanninnhold ("svart slam"). Det karakteristiske røde Fe-slammet ble ikke påtruffet i dette området.

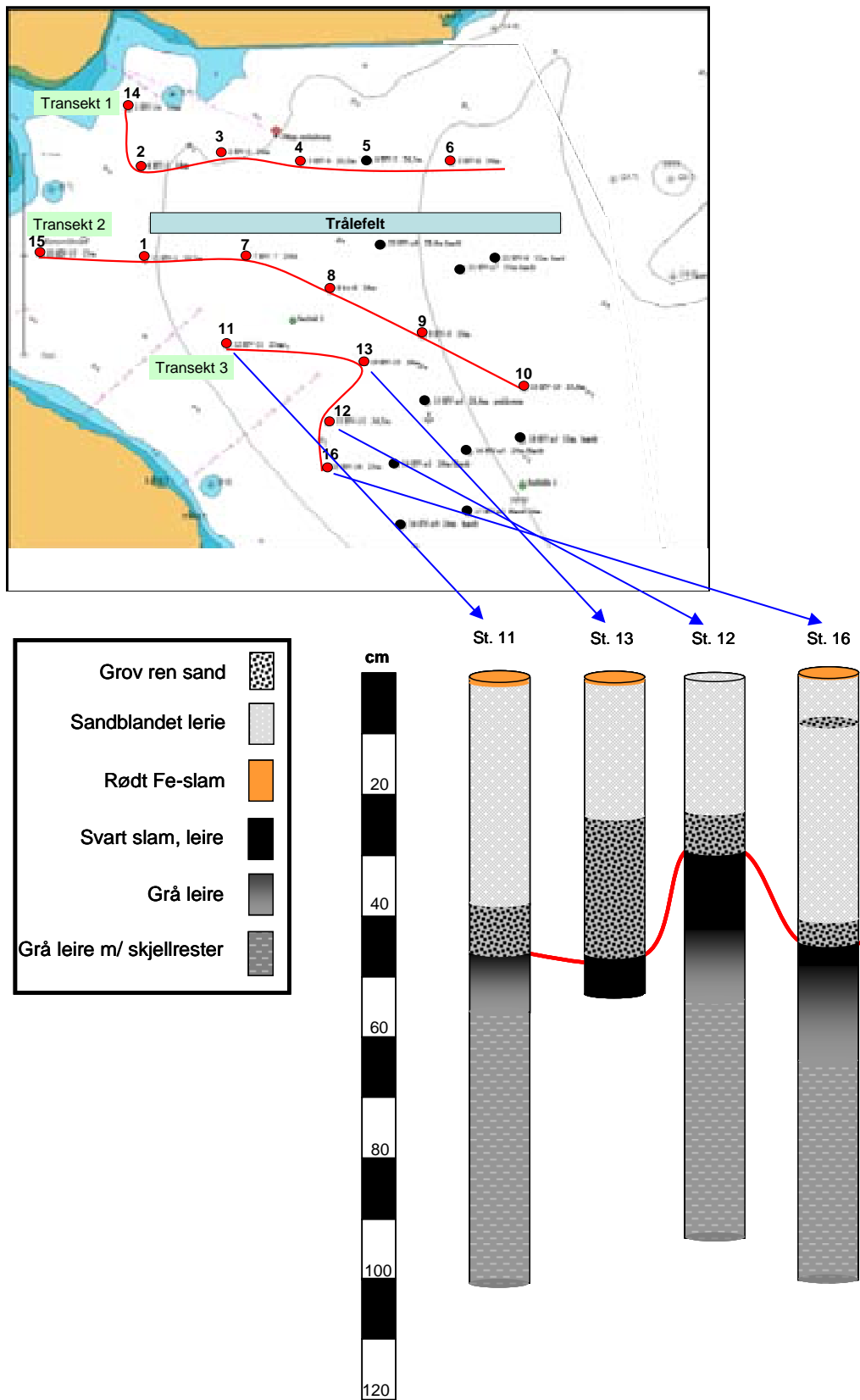
I området mellom transekt 3 og 2, mot øst lot det seg ikke gjøre å få tatt kjerneprøver med den valgte utrustningen. Sedimentene eller dekkmassene i dette området besto av relativt harde leirer (konsoliderte) med innslag av større stein (pukk), merket med svarte symboler i **Figur 9**.



Figur 27. Kart over Hannevika med kjerner i transekt 1. Rød linje markerer bunn av dekklaget.



Figur 28. Kart over Hannevika med kjerner i transekt 2. Rød linje markerer bunn av dekklaget.



Figur 29. Kart over Hannevika med kjerner i transekt 3. Rød linje markerer bunn av dekklaget.

3.4.2 Erosjon og sedimentasjon

Et av hovedspørsmålene med undersøkelsene var om dekkmassene hadde sunket ned i underliggende masser. Det faktum at sedimentene i Hannevika har vært dominert av finkornet rødt Fe-holdig industrislam kunne tilsi at Fe-slammet ikke hadde tålt vekten av dekkmassene. Prøvetakingen viste imidlertid liten innblanding av dekkmassene i underliggende sedimenter, dvs. det var klare avgrensninger mellom lagene. Hvorfor en ikke hadde påvist sand i overflatesedimentene ved etterundersøkelsene var fordi dekkmassene alt vesentlig besto av sandblandet leire og ikke sand. Bare i enkelte tilfeller ble det påvist sand (stasjon 14 og til dels stasjon 8).

Dekklaget hadde en mektighet fra 20 – 40 cm, kravet om minimum 25 cm tildekking er derved tilfredstilt.

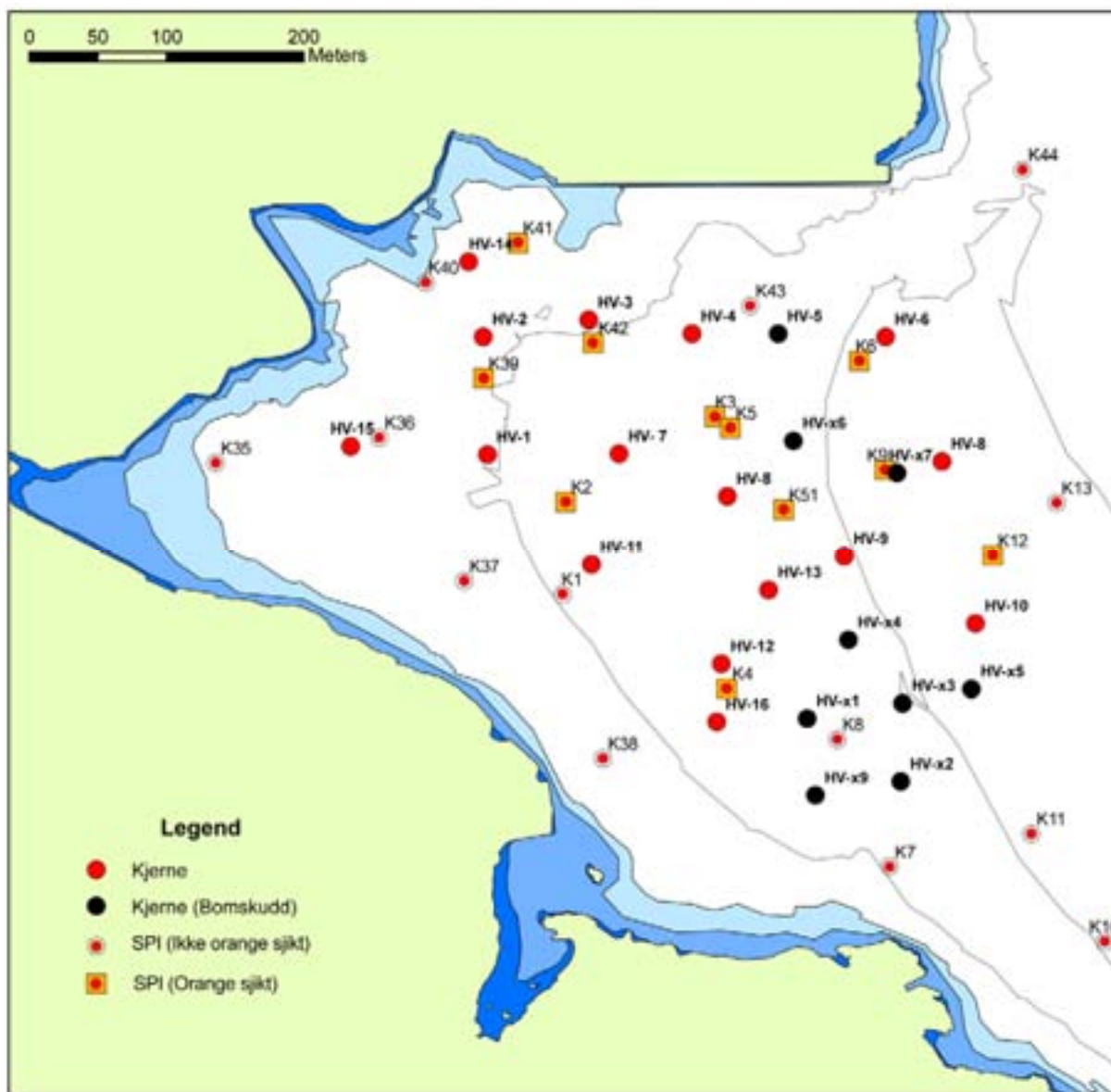
Tildekking av Hannevika foregikk i perioden april 2002 – oktober 2003 (Berg Christensen et al. 2004). Området under kaiene ved Falconbridge ble dekket i april til september 2004. Tildekkingen var ikke tilfredsstillende og området ble ytterligere tildekket med betongmadrasser i august 2004. Kaiområdet, grunne områder og utildekkede topper på bunnen ble ytterligere tildekket i september 2004 (**Figur 3**). Det gikk altså ca et år fra den store tildekkingen av bukta ble utført til kaiene ble dekket til med betongmadrasser. Langs transekt 1 (**Figur 27**) ble det på stasjon 14 og 6 registrert et mellomliggende Fe-slamlag (sand over og under) på hhv. ca 5 og 20 cm mektighet. Dette betyr at området rundt stasjon 6 hadde en sedimentasjon på ca 3 – 4 mm / uke og ved stasjon 14 ca 1 mm / uke. Dette er svært høy tilvekst og kan sammenlignes med en naturlig årlig tilvekst i norske fjorder. Dannelsen av laget har sannsynlig årsak i hendelser som skipsoppvirvling eller annen forstyrrelse av det røde Fe-slammet under kaiene. Dette viser at den største tilførselen av sedimenter foregår i området fra stasjon 6 til 14. Sedimenter som avsettes i skråningen opp mot kaia blir transporter ned på dypere vann (20 – 30 m). Området sør i bukta ser ut til å ha minst sedimentasjon.

Neste alle kjernene viste rester av rødt Fe-slam i overflaten. Som nevnt over er ikke KC-kjerneprøvetakeren den beste for å anslå mektigheten av det nylig avsatte topplaget, men rødt slam i overflaten ble også påvist under fotografering av bunnen i 2005 (Nilsson 2005). Dette er vist i **Figur 30**. Stasjoner uten rødt (orange) topplag ble registrert i sørvestre enden av Hannevika. Dykkerundersøkelsene i 2004 (Skaar 2004) vist også forekomster av rødt slam i topplaget i de samme områdene som ved foreliggende undersøkelser. Dette viser at det har foregått en tilførsel av rødt Fe-slam etter at tildekkingen ble utført og at det sannsynligvis fortsatt tilføres slam til området. Dette er sannsynlig ut i fra at utildekkede områder lå eksponert i lange perioder etter hovedtildekkingen (Skaar 2004) og at det også ved dykkerundersøkelser i 2005 fortsatt ble påvist mangelfull tildekking (jfr. **Figur 3**). Kameraundersøkelser (SPI) i mai 2005 (Nilsson 2005) viste også at områdene utenfor Hannevika har rødt Fe-slam i overflatesedimentene. Mulige kilder til det nye tilførte røde slammet kan altså være tilførsler fra utildekkede områder like etter hovedtildekkingen og fortsatt tilførsel fra fortsatt mangelfull tildekking i området sørvest for vestre del av Falconbridge kaia (Bioconsult 2005).

De høyeste konsentrasjonene av bl.a. nikkel og arsen ble påvist sentralt i Hannevika ved sedimentprøvetakingen 17.03.05 (Skaar 2005). Hvorfor dette område har høyere konsentrasjoner i overflatesedimentene enn øvrige områder er usikkert, men følgende momenter kan være en medvirkende årsak:

- Under feltarbeidet ved foreliggende undersøkelser viste ekkoloddet om bord i F/F Trygve Braarud at bunnen stedvis er svært ujevn, bl.a. i et transekt sentralt over bukta. Dette ble også observert ved dykkerundersøkelser i 2005 (Bioconsult 2005). Ved hjelp av ekkoloddet ble det anslått at haugene og gropene var på 50 – 100 cm høye og brede. En må anta at dette skyldes utleggingen av dekkmassene. Dekkmasser som stiv leire i større og mindre klumper vil være vanskeligere å legge ut jevnt i forhold til sand. I slike fordypninger vil en lokalt få sedimentasjon av fine partikler og forekomsten vil bli svært flekkvis.

- På sjøkart for Hannevika vises det at området benyttes som oppankingsområde. Oppankring vil dra med seg sedimenter fra dypere forurensede lag til overflaten. Vi har ingen dokumentasjon på om oppankring foregår.



Figur 30. Oversikt over stasjoner med kjerneprøvetaking og stasjoner med SPI-fotografering (Nilsson 2005).

4. Sammenfattende vurdering

Oppvirvling og spredning av sedimenter i forbindelse med skipstrafikk i Hannevika.

Målingene tyder på en varierende, men jevnt over liten oppvirvling og spredning av sedimenter i forbindelse med skipstrafikken ved hovedkaia. Dette skyldes sannsynligvis tre faktorer:

1. Forsiktig bruk av motor (liten og kortvarig propelleffekt) ved ankomst og avgang: Unntak kan trolig forekomme når slepebåter brukes i anledning ankomst av mattebåter, spesielt hvis de skyver skipet sidelengs inn mot kaia. Ved ankomst kan bunnen av skipet være forholdsvis nær bunnen og kan trolig skape turbulens og noe oppvirvling. I tillegg kommer virkningen av slepebåtens kraftige propell.
2. Avstanden mellom området der propellen brukes og målepunktet: de store mattebåtene bruker propellen når akterenden befinner seg 200-250 m øst for målepunktet S1. Noen av de mindre båtene legger til nærmere, men med mindre motoreffekt. Det er ikke uventet at måleren bare oppfanget svake signaler mht. strøm og turbiditet.
3. Det er gjort tiltak under kaiene og resultatene kan tyde på at dette gir mindre oppvirvling og spredning av forurensede partikler.
4. Renspyling av bunnen langs hovedkaia: sannsynligvis har skipstrafikken ved hovedkaia for lengst spylt bort de lett eroderbare sedimentene. Helt skjematisk tenkt kan en si at det som ligger igjen er for det meste partikler som sedimenterer mellom hvert skipsanløp. I virkeligheten vil mengden variere noe fordi ulike skip medfører ulik oppvirvling og fordi tilførselen vil variere. Men hovedpoenget er at det trolig er en liten mengde partikler som kan virvles opp under hvert skipsanløp/-avgang. Dette ble også bekreftet under NIVA målinger langs Elkem Fiskås kai (Ruus et al., 2005).

Sammenlignet med målingene i 2001 (Bjerkeng og Molvær, 2002) var oppvirvlingen i forbindelse med skipsbevegelser klart mindre høsten 2006.

Det ble registrert enkelte kortvarige situasjoner med høy turbiditet utenom ankomst eller avgang av skip. Disse situasjonene kan ikke knyttes til episoder med nedbør, men kan skyldes utslipp av industrielt og kommunalt avløpsvann til Hannevikas indre del.

Inntransport av forurensede sedimenter fra områdene utenfor Hannevika

Målinger av turbiditet og partikkelmengde under ferjeanløp viste en betydelig lokal partikkeloppvirvling ved ankomst av *Silvia Ana*, men mindre ved ankomst av *MasterCat*. Det er imidlertid usannsynlig at dette i merkbar grad påvirker sedimentene i Hannevika.

Målinger av strømmens retning og hastighet på stasjon S3 i Hannevikas østre ende sannsynliggjør at fortyntet avløpsvann fra utslipp øst og nord for hovedkaia iblant kan bli ført inn i Hannevika.

Kontroll av sedimenter og dekkmasser

Prøvetaking av bunnsedimentene viste en tilfredsstillende overdekking av sand og sandblandet leire varierende fra ca 20 til 40 cm mektighet. Generelt var dekkmassene mer sandige i de dypeste lagene og leire iblandet sand i de øvre lagene. Dette forklarer hvorfor man i etterundersøkelsene ikke fant sand i overflaten som forventet.

Dekklag og underliggende masser var klart avgrenset. Disse klare overgangene tilsier at det ikke har vært noen innblanding mellom de to lagene.

Under dekkmassene ble det funnet rødt Fe-slam, med tykkelse opptil > 60 cm sammenhengende mektighet. De største mektighetene ble registrert utenfor Falconbridge på 20 – 30 m dyp. Slike lag ble ikke funnet i den sørlige delen av bukta. I denne delen av bukta ble grå, tilsynelatende uforurensede, leirer med rester av skjell og snegl påtruffet fra 60 cm sedimentdyp.

Utenfor Falconbridge kaia ble det også registrert rødt Fe-slam på 5- 20 cm mektighet med sandlag over og under. Dette mellomliggende laget tilskrives tilførsler fra under kaiene etter at bukta ble tildekket. Dette er i overensstemmelse med at overdekkingen i Hannevika ble utført et år før området under kaiene ble tildekket med betongmadrasser (jfr. **Figur 3**). I denne perioden mottok dypområdet utenfor kaiene rødt Fe-slam fra skipsoppvirvling og annen forstyrrelse. Tilførselen var svært høy sammenlignet med naturlige prosesser. Sedimenttilveksten per uke var like høy som en normal årlig sedimenttilvekst i norske fjorder.

Overnevnte konklusjoner viser at området utenfor kaiene har den største sedimenttilveksten i området. Tilveksten her er langt høyere enn lenger sør i bukta. Tilførselen øker fordi sedimenter som avsettes i skråningen inn mot kaia etter hvert vaskes ned i nærliggende dypområde.

Tilnærmet alle kjerner hadde rødt Fe-slam i overflaten. Dette tyder på at det fortsatt foregår en tilførsel av slikt sediment. Sannsynlig kilde er dårlig tildekkede områder sydvest for vestre del av Falconbridge kaia. Slike områder ble påvist ved dykkerundersøkelser i 2004 og 2005, altså også etter at siste tildekking er utført. Strømmålinger i området viser at det til tider er en vestgående strøm inn i vika, og oppvirvling av Fe-avsetninger i tilgrensende områder til vil dermed kunne bidra med partikler inn i vika.

De høyeste konsentrasjonene av bl.a. nikkell og arsen i nyavsatt materiale (0 – 2 cm overflatesediment) er påvist sentralt i Hannevika. Årsaken til spesielt høye konsentrasjoner i dette området er usikkert, men følgende momenter kan være medvirkende:

- Fra naturens side tyder det ikke på at området sentralt i bukta har en høyere akkumulasjon av finpartikulært materiale sammenlignet med dypområdet utenfor Falconbridge kaia (de største mektighetene av rødt Fe-slam ble funnet i dypområdet utenfor kaiene).
- Bunntopografien i bukta er endret og har blitt mer ujevn. Dette vil lokalt skape akkumulasjonsområder for fine partikler som ofte er de mest forurensede. En ujevn topografi fører til mer flekkvis fordeling av miljøgifter i sedimentene.
- Avstanden til dårlig tildekkede områder (påvist av Skaar 2004 og 2005) er relativt kort. Finpartikulært materiale i grunnområdene vil med tiden arbeide seg ut til dypereliggende områder.

5. Anbefalinger

Det spres fortsatt noe rødt Fe-slam utover bunnen av Hannevika, selv om Falconbridge Nikkelverk for lengst har stanset slike utslipp. Mulige kilder er da:

- dårlig tildekkede områder
- grunne områder som ikke skulle tildekkes
- utenforliggende områder som ikke er tildekket (kaiområdet lenger nordøst)

En tildekking av gjenværende utildekkede områder i Hannevika vil stoppe tilførselen fra dette kildeområdet.

Falconbridge slipper fortsatt ut Fe og andre metaller til Hannevika. Om dette er i en annen form enn tidligere har vi ikke oversikt over. Ved å kjøre en ICP analyse hvor en får kartlagt forekomsten av opp til 30 elementer i dagens utslipp fra Falconbridge og sammenligne dette med sammensetningen av

eldre utslipp (fås fra gamle avsetninger) kan en få en ide om dagens nyavsatte materiale er fortsatte utslipp eller resedimentasjon av gamle avsetninger.

Hannevika er resipient for en betydelig mengde kommunalt overvann. Selv om konsentrasjonen av metaller utvilsomt er lavere enn for vanlig kommunal råkloakk er det aktuelt å kvantifisere hva utslippene tilfører vika av metaller.

For å vurdere om utslipp til området nord og øst for Hannevika – eller oppvirvling av sedimentene her – er et kildeområde kan en mulighet være å tilsette en tracer til avløpsvann eller bunnsedimenter og se om dette kan spores inn i Hannevika. NIVA har benyttet slike tracere i andre sammenhenger.

6. Litteratur

Bakke, T., Kibsgaard, A., Lindholm, O., Molvær, J., Pettersen, A. og Skarbøvik, E., 2005. Oppfølgende undersøkelser knyttet til sedimenttiltak i Kamfjordkilen, Sandefjordsfjorden. NIVA-rapport nr. 5072-2005. 108 sider.

Bergh-Christensen, L., Næs, K. og Myrvoll, F., 2004. Kristiansand kommune, Hannevika. Tildekking. Teknisk sluttrapport. Sørlandskonsult. 27 sider + Vedlegg.

Bjerkeng, B. og Molvær, J., 2002. Oppvirvling og spredning av forurenset sediment på grunn av skipstrafikk. Litteraturstudium og feltundersøkelser i Kristiansand havn. SFT TA-nr. 1869/2002. NIVA-rapport nr. 4545-2002. 144 sider.

Kristiansand kommune, 2002. Hannevika tildekking, grunnlagsdokumentasjon, 19 januar 2004. 33 sider.

Niemistö, L., 1974. A gravity corer for studies of soft sediments. Havforskningsinst. Skr. (Helsinki) 238, 33-38

Nilsson, H.C., 2005. Notat O-25218. Kristiansand – Hannevika - SPI. NIVA. 10 sider.

Næs, K. og Rygg, B., 2004. Supplerende sedimentundersøkelser i Kongsgårdsbukta, Bredalsholmen og Hannevika i 2004. NIVA-rapport nr. 4854-2004. 50 sider.

Ruus, A., Molvær, J., Uriansrud, F. og Næs, K., 2005. Risikovurderinger av PAH-kilder i nærområdet til Elkem i Kristiansand. NIVA-rapport nr. 5042-2005. 118 sider.

Skaar, A., 2004. Dykkerundersøkelse i Hannevika 16.04.04. BioConsult rapport 1305. 24 sider.

Skaar, A., 2005. Sedimentanalyser Hannevika. BioConsult rapport 1305. 24 sider.

Vedlegg A. Oversikt over utslipp fra Falconbridge Nikkelverk

Tabell A1. Oversikt over utslipp til Hannevika og nordøst for denne (jfr. også Figur 6). Tallene referer til årsmiddel for 2005. Utslipp direkte til Hannevika er vist med uthevet skrift. (kilde: Fylkesmannen i Vest-Agder, Miljøvernavdelingen).

Utslipp nr.	Info, avløp/ rør	Type utslipp	Merknad
14	Utslipet kommer ut i strandkanten i bukta mot ESSO. Dybde ca.1 m. Ingen diffusor.	8 830 m ³ /d Ni = 1,40 kg/d Cu = 0,22 kg/d Co = 0,02 kg/d Fe = 0,15 kg/d Zn = 0,05 kg/d	Prosessutslipp (elektrolyttrens), regnvann.
5.9/9 (KL)	Avløpet går ca. 90 m ut fra kai, og kommer ut i sjøen ca. 2,5 m over bunnen på en PE plastbukk. Dybde 23 m. Diffusor i form av mange små hull nær endeutløpet.	14 620 m ³ /d Ni = 0,68 kg/d Cu = 0,24 kg/d Co = 0,01 kg/d Fe = 0,20 kg/d Zn = 0,08 kg/d As = 0,06 kg/d	Prosessutslipp, H ₂ S-generator. 5.9: Regnvann.
8	Avløpet kommer ut under kaia nær vannoverflaten.	-	Regnvann. (Fra Knuseri / Vestre kai.)
7 (ML/WP)	Avløpet går ca. 40 m ut, og står ca. 2,5 m over bunnen. Dybde 21 m. Avløpet ligger på et hjul. Det er betongmadrass under hjulet.	7 900 m ³ /d Ni = 0,90 kg/d Cu = 0,53 kg/d Co = 0,10 kg/d Fe = 0,33 kg/d Zn = 0,06 kg/d As = 0,64 kg/d EPOCl = 0,05 kg/d EPOBr = 0,005 kg/d	Prosessutslipp, regnvann.
	Samlet avløp går ca. 90 m ut fra land mellom østre og vestre kai og står ca.2,5 m over bunnen på 23 m dyp. Avløpet ligger på et hjul. Ingen diffusor.	4 160 m ³ /d Ni = 0,38 kg/d Cu = 0,66 kg/d Co = 0,04 kg/d Fe = 0,14 kg/d Zn = 0,06 kg/d As = 0,01 kg/d Pb = 0,02 kg/d	Prosessutslipp, regnvann.
3 ny	Ny 3 er lagt inn på avløp 3 ved østre kai.	Årsutslipp 2005, slaggsilo: Ni = 6,6 kg Cu = 8,2 kg Co = 6,6 kg	Regnvann, slaggavrenning. Avrenning fra nederste del av kjørevei samt avrenning fra slaggsilo.

3 (Bryggebakken)	Samlet avløp går ca. 90 m ut fra land mellom østre og vestre kai og står ca.2,5 m over bunnen på 23 m dyp. Avløpet ligger på et hjul. Ingen diffusor.	4 160 m ³ /d Ni = 0,38 kg/d Cu = 0,66 kg/d Co = 0,04 kg/d Fe = 0,14 kg/d Zn = 0,06 kg/d As = 0,01 kg/d Pb = 0,02 kg/d	Prosessutslipp, regnvann.
20	Avløpet kommer ut i strandkanten innerst i bukta ved østre kai på ca.1 m dyp. Ingen diffusor.	22 030 m ³ /d Ni = 0,33 kg/d Cu = 0,27 kg/d Fe = 0,31 kg/d Zn = 0,09 kg/d As = 0,01 kg/d Pb = 0,01 kg/d Dioksin = 0,06 g/år	Prosessutslipp (svovelsyrefabrikk og gassrensaneanlegg), regnvann.

Tabell A2. OVERSIKT OVER UTSLIPPSPUNKTER (AUGUST 2006, kilde: bedriften)

Utslipp nr.			Kommentar
1	Se kart : Bygg\B01\Vvs	Regnvann	Overflatevann fra østre jernbaneområde.
20, H ₂ SO ₄ fabrikk og Gassrense - anlegg	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele Bedriften	Årsmiddel 2005: 22030 m ³ /døgn. Variasjon i månedsmiddel fra 19120 til 23280 m ³ /d. Midlere døgnutslipp: Ni=0,33 kg/d, Cu=0,27 kg/d, Fe=0,31 kg/d, As=0,01 kg/d, Pb=0,01 kg/d, Zn= 0,09 kg/d, Dioksin=0,06 g/år	Prosessutslipp + regnvann. Dette er rent sjøvann brukt til kjøling og vann fra sjøvannsscrubber. Vannmengden er jevn.
ny 3	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann, slaggavrenning	Avrenning fra nederste del av kjørevei, samt avrenning fra slaggsilo. Årsutslipp fra slaggsilo i 2005: 6,6 kg Ni, 6,6 kg Co og 8,2 kg Cu. Diskontinuerlig. 137 tappinger i 2005. Hver tapping tar ca.20 min. Ca 150 m ³ pr. tapping.
3, Bryggebakken	Se kart: Bygg\B01\vvs Hele bedriften	Årsmiddel 2005: 4160 m ³ /d. Variasjon i månedsmiddel fra 3250 til 5480 m ³ /d. Midlere døgnutslipp: Ni=0,38 kg/d, Cu=0,66 kg/d, Co=0,04 kg/d, Fe=0,14 kg/d, As=0,01 kg/d, Pb=0,02 kg/d, Zn=0,06 kg/d.	Prosessutslipp, regnvann. Dette er sjøvann brukt til kjøling samt overvann fra 50 mål på bedriftsområdet. Ved store nedbørmengder, spyling av området, evt. ukontrollerte utslipp legges avløp til deponi til konsentrasjonene er under akseptabelt nivå. Vann i deponi kjøres til rensetrinnet, Tynne Løsninger.
4	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann	Overflatevann, takvann, samt enkelte avløp fra vasker i verksted. Ingen kjente kilder til forurensning.
5	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann	Takvann fra shedd
6	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann	Takvann og overflatevann fra ytterste området. Indre området er hevet (asfaltert) og avrenning inn mot bygg blir pumpet til tynne løsninger.
50, Svovelsyretanker	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann, evt. ukontrollert utslipp av svovelsyre	Vann fra fangdam til svovelsyretankene. Dersom fangdammen blir overfylt vil man kunne åpne avrenning direkte til sjø.
7, ML/WP	Se kart: Bygg\B01\Vvs	Årsmiddel 2005 : 7900 m ³ /døgn. Variasjon i månedsmiddel fra 4430 til 9520 m ³ /d.	Prosessutslipp, regnvann. Dette er sjøvann brukt til kjøling og

	Hele bedriften	Midlere døgnutslipp: Ni=0,90 kg/d, Cu=0,53 kg/d, Co=0,10 kg/d, Fe=0,33 kg/d, As=0,64 kg/d, Zn=0,06 kg/d, EPOCl=0,05 kg/d, EPOBr=0,005 kg/d.	filtrat fra felleanlegg for tynne løsninger.
8	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann	Overflatevann og takvann fra området mellom ML-anl. og gamle knuseri, samt fra deler av Vestre Kai.
KL, Nr.9 og H ₂ S-generator	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften Nr.9, KL og H ₂ S-generator er koblet sammen og må regnes som et og samme avløp til Hannevika	Årsmiddel 2005 : 14620 m ³ /døgn Variasjon i månedsmiddel fra 9880 til 20870 m ³ /d. Midlere døgnutslipp: Ni=0,68 kg/d, Cu=0,24 kg/d, Co=0,01 kg/d, Fe=0,20 kg/d, As=0,06 kg/d, Zn=0,08 kg/d.	Prosessutslipp Dette er sjøvann brukt til kjøling, overvann, takvann og grunnvann. Avløp fra H ₂ S generator med utslipp av H ₂ S, lagt parallelt med, og koblet inn på, dette avløpet.
5.9:Vestre del, Vestre Kai		Regnvann	Det er laget en egen settletank under kaien der deler av regnvann fra vestre del av Vestre Kai renner gjennom. Evt. uløste metaller vil kunne bli fanget opp her.
10	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Regnvann	Overflatevann fra området rundt Forsøksanlegget, samt takvann.
14 Elektrolyttrens	Se kart: Bygg\B01\Vvs Hele bedriften	Årsmiddel 2005 : 8830 m ³ /døgn Variasjon i månedsmiddel fra 6180 til 9310 m ³ /d. Midlere døgnutslipp: Ni=1,40 kg/d (Middel 11 måneder 0,36 kg/d), Cu=0,22 kg/d, Co=0,02 kg/d, Fe=0,15 kg/d, Zn=0,05 kg/d.	Prosessutslipp, regnvann. Dette er sjøvann brukt til kjøling i Elektrolyttrens, samt regnvann og takvann.
Offentlig overvann, Hannevika	Innerst i bukten ved Hennig Olsen Iskremfabrikk.	Regnvann	Regnvann fra området bak Co-raff, P-plass, området bak inntaksstasjon i Rosindalen. Alle disse grenser mot E39 og overvann renner ut til offentlig overvannssystem. Evt. overvann fra deponi Kolsdalen ved ekstreme nedbørmengder renner i bekk ned Kolsdalen og videre i drengssystemet (bekk fra Tinnheia) omlagt av Statens vegvesen under E39 til Hannevika.

Vedlegg B. Sedimentkjerner fra Hannevika 10.11.2006

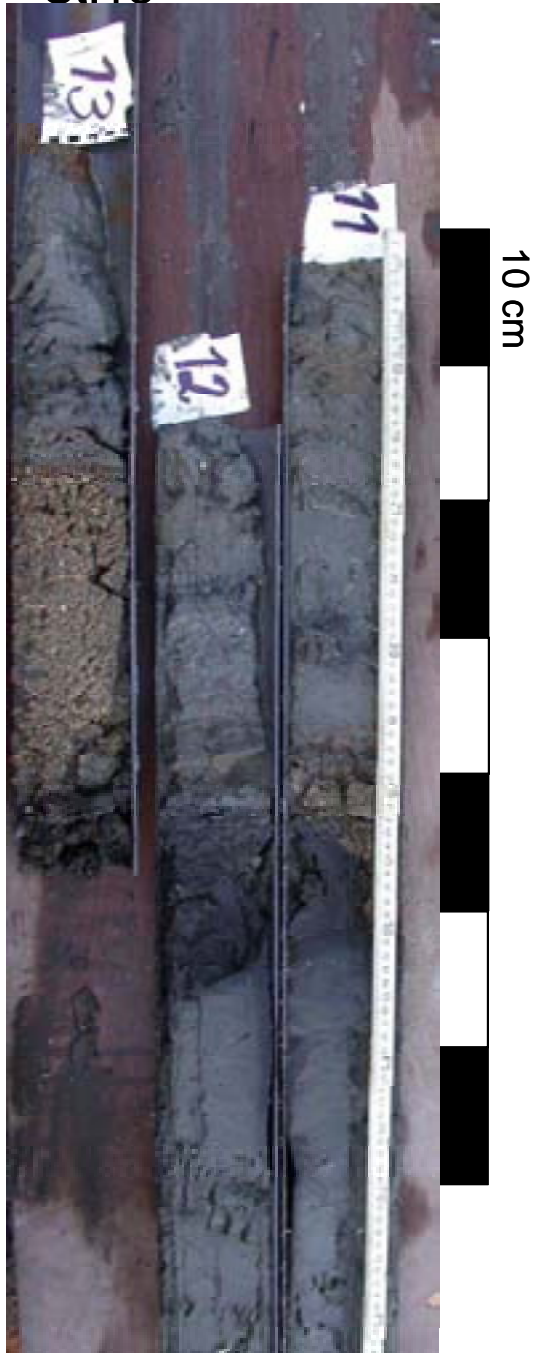
- Stiplet hvit linje viser overgang mellom industrislag og dekkmasser
- Dekkmassene består av sand i de dypeste lagene (dvs. første utlegging)
- Dekkmassene blir mer leirholdige mot overflaten
- Stasjon 6 viser to episoder med utlegging av dekkmasser, med tilførsler av industrislag i mellomperioden
- Kjernene viser ny tilførsel av industrislag i overflaten



St.10 St.9 St.8 St.7 St.1



St.13



St.16 St.16

