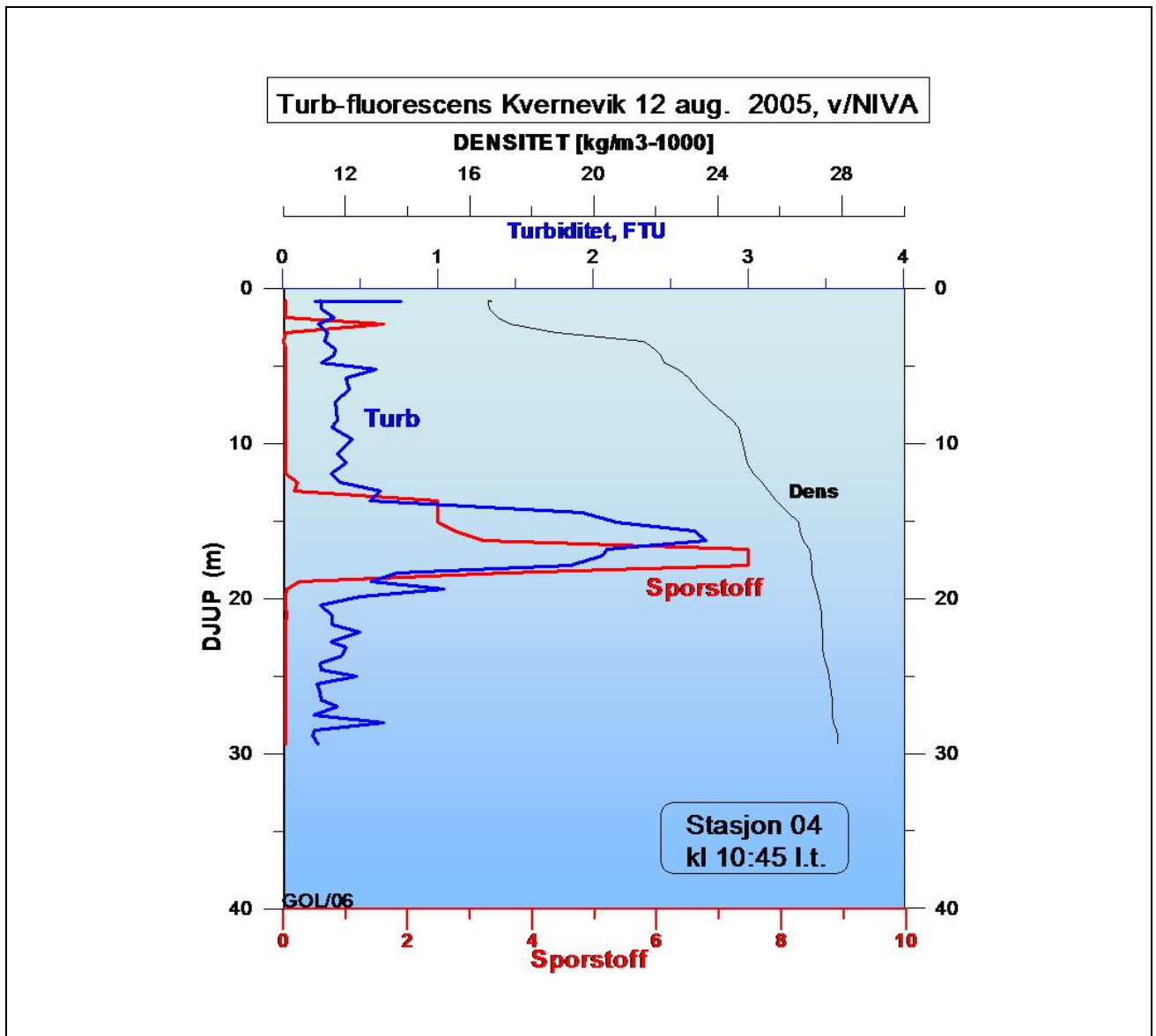


Flesland og
Kvernevik RA
i Bergen

**Kartlegging av spreining av
avlaupsvatn i sjøen**



Hovedkontor

Gaustadalleen 21
N-0349 Oslo
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

Nordnesboder 5
5005 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-niva

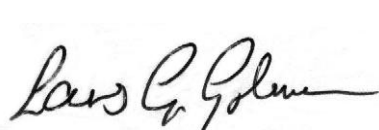
9296 Tromsø
Telefon (47) 77 75 03 00
Telefax (47) 77 75 03 01

Tittel Flesland og Kvernevik RA i Bergen Kartlegging av spreiring av avlaupsvatn i sjøen	Løpenr. (for bestilling) 5186-2006	Dato Januar 2007
	Prosjektnr. Undernr. 25165	Sider Pris 109
Forfatter Lars G Golmen	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Bergen	Trykket NIVA

Oppdragsgjevar Bergen kommune, Byutvikling, Vann- og avløpsetaten, Postb. 7700, 5020 Bergen	Oppdragsreferanse Høgne Hjelle
--	-----------------------------------

Samandrag. Rapporten omhandlar resultat frå forsøk med dosering av sporstoff i avlaupa frå Flesland RA og Kvernevik RA i Bergen, kopla med samtidig detektering ute i resipienten. Forsøka gjekk føre seg i perioden juni-desember, 2005. I tillegg vart det gjort strømmåling på begge lokalitetane med profilerande Doppler målar. Resultata syner at utsleppa ved alle tilfella innlagra seg i 8-10 m djup eller djupare, og at utsleppsarrangementa m.o.t. innlagring såleis fungerer etter hensikta. Utsleppsvatnet blei raskt fortynta nedstrøms 1,000 gonger eller meir i høve til konsentrasjonen ut frå diffusor. Typisk fortynting var større enn 10^5 i avstand på 250 m frå utsleppa, og større enn 10^6 i 500 m avstand. Influensområdet for utsleppa er vurdert til max. 1 km utstrekning, for begge i nordleg retning; mot sør er influensområda mindre. Det er konkludert med at utsleppet frå Flesland RA ikkje påverkar Byfjorden målbart, mens ein del (25-30%) av utsleppet frå Kvernevik RA kan påverke Byfjorden m.o.t. eutrofiering.

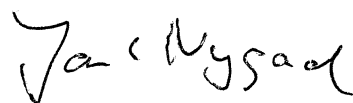
Fire norske emneord 1. Bergen Byfjord 2. Kommunalt avlaup 3. Spreiingsforsøk 4. Resipientpåverknad	Fire engelske emneord 1. The Byfjord, Bergen 2. Municipal outfall 3. Dispersion experiment 4. Recipient load
--	--



Lars G. Golmen
Prosjektleder



Dominique DURAND
Forskningsleder
ISBN 82-577-4904-4



Jarle Nygard
Adm. ansvarleg

Flesland og Kverneviken RA i Bergen

Kartlegging av spreining av avlaupsvatn

i

sjøen

Føreord

Prosjektet kom i gang i juni 2005, etter innleiande diskusjonar mellom kommunen og NIVA på vårparten.

I 2003-04 gjennomførte NIVA ei tilsvarande sporstoff-gransking for avlaupa frå Holen og Ytre Sandviken RA. Det nye prosjektet kan sjåast som ei oppfølging av førre gransking, for andre utslepp. Bakgrunnen var som sist, behovet for ein kartlegging og verifikasjon av spreinga av avlaupsvatnet i sjøen utanfor. I tillegg blei det avtalt gjennomføre ein inspeksjon av avlaupa med ROV.

Hogne Hjelle var kommunes kontaktperson og prosjektansvarleg. Vaktpersonellet ved reinseanlegga, mellom anna Alf Baadsvik, Oddvar Eide, Vidar Onstad og Lars Røed bistod med assistanse og opplysningar om vassmengder m.m.

Leon Pedersen frå Askøy stilte med M/S "SOLVIK" for kartlegginga til sjøs. Henny Knutsen, NIVA, bistod med dosering av sporstoff, mens Christine Olseng, Petter Stenstrøm, Tom Mortensen og Dominique Durand, alle frå NIVA, deltok i felten undervegs.

Takk til alle involverte.

Bergen, januar 2007

Lars G. Golmen

Innhald

Samandrag/Summary	6
1. Innleiing	9
1.1 Bakgrunn for prosjektet	9
1.2 Formål med foreliggende prosjekt	11
1.3 Resultat frå granskingane ved Holen og Ytre Sandviken RA	13
1.4 Miljøstatus for dei to nye resipientane	14
1.4.1 Kvernevik	15
1.4.2 Flesland	18
1.5 Utsleppsarrangement	19
1.6 Resipienteffektar - generelt	21
2. Måling av sporstoff; metodikk	22
2.1 Kalibrering	24
3. Dosering og måling	28
3.1 Tokt-datoar og vassmengder	28
3.2 Måling i sjøen ved utsleppa	29
3.2.1 Flesland 20. juni	29
3.2.2 Kvernevik 12. august	30
3.2.3 Flesland 16. august	30
3.2.4 Flesland 22. september	30
3.2.5 Kvernevik 23. september	31
3.2.6 Kvernevik 22. november	31
3.2.7 Flesland 23. november	31
3.2.8 Kvernevik 19. desember	31
3.2.9 Flesland 20. desember	32
3.3 Ekstra hydrografiske målingar	32
3.4 Strømmåling	32
3.5 Vêrtilhøva under tokta	32
3.6 Tidvatn	35
4. Strømmåling	36
4.1 Måleprogram	36
4.2 Måleresultat Kvernevik	37
4.3 Måleresultat Flesland	44
5. Resultat av sporstoffmålingane	51
5.1 Flesland 20. juni 2005	51
5.2 Kvernevik 12. august	56
5.3 Flesland 16. august	61
5.4 Flesland 22. september	66
5.5 Kvernevik 23. september	70
5.6 Kvernevik 22. november	75
5.7 Flesland 23. november	78

5.8 Kvernevik, 19. desember	81
5.9 Flesland 20 desember	83
6. Andre registreringar	88
7. Diskusjon og oppsummering	89
7.1 Hovudtrekk frå sporstoff-kartlegginga	89
7.1.1 Generelt	89
7.1.2 Nokre hovudtrekk ved Flesland	90
7.1.3 Hovudtrekk ved Kvernevik	90
7.2 Utbreiing og fortykning	93
7.3 Resipientmessige vurderingar.	94
7.3.1 Flesland RA	94
7.3.2 Kvernevik RA	94
7.4 Klimaeffektar - Byfjordens respons på nedbør	95
8. Referansar/litteratur	97
Vedlegg A. Stasjonsplassering	100

Samandrag/Summary

På oppdrag frå Bergen kommune, Byutvikling, Vann- og avløpsetaten, gjennomførte Norsk institutt for vannforskning, NIVA, i 2005 eit prosjekt få å kartlegge speiinga av avlaupsvatn frå 2 av kommunens reinseanlegg: Flesland RA (Sletten) ved Raunefjorden og Kvernevik RA ved Tertnes i nordre del av Byfjorden. Hovedmålsettinga med prosjektet var å verifisere innlagringa av utsleppsvatnet i resipienten, og å kartlegge den vidare speiinga i fjordområda rundt.

Det viktigaste elementet i prosjektet var ”farging” av avlaupsvatnet nedstrøms silanlegga ved hjelp av fluorescerande sporstoff (Rhodamin) med påfølgjande detektering av dette i sjøen i utsleppsområdet med eigna sensor. I tillegg vart det utført strømmåling på begge lokalitetane, og gjort supplerande registreringar.

Resultat av strømmålingane

Strømmåling blei gjort på begge lokalitetane over 3-4 veker i perioden november 2005-januar 2006.

I Kvernevik var det relativt sterk strøm nær botnen, så avtakande styrke oppover før eit maksimum nær overflata. Middelerdien for strømstyrke låg mellom 1.5 og 5.7 cm/s; med unntak av nær overflata der middelerdien var 12.1 cm/s. Høgste målte verdi var 39.7 cm/s nær overflata, etterfølgd av 37.5 cm/s nær botnen. Periodane med sterk strøm hadde oftast retning mot NW. I mellomsjiktet frå 15 m til 25 m djup var det for det meste strøm mot NW, mens det i sjikt over og under var mest innslag av strøm mot austleg kant. Nettotransporten var for dei fleste måledjupa retta mot SW, mens den for øvste celle var retta mot NW.

Strømstyrken ved Flesland var høgast nær botn, med 73 cm/s som maksimum. Det var lite strømskjær vertikalt, noko som indikerer at strømmen frå overflate til 30-40 m djup var ”barotrop” for det meste, d.v.s. kontrollert av tidvatnet og lite påverka av terskelen i Raunefjorden på ca 40 m djup. Hyppigast forekomande strømreringar var mot sør og mot nord m.a.o. langs botntopografien på staden. Nettostrømmen hadde retning mot aust - eller nordaust i dei fleste djupa. Dette er tolka som at sør - og nordgåande tidvass-strøm nullar kvarandre ut, med resulterande vektor som då blir danna av resterande retningsobservasjonar. Det at målarer stod ved enden av diffusoren, og at utsleppet i seg sjølv genererer strøm med retningskomponent innover mot utslepps-strålane, kan også forklare nettostrømsretningen. Sterkast strøm (73 cm/s) var registrert nær botnen. Elles låg max. verdiane mellom 25 og 35 cm/s. Det var ingen langvarige periodar med heilt strømsstille. Middelerdi strømstyrke var 6-7 cm/s, med unntak av cella nærast botnen med 11 cm/s.

Sporstoff-forsøka

Dosering av sporstoffet Rhodamin i avlaupet frå dei to reinseanlegga med påfølgjande kartlegging av stoffet ute i sjøen rundt utsleppspunktet vart gjennomført ved fem ulike tidspunkt i løpet av perioden juni – desember 2005.

Konsentrasjonen av sporstoff avtok generelt med tid og med aukande avstand frå utsleppspunktet. Utsleppsvatnet med sporstoffet steig sakte oppover i sjøen etter kvar som skya blei transportert bort frå utsleppspunktet, som indikerer at utsleppsvatnet foretar ei vidare vertikal justering til omgjevna nedstrøms, etter sjølve primærfortynningsfasen.

Målingane viser at utsleppsarrangementet (diffusor) ved Flesland og i Kvernevik synest fungerer bra og etter hensikta, d.v.s. at utsleppsvatnet begge stader går ut gjennom diffusoren, og blir innlagra i god avstand (8-10 m eller djupare) under sjøoverflata. Sprangsjiktet i sjøen fungerer som ein sperre for full oppreining av utsleppsvatnet. Maksima i turbiditet og sporstoff vart hyppig detektert i eller like under sprangsjiktet, mens det ikkje vart detektert sporstoff i grunnare sjikt over utsleppa ved noko høve.

Sporstoffsignala synte tendens til å avta, og innlagringa blei djupare med aukande vassføring. Innlagringsdjupet for delen av utsleppet med høgast konsentrasjon fordelte seg hyppigast frå ca 12 m djup og ned til ca 30 m.

Det blei registrert opp til 8-10 fugl (mest måsar, litt ender) over utsleppspunkta under tokta, og flest fugl ved Flesland. Desse beitar sannsynlegvis på små partiklar frå utsleppet, eller på organismar i sjøen som blir tiltrekt av dette. Talet er langt mindre enn det som ofte vart observert ved Holen i 2003, og samanliknbart med tal for Ytre Sandviken/Breiviken då.

Partikkelskya over utsleppspunktet blei fanga opp på ekkoloddet på alle tokta. Ekkoloddet detekterte gjerne toppen av skya best, men tidvis kunne ein sjå fleire lag med partiklar, som representerte utslepp frå forskjellige diffusor-hol.

I Kverneviken vart det målt påverknad frå utsleppsvatnet innover i retning Dalelva i sjikt frå 6-7 m djup og ned til botn, varierende i høve til vassføring og nedbør.

Fortynning og spreiiing i resipientane

Maksimalutslaga for sporstoff i utsleppsskya motsvara konsentrasjon frå om lag 10^{-9} til 10^{-8} . Med utgangskonsentrasjon på 10^{-4} – 10^{-5} eller mindre i utgangsstrålen, var det dermed fortynning større enn 1,000X like i nærleiken av utsleppspunktet der dei høgste konsentrasjonane vart målt. Dei registrerte utslaga i periferien av utsleppet motsvarar ytterlegare 10-1,000X fortynning (avh. av situasjon), slik at ein kan rekne med typisk fortynning større enn 10^5 i avstand på 250 m frå utsleppa, og større enn 10^6 i 500 m avstand.

Sporbare konsentrasjonar frå utsleppa vil normalt ligge i nærområdet (influensområdet) til utsleppa, d.v.s innafor ca 1 km avstand.

For Flesland RA er resipienten Raunefjorden, og hovedtransportretninga i området er nordgåande. I rapporten er det vurdert slik at hovuddelen av vatnet som passerer Vatelestraumen/Bjørøy held fram vidare nordover mot Hjeltefjorden, og at berre ein mindre del av dette tidvis dreiar austover og går inn i retning Byfjorden. Inne i Byfjorden vil ein då normalt ha konsentrasjonar av stoff frå Flesland RA ned mot eller under deteksjonsnivå. Med deteksjon som kriterium, så konkluderer rapporten med at Flesland RA ikkje påverkar Byfjorden resipientmessig. Ein viss stoffrest frå Flesland RA vil uansett kunne nå Byfjorden, men då i så små mengder at det ikkje vil påverke resipienten der målbart negativt m.o.t. eutrofiering.

Kverneviken RA ligg nærare Byfjorden enn Flesland RA. Avstanden til sentrale deler er ca 5 km og det er konkludert med at betydelege mengder (25-30%) av utsleppet frå Kverneviken RA når og påverkar Byfjorden som resipient. Belastning i Byfjorden i form av målbar eutrofieringseffekt frå dette utsleppet kan såleis ikkje sjåast bort frå.

Report summary

The fate of discharged water from the municipal sewage treatment plants Flesland RA and Kvernevik RA in Bergen, Norway, was studied by adding fluorescent dye tracer to the discharge water, and subsequently tracing it in the recipient water. The study was performed in 2005-2006 by the Norwegian Institute for Water Research on contract from the Municipality of Bergen, with the aim to verify the initial mixing of the water from the treatment plant near the submerged discharge diffuser, and the further dispersion and dilution in the recipient water. Both discharges are located on the sloping seabed at about 40 m depth, with a diffuser segment at the end of each pipeline.

The investigation also included current measurements at both locations. These measurements were conducted over a period of one month during November 2005-January 2006. A profiling Doppler current meter was deployed, measuring current speed and direction at ten different depths in the water column. At Kvernevik the average current speed ranged between 1.5 and 12.1 cm/s among the ten depths, with the maximum near the surface. Maximum recorded speed was 39.7 cm/s. The net transport was for most depths towards SW, while near the surface the transport was towards NW. At Flesland, the highest current speed was near the bottom, with 73 cm/s as the maximum value. Average current speed was 6-7 cm/s and the transport varied nearly equally between north and south, along the isobaths. No period with complete stagnation was observed.

Fluorescent Rhodamine dye was added to the discharge flow five different times at each plant over the period June-December 2005. The dye was carefully inserted in the outflow downstream of the treatment plant to ascertain a discharge concentration about 10^{-4} – 10^{-5} , depending on the actual flow. Following this, a survey at sea each time was conducted over the next ca 8 hours to detect the diluted tracer with a sensitive sensor attached to a submersible STD (Salinity-Temperature-Depth) recorder which also had a turbidity sensor. Data from the profiles were displayed in real-time on a PC on board the vessel so that any interleaving traces of the discharged water could be momentarily detected.

The discharge water was easily detected, and mostly effectively dispersed in the recipient water, interleaving in the water column always below 8-10 m depth. The observed pycnocline served as an efficient upper boundary for migration, while the discharge water commonly was distributed in several layers. This indicates that the diffuser arrangements are working properly with the present load, that is, primarily to avoid surfacing of the plume, and to mix the water through several nozzles. Minor amounts of small, floating particles, however, appeared at the surface at times, attracting a handful of feeding seabirds and ducks.

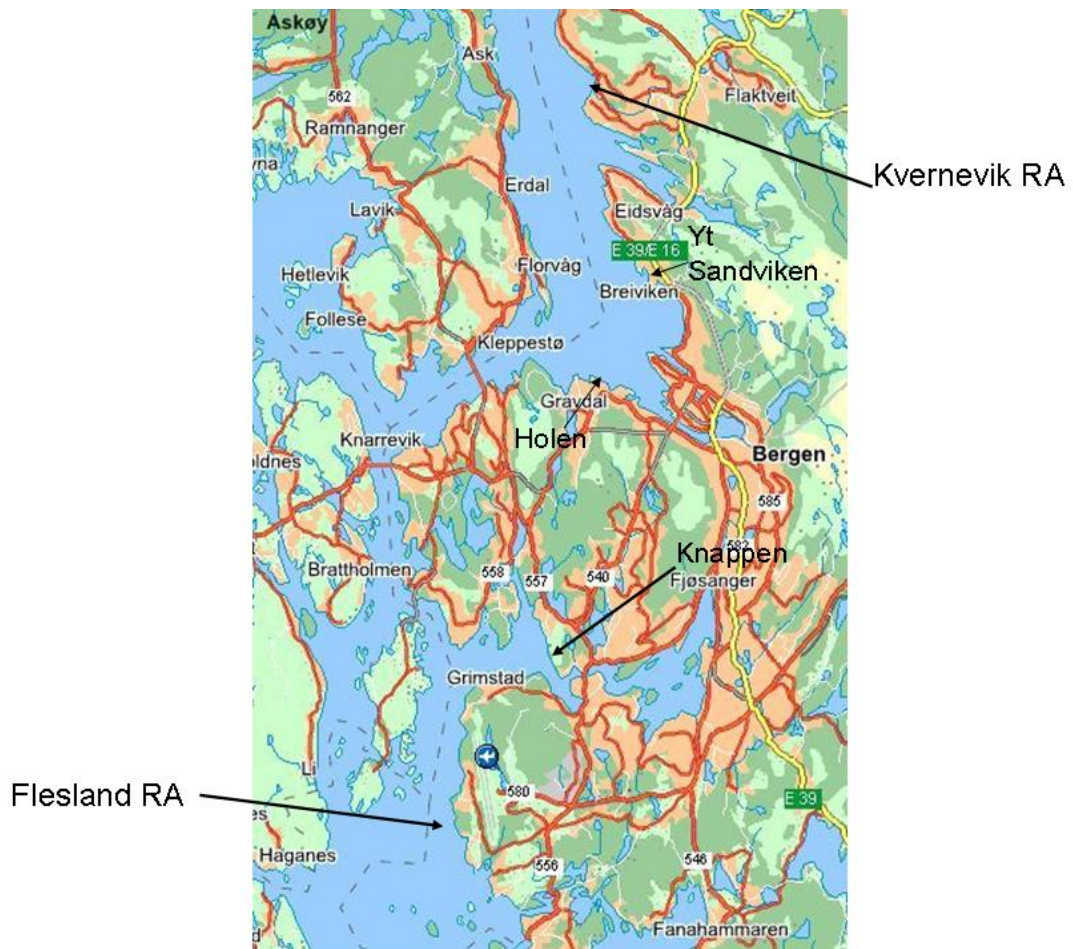
The dye concentration generally decreased by increasing distance from the discharge point, and with time after addition to the outflow. After initial mixing and interleaving, the upper part of the plume still continued to rise slowly a few meters while being transported downstream. The concentration as expected showed a tendency to decrease during high flow. The dye signals were commonly accompanied by turbidity signals at the approximately same depth, and also the echo sounder on the vessel generally was able to pick up the upper part of the plume. At Kvernevik dye signals were observed near the mouth of the Dalelva, from 6-7 m and downwards to the bottom.

The maximum dye signals were found at the discharge points and represented concentrations of 10^{-9} to 10^{-8} which showed an initial mixing of 1,000X or more. The detected signals downstream represented another 10-1,000X dilution, with dilution typically larger than 10^5 within 250 m downstream, and larger than 10^6 beyond 500 m distance. The area of influence was determined roughly to be within 1 km distance. It is further concluded that the discharge at Flesland does not impact measurably the Byfjord proper as what regards eutrophication effects. The Kvernevik discharge, however, will have some impact, estimated at about 25-30% of its total load.

1. Innleiing

1.1 Bakgrunn for prosjektet

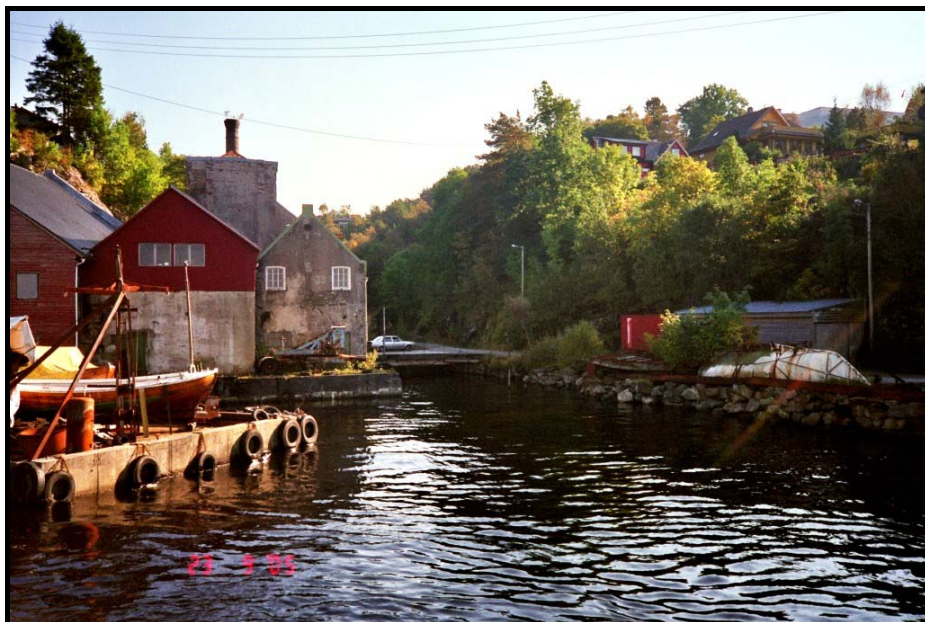
I perioden 1970-talet og til ut på 1990 talet gjennomførte Bergen kommune omfattande sanering av avlaup i dei sentrale byområda samt i Åsane og Fana bydelar. Flesland RA ved Sletten (Fana) og Kvernevik RA i Åsane blei etablert rundt 1980. Holen reinseanlegg (RA) på Ytre Laksevåg, tatt i bruk våren 1997, og Ytre Sandviken RA, opna i mai 1999, er dei siste større utbyggingane. **Tabell 1** og **Tabell 2** syner h.h.v. dei største anlegga, og samla oversyn. **Figur 1** syner plassering av desse avlaupa.



Figur 1. Kart over Byfjorden og Raunefjorden ved Bergen, med dei fem største reinseanlegga.

Tabell 1. Oversikt over dei fem største reinseanlegga i Bergen (sortert frå nord til sør).

Anlegg	Etablert/oppgradert	Bydel	Resipient
Kvernevik	1979	Åsane	Byfjorden/Salhusfjorden
Ytre Sandviken	1999	Bergen sentrum/nord	Byfjorden
Ytre Laksevåg/Holen	1997	Bergen sentrum/Laksevåg	Byfjorden
Knappen	1981/1986	Bergen syd/Fana	Raunefjorden nord
Flesland	1981/1985	Fana s. for Nordåsvatnet	Raunefjorden syd



Figur 2. Fotografi frå Kverneviken, august-september 2005.

Dei nemnde fire anlegga saman med anlegget på Knappen ved utlaupet av Nordåsvatnet (etablert 1981/1986) utgjer dei største utsleppa av reinsa kommunalt avlaupsvatn frå Bergen. Felles for alle desse reinseanlegga er at avlaupet går til fjordresipienten like ved, på ca 35-45 m djup.

I 2003-2004 gjennomførte NIVA ei kartlegging av spreiding av avlaupet frå Holen og Ytre Sandviken RA (Golmen 2004). Resultata gav informasjon om storleik på nærsoneområda og også om influensområda for desse avlaupa som begge går til den sentrale delen av Byfjorden. Desse resultatata kortfatta oppsummert i avsnitt 1.3 og også diskutert nærare i oppsummeringsavsnittet på slutten av rapporten.

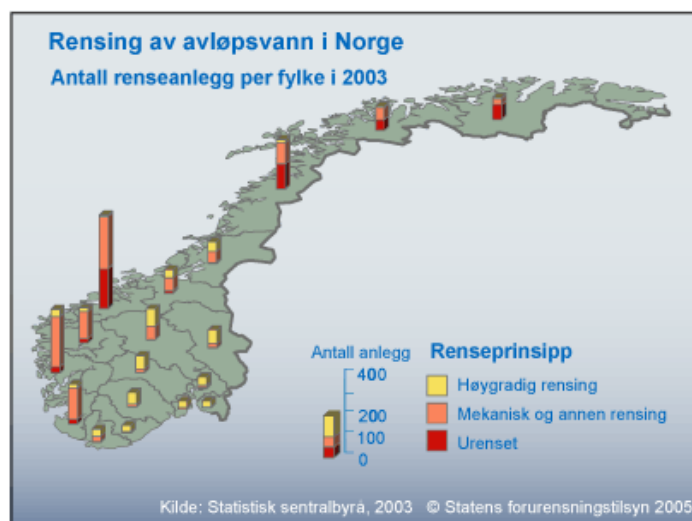
Tabell 2. Totaloversikt over reinseanlegg i Bergen (kjelde: Bergen kommune, hovedplan avløp 2005-2015, høringsutkast april 2006).

<i>Tabell 9.1 Renseanlegg i Bergen</i>				
Renseanlegg	Anleggsår	Prosess	Hydraulisk kapasitet (pe)	Resipient
Holen	1997	Trapperist 1 mm	100 000	Byfjorden
Knappen	1984	Kjemisk	63 000	Grimstadfjorden
Flesland	1986	Skivefilter 0,5 mm	46 000	Raunefjorden
Ytre Sandviken	1999	Trapperist 1 mm	35 000	Byfjorden
Kvernevik	1979	Skivefilter 0,4 mm	30 000	Byfjorden
Garnes	1986	Maskinrenset rist 10 mm	15 000	Sørfjorden
Hylkje	2003	Trapperist 1 mm	5 000	Sørfjorden
Godvik	2001	Trapperist 1 mm	3 200	Byfjorden
Fagerdalen	1977	Trapperist 1 mm	3 000	Byfjorden
Drotningstvik	1987	Trapperist 3 mm	3 000	Hjeltefjorden
Kjøkkelvik	1990	Trapperist 3 mm	3 000	Byfjorden
Steinestø	1993	Trapperist 3 mm	3 000	Salhusfjorden
Tellevik	1993	Trapperist 3 mm	3 000	Salhusfjorden
Ytre Arna	2000	Trapperist 3 mm	3 000	Sørfjorden
Mjølkeråen	1988	Trapperist 1 mm	2 500	Salhusfjorden
Helleneset	1994	Trapperist 1 mm	1 500	Byfjorden
Eikeviken	1966	Biologisk/slamavskiller	1 200	Byfjorden
Totland	1980	Biologisk / kjemisk	250	Nesttunvassdraget
Sagstad	1985	Biologisk / kjemisk	250	Lysefjorden
Kaland skole	1970	Biologisk / kjemisk	100	Kalandsvatnet
Sum			321 000	

1.2 Formål med foreliggende prosjekt

Prosjektet hadde konkret målsetting om å kartlegge utbreiinga av avlaupsvatn frå dei to reinseanlegga Flesland RA (Sletten) ved Raunefjorden og Kvernevik RA i nordre del av Byfjorden, grensande til Salhusfjorden. Herunder verifisere tidlegare teoretiske berekningar om innlagingsdjup m.m. Dette skulle skje først og fremst ved hjelp av sporstoff som på førehand var dosert inn i avlaupsvatnet nedstrøms silanlegga.

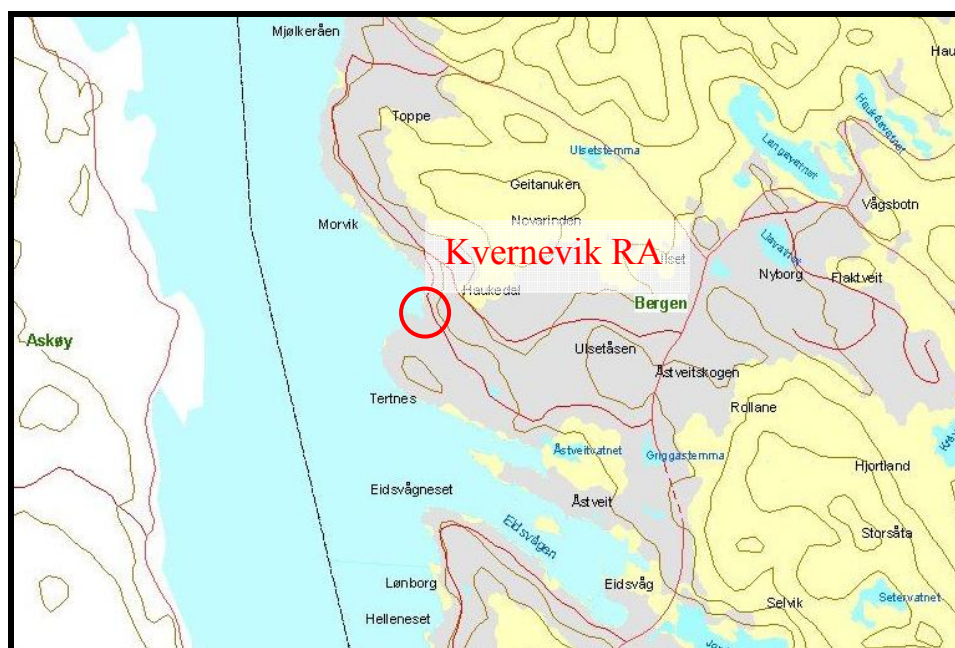
I tillegg til sporstoff skulle det gjennomførast strømmåling på begge lokalitetane, og for øvrig nyttast andre relevante metodar som kunne bygge opp under målsettinga.



Figur 3. Kart over rensesituasjonen i Norge. Hordaland med Bergen har relativt sett størst innslag av lågradig rensing på anlegga.

Ved første gransking (Holen/Yt. Sandviken) var det eit viktig moment å få vurdert eventuell gjensidig påverknad av utsleppsområda, som grunnlag for vurdering av resipientinndeling. I den foreliggende granskninga har ikkje denne problemstillinga stått så sterkt, sidan dei to anlegga ligg langt frå kvarandre (20-25 km avstand, mot 3 km for Holen-Yt.- Sandviken).

Som for første gransking, står EU sitt avløpsdirektiv og reinsekrava som er innført i Norge på bakgrunn av dette sentralt når det gjeld tolking og den vidare bruken av resultata.



Figur 4. Kart over nordre del av Byfjorden med Kverneviken.



Figur 5. Kart over Raunefjorden med Flesland/Sletten.

1.3 Resultat frå granskingane ved Holen og Ytre Sandviken RA

Vi tar med delar av samandraget frå granskinga på desse to stadane i 2003-2004:

Avlaupsvatnet både frå Holen RA og Ytre Sandviken RA går ut gjennom diffusorsegment som ligg på botnen mellom 30 og 40 m djup. Avlaupsvatnet innlagrar seg i hovudsak i sjikt rundt 15-20 m, med tidvis opptrenging til ca 10 m djup i følgje dei nye målingane. Dette gjeld sjølve utleppsvatnet som sporstoffet var oppløyst i, og i stor grad også den innlagra partikkelskya som var tydeleg begge stader, og særleg markert ved Laksevåg.

Spreiingsmønsteret ved Laksevåg er variabelt, og tidvis var det observert inntrenging av sporstoff (avlaupsvatn) i Simonsviken med til dels høge sporstoffkonsentrasjonar der. Ved eit høve blei det målt sporstoff 3-4 timar etter dosering ved Holen RA heilt ute ved Kvarven noko som tyder på tidvis kraftig vestgåande strøm forbi utleppet og transport ut av Byfjorden.

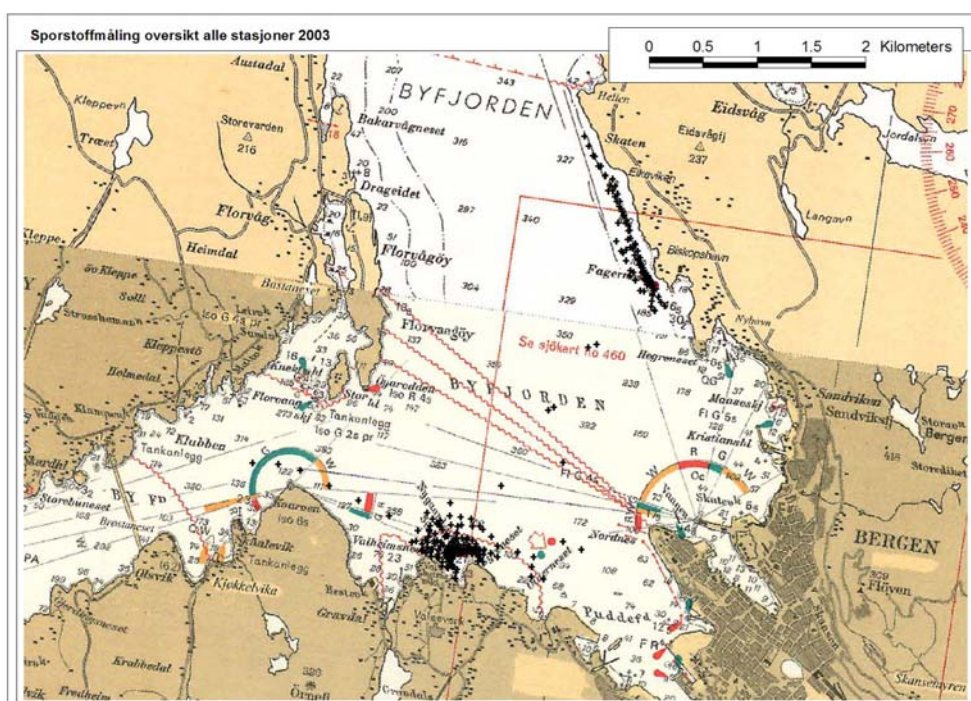
Etter omstyring av utløpsslusene ved Holen RA i januar 2003 blei hovedstrømmen derfrå skifta frå å gå i vestre til austlegaste avlaupsrøyr, noko som burde bidra til redusert påverknad inne i Simonsviken.

Ved Sandviken blei det i det alt vesentlegaste registrert djup innlagring og nordleg utbreiing av utleppsvatnet, noko som også harmonerte med resultat frå tidlegare strømmålingar der.

Ved eitt høve, 1. juli 2003, blei det dagen etter doseringsforsøket ved Holen RA registrert sporstoff i sjøen ved Fagerneset (Sandviken) før oppstart av dosering ved Sandviken RA. Dette indikerer at vatn tidvis kan spreie seg frå Laksevåg tvers over Byfjorden til Sandviken, men at dette skjer sjeldnare enn i 20% av tida.

Silane på desse to reinseanlegga har 1 mm maskevidde. Registreringane i 2003-2004 indikerte at silane ikkje er 100% effektive. Det gjeld særleg for Holen RA, det var ei tilsynelatande permanent innlagra partikkelsky over utleppspunktet. Ein mindre del av desse partiklane steig til overflata og trakk til seg fugl. Storleiken på desse lyse partiklane var typisk < 1 mm, men nokre opp til 2-3 mm. Dei syntes opptre for det meste som langstrakte fnokkar eller strimlar. Mest sannsynleg var dette papir-restar som hadde trengt igjennom silane, evt kombinert med flak av lausrivne cyanobakteriar frå reinseanlegget eller frå røyrveggane.

Figur 6 og **Figur 7** syner nokre resultat frå granskingane i 2003-2004.



Figur 6. Utdrag av sjøkart nr 23, med sentrale deler av Byfjorden. Dei to svarte punktskyene representerer posisjonane for ein del av målestasjonane ved Holen RA og Ytre Sandviken RA i 2003.

1.4 Miljøstatus for dei to nye resipientane

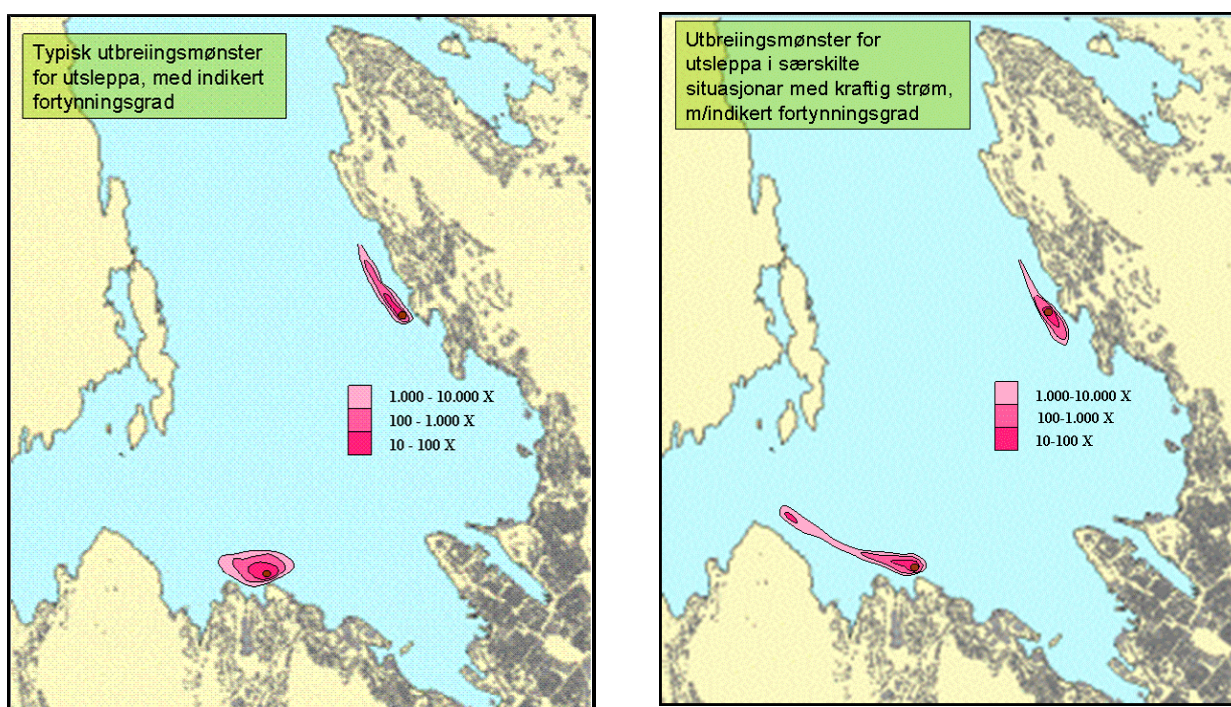
Nyaste gransking av resipientane i Bergen kommune er frå 2004, utført av Universitetet i Bergen (Heggøy m. fl. 2005). Rapporten omhandlar Flesland/Sletten i Område III. Kvernevik som tilhøyrer Område IV, har ikkje vore del av dei løpande granskingane i Byfjordundersøkelsen.

Både Byfjorden og Raunefjorden er klassifisert som "Mindre følsamt område" av SFT, med referanse til EUs avløpsdirektiv (SFT 2002). Landområda på Vestlandet er samfengt klassifisert som "Normalområde". Det finst ingen marine "Normalområde" i h.h.t. EUs noverande klassifisering.

1.4.1 Kverneviken

Kverneviken ligg i overgangen mellom Salhusfjorden og Byfjordbassenget. Dei sentrale delane av Byfjorden er djupe og er rekna å ha god vassutskifting i høve til dei aktuelle tilførsleane (Gade 1976). Største djup er på ca 350 m (**Figur 6**). Inne ved land er det relativt flatt ei strekning frå der diffusoren ligg (ca 35 m) og innover.

Sirkulasjonsmønsteret i dette området er ikkje kartlagt men tidlegare er det gitt ein generell omtale av bl.a. Helle (1975, 1978), Lilletvedt (1994) og Hageberg (2001) der det også er referert til granskningar tilbake til 1909 supplert med sporadiske målingar seinare. Generelt kan tidevatn, vind og brakkvasstilførsler frå fjordane lenger inne vurderast som dei viktigaste strømgenererande faktorane. Dette gjeld også for Salhusfjorden som har større grad av kontakt nordover.

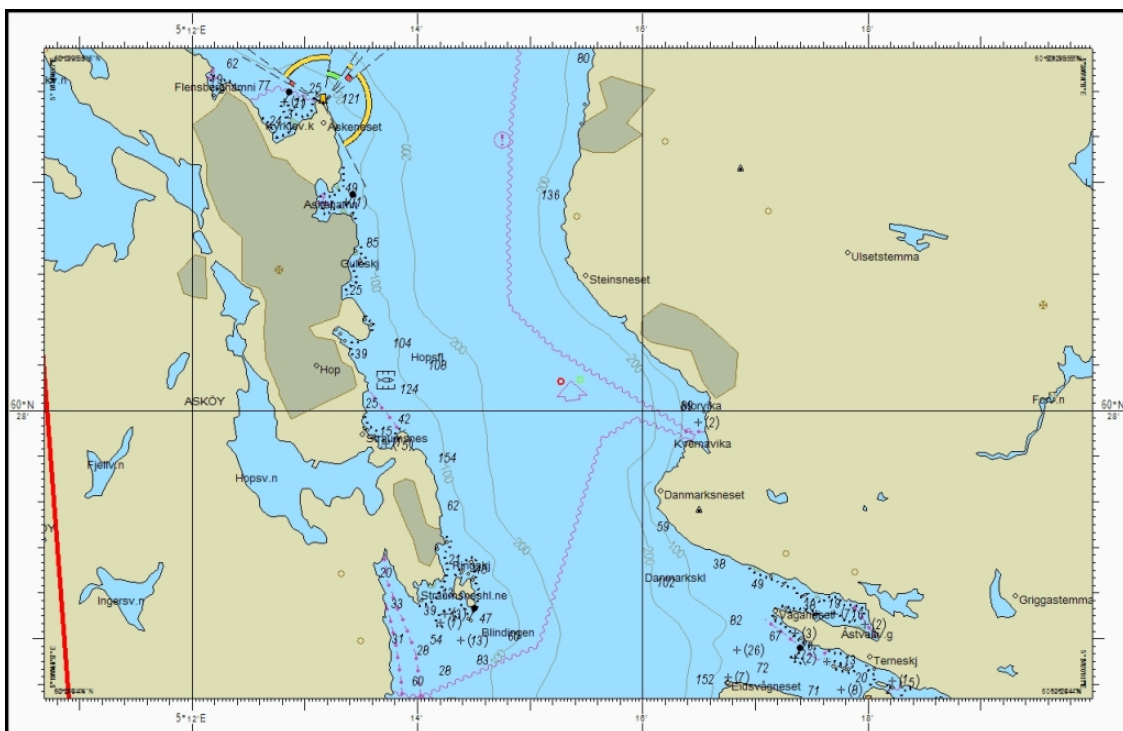


Figur 7. Resultat frå NIVAs sporstoffgranskningar ved Holen og Ytre Sandviken RA i 2004 (t.v. typisk spreingsmønster, t.h.: under tilhøve med sterk straum).



Figur 8. Utdrag av resultat frå simuleringane av sirkulasjon i Byfjorden med ROMEO modellen ved UiB (Hageberg 2001). Askøy t.v. og Eidsvåg/Tertnes t.h. Den nordlegaste virvelen ligg utanfor Kverneviken.

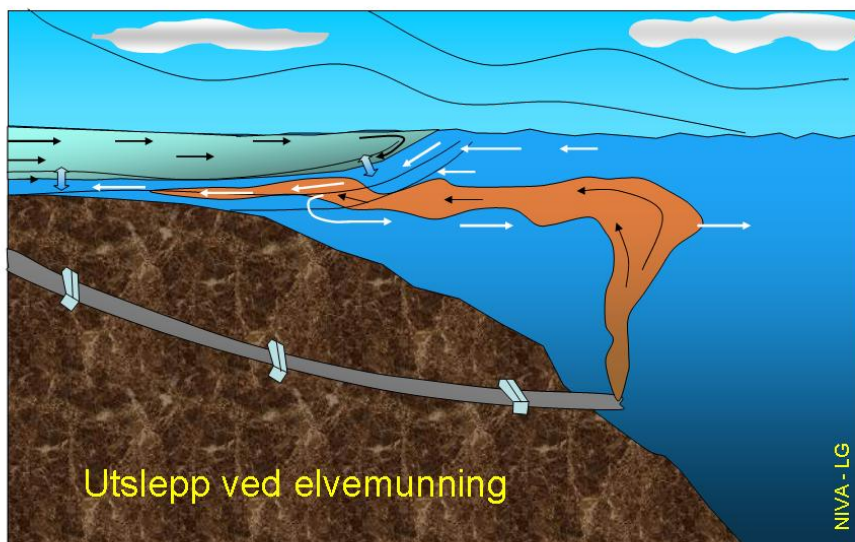
Ved Geofysisk institutt blei det på slutten av 1990-talet satt opp ein fysisk modell (ROMEO; roterande bord) for Byfjorden (Hageberg 2001). Forsøka synte vesentlegast nordgåande strøm langs Sandviken og nordover, og ein sørgåande strøm langs austsida av Askøy. Lokalt ved Kverneviken var det antydning til ein virvel ved fløande/flo sjø, med retning med klokka (**Figur 8**).



Figur 9. Utsnitt av sjøkartet for området ved Kverneviken.

Kverneviken har som nemnt ikkje inngått i den løpande overvakinga i regi av UiB. Næraste stasjon er Stasjon 4 ”Byfjord” på 330 m vest for Helleneset. Tilstanden på botnen der er i siste rapport satt til ”svært bra”, med rundt 75% oksygenmenting. For botnfauna blei det registrert ein endring i tilstand frå SFT klasse I-II tidlegare til klasse I (”meget god”) i 2004. For øvre lag var det i 2004 tilfredsstillande oksygenivå og klorofyll synte samsvarande eller lågare verdiar enn i tidlegare år.

Avstanden frå munningen av Dalelva ut til utseppspunktet er om lag 200 meter. Elvemunningar har gjerne markert lagdeling, og eit sirkulasjonsmønster med utgåande strøm i overflata, og ein inngåande kompensasjonsstrøm under. Dersom utseppsvatnet stig opp og innlagrar seg i dette ”kompensasjons-sjiktet” så kan det medføre inn-transport og påverknad i området ved elvemunningen. Dette er illustrert i **Figur 10**.



Figur 10. Skisse som viser eit utsepp nær ei elvemunning, og korleis utseppsvatn kan bli transportert i retning inn mot denne.

Dalelva med utlaup i Kvernevik

Midtbygdavassdraget eller Dalelva som renn ut i Kvernevik, tilhøyrer Åsane og har eit nedbørfelt på ca. 16 km². Høgste punkt i nedbørfeltet ligg 464 moh., og ca. halvparten av feltet ligg over 100 m. Dei høgareliggande områda er stort sett utmark (lynghei), mens sentrale deler er tildels tettbygd. Det er også ein del jordbruk i området. Eit større handelssenter pregar sentrale deler av nedbørfeltet. Den største innsjøen er Langavatn (90 moh.). Denne er omgitt av jordbruksområde og villabygg. Nedstrøms Langavatn ligg Liavatnet (89 moh.) og Forvatnet (32 moh.). Dalelva renn vidare gjennom område prega av næringsverksemd og busetnad til utløpet i Kvernevik.

Middelvassføring for vassdraget er anslått til 35,7 mill. m³ pr. år (4.100 m³/time). Ein del av vassdragets avrenning blir fanga opp i overvassstunnel frå Flaktveit, med inntak også fleire stader lenger nede. Denne tunnelen munnar ut igjen i Dalelva ca. 500 m oppstrøms utløpet til fjorden.

Overvakingsdata frå 1999 (Hobæk 2000) stadfesta inntrykket frå tidlegare granskingar i 1992 og 1996, og indikerte at vassdragets nedre del er sterkt påverka av kloakkforureining (**Tabell 3**). Hobæk og Bjørklund (2004) gjev ein oppdatert samanstilling av kjelder og tilstand.

Årsavrenninga i vassdraget blei anslått til 44,63 mill. m³ i 1999 (125% av normalavrenning). Multiplisert med middelværdiane for konsentrasjonar målt i utløpselva ved Kvernevik gav dette då følgjande anslag for massetransport for året 1999: 2700 kg P, 46 tonn N og 219 tonn C. Tilsvarende anslag frå 1992 og 1996 låg noko lågare. Årsaka til dette var først og fremst stor avrenning i 1999.

Tabell 3. Klassifiseringsgrunnlag for tilstandsklasser (SFT) i Dalelva ved Kvernevik i 1999. Klassifiseringa er basert på data frå seks prøver. For verknad av tarmbakteriar og forsuring er dårlegaste måling nytta som grunnlag, og for dei øvrige verknadstypar og parametar er middelverdi nytta. Nøkkelparantar i kvar verknadsgruppe er framheva.

Verknad av	Parameter	Verdi	Eining	Tilstands-klasse
Næringssalt	Tot-P	60,5	µg/l	V
	Tot-N	1037	µg/l	IV
Organisk stoff	TOC	4,9	mg/l	III
	Farge	45,9	mg Pt/l	IV
Partiklar	TURB	0,50	FTU	II
Forsuring	pH	7,01		I
Tarmbakteriar	TKB	2100	pr. 100 ml	V

1.4.2 Flesland

Utsleppet frå Flesland RA går til Raunefjorden.

UiBs vurdering av vasskvalitet og botntilhøve:

UiB har tre stasjonar i området, ein på kvar side av utsleppet (Stasjon 25 – Sletten Nord på 73 m djup og Stasjon 26 på 83 m djup), samt Stasjon 8 som ligg lenger vest, på 245 m djup. Sedimentet på Sta 25 bestod av sand og grus. På Sta. 26 var det finare sand, men også med mudder og stein. Det blei anmerka at Sletten-Nord hadde høgare innhald av organisk innhald i sedimentet enn tidlegare, 5,2 %, og også høgare verdi enn på Sletten-Syd. Artsdiversiteten for botnfaunaen var klassifisert som ”Meget god” på begge stasjonane i 2004.

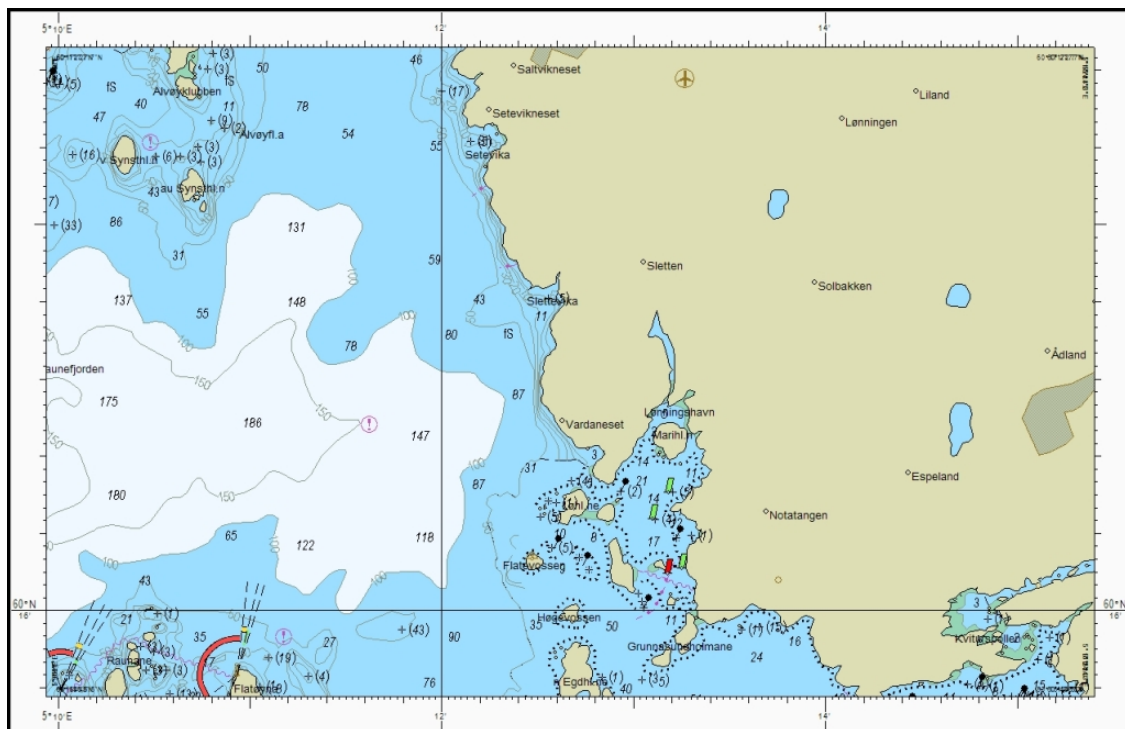
Oksygentilhøva i botnvatnet på Stasjon 8 var tilfredsstillande i 2004. Stasjon 25 og 26 hadde gode oksygentilhøve ved botnen (65 m djup) og låge næringssaltverdiar i overflatelaget, og området blei karakterisert som å ha gode utskiftingstilhøve.

Ruteanalyser for kartlegging av fastsitjande algar i fjæresona blei gjort på tre punkt i Raunefjorden ved Flesland i 2004. På ein stasjon, By 2 sør på Tyssøy, vart det registrert høgare førekomst av grønalgar enn det som er rekna for normalt. Årsaka til dette vart ikkje funnen. Stasjon By 3 nær utsleppet frå reinseanlegget hadde som tidlegare det høgste artsantalet av alle stasjonane.

Det er tilsynelatande ein motsatt trend for botnfaunaen på dei to stasjonane nær utsleppet dei siste åra, med aukande diversitet på stasjon 25 (Nord) og avtakande diversitet på stasjon 26 (Syd) (vår anm.).

I 1999 utførte NIVA eit studium med prøvetaking rundt utsleppet ved Sletten, med fokus på oksygen i sjøen (Johnsen og Sundfjord 1999). Bakgrunnen for studiet var tilførsler av avisingvæske frå flyplassen til reinseanlegget. Slik væske (glykol) har eit stort oksygenforbrukspotensiale, og kunne teoretisk medføre effektar i resipienten. Det vart påvist svingingar i oksygennivået med tida, men dette blei ikkje tilskreve tilførslane frå flyplassen. Resipienten blei vurdert til å ha god vassutskifting.

Tidlegare vurderingar av utskiftinga i Byfjordsystemet (Linde 1970, Helle 1975, Gade 1976) peikar for øvrig alle i retning av god sirkulasjon i øvre lag av Raunefjorden, i alle fall over terskeldjupet i Vatlestraumen (40 m).



Figur 11. Utsnitt av sjøkartet for området ved Flesland.

1.5 Utsleppsarrangement

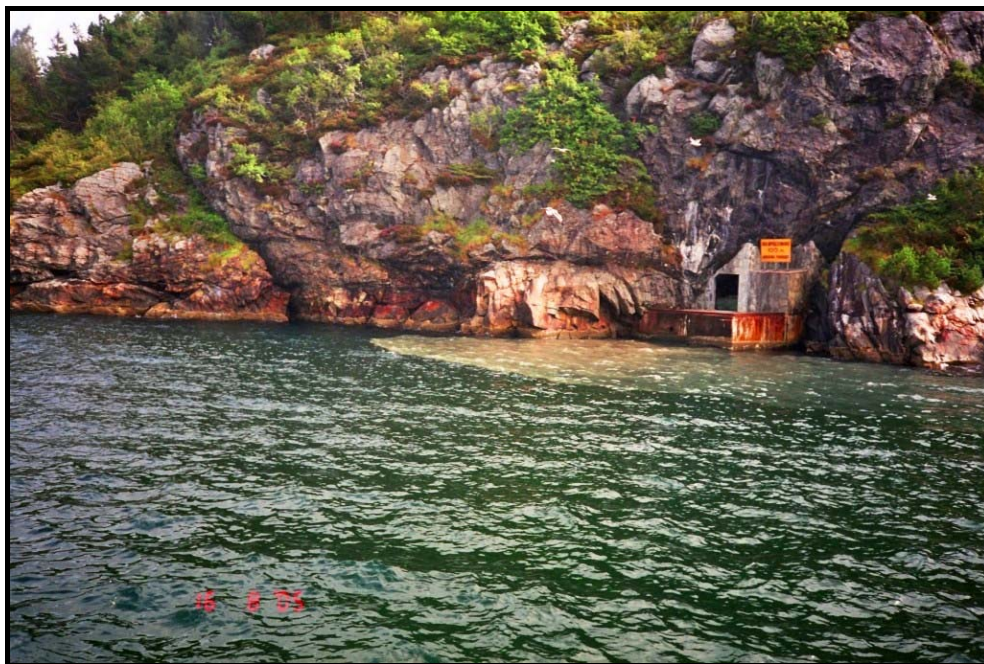
Utsleppa frå Flesland RA og Kvernevik RA har i h.h.t. teikningar og planer eit ca 40 m lang diffusorsegment i enden av utløpsrøra – eitt røyr på kvar stad. Nedre (ytre) ende av diffusor ligg i h.h.t. plan på ca 45 m djup, ca 100 m frå land. Diffusorane har mange (10-20) hol med diameter 14 cm, og 3 m avstand, plassert vekselvis på høgre og venstre side av segmentet. Det er også ein opning i enden. Diffusorsegmenta skal ha diameter 630 mm/582 mm (utvendig/innvendig).

Utsleppsfluksen både ved Flesland/Sletten og Kvernevik varierer over tid, i takt med vassforbruk og nedbør.

Utsleppsrøret frå Kvernevik RA går ut frå land ca 150 m for elvemunningen, med retning tilnærma rett mot vest, i følgje kartopplysningar frå kommunen. Posisjon for endepunktet er oppgitt til $60^{\circ} 27' 54,9''$ N, $05^{\circ} 16' 21''$ E (WGS-84). Dette antas vere for endepunktet av diffusoren, som vi har notert er ca 80 m lang. Første hol er på ca 32 m djup og ytste på rundt 43 m djup.

Anlegget på Flesland blei satt i drift i 1980, då med grovsil. I 1985 blei det satt inn sil med spalteopning 1 mm. Det er regulære tilførsler til anlegget motsvarande ca 40.000 pe, men i tillegg er der tilførsler m.a. av sigevatn frå Rådalen avfallsplass. Tidvis er der store påslepp i form av BOF frå industri (Borg-Hansa sitt bryggeri).

Miljøplan utførte design-analyser for utsleppet frå Flesland RA i 1978 (Miljøplan 1978), på basis av forventta avlaupsfluks (inkludert framskivingar til 1995), og data elles frå Raunefjorden, innsamla av Geofysisk institutt. Dimensjonerande vassføring, Q_{dim} , blei det for 1980 satt til 125 l/s, med framskiving til 250 og 400 l/s for 1985 og 1990. Dette er verdiar for midlare tørrvers-fluks. Anlegget blei dimensjonert for $4 \times Q_{dim}$ (1980), altså 500 l/s, og slik at overskridande vassføring går til overløp.



Figur 12. Foto16. august 2005 av landfundamentet for avløpet frå Flesland RA. Ved dette høvet kom det mykje synleg ureina vatn ut gjennom overløpet. Årsaka var bypass p.g.a. ventiloverhaling inne på anlegget.

Diffusor ved Flesland var i berekningane forutsatt lagt med ytste hol på 46 m djup, og med innarste hol på 32, 26,7 eller 21 m djup, avhengig av alternativ. Nye diffusorhol innover mot land ville kunne opnast etterkvart som vassføringa auka, og det lengste diffusoralternativet med 19 hol var forventa å vere tilstrekkelig for perioden fram til 1992-1995, då overløpet ville tre i funksjon ved $4 \times Q_{dim}$.

Med det aktuelle oppstartsarrangementet var det frå ytste hol forventa max oppstiging til djup mellom 10 og 20 m det meste av året, mens overflate-påverknad kunne inntreffe ein månads tid om vinteren. Det same galdt i store trekk for utslepp frå hol midt på diffusoren mens det frå øvre ende ville vere tale om hyppigare overflatepåverknad.

Vassføringa gjennom anlegga blir registrert fortløpande og kalibrerte data blir lagra på kommunens datasystem. Det er dermed i prinsippet mogleg å få ut tal for dette både i sanntid og i ettertid. Sjølve målingane skjer ut frå nivået i ei såkalla Parshall renne der vatnet strøymer forbi eit parti med innsnevring og fordjuping i renna som forårsakar kritisk strømming (Brière 1999). Overflatenivået blir avlest og automatisk omrekna til vassfluks.

For oppfølging/kontroll av reinsing og avløp utfører kommunen målingar av suspendert tørrstoff og BOF_5 i anlegga (inn – ut) ein gong pr veke i h.h.t. utsleppsløvet. Måleserien frå 2002 (Flesland RA) synte ein viss (positiv) korrelasjon mellom vassføring og BOF_5 , og til dels også mellom vassføring og Tot-P. Vassfluksen varierte frå $184 \text{ m}^3/\text{time}$ til max $2018 \text{ m}^3/\text{time}$. Høgste berekna PE verdi ut frå BOF_5 var 166.324 (sannsynlegvis assosiert med påslepp frå Borg-Hansa Bryggeri, evt også andre kjelder). Lågaste PE-registrering i 2002 var 12.120.

For Kvernevik RA (2002) har vi fått tal for vassføring, som varierte mellom $283 - 950 \text{ m}^3/\text{time}$. Det ligg også føre samtidige tal for reinsegrad, i høve til suspendert stoff målt inn - og ut av anlegget. Denne varierte mellom 3 og 70 % (ser her bort frå ein del null-verdiar).

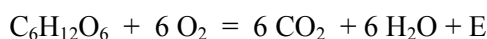
Posisjon for diffusor er ikkje endelig verifisert.

Basert på opphavlige kart og båtens ekkolodd fikk vi omtrentlig posisjon for enden av diffusor:
Flesland RA: UTM: Nord 54559, Øst 53077, tilsv. $60^{\circ} 16' 59.7'' \text{ N}$, $05^{\circ} 12' 12.8'' \text{ Ø}$.

1.6 Resipienteffektar - generelt

Tilførsler av organisk stoff og næringssalt gjennom avlaupa frå eit kommunalt reinseanlegg vil medføre eit vist oksygenforbruk i resipienten. Når det gjeld utsleppa frå anlegga i Bergen har den løpande overvakinga i regi av UiB synt stort sett tilfredsstillande oksygentilhøve i resipientane. Vassutskiftinga held m.a.o. oksygenforbruket i sjakk. Helle (1978) diskuterte målingar av oksygen i djupvatnet og i midlare sjikt i Byfjorden, og fann at det i samband med større utskiftingar (typisk på vårparten) kan opptre eit oksygenminimum i øvre lag, som kan vedvare til utover i mai.

Tilførsle av organisk stoff som TOC vil umiddelbart bli gjenstand for nedbryting/mineralisering. Sluttproduktet av nedbrytinga av organisk stoff er CO₂. Dei organiske stoffa som er lettast tilgjengelig for biologisk nedbryting er stivelse/sukker, feittsyrer og protein. Ved tilgang på oksygen i sjøen blir desse stoffa forbrent av mikroorganismar under forbruk av oksygenet (aerob prosess). Sluttprodukta er CO₂ og vatn, samt energi:



Denne prosessen kan skje i alle deler av vassøyla, og i sedimentet. Eit kommunalt avlaup representerer såleis i siste instans eit utslepp av CO₂ til sjøen.

Nitrogen og fosfor i utsleppet kan bidra til stimulert primærproduksjon, m.a.o. algeproduksjon. Dette forutset at utsleppsvatnet innlagrar seg innafør rekkevidde av sollyset (typisk ned til max 15-25 m djup). Ureinsa bidrag frå 1 PE kan teoretisk medføre slik sekundæreffekt på opp til 900 g TOC (algar)/dag, som motsvarar eit oksygenforbruk på 1 kg O₂ pr dag, pr PE (som COD).

I praksis er nok denne sekundæreffekten mindre, rundt 300-600 g org. stoff som kan bli tilgjengelig for O₂ forbruk, men kan likevel under gjevne omstende bidra med 5-10 gonger det primære oksygenforbruket frå utsleppsvatnet (Källqvist et al. 2002) i ein resipient med lite sirkulasjon.

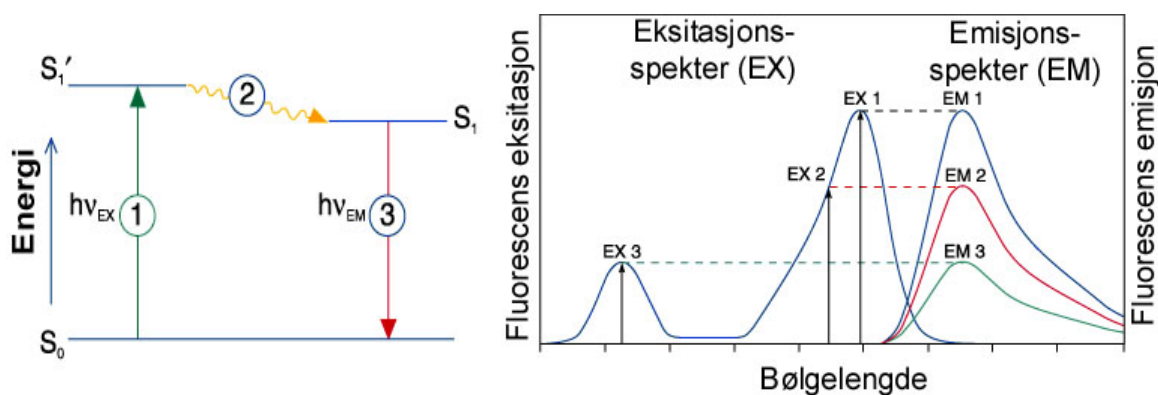
Med den utskiftinga som ein kan forvente i dei aktuelle resipientane, vil evt. merkbare negative effektar frå kommunale utslepp sannsynlegvis vere av lokal karakter, avgrensa til nærområdet rundt utsleppa (jamfør med dei påviste effektane på botnen i Simonsviken ved førre gransking). Dette inkluderer effektar av partiklar og evt smittestoff.

2. Måling av sporstoff; metodikk

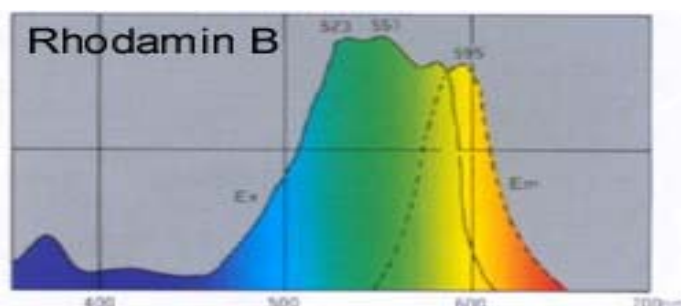
Sporstoffmåling har stått sentralt i prosjektet. Som ved sporstoffgranskninga i Byfjorden i 2003, nytta vi Rhodamin fluoriserande fargestoff (produktnamn Methic red B liquid) som før/under kvar måleserie blei dosert ut i utløpsrennene i dei to reinseanlegga. Rhodamin gir ein rosa/raudleg farge på vatnet sjølv ved svært høg fortytning. Stoffet (som førekjem i fleire variantar – sjå faktaboks) er lenge blitt brukt til sprøing av vasslekkasjar, spreing av grunnvatn o.l.

Rhodamin er eit fluorescerande stoff (fluorokrom), i slekt med mange andre tilsvarande syntetiske stoff (både organiske og uorganiske) slik som Fluorescein og Pyranine. Det er fleire typer Rhodamin, til dømes: Rhodamin red dye (brukt i dette prosjektet), sulphu-Rhodamin B, Rhodamin WT, Rhodamin-B, Rhodamin 6G og Rhodamin Green dye. Naturlige stoff, slik som klorofyll i fytoplankton (klorofyll-a) har også fluorescerande eignenskar.

Fluorescensmolekyla er oftast polyaromatiske hydrokarbonar med den eigenskap at dei opptar energi i form av lys av i bestemt bølgjelengd (eksitasjon) og avgir automatisk energi med litt større bølgjelengd (emisjon). Diagrammet under t.v. illustrerer dette, der $h\nu_{EX}$ representerer energien frå lyset som eksisterer molekylet til S'_1 fasen. Fase 2 er mellombels og der noko energi går tapt p.g.a. vibrasjonar m.m. inntil molekylet når ein metastabil fase S_1 . Etter kort tid vil så molekylet gå tilbake frå S_1 til normaltstanden S_0 ved å emittere energi $h\nu_{EM}$ i form av lys som representerer ei litt lengre bølgjelengd enn $h\nu_{EX}$. Dette lyset kan så detekterast av ein eigna sensor (fluorometer) som absorberer energien på den aktuelle bølgjelengda. Figuren t.h. viser eksempel på spektra for tre ulike stoff, i dette tilfellet med ulik eksitasjon, men same emisjonsbølgjelengd.



Figurkjelde: www.iob.uio.no.



Spekteret over, som er for Rhodamin B, syner at eksitasjonen ikkje nødvendigvis er svært tydelig definert. For deteksjon krevst det då eit smalt filter som fangar opp toppen på 595 nm i dette tilfellet. Rhodamin Red dye har liknande spekter, med eksitasjon maksimum på 570 nm og emisjon maksimum på 590 nm.

Måleinstrumentets fluorometer nyttar LED lampar for å eksitere sporstoffet. Det mottekne emiterte lyset går så gjennom eit filter og blir fanga opp av ei silisium fotodiode som genererer ei spenning proporsjonal til sporstoff-konsentrasjonen.

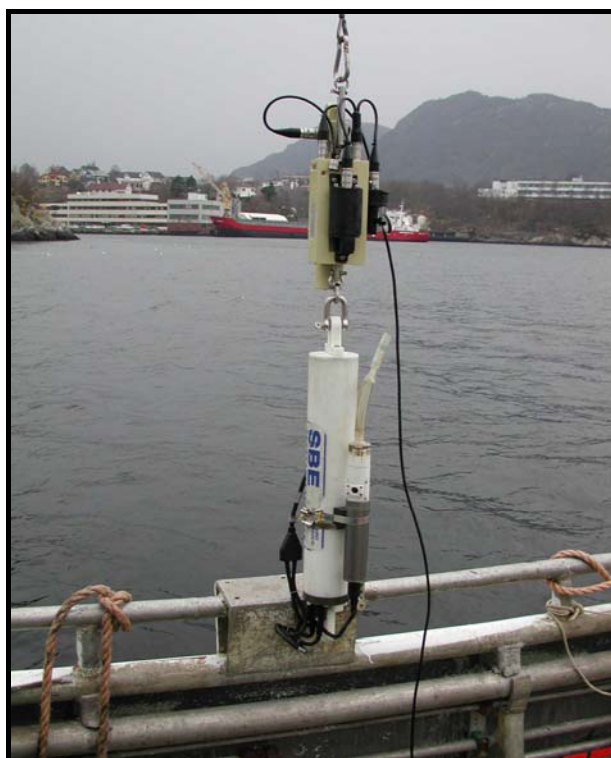
Rhodamin er nedbrytbart (i sollys) og er lite giftig. Det har nokre eigenskapar slik som t.d. redusert fluorescens-intensitet ved låg pH og ved auke i temperatur, samt ved og adsorpsjon til partiklar (Smart og Laidlaw 1977, Fogelqvist m.fl. 1984). Dette kan innebere noko måleusikkerheit ved enkelte høve. Meir om dette i diskusjonsavsnittet til slutt.

Doseringa i reinseanlegga bestod av tilsetning av konsentrert Rhodamin i stamp på 40 liter ferskvatn, motsvarande 1:100 fortynning. Denne fortynninga blei så pumpa ned i renna via slange med jamn fart til det utstrøymande avlaupsvatnet. Dette blei gjort i to omgangar, og det heile føregjekk i ca 40 minutt, med eit kort opphald midtvegs. Pumperaten motsvara dermed ca 2 l/min.

Med aktuell vassfluks i avløpa på typisk 100 x denne pumperaten, vart den aktuelle sporstoff-konsentrasjonen i utløpa til sjø av storleiksorden 10^{-4} – 10^{-5} som ligg godt innafor det målbare for den aktuelle sporstoff-sensoren.

Etter dosering blei - kort fortalt - utsleppsskya kartlagt frå båt med ein nedsenkbar STD sonde (**Figur 13**) påmontert rhodamin sensor (merke Seapoint SRF). Denne sensoren kan måle på konsentrasjonar ned mot $0.02 \mu\text{g/l}$ (tilsv. ca 10^{-10} konsentrasjon). **Tabell 4** gir tekniske data for sensoren.

Det praktiske opplegget bestod i å ta hyppige profilar frå båt under og etter rhodamindoseringa, med sanntids avlesing av konsentrasjon på PC-skjerm om bord. Ut frå målte konsentrasjonar i høve til avstand/retning frå utsleppet kunne ein følgje skya nedstrøms, til sides etc.



Figur 13. SAIV SD202 med sensorar, samt Seabird SBE-19 STD hengande under i samband med interkalibering.

Tabell 4. Spesifikasjonar for Seapoint Rhodaminsensor.

Specifications			
w Power Requirements	8-20 VDC, 15mA avg., 27mA pk.		
w Output	0-5.0 VDC		
w Output Time Constant	0.1 sec.		
w Excitation Wavelength	470 nm CWL, 30 nm FWHM		
w Emission Wavelength	685 nm CWL, 30 nm FWHM		
w Sensing Volume	340 mm ³		
w Minimum Detectable Level	0.02 µg/l		
w Sensitivity/Range	<u>Gain</u>	<u>Sensitivity, V/(µg/l)</u>	<u>Range, µg/l</u>
	30x	1.0	5
	10x	0.33	15
	3x	0.1	50
	1x	0.033	150
w Depth Capability	6000 m (19,685 ft)		
w Weight (dry)	850 g (1.9 lbs)		
w Operating Temp.	0°C to 65°C (32°F to 149°F)		
w Material	ABS Plastic		
w Underwater Connector	Impulse AG-306/206 (others available on request)		

2.1 Kalibrering

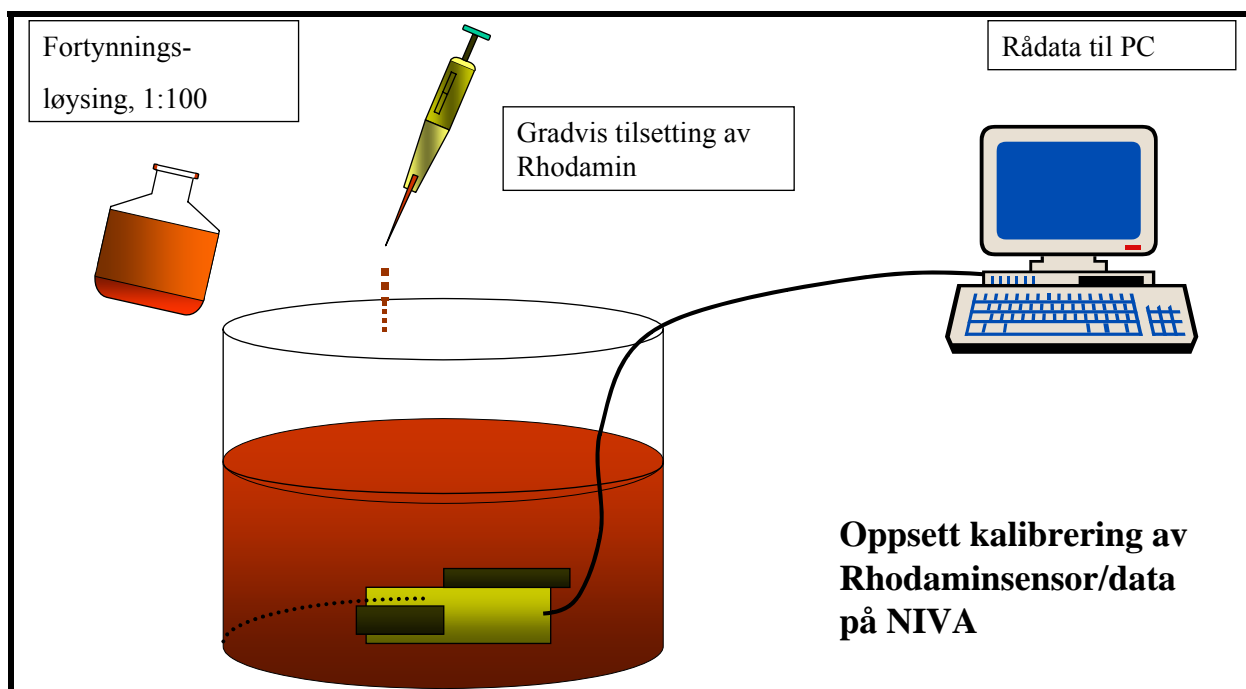
I starten av prosjektet blei det gjort test av Seapoint sensoren mot kjent konsentrasjon av Rhodamin. Kjent mengde sporstoff blei dosert ut med pipette i 40 l sjøvatt, slik at konsentrasjonen gradvis auka. Sonden blei lagt i dette badet, med logging via kabel til PC (sjå **Figur 14**). Før oppstart av desse kalibreringane blei det gjort måling med SAIV sonden i sjøen for å sjekke bakgrunnsverdien, denne låg stabilt under heile prosjektet på rundt 0.06-0.10 (”µg/l”) for Rhodamin (**Tabell 5**).

Svært små mengder sporstoff skulle til for å få sonden til å gi utslag. Tilsetning byrja med 0.5 µg tilsatt i 40 l, dette gav 0.30 i rhodaminverdi. **Tabell 6** syner ein kalibreringsserie. Lystilgangen blei avgrensa til eit minimum for å hindre evt feilkjelde i tilknytting til dette, sjølv om lys normalt ikkje skal påverke denne sensoren.

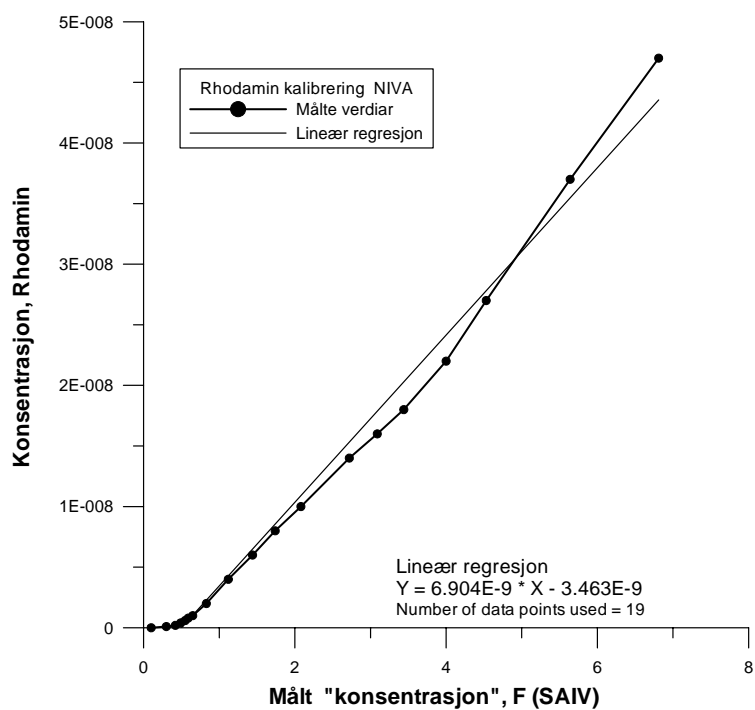
Etter avslutting let vi blandinga stå nokre dagar, og foretok så ny avlesing for å sjå om der kunne vere endring i målt verdi t.d. på grunn av degradering av sporstoffet. Avlest verdi heldt seg tilnærma konstant gjennom denne ekstra kontrollen.

Vi har satt opp nokre kalibreringskurver basert på desse testane. **Figur 15** syner kurve for målt konsentrasjon mellom 0 og 8 µg/l, motsvarande faktisk (berekna) konsentrasjon mellom 0 og 0.5×10^{-7} .

Ved nokre høve tilsette vi så mykje Rhodamin at sensoren gjekk over max range på 75 µg/l – så høge sporstoffkonsentrasjonar vart ikkje målt på noko av tokta. Elles låg max verdiane vanlegvis under 1-2 µg/l. Difor var det mest interessant å fokusere kalibreringa på målingar i intervallet 0 (d.v.s. avlest sondeverdi < 0.10) og 2 µg/l. **Figur 16** og **Figur 17** syner kalibreringsresultat for to ulike intervall. h.h.v. for 0-2.4 µg/l målt, og 0-0.6 µg/l målt rhodamin.



Figur 14. Oppsett for kalibrering av sporstoff-sensoren.



Figur 15. Kalibreringskurve for Seapoint Rhodaminsensor versus kjent sporstoffkonsentrasjon.

Tabell 5. Profil med SAIV sonden i sjøen ved Nordnes ("bakgrunns-måling").

Rec #	Djup (m)	Salinitet	Temperatur, °C	Turb* -FTU	F (Rhodamin)**
421-423	0	30.7	10.2	0.24	0.10
425-426	0.5	31.5	10.4	0.24	0.10
428-429	1	31.5	10.4	0.23	0.10
433-435	2	31.8	10.5	0.27	0.10
437-438	3	31.8	10.5	(62 – kontam.)	0.10

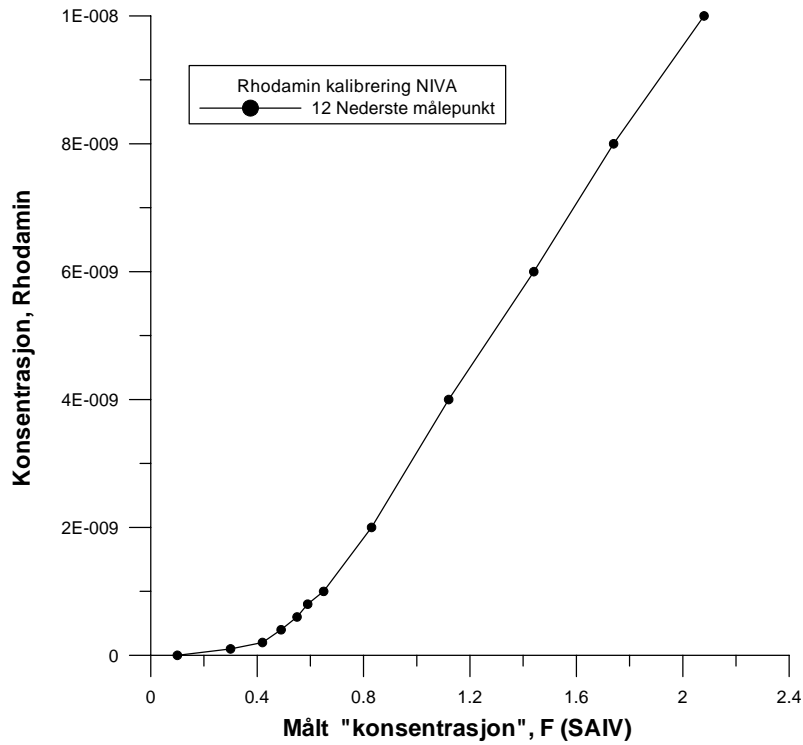
Tabell 6. Resultat av kalibrering i 40 liter sjøvann. Tilsetning av startfortynning Rhodamin, 1:100,

SAIV SD202 nr 35	Salinitet	Temperatur	Turb*	F (Rhodamin)**
Start kl 10:28 før tilsetning	31.90	10.25	0.46	0.10

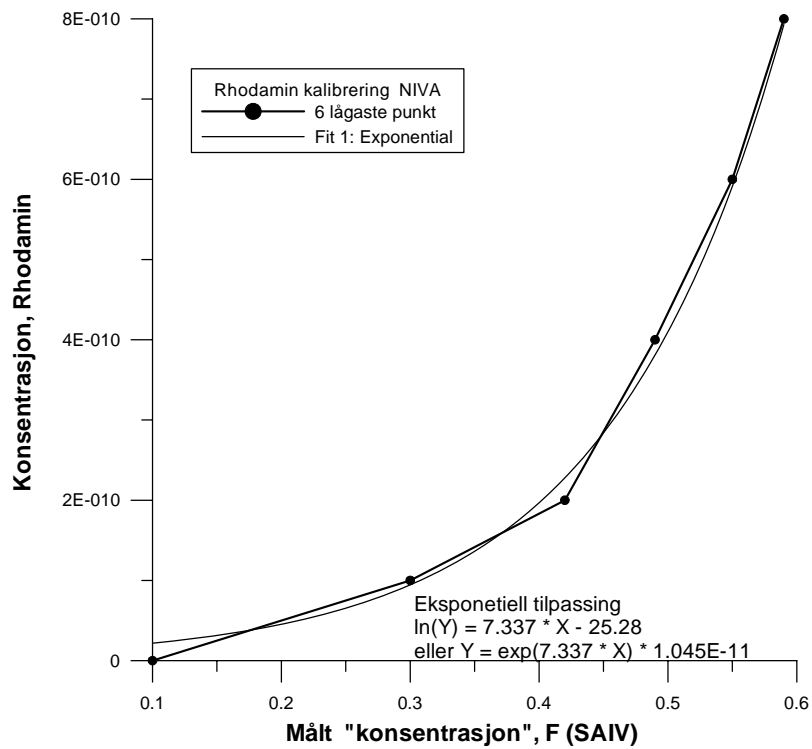
*) Korrekt avlesing avh. av at sonden er vertikal.

Kons	Tilsatt til 40 l		SAIV Målt (dt = 5 sekund)		
	[µl]	sum [µl]	F**	STD reg #	kommentar
1.0 x 10-10	0.4	0.4	0.30	555-578	
2 x 10-10	+0.4	0.8	0.42	579-	
4 x 10-10	+0.8	1.6	0.49	600-	
6 x 10-10	+0.8	2.4	0.55	622-	
8 x 10-10	+0.8	3.2	0.59	638-	
1.0 x 10-9	+0.8	4	0.65	655-	
2 x 10-9	+4	8	0.83	673-	
4 x 10-9	+8	16	1.12	695-	
6 x 10-9	+8	24	1.44	711-	
8 x 10-9	+8	32	1.74	730-	
1.0 x 10-8	+8	40	2.08	750-	
1.2x10-8	+8	48	2.41	770-	
1.4x10-8	+8	56	2.72	786-	
1.6x10-8	+8	64	3.09	800-	
1.8x10-8	+8	72	3.44	815-	
2.2x10-8	+16	88	4.00	831-	
2.7x10-8	+16	106	4.53	847-	
3.7x10-8	+40	146	5.64	860-	
4.7x10-8	+40	186	6.81	876-	

**) F-range: 0-75



Figur 16. Kalibrering med dei 12 lågaste konsentrasjonane.



Figur 17. Kalibrering med kun dei 6 lågaste konsentrasjonane.

3. Dosering og måling

Kapittelet gjev eit kortfatta oversyn over tokt og måleprogram som blei gjennomført i perioden juni - desember 2005. Til Tokta blei M/S "Solvik" (Figur 18) av Askøy nytta.

Innleiande synfaring på begge anlegga blei gjennomført 28. april 2005, saman med Hogne Hjelle frå kommunen.



Figur 18. M/S "Solvik" av Askøy vart nytta under tokta.

3.1 Tokt-datoar og vassmengder

Det vart gjennomført i alt fem tokt-runder. Tokt Nr 1 var eit "test" tokt for å prøve opplegget og teste dosering m.m. Vi konsentrerte oss då om Flesland RA. I januar 2006 var det eit kort tilleggstokt for opptak av strømmålaren ved Flesland. Tabell 7 gjev eit oversyn over tokta, samt tal for vassmengder gjennom anlegga mens dosering pågjekk.

Tabell 7. Oversyn over datoar for sporstoff-forsøk med samsvarande vassfluks frå reinseanlegga, så langt vi har fått data.

Runde nr	Dato, 2005		Vassmengder ut under dosering	
	Flesland RA	Kvernevik RA	Flesland	Kvernevik
1	20. juni	-	164 l/s kl 07 - 545 l/s kl 11 – 648 l/s kl 1330	
2	16. august	12. august	"null"(stans) – 100 l/s*	103 l/s
3	22. september	23. september	385 l/s	180-190 l/s**
4	23. november	22. november	860 l/s***	214 l/s
5	20. desember	19. desember	370 l/s	70 l/s
6	20. januar 2006		Tokt for opptak av strømmålar, ingen dosering	

*: I følge Lars Røed rant det 70-80 l/s vidare utover dagen den 16. august.

** : 570 m³/time kl 12, 422 m³/time kl 1340, 447 m³/time kl 1415.

***: Avtok gradvis til – 685 (kl 10) – 637 l/s (kl 11),

Vassmengdene varierer ein god del, og dette var også tilfelle under nokre av tokta. Ved Flesland RA var det den 16. august full stans i pumpinga då vi kom til staden, p.g.a. rutinemessig overhaling i anlegget. Etter ein times venting blei vatnet sett på att, og dosering kunne starte. Ved ei fleste høva har vi kun notert vassmengder for eit tidspunkt (oppstart/under dosering), slik det blei rapportert frå

vakhavande på anlegget. Tidvis kunne det vere ubemanna der, slik at vi ikkje fekk heilt oppdaterte tal, men verdiane i tabellen bør likevel vere tilstrekkeleg presise for vårt behov.

Proseduren som blei følgt var i grove trekk å dosere inn sporstoff over ca 40 minutt om morgonen, og så foreta måling for å kartlegge innlagingsdjup og speiingsmønster i resipienten ut over dagen. Den påfølgjande dagen eller evt. eit par dagar etter blei tilsvarande gjort ved den andre lokaliteten. Rekkefølgen av lokalitetane blei ikkje vektlagt under dette prosjektet, sidan det ikkje var sannsynleg med samverknad (ingen hypotese om dette). Vi veksla difor fritt med å starte enten ved Flesland eller i Kvernevik i høve til vind og ver eller andre praktiske faktorar.

3.2 Måling i sjøen ved utsleppa

Kjernen i måleopplegget var profilering med SAIV-sonde med påmontert Rhodaminsensor. Sonden var programmert til å logge 1g/sekund, med avlesing av data i sann tid på PC-skjerm om bord, og samtidig lagring av rådata. Ein person kontrollerte og firte ned sonden, mens ein annan var stand-by ved PCen for å følgje med målingane og notere evt interessante observasjonar i loggen og sørge for at data blei lagra forsvarleg. Same person sjekka også posisjon ved kommunikasjon med skipperen, som logga posisjonar i båtens eige dataanlegg. Det var her svært viktig å ha felles tids-base, og løpande kommunikasjon om stasjons-nr etc.

Kabelen til sonden var ca 50 m lang, det var tilstrekkelig i forhold til kartlegging av utsleppsskya som oftast blei påtreft i 15-20 m djup. Sonden hadde også sensorar for turbiditet, salinitet og temperatur som gav nyttige tilleggsdata – utsleppsskya kunne tidvis sporast som kontrastar også i desse parametranne, særleg for turbiditet.

Ei anna STD-sonde (Seabird SBE19) blei nytta til å ta profilar ved start og slutt av dagen, for å ha data for djupare sjikt som kunne vere relevante i foreliggende eller i framtidige prosjekt, t.d. i samband med vurderingar om djupare utslepp enn 40 m, og for inntak for fjordvarme/varmepumper.

Med ei omtalte prosedyrene rakk vi ca 40-50 stasjonar pr dag med SAIV-sonden, samt nokre djupare stasjonar med den andre STD sonden, strømkorsobservasjonar, tilleggsregistreringar, fotografering m.m. Tokt-dagane blei m.a.o. utnytta for å maksimere datafangsten. For prosjektet under eitt blei det tatt ca 400 profilar.

Det ligg såleis føre eit stort innsamla datamateriale og det er utanfor rekkevidde å presentere alt dette, som for ein del representerer bakgrunn, d.v.s ”null” verdiar for sporstoff. Målsettinga med rapporten er å presentere typiske trekk ispedd interessante eller særmerkte observasjonar.

Vanlegvis avtok sporstoff-signalet markert ut over dagen, til det ved slutten kun var restar igjen, evt ikkje målbart. Det var difor ikkje nokon strategi å halde fram med målingar ut over kvelden og natta, sjølv om dette i einskilde høve kunne gitt nyttig informasjon. Men her kom også omsyn til kostnadar og budsjett (kost/nytte) inn i biletet.

3.2.1 Flesland 20. juni

Dette var første toktet i prosjektet. Opplegget var ”standard” med innleiande profilering, så dosering i anlegget, med påfølgjande kartlegging i sjøen utover dagen. Det var kraftig nedbør denne dagen, frå morgonen av. Dette gjenspeglar seg i store vassmengder gjennom anlegget (**Tabell 7**). Strømkorset blei satt ut kl 1030 i utsleppspunktet. Dette dreiv i retning SE, og blei tatt opp etter ca ein time. Den gjennomsnittlege driftfarten motsvara 7 cm/s. Deretter blei strømkorset satt ut ca 300 m sør for utsleppspunktet. Drifta var nå nordleg, med gjennomsnittsfart 12 cm/s.

Utsleppsvatnet blei raskt registrert både av sporstoffsensoren og av turbiditetssensoren. Det var også mogleg å sjå partikkelskya på ekkoloddet, med fleire partikkel-sjikt frå 35 m og opp til ca 20 m djup.

Dosering pågjeikk frå kl 1037 til kl 1110.

Det blei tatt i alt 34 sporstoff-profilar denne dagen.

3.2.2 Kvernevik 12. august

Dagen var i slutten av ei godvêrsperiode. Det bles nordvestleg frisk bris i Byfjorden på morgonen.

Toktet blei innleia med å prøve finne utsleppet ved hj. av ekkoloddet. Både røyret/diffusoren og deler av partikkelskya over kunne registrerast på loddet. Etter litt sirkling fram og tilbake (snitt i ulike retningar) kunne vi definere posisjon for sannsynleg utsleppspunkt til 60° 27,91' N, 05° 16,45'E (WGS84). Dette synest vere det posisjon for det første holet på diffusoren (nærmast land). Diffusoren ligg på ein kant eller knekkpunkt der botnen karakteristisk går over frå slakt til bratt hellande.

Dosering av sporstoff i anlegget forgjekk mellom kl 0850 og 0923. Vassføringa gjennom anlegget var oppgitt til 103 l/s.

Strømkorset i 20 m djup blei satt ut i utsleppspunktet kl 10. Det rak litt i sik-sak, men enda opp inne ved elveutløpet.

Det blei oppnådd å ta 41 stasjonar denne dagen, dei fleste med utslag for sporstoffet.

Kun 2-3 fugl blei observert denne dagen, ved utsleppspunktet.

3.2.3 Flesland 16. august

Denne dagen var det opphaldsvêr, med lett vestlig bris. Det regna ein del natta før. Vassføringa låg rundt 80 l/s i starten av og frå slutten av doseringa og ut over dagen. Dosering foregjeikk først mellom kl 0850 og 0905. På dette tidspunktet blei det stans i anlegget og lite vatn gjekk ut. Vassføringa tok seg opp igjen frå ca kl 0913, steig gradvis til ca 100 l/s. Dosering starta opp igjen ca kl 0915. Stansen medførte bypass av reinseanlegget og at ein del ureinsa vatn ("gråvatn") gjekk ut gjennom overløpet til overflata utanfor. Sjå foto i **Figur 12**. Dette utsleppet var tydelig synlig utover dagen, til ca kl 14. Opphaldet i doseringa og det at noko av utsleppet gjekk til overflata denne dagen kan ha medført litt unormale vilkår i høve til studie av spreieing.

Strømkors blei satt ut ved utsleppspunktet kl 1020. Det rak søraustover og gjekk til slutt på grunn etter ca 150 m drift. Farten motsvara ca 5 cm/s. Strømkorset blei så satt ut igjen kl 1213, SV for utsleppet. Det rak denne gongen mot nordaust, og blei tatt opp kl 1455 etter ca 200 m drift (på grunn; snitt-fart rekna til ca 5 cm/s).

I alt 41 stasjonar (profilar) for måling av sporstoff blei tatt. Sporstoff og også turbiditetssignal frå utsleppet blei raskt detektert. Det blei også tatt hydrografisk profil og oksygenprøver i djuphola på 180 m sør av Tyssøy kl 1430, i nærleiken av der UiB har fast stasjon (UiB St 8).

3.2.4 Flesland 22. september

Denne dagen var det frisk vind, opp i sterk kuling frå sørvest, med regnbyer. P.g.a. desse tilhøva valde vi å sløyfe strømkors denne dagen. Dosering varte frå kl 0845 til 0920. Vassføringa gjennom anlegget under doseringa var rapportert til 385 l/s (kl 0905).

Det bli tatt i alt 34 stasjonar (profilar) denne dagen. Litt mindre enn normalt, sidan vêrtilhøva vanskeleggjorde manøvrering på stasjon. Sporstoff i sjøen blei først detektert kl 11.

Som ved andre tidspunkt kunne vi registrere fugl (måse) på overflata over utsleppspunktet, denne dagen ca 30-40 individ.

3.2.5 Kvernevik 23. september

Det bles sydlig vind av kuling styrke i Byfjorden denne dagen, med opphaldsvêr og sol. Utsleppspunktet blei detektert på ekkoloddet (utsleppsskya spesielt).

Dosering starta kl 0920 – og blei avslutta kl 10. Vassføringa var oppgitt til 180-190 l/s under doseringa, og så avtakande til 120-140 l/s seinare på dagen.

Strømkors som vart satt ut ved utsleppspunktet, dreiv stort sett i nordleg retning.

Det blei tatt i alt 50 stasjonar (profilar) for sporstoff denne dagen. Vi tok også to hydrografiske profilar kombinert med oksygenprofil på om litt bort frå utsleppsstaden. Dette blei verifisert med oksygenprøver.

3.2.6 Kvernevik 22. november

Regnbyer og ca 8 °C lufttemperatur denne dagen. Registreringa byrja ca 0830, med stasjon ved utsleppspunktet før dosering (referanse). Dosering varte frå 0945 – 0920. Vassmengdene gjennom anlegget låg i overkant av 200 l/s.

Strømkorsforsøk synte nordgåande strøm om formiddagen og til ca kl 13 (korset tatt opp då).

Denne dagen blei det satt ut fast forankra strømmålar ved utsleppspunktet. Denne dopplermålaren stod på ca 40 m djup, og registrerte strømmen ein månads tid. Sjå eige kapittel om desse målingane.

Totalt blei det tatt 72 stasjonar for deteksjon av sporstoff denne dagen.

Det var registrert ein del fugleansamling – typisk 8-10 måsar til ei kvar tid.

3.2.7 Flesland 23. november

Denne dagen var det rolig og gode tilhøve på fjorden. Dosering av sporstoff i anlegget pågjekk frå 0850 – 0925.

Signal blei detektert tidlig (både turb. og sporstoff), med utslag i to sjikt, h.h.v. 14-18 m, og rundt 34 m djup. Hovedtransportretninga for utsleppet var mot sør denne dagen.

Det blei tatt 67 stasjonar (profilar) for sporstoff. I tillegg tok vi ein ekstra djup hydrografisk profil sør for Tyssøy, til 180 m djup. To vassprøver for analyse av oksygeninnhald blei tatt i 160 m djup der.

3.2.8 Kvernevik 19. desember

Det var stille vindforhold denne dagen, med temperatur på 3-4 °C. Ei tredagars periode før toktet var prega av låge temperaturar, ned mot null.

Dosering av sporstoff i anlegget pågjekk mellom kl 0907 og 0935. Vassføringa var oppgitt til 70 l/s mens dosering pågjekk.

Strømkorsforsøka synte først (kl 0940-1100) drift mot sørvest, inntil det gjekk på grunn ved neset. Det bli så satt ut igjen litt lenger vest, og dreiv då mot nordaust, inn i Kvernevika, nord for utsleppet.

Strømmålaren som var satt ut i november, blei tatt opp kl. 1520. Målaren kunne registrerast på ekkoloddet mens den stod i posisjon nær botnen, slik at vi fekk verifisert måledjupet.

Vi rakk å ta i alt 52 stasjonar (profilar) for sporstoff denne dagen.

Lite fugl registrert denne dagen over utsleppspunktet.

3.2.9 Flesland 20. desember

Det var pent ver denne dagen, kjølig og tilnærma skyfritt. Dosering pågjøkk frå kl 0940 til kl 1015. Vassføring under doseringa var oppgitt til 370 l/s. Sporstoff blei rakst detektert i sjøen, ofte i form av to eller tre toppar på kurvene fordelt mellom 30 m og 12 m djup.

Strømkors blei satt ut kl 0950 ved utsleppspunktet, og det dreiv raskt nordover ei stund (70 m på 12 minutt), for så å slakke opp. Det blei tatt opp kl 1410, hadde då drive 530 m nordover. Dette motsvara snittfart på 3,5 cm/s. korset blei satt ut igjen ved utsleppspunktet kl 1418, og det dreiv då sørover. Etter 1 time 45 min drift vart det henta inn, 270 m sør for utsleppet (snittfart 5,3 cm/s).

Vi oppnådde å ta i alt 56 stasjonar (profilar) for sporstoff. Det blei også tatt STD profil med oksygenprøver sør av Tyssøy.

Denne dagen, klokka 1050, vart strømmålaren som først vart brukt i Kvernevik, satt ut ved utsleppspunktet. Målaren stod i ca 40 m djup, og var sikra til land med eit tau langs botnen. Målaren stod ute til over nyttår. Sjå eige kapittel om desse målingane.

3.3 Ekstra hydrografiske målingar

Som nemnt ovanfor blei det tatt hydrografisk profil sør for Tyssøy til ca 180 m djup ved tre tidspunkt, 16. august, 23. november og 20. desember 2005. Det vart også då tatt vassprøver i djupvatnet der som ein kontroll på oksygensonden som var montert på målesonden. SBE19 har litt raskare og meir presis logging for salinitet og temperatur enn SAIV SD202.

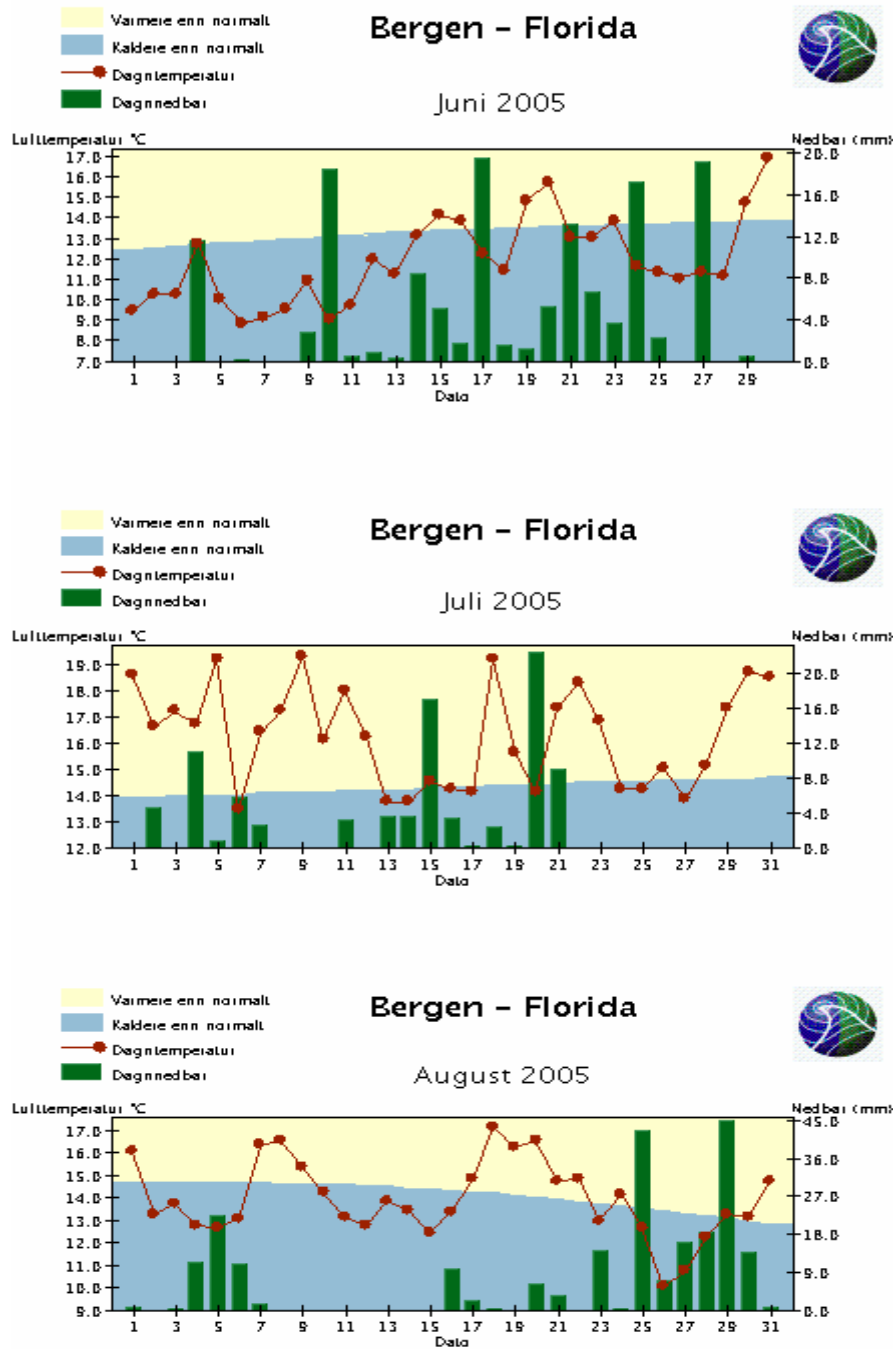
3.4 Strømmåling

På begge utsleppsstadane vart det gjennomført strømmåling over ca 4 veker i perioden november 2005 – januar 2006 med såkalla profilerande Doppler instrument, forankra i botn. Sjølv målaren stod nokre meter over botnen, og profilerte strømmen i faste tidsintervall i fleire sjikt oppover mot overflata. Sjå omtale av desse målingane i neste kapittel.

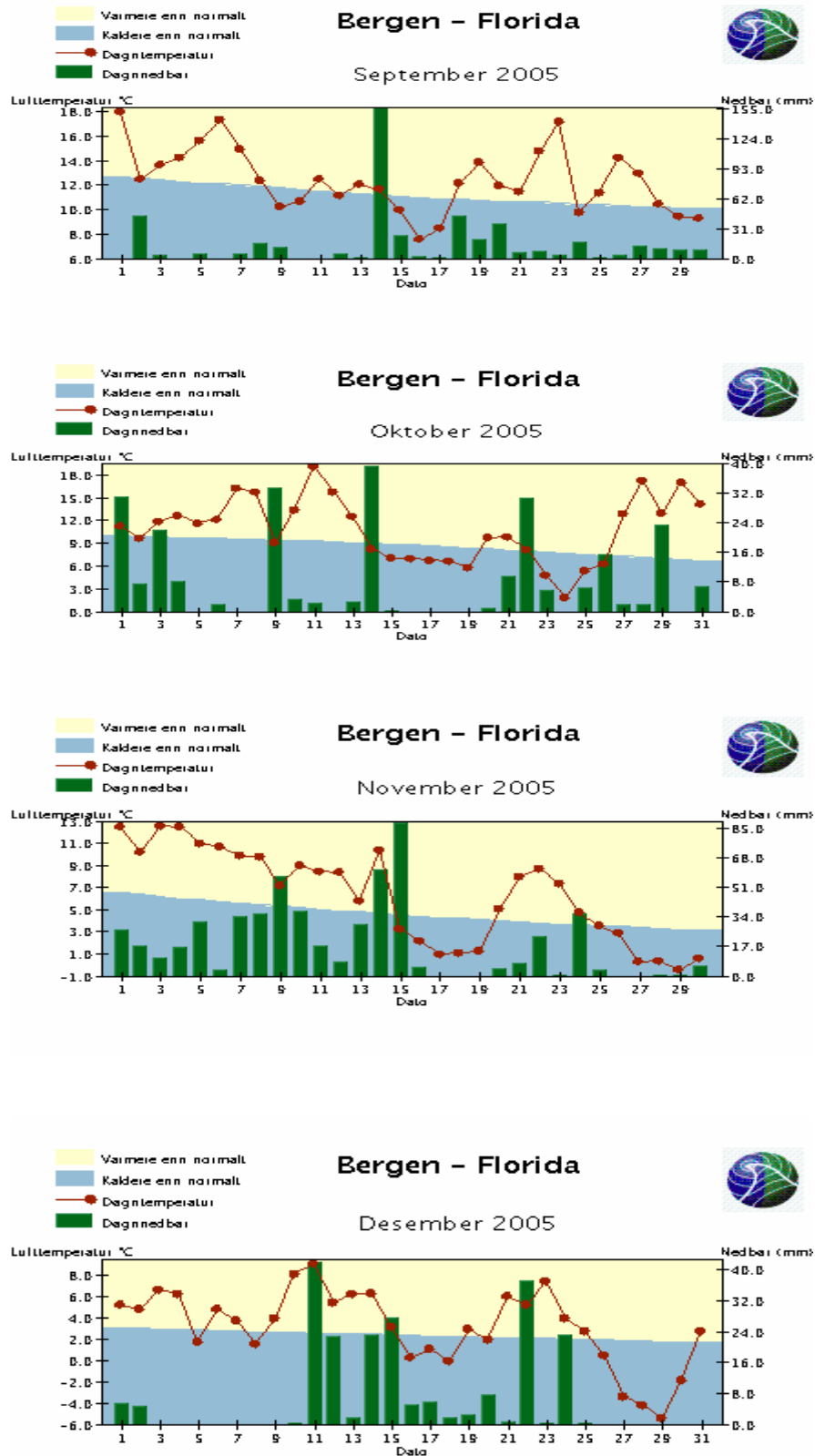
Som hjelpemiddel for å halde oppsikt med posisjon av utsleppsskya nytta vi elles under tokta konvensjonelle strømkors med overflatemarkør. Strømkorset hang i ca 20 m djup og blei satt ut over utsleppet ved starten av dosering og så posisjonert med jamne mellomrom med GPS, utan at det var tid til å følgje med drifta i detalj. Tidvis gjekk strømkorset på grunn, slik at vi måtte plukke det opp og få satt ut i ny posisjon.

3.5 Vêrtilhøva under tokta

Toktprogrammet var lagt opp slik at ein kunne få dekkja sesongsvingingar for hydrografi og strøm, og også ulike vêrsituasjonar. Vi har fått nytta vêrdata for Bergen for månadane juni-desember 2005 frå meteorologisk institutt. Sjå **Figur 19**.



Figur 19. Vêr-observasjonar for Bergen, for månadane juni-desember 2006.



Figur 19, forts.

3.6 Tidvatn

Flo/fjøre vil vere med å påverke vassutskiftinga ved dei to utsleppa, sjølv om betydninga av denne faktoren har vore omdiskutert for t.d. Holen RA (Gade 2002). Vi har satt opp **Tabell 8** for å gje ein indikasjon på amplituden som eventuelt bidrag/underlag for tolkinga av måleresultata.

Tabell 8. Oversikt over tidvatnet, i h.h.t. tidevannstabellen, på dei ulike tokta. Tid er i lokal tid.

Toktdato, 2005	Stad	Flo klokka	Fjøre klokka	Amplitude, ca. (cm)
20. juni	Flesland	1005	1615	100
12. august	Kvernevik	1627	0951	80
16. august	Flesland	0820	1443	60
22. september	Flesland	1440	0811	125
23. september	Kvernevik	1521	0846	105
22. november	Kvernevik	1448	0806	65
23. november	Flesland	1540	0859	50
19. desember	Kvernevik	1303	0635	90
20. desember	Flesland	1340	0709	85

4. Strømmåling

4.1 Måleprogram

Strømmåling ved utsleppspunkta h.h.v. i Kvernevik og ved Flesland blei foretatt i perioden november 2005 – januar 2006, med om lag 4 veker måling på kvar stad. Målaren var begge stader plassert 2 m over botn på ca 40 meters djup. **Figur 20** illustrerer dette. Eit botntau inn til land sikra målaren og blei nytta til å senke ned – og ta opp målaren med.

Måleinstrumentet var av type ADI RDCP600 (Aanderaa instruments). Dette nyttar lyd pulsar og akustisk Doppler prinsipp for å måle strømsprofil frå instrumentet til overflata ved gjevne tidspunkt. Både horisontal og vertikal strøm blir målt, i tillegg til fleire andre akustiske parametarar. Resultata av målingane blir fleire matriser med data, t.d. horisontal strømsstyrke versus tid og djup.



Figur 20. ADI RDCP 600 profilerande Doppler strømmålar.

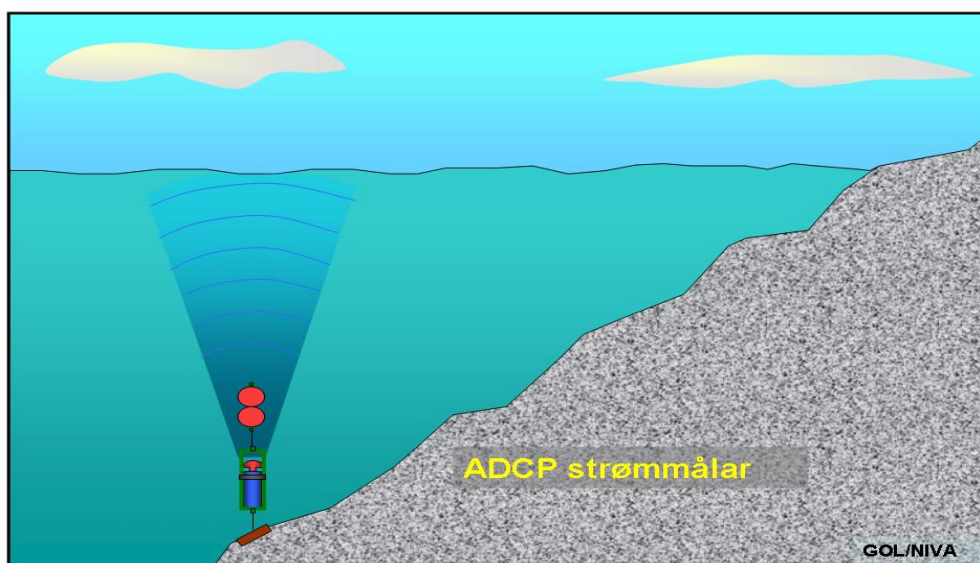
Lymbølgjene blir sendt oppover frå tre transducerar som peikar skrått oppover i litt ulik retning. Ved å analysere retursignal frå kvar stråle kan strømfart og retning bereknast for ulik avstand (celler) frå instrumentet. I dette tilfellet var instrumentet programmert til å foreta profilering ein gong pr 20 minutt (Kvernevik) og 1 gong pr time (Sletten) med 10 måleceller. Tabell 1 gjev tekniske opplysningar om målingane. Instrumentet var også utstyrt med temperatur – og turbiditetssensor.

Kvar målecelle var 3.5 m i vertikalen, d.v.s. at med 10 celler dekkja målingane eit djupnesjikt på ca 35 m. Første celle frå instrumentet byrja 2.8 m frå dette, og det var 10% overlapp mellom cellene. Det betyr at øvste måling (celle) representerte intervallet 31.2 m til 34.7 m frå toppen av instrumentet. Strøm blei målt i 156 sekund i l.a. kvar måleperiode, fordelt på 300 individuelle pulsar (ping) med repetisjonsrate på 520 millisekund.

Måledata blei lagra internt i instrumentet på eit lite dataminnekort, for avlesing til PC. ADI sitt RDCP Studio dataprogram vart nytta til datakonvertering og ein del dataframstilling (nokre av figurane i presentasjonen er laga med dette programmet). Det var 100% datagjenfangst for begge målestadane.

Tabell 9. Opplysningar om strømmålingane vinteren 2005-06 med ADI RDCP-600 målar.

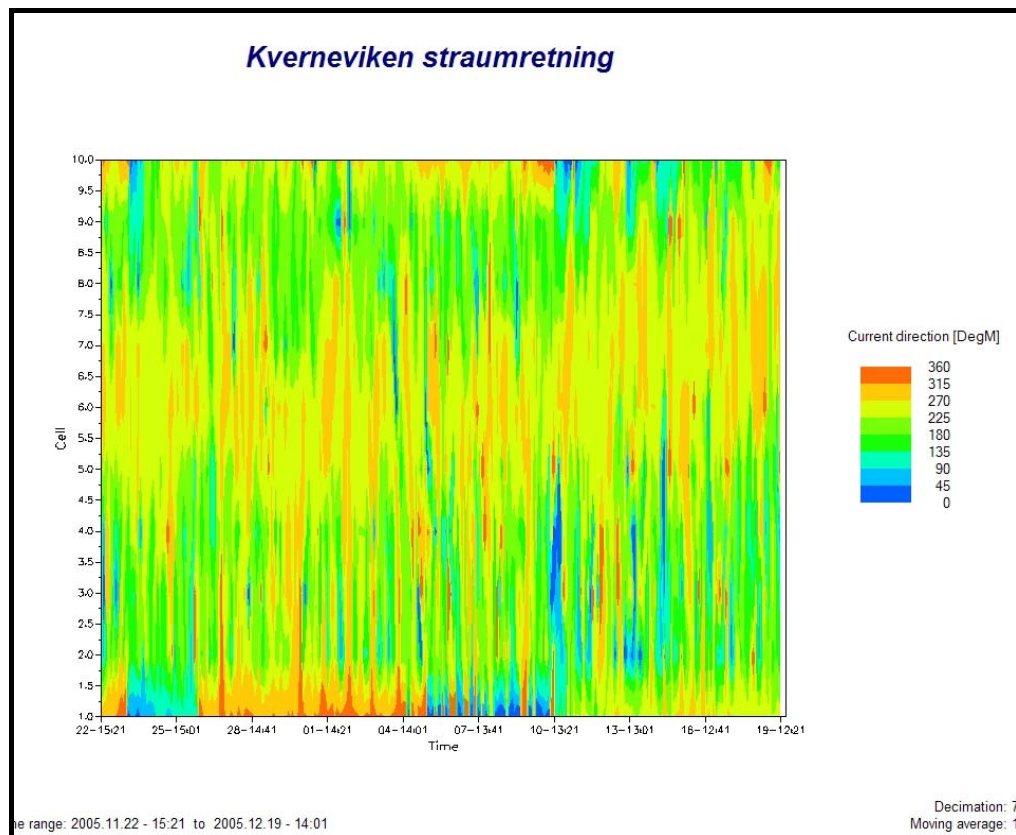
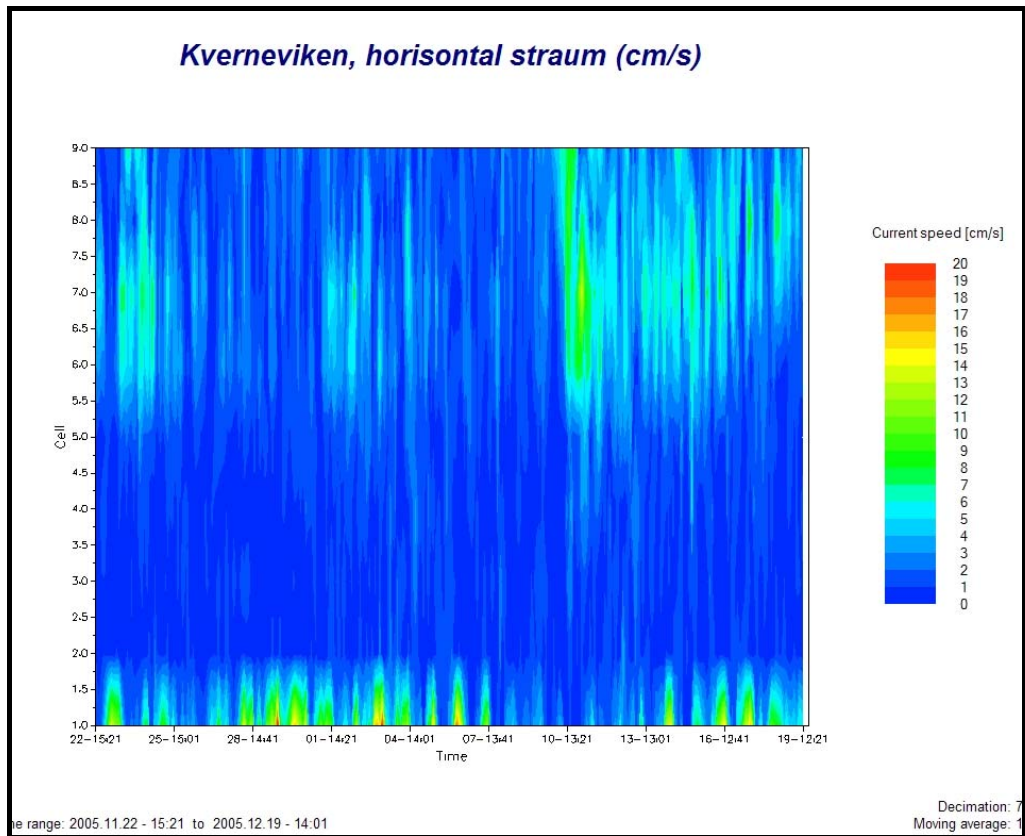
Verdi / Parameter	Kvernevik	Flesland
Første måling i sjø	22. november 2005, 15:21 UTC	20. november 2005, 09:44 UTC
Siste måling/opptak	19. desember 2005, 14:01 TC	18. januar 2006, 13:44 UTC
Målardjup	ca 38 m	ca 40 m
Måleintervall	20 minutt	1 time
Antal djupneceller	10	10
Antal målingar totalt	1941	701
Middel temperatur ved botn	10.71 °C	8.99 °C



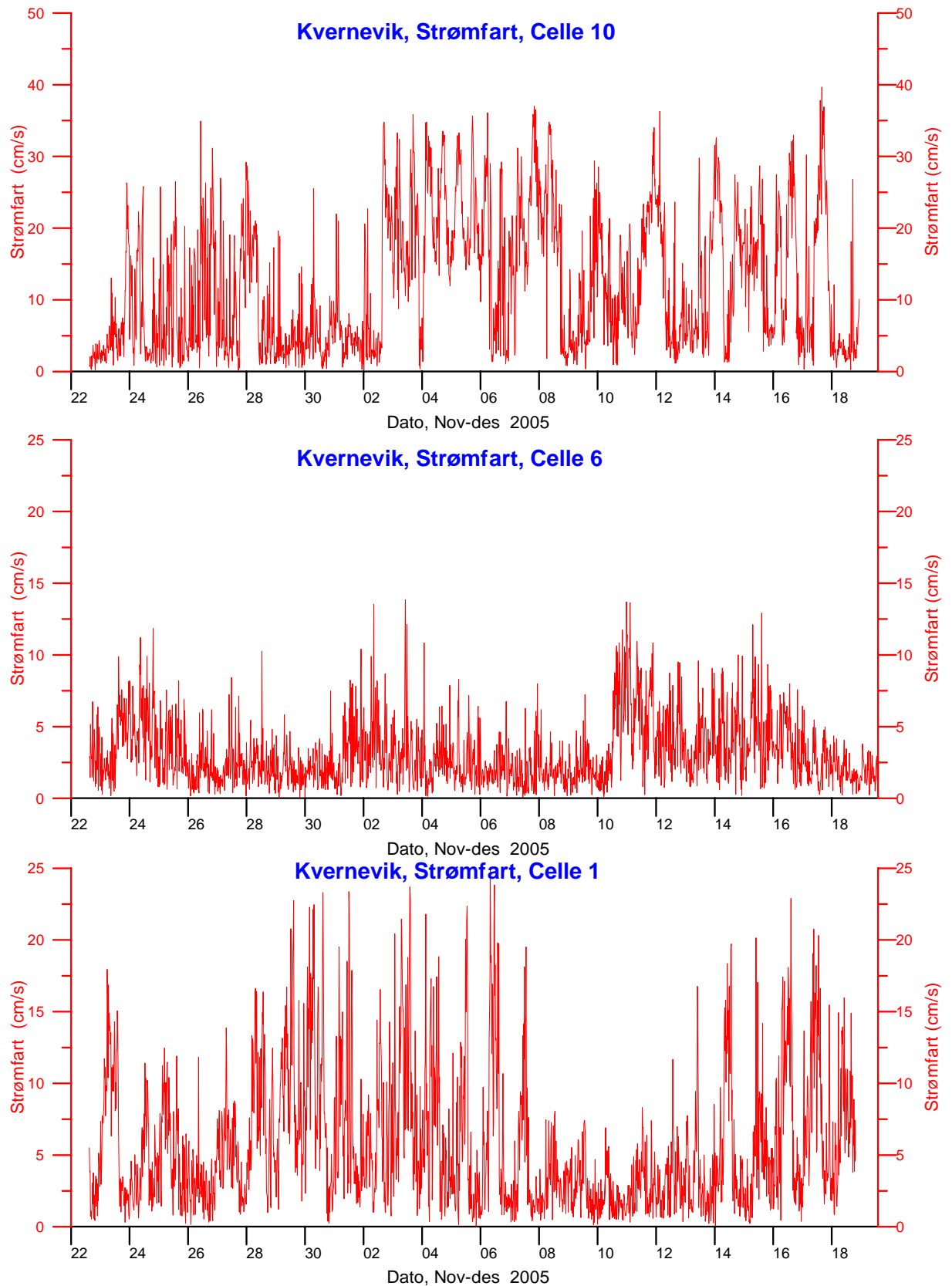
Figur 21. Skisse av strømmålar i posisjon (Kvernevik/Flesland). Ankeret var på 40 m djup, målareren stod eit par meter over dette. Akustiske signal dekkja sjikt frå nær målareren til opp mot overflata, med data frå 10 nivå (djupneceller).

4.2 Måleresultat Kvernevik

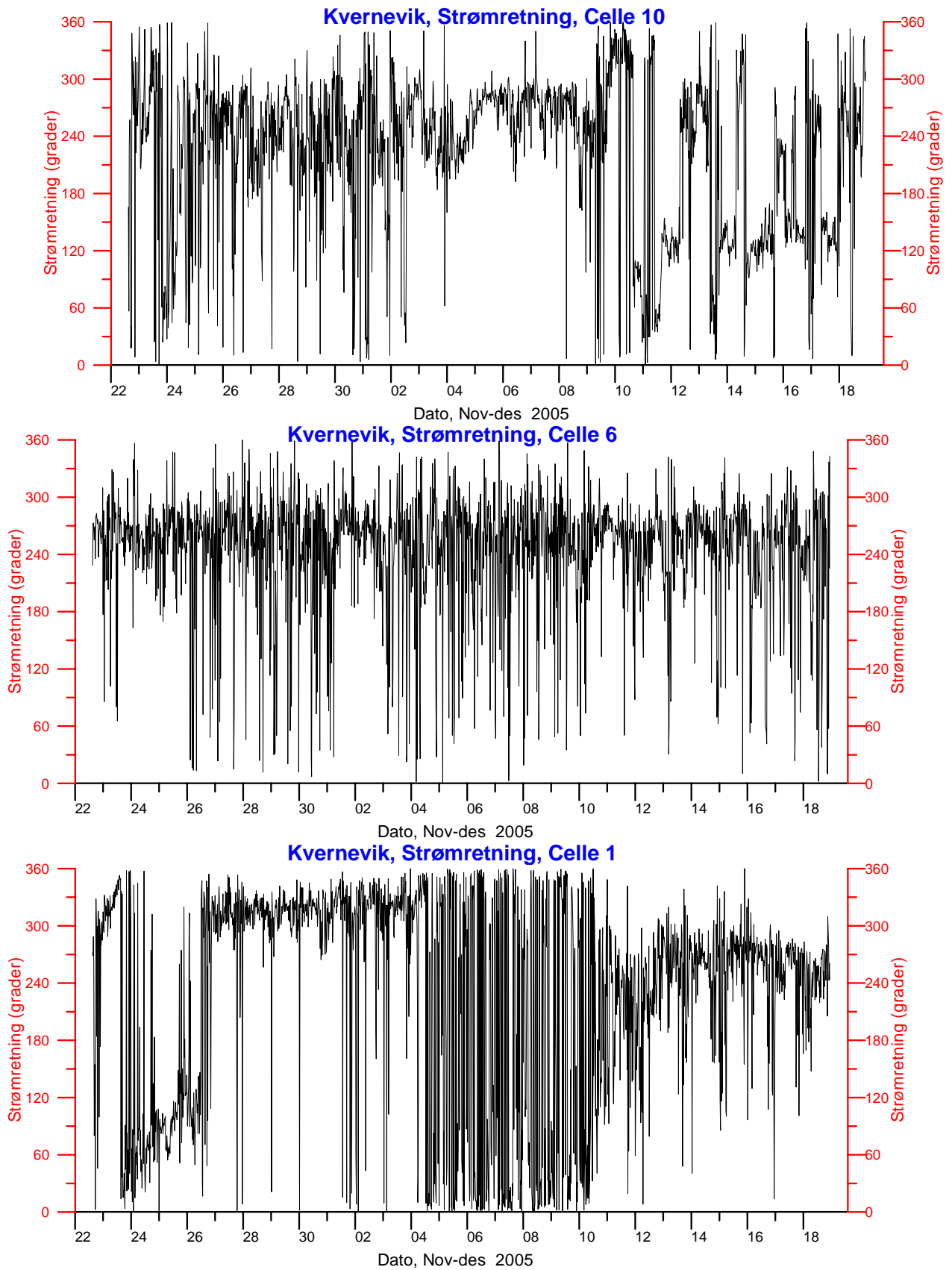
Måleresultata er gjennomgått og presentert i form av figurar i det følgjande. I Kvernevik var det relativt sterk strøm nær botnen, så avtakande styrke oppover for eit maksimum nær overflata, celle 10 **Figur 22**. Celle 7 hadde tidvis innslag av sterkare strøm enn nabocellene, noko som gav seg utslag i høg max. verdi (**Tabell 10**). For cellene 1-9 låg middelværdien for strøm mellom 1.5 og 5.7 cm/s; for celle 10 var middelværdien 12,1 cm/s. Max-verdien var også størst for celle 10 (39,7 cm/s), etterfølgt av celle 1 (37,5 cm/s), med verdiar mellom 6 og 16 cm/s for dei øvrige cellene. Ser ein på tidsvariasjonen i målingane frå Kvernevik, framgår det at i øvre lag var det innslag av sterkare strøm enn normalt rundt 23. november og 10. desember, og sterkare strøm enn normalt i celle 6-10 frå denne dato og utover. Dette var i nærleiken av tidspunkt halv måne, og kan såleis ha andre årsaker enn normale tidvass-variasjonar. Figur 3 syner eit strømsvakt sjikt mellom ca 35 m og 20 m djup. Retninga varierte i grove trekk mellom sektor NW og sektor E. I mellomsjiktet frå 15 m til 25 m djup var det hyppigast strøm mot NW, mens det i sjikt over og under var mest innslag av strøm mot austleg kant (**Figur 22- Figur 24**).



Figur 22. Målt strømfart og strømrretning for alle målingane i Kvernevik.



Figur 23. Målt strømfart i Kverneviken, celle 1, 6 og 10.



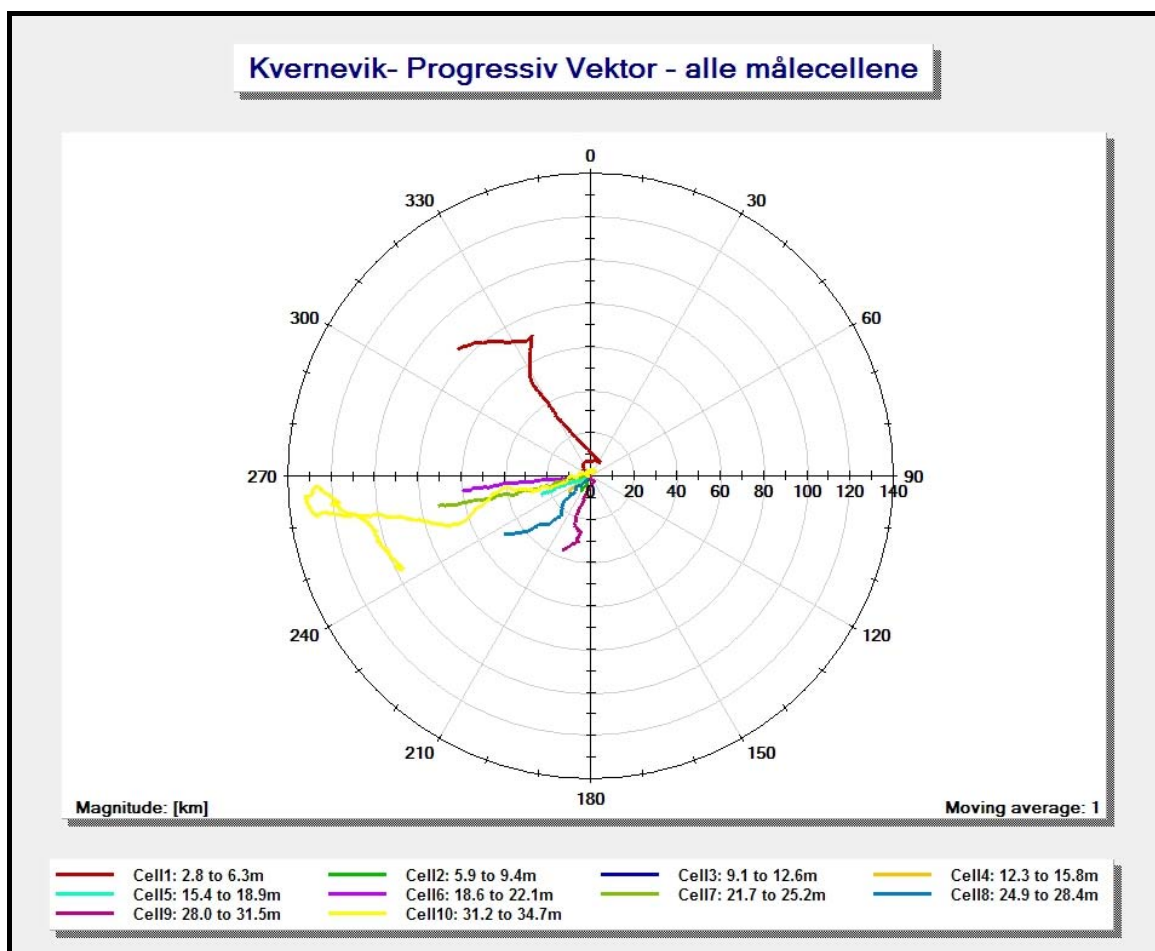
Figur 24. Målt strømretning i Kvernevik, celle 1, 6 og 10. Nokre strømverdiar i celle 10 fall utanfor akse.

Av **Figur 23- Figur 24** framgår det at i midtsjiktka, illustrert ved celle 6, var strømmen temmelig einsretta, mens den nærare overflata og nær botn veksle meir mellom dei to hovudretningane. Nettotransporten for dei ulike djupa/cellene er illustrert i progressiv vektor framstillinga i **Figur 25**. Transport mot sørvestleg kant dominerte, mens transporten i øvste celle var retta mot NW. Den tilknytte nettostrømmen var av storleiksorden 0.5-3 cm/s for dei ulike cellene.

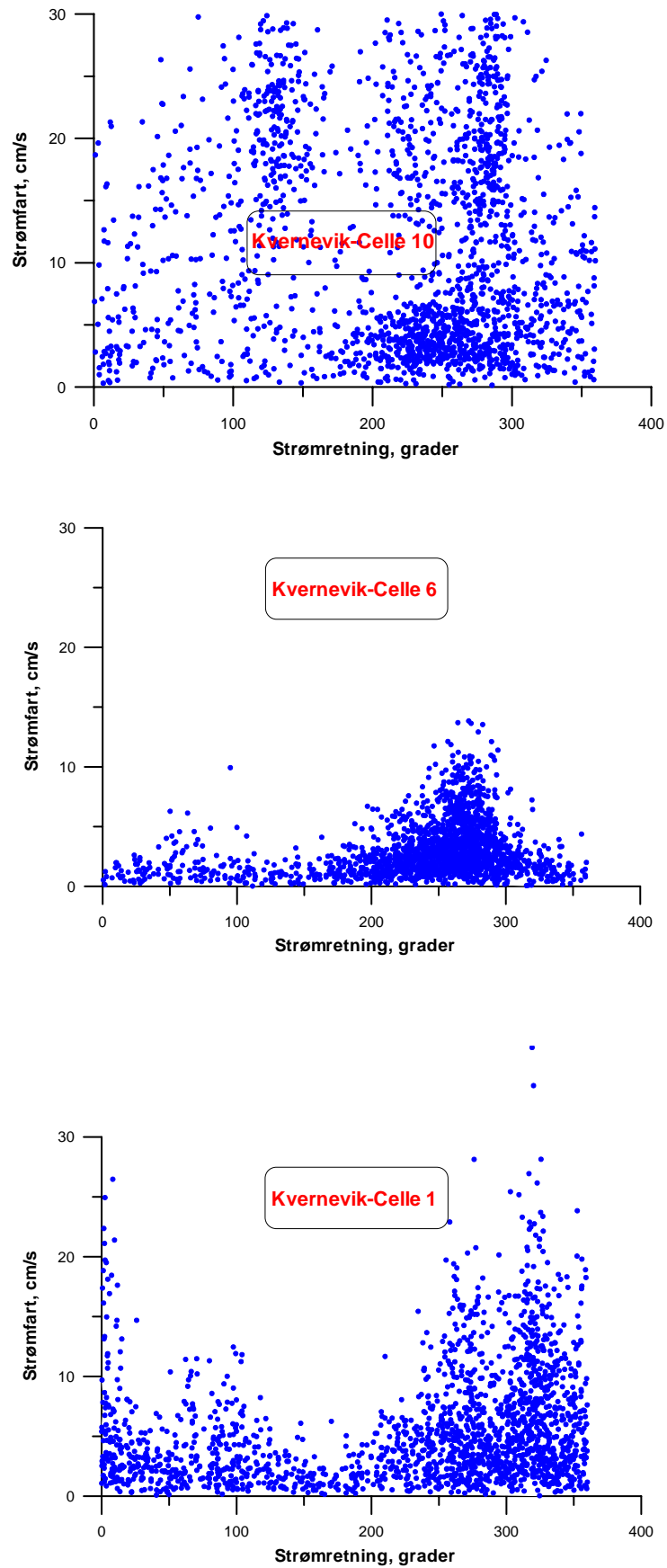
Figur 26 illustrerer dei dominerande strømreringane, her for dei tre cellene 1, 6 og 10. Retning mot NW (+/-) var assosiert med sterkast strøm.

Sjøens temperatur og turbiditet blei målt av sensorar montert på instrumentet, d.v.s. ca 2 m over botn. Resultata er synt i **Figur 27**. Temperaturen fall gradvis frå over 11 grader i starten av måleperioden til rundt 10.5 grader mot slutten. Turbiditetsverdiene låg ned mot bakgrunn frå starten og til 6. desember, då verdiene byrja auke til eit nivå mellom 1 og 1.5, med enkelte toppar opp mot det doble av dette i verdi.

Av **Figur 23- Figur 24**, celle 1, framgår det at strømmen ved botn endra karakter samstundes som auken i turbiditet byrja. Frå stabil strømrering mot NW endra denne seg til hyppig vekslande rundt 5. - 6. desember, og strømsstyrken tenderte deretter til å falle ei veker tid.



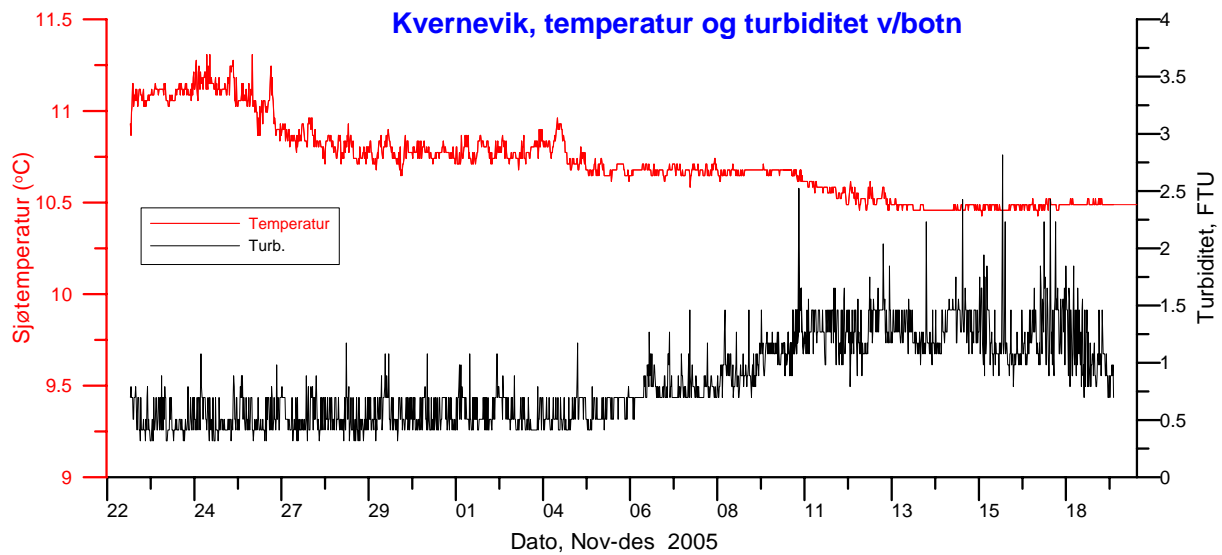
Figur 25. Progressiv vektor for alle målingane (cellene) i Kvernevik.



Figur 26. Fordeling av strøm-verdiane i høve til retning for celle 1, 6 og 10.

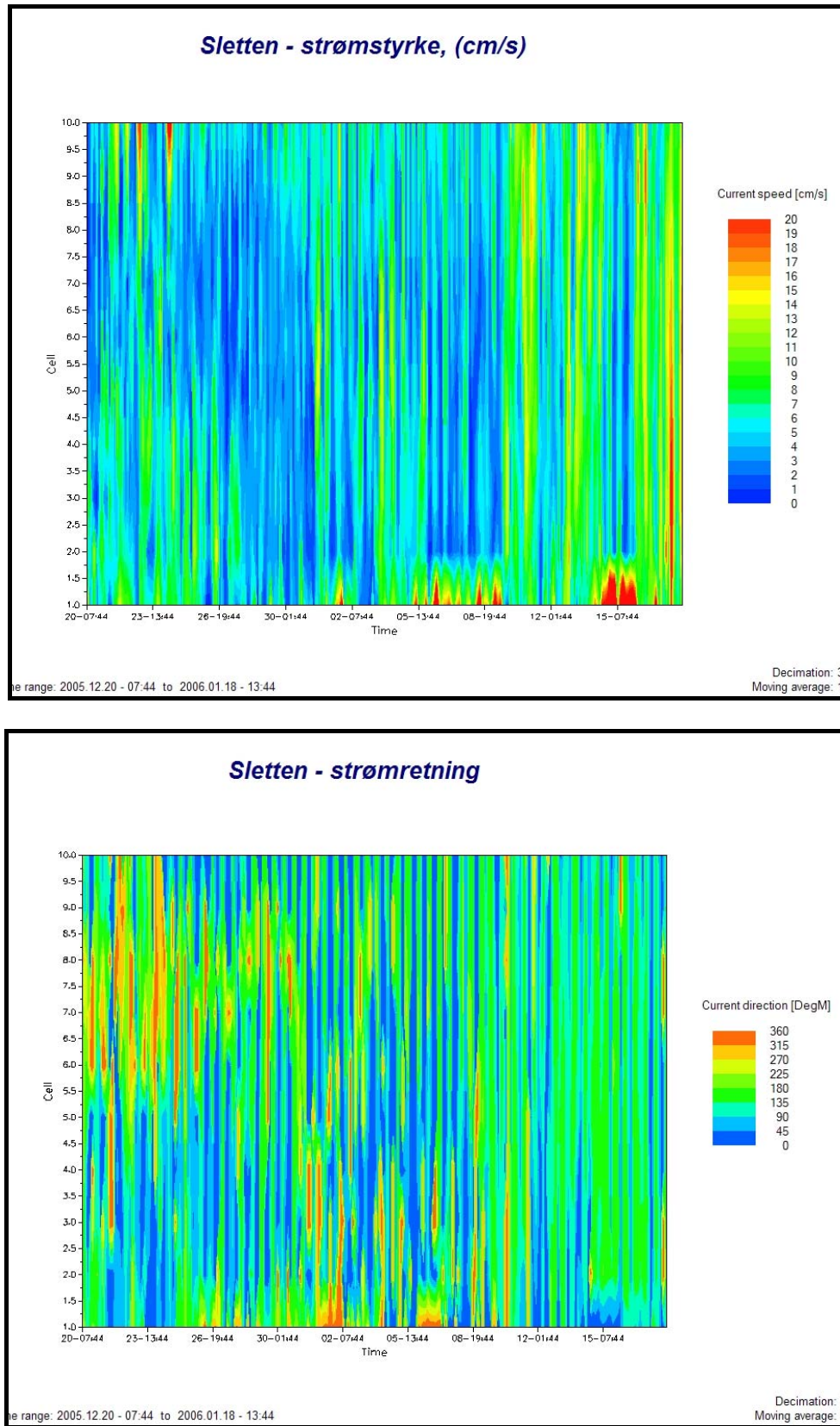
Tabell 10. Statistiske verdier for strømmålingane ved Kverneviken, cm/s (for horisontal strøm).

Celle #	Vmidd	Vmax	Vmin	Stdev	Domin retn.
10 (topp)	12.1	39.7	0.15	9.34	260°
9	3.08	13.5	0.05	1.97	190°
8	3.41	13.2	< 0.05	2.29	220°
7	3.88	16.1	< 0.05	2.83	260°
6	3.13	13.8	0.07	2.26	260°
5	1.97	9.0	< 0.05	1.17	250°
4	1.69	8.1	< 0.05	1.03	240°
3	1.59	6.0	< 0.05	0.89	250°
2	1.57	7.2	< 0.05	0.92	260°
1 (botn)	5.74	37.5	< 0.05	4.89	330°



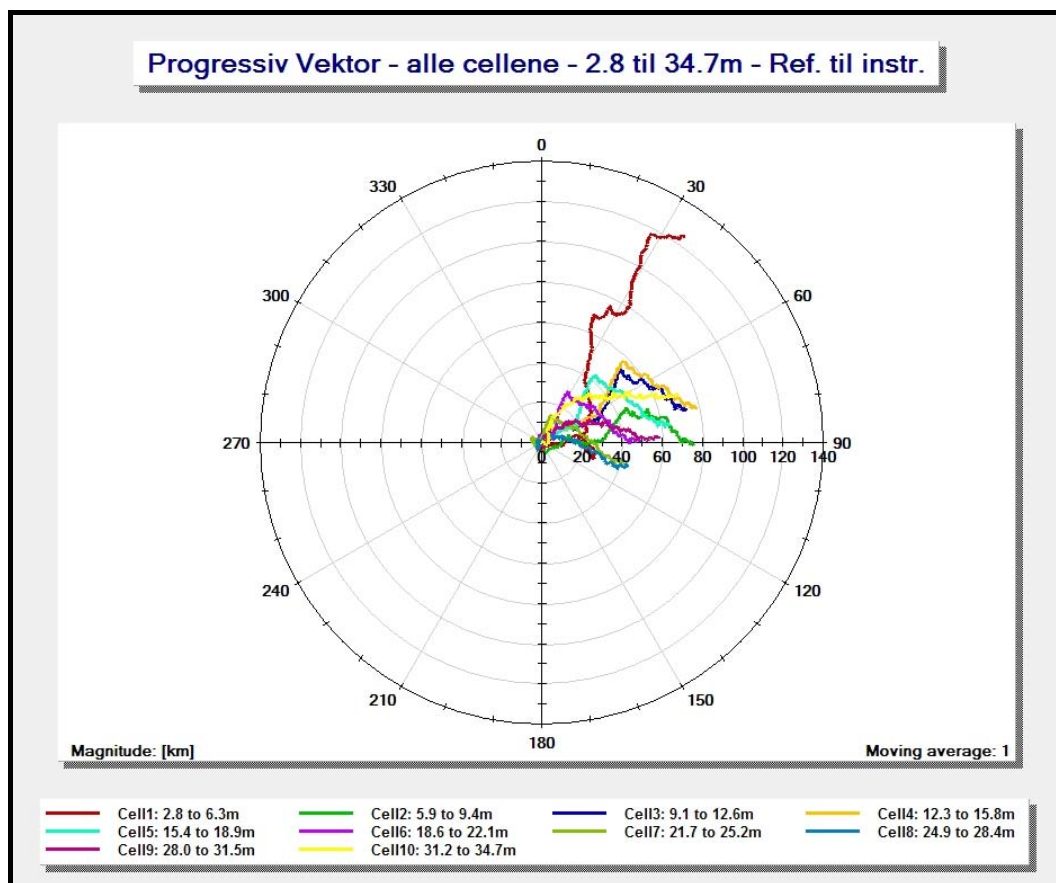
Figur 27. Målt temperatur og turbiditet nær botnen i Kverneviken.

4.3 Måleresultat Flesland



Figur 28. Målt strømfart og strømretning for alle målingane ved Flesland (Sletten) desember 05/januar 06.

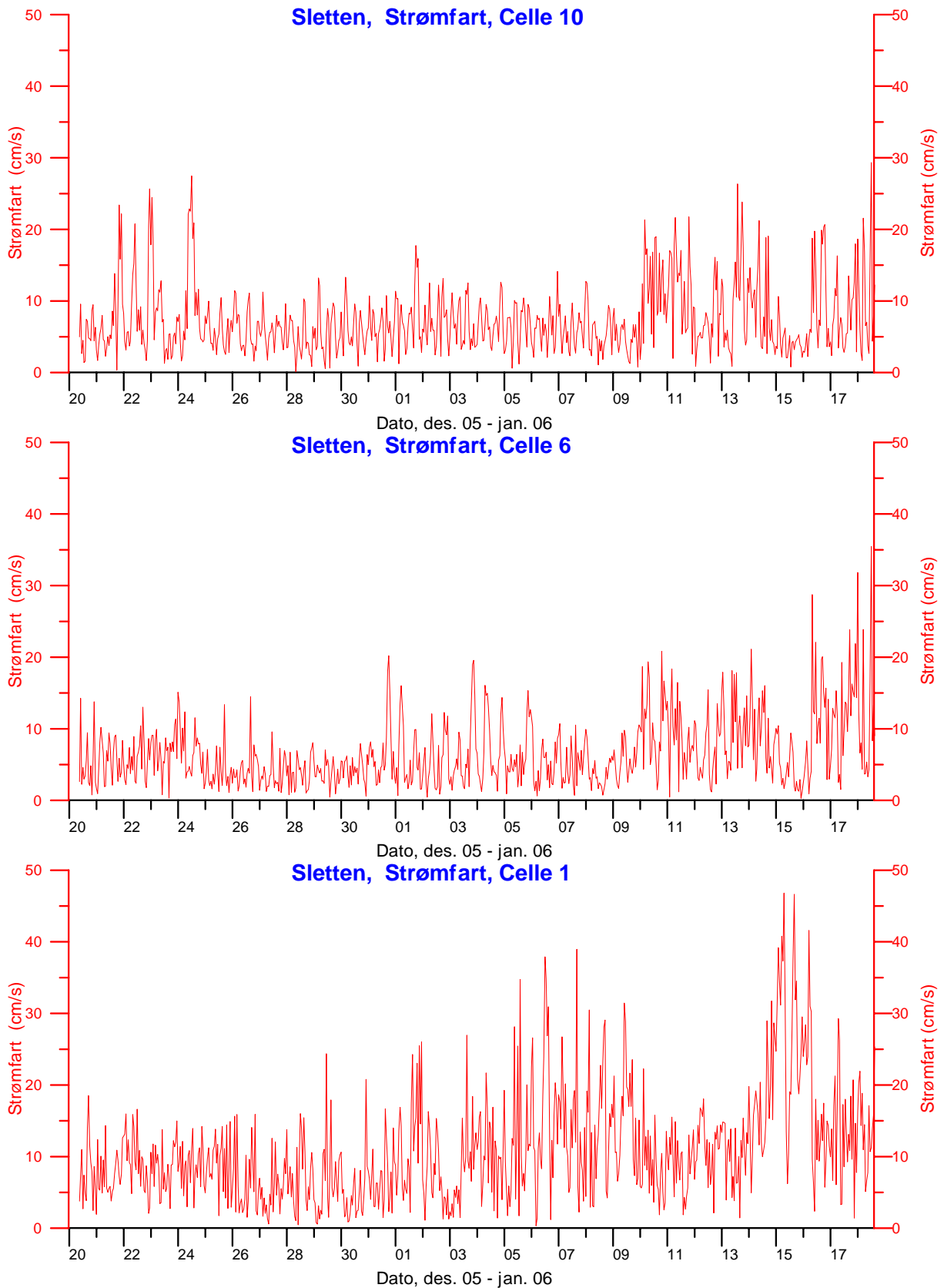
Strømmen ved utløpet frå Flesland reinseanlegg blei målt frå 20. desember 2005, fram til opptak av instrumentet 18. januar 2006. Måleintervallet var her 1 time, mot 20 minutt for målingane i Kvernevik. Dette at sampling-oppsettet ikkje var identisk, kan gje seg små utslag i statistikken, ved at kortvarige episodar kan ha gått forbi uregistrert ved Flesland, sidan aktiv måling i instrumentet berre foregår over nokre få minutt i slutten av kvart måleintervall. Uansett var det ikkje målsetting å foreta direkte samanlikning mellom tilhøva på dei to stadene, og ulik måleperiode gjer også detaljert samanlikning mellom måleseriane mindre relevant.



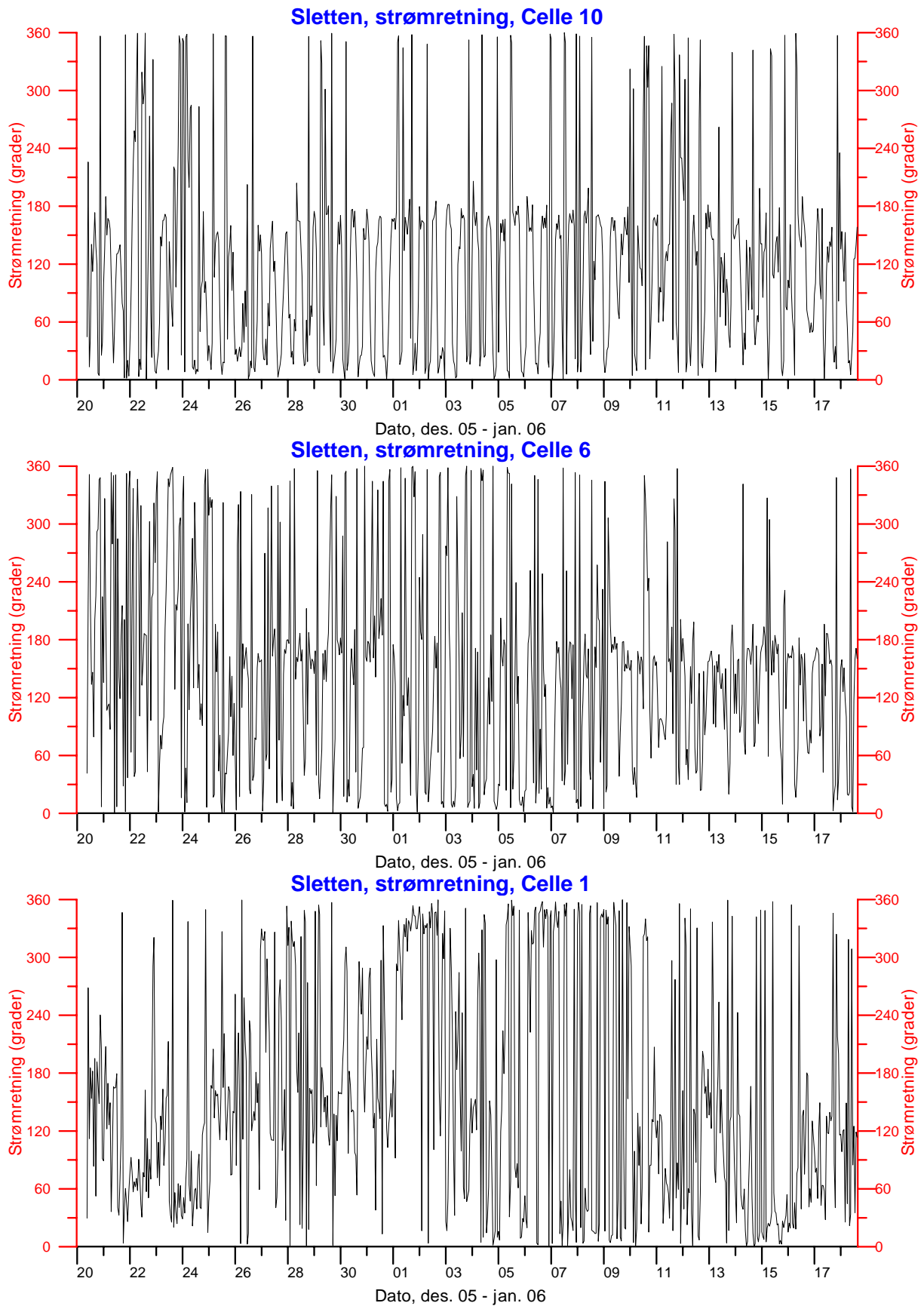
Figur 29. Progressiv vektor for alle målingane (cellene) ved Flesland.

Tabell 11. Nokre statistiske verdiar for strømmålingane ved Flesland, cm/s (for horisontal strøm).

Celle #	Vmidd	Vmax	Vmin	Stdev	Domin retn.
10 (topp)	7.27	29.3	0.1	4.76	70°
9	7.05	31.8	0.4	4.67	80°
8	6.59	33.1	0.2	4.63	100°
7	6.39	35.4	0.2	4.65	95°
6	6.50	35.5	0.3	4.69	80°
5	6.62	33.8	0.2	4.73	75°
4	6.98	33.7	0.3	4.72	70°
3	7.10	31.3	0.5	4.57	70°
2	6.92	25.2	0.07	4.76	80°
1 (botn)	10.98	72.7	0.3	7.97	30°



Figur 30. Målt strømstyrke i celle 1, 6 og 10 ved Flesland (Sletten).



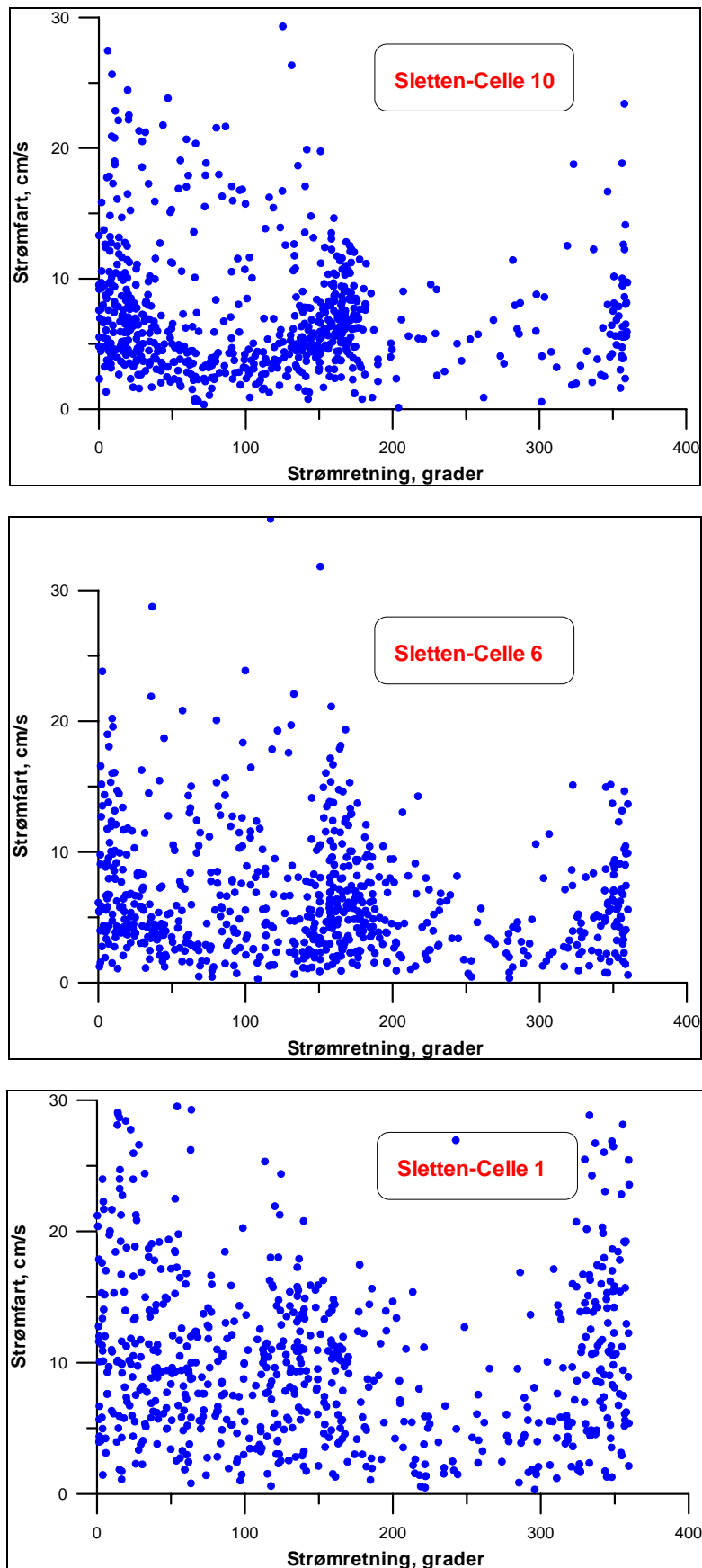
Figur 31. Målt strømretning ved Flesland (Sletten), celle 1 (botn), celle 6 og celle 10 (topp).

Strømstyrken ved Flesland var høgast nær botn, med 73 cm/s som maksimum (**Tabell 10** og **Figur 30**). Det var ingen markert variasjon i strømstyrken på lengre tidsskala (tidvatn etc), ut over ein tendens til ein viss auke i strømstyrken mot slutten av måleserien. Av Tidevannstabellen framgår det at det innafor måleperioden var nymåne 31. desember og fullmåne 14. januar, rundt desse tidspunkta kan ein ofte vente sterkare strøm enn elles, men dette er ikkje tydeleg reflektert i målingane.

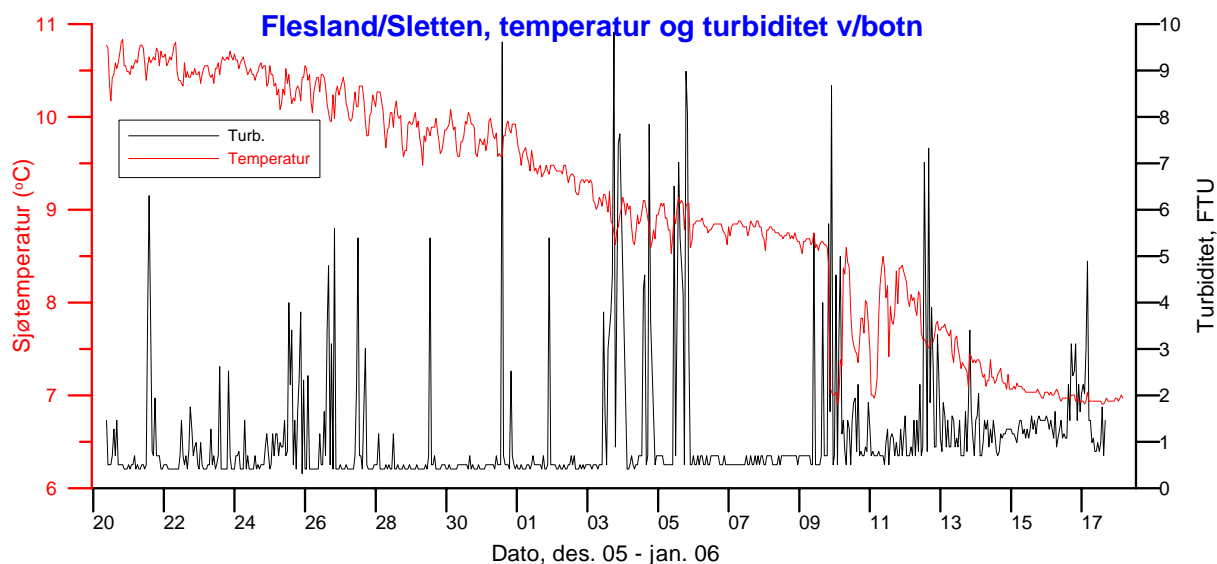
Det var ikkje noko markert strømskjær vertikalt, d.v.s. endring av retning med djupet. Det kan indikere at strømmen frå overflate til 30-40 m djup er ”barotrop” for det meste, kontrollert av tidvatnet og lite påverka av terskelen i Raunefjorden på ca 40 m djup. Hyppigast forekomande strømrøtningar var mot sør og mot nord (**Figur 31** - **Figur 32**), m.a.o. langs botntopografien og landkonturen på staden.

Nettostømmen (**Figur 29**) hadde retning mot aust- eller nordaust i dei fleste djupa. Det indikerer ein transport mot land, noko som i utgangspunktet verkar unormalt. Sannsynlegvis er det slik at sør-og nordgåande tidvass-strøm nullar kvarandre ut, slik at resulterande vektor då er dominert av andre retningar. Det kan også kome av at målarer stod ved enden av diffusoren, og at utsleppet i seg sjølv genererer strøm (medriving) med retningskomponent innover mot utslepps-strålane.

I motsetnad til i Kvernevik var strømmen i øvste celle (nr 10) ved Flesland ikkje sterkare enn i nabocellene under. Første celle, nær målarer, hadde sterkast strøm (73 cm/s, Tabell 3). Elles låg max. verdiane mellom 25 og 35 cm/s. Det var ingen langvarige periodar med heilt strømsstille, men alle måledjup hadde låge minimumsverdiar, mellom 0.1 – 0.3 cm/s, med unntak av celle 3 og 9 som hadde litt høgare minimumsverdi. Middel strømstyrke var 6-7 cm/s, men unntak av celle 1 (botn) som hadde 11 cm/s (**Tabell 11**).



Figur 32. Fordeling av strøm-verdiar ved Flesland (Sletten) i høve til retning.



Figur 33. Målt temperatur og turbiditet nær botnen ved Flesland (Sletten).

Resultat av måling av turbiditet og temperatur nær botnen ved Flesland er synt i **Figur 33**. Temperaturen fall markert i løpet av måleperioden, frå ca 10.5 °C i starten til under 7 °C mot slutten.

Turbiditeten synte større variasjon og innslag av høgare verdiar enn i Kvernevik, med nokre einskild-verdiar på over 10 FTU. Bakgrunnsverdien låg som i Kvernevik rundt 0.5, med ein tendens til auke mot slutten av måleperioden til eit basisnivå rundt 1 FTU. Dei markerte kortvarige innslaga av høge verdiar skuldast sannsynlegvis partiklar frå utsleppet.

Den generelle auken i turbiditet frå 9. januar kan ha samanheng med auka strømsstyrke like før (evt. resuspensjon av sedimenterte partiklar nær utsleppet). Det kan og merkast at byrjinga av den gradvise auken i basisnivå var assosiert med eit tydeleg fall i temperatur 9. – 12. januar, m.a.o. det kan vere ei anna vasstype med litt høgare partikkelnivå som har strøymt til.

5. Resultat av sporstoffmålingane

Resultata av målingane for alle tokta blir summarisk gjennomgått her, med grafisk presentasjon av sporstoff-profilar for ein del interessante observasjonar/stasjonar. Stasjonskart er synt i Vedlegg A.

5.1 Flesland 20. juni 2005

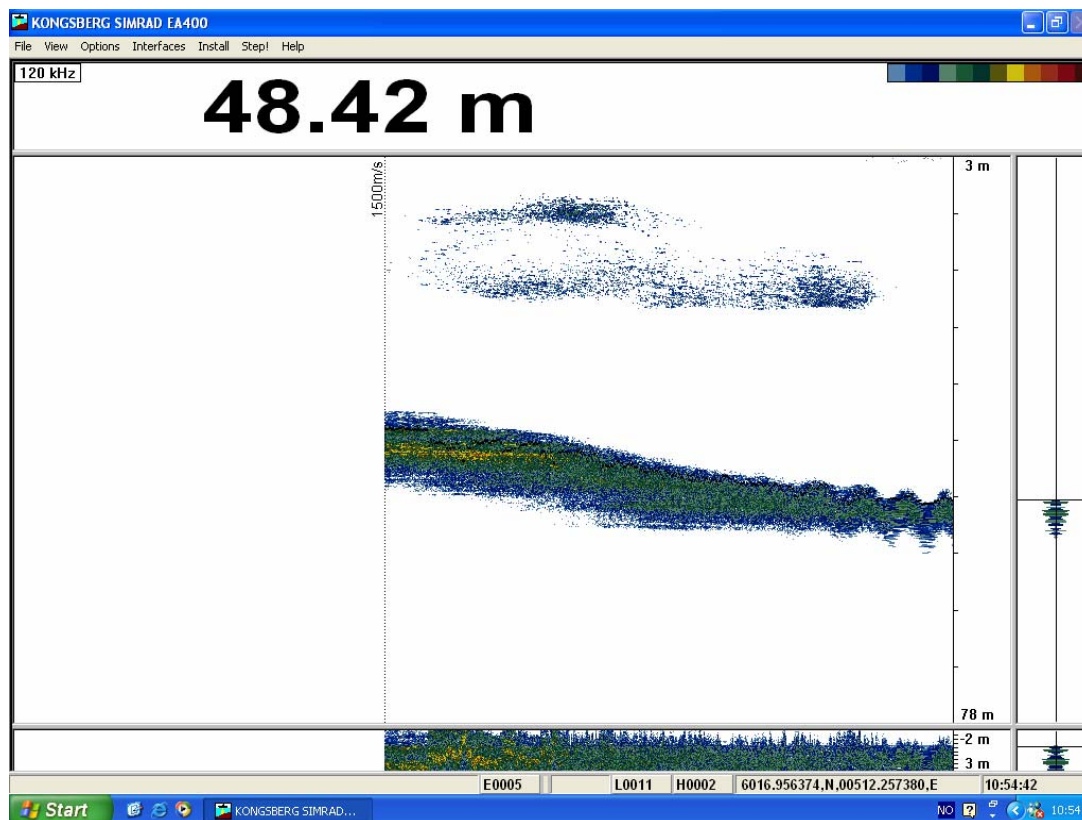
Toktet 20. juni ved Flesland var det første i prosjektet, og fungerte delvis som test-tokt for metodikk og utstyr. Profilering i sjøen kom i gang kl 10:40, d.v.s ved tidspunkt for oppstart av dosering. Fleire sondeprofilar vart først tatt etter kvarandre ved utsleppspunktet, ned til ca 45 m djup eller evt til botn. Deretter flytta båten seg langs liner nordover og sørover frå utsleppet. Det vart også gått ei nord-sør line ca 100-120 m vestafor første lina. Dei i alt 34 stasjonane/profilane dekkja såleis eit ca 1400 m X 400 m stort område.

Ekkoloddet gav utslag på partiklar over utsleppet som sannsynlegvis representerer avlaupsvatnet. **Figur 34** syner eit bilete frå ekkoloddet mens båten låg i posisjon om lag over midten av diffusoren. Skya fordelte seg frå rundt 7-8 m og nedover til vel 20 m djup. Dette kan representere partiklar få eit eller to diffusorhol, sannsynlegvis dei to grunnaste, mens partiklar frå djupare hol ikkje blei fanga opp av ekkoloddet i denne posisjonen.

Stasjon 30 tatt ca 1 km vest for utsleppet på ettermiddagen kan tene som ”referanse” stasjon for upåverka sjøvatn.

Figur 35 syner resultat av desse målingane. Saliniteten låg rundt 31 i eit velblanda 8 m tjukt øvre lag, og auka derfrå tilnærma lineært nedover. Temperaturen låg rundt 12 grader i øvre 8 meter, og avtok så nedover til 7-8 grader i 40 m djup. Ut frå dette låg det tydelegaste sprangsjiktet mellom 8 og 12 meter, med meir kontinuerleg sjikting vidare nedover i djupet.

Sporstoff og turbiditetsverdiane på denne stasjonen vil representere ein bakgrunns-verdi, som referanse for dei andre målingane. Sporstoffverdiane var låge, mens det for turbiditet var utslag frå overflata og ned til ca 30 m djup, og avtakande tendens derfrå og nedover.



Figur 34. Ekkolodd-profil 20 juni 2005, inn mot utsleppet. Tydeleg partikkelsky mellom 8 og 20 m djup.

Resultat frå seks andre stasjonar er synt i **Figur 36**. Stasjon 2 representerer start av målingane, like etter dosering, i posisjon rett over utsleppspunktet. Det framgår der tre evt. fire forskjellige sjikt med sporbart rhodamin, fordelt frå ca 20 m og ned til ca 35 m djup. Samtidig ser vi eit tydeleg signal i turbiditet (partiklar), med dei høgste verdiane mellom ca 10 m og 20 m. Dette høver bra med dei signala som ekkoloddet gav.

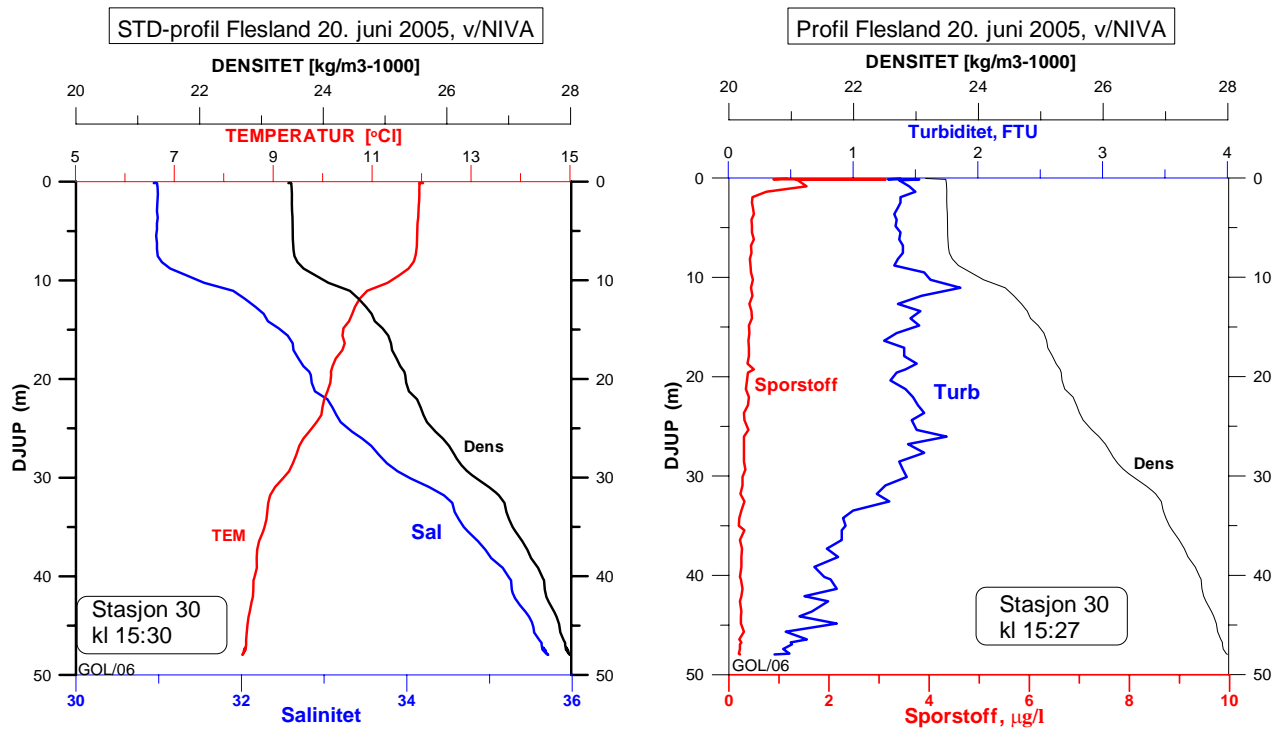
Stasjon 10 er igjen ved utsleppspunktet, ca 2 timar etter start dosering. Her framtrer fire klare maksima i sporstoff, fordelt frå 12 m ned til vel 30 m djup. Partikkelmengda synes noko redusert i høve til stasjon 2, som kan ha med endra vassføring å gjere, evt endra strømmønster i fjorden. Stasjon 12 er tatt like etter, ca 150 m nord for utsleppet. Her er signalet redusert til to maksima, i h.h.v. 22 m og 30 m djup med max. verdi for sporstoffet på ca 5.

Stasjon 19 var tatt langt nord, ved Saltvikneset, ca 1 km nord for utsleppspunktet. Her var det ikkje noko signifikant utslepp i sporstoff, mens turbiditet fortsatt synte eit visst utslag, som kan ha med utsleppet å gjere (partiklar.)

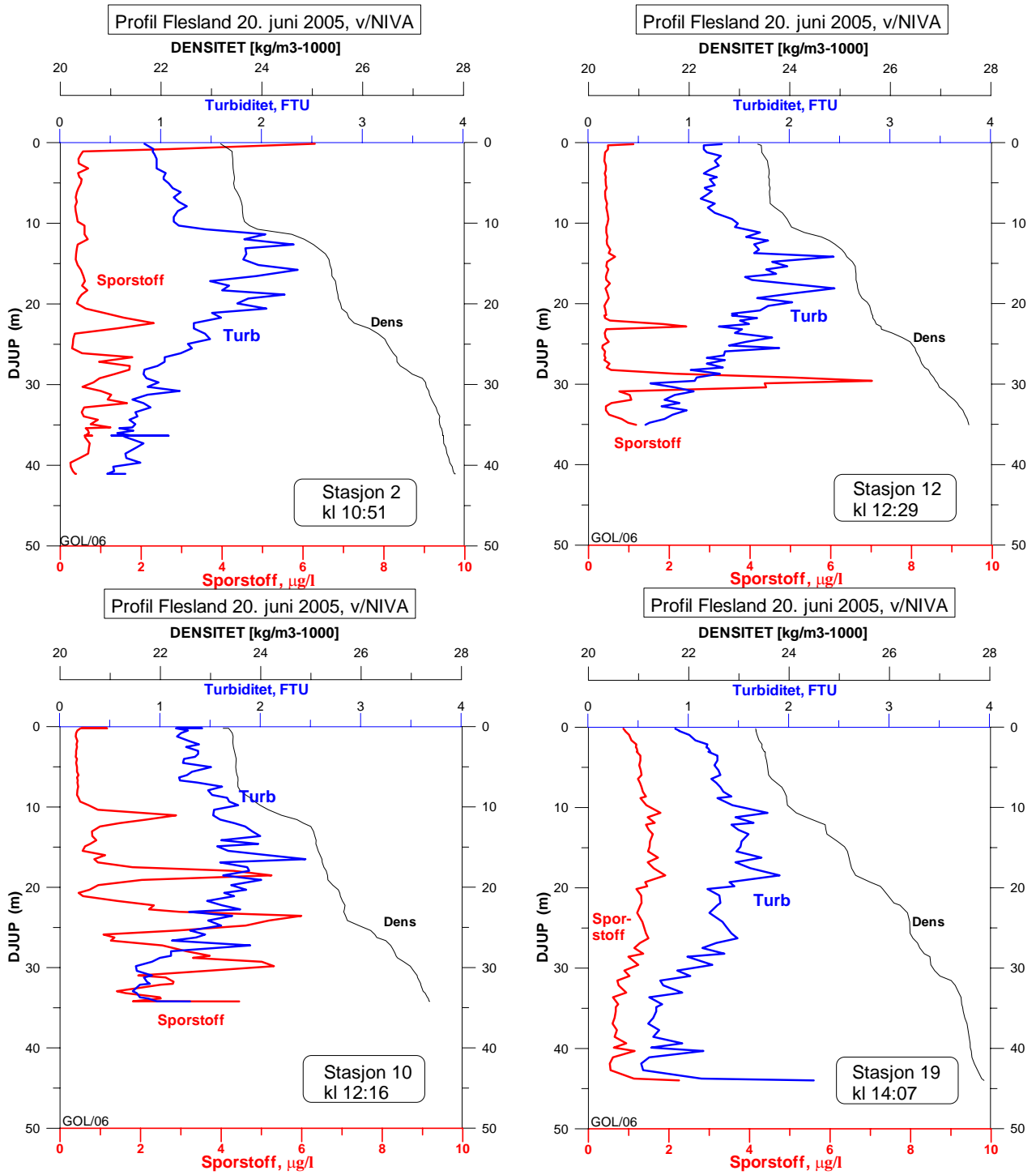
Stasjon 25 var tatt 250 m nordvest for utsleppspunktet, ca 4 timar etter dosering. Det var ikkje signal for sporstoff her, og også turbiditetssignalet var svakt, nær bakgrunn (som stasjon 30).

Stasjon 34 var siste stasjon, tatt kl 16, i posisjon lengst nord og nordvest for stasjon 19. To svake maksima i sporstoff kan sjåast, sentrert i 18-20 m djup og eit svakare rundt 30 m djup.

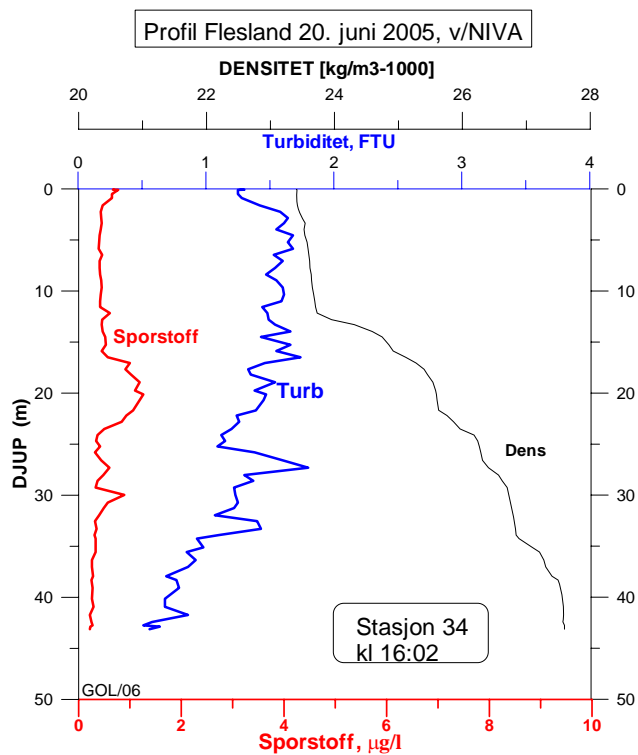
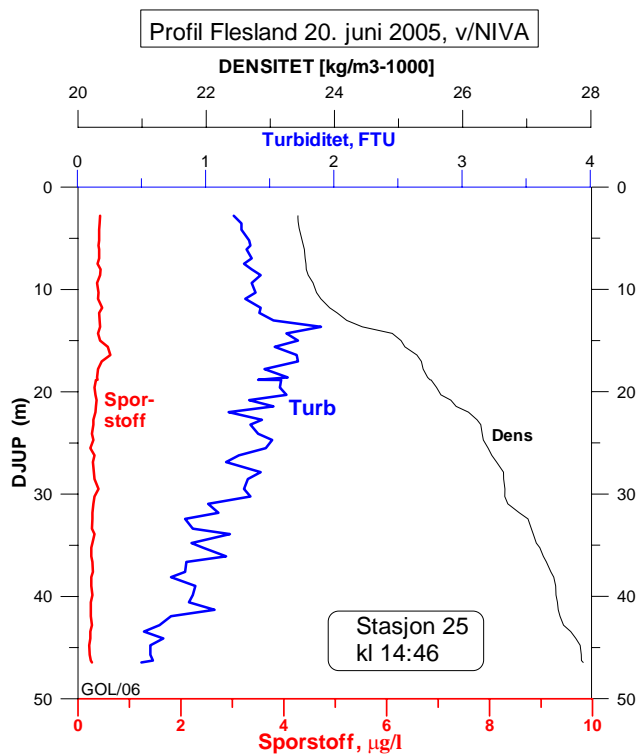
Målingane tyder på at avlaupsvatnet hadde ei nordleg utbreiing, sjølv om tidvatnet var fallande det meste av måleperioden. Alt utslepp såg ut til å bli innlagra djupare enn 10-12 meter.



Figur 35. Referanse-stasjon ved Flesland 20. juni, ca 1 km vest for utsleppspunktet.



Figur 36. Sporstoff og turbiditetsprofilar for stasjon 2, 10, 12 og 19 den 20. juni 2006 ved Flesland.



Figur 36, forts. Sporstoff og turbiditetsprofilar for stasjon 25 og 34 den 20. juni 2006 ved Flesland.

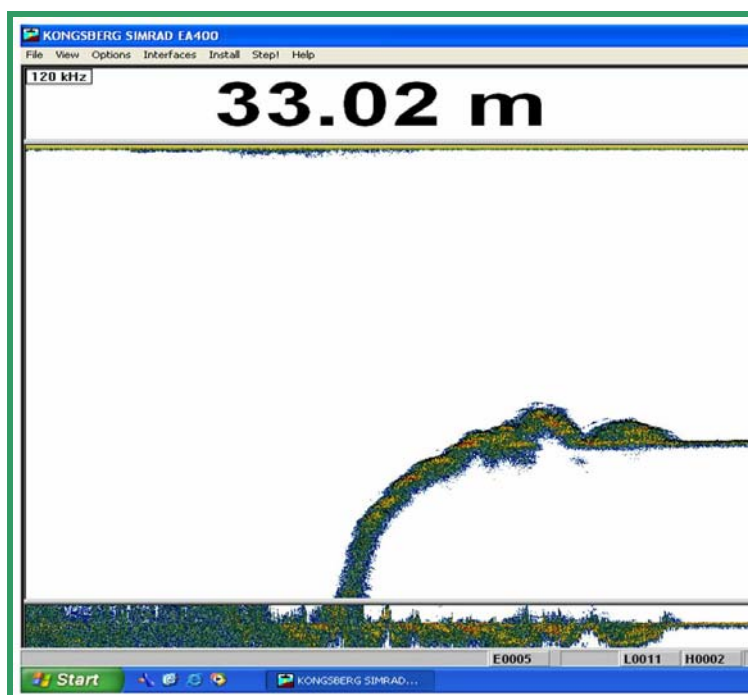
5.2 Kvernevik 12. august

Dei 41 stasjonane fordelte seg over området Kvernevika og 6-700 meter nordover forbi Morvik, med avstikkarar sørover ca 1 km i retning av Danmarksneset, samt nokre hundre meter vestover. Dei fleste stasjonane låg i nærleiken av utsleppet. I tillegg vart nokre stasjonar tekne innover mot munningen av Dalelva inst i Kvernevika. Djupnene frå der diffusoren ligg og innover, er stort sett grunnare enn 32-33 meter, slik at dette vart max djup for målingane i dette området. På stasjonane inst ved kaia var det 10-12 meter djupt.

Figur 37 syner eit ekkoloddsnitt der båten starta vestafor diffusoren og gjekk søraustover forbi denne og inn på det relativt flate ”plataet” der djupna er vel 30 m i ytre del og grunnest svakt innover mot vika.

Dei generelle hydrografiske tilhøva denne dagen er illustrert med stasjon 25 i **Figur 38**. Denne stasjonen 350 m nord for utsleppet var upåverka av sporstoffet, og hadde kun eit moderat utslag i turbiditet (max. rundt 15 m djup). Sjiktinga i densitet synte fleire lag, med eit tynt (1/2 m tjukt) øvst, så eit velblanda lag ned til 4 m djup, derfrå hadde profilet ein kurva/eksponentiell form ned til tilnærma konstante verdiar frå ca 30 m djup.

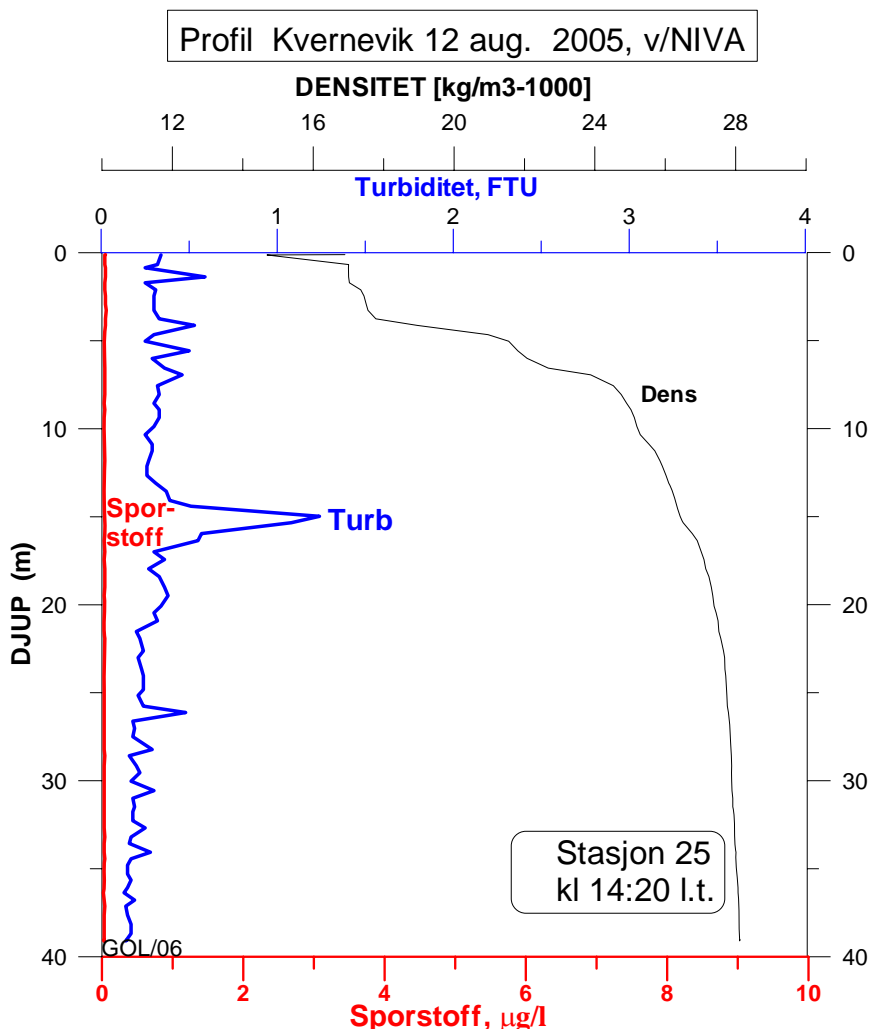
Salinitet og temperatur (illustrert av Stasjon 28 i **Figur 40** synte salinitet rundt 22-23 og temperatur rundt 14.5 °C i overflatelaget ned til 4 m djup. Sprangsjiktet låg frå 4 m og ned til 8-10 m djup. Meir om desse tre stasjonane i slutten av dette avsnittet.



Figur 37. Ekkolodd-snitt frå Kverneviken, frå kanten vestafor diffusoren og over ”knekken” inn på plataet (33 m djup) t.h. i biletet.

For sporstoff-profilar har vi valt ut data frå sju stasjonar, som synt i **Figur 39**. Stasjon 1 var frå området ved utsleppspunktet, tatt litt etter kl 10, d.v.s. ca 1 time etter at doseringa starta. Vassføring

rundt 100 l/s gjennom reinseanlegget denne formiddagen skulle tilsei at avlaupsvatnet nådde ut til diffusoren i god tid før vår første stasjon. Dette er også stadfesta av målingane, som synte eit markert maksimum (verdi ca 7.5) i sporstoff i 17-18 m djup, med utslag frå 12 m ned til 19 m djup. Dette maksimumet fall saman med eit maksimum i turbiditet. Eit svakare sporstoff-utslag fann vi rundt 14 m djup.



Figur 38. Stasjon 25, 350 m nord for utleppspunktet, ved Morvik. ”Referanse” for sporstoff.

Stasjon 4 var tatt 70 m sørvest for diffusoren. Utslaget der var om lag som for stasjon 1, d.v.s. tydeleg signal i sporstoff mellom 13 m og 19 m djup, med max. verdi på 7.5. Maksimum i turbiditets-utslaget låg eit par meter grunnare enn max. i sporstoff.

Stasjon 12 ble tatt ca 100 m nord for utleppspunktet (botndjupet var 43 m). Her var det knapt utslag i sporstoff, med unntak av eit lite signal i 13-14 m djup. Turbiditets-profilet synte også kun små utslag/avvik, med antydning til (sannsynleg) påverknad frå utleppet i sjiktet mellom 13 m og 25 m djup.

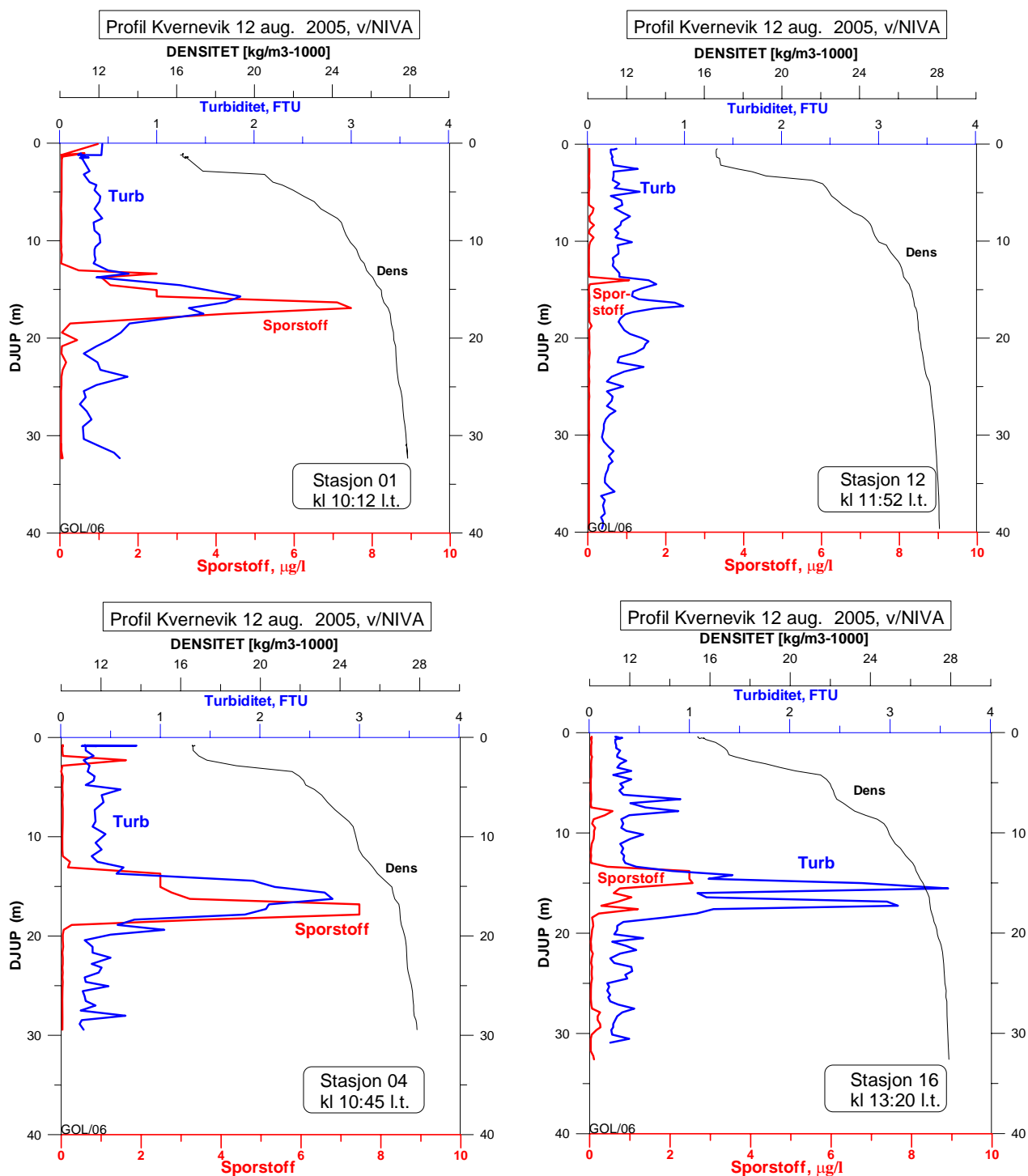
Stasjon 16 var tatt i utleppspunktet kl 13:20 lokal tid, d.v.s. 3.5 timar etter at doseringa stansa. Her var det eit tydeleg utslag i turbiditet med kraftigast utslag mellom 13 m og 18 m (to toppar), samt

mindre utslag mellom 7 og 9 meter (også tilsynelatende to toppar). Sporstoff hadde utslag (max. 2.5) mellom 13 m og 18 m, med svak antyding mellom 28 og 30 m.

Stasjon 17 er frå 70 m nordvest for utsleppet (33 m djup). Der var tydeleg utslag i sporstoff, med max. 8 i 16 m djup, og fordeling mellom 14 m og 19 m. Også her eit svakt sekundær-utslag rundt 28-29 meter. Turbiditet følgje mønsteret for sporstoff, med utslag i tilsvarande djup.

Stasjon 24 er frå 300 m sørvest for utsleppspunktet, i retning Danmarksneset. Der var eit signifikant utslag for sporstoff mellom 14 og 18 m (max. 3), elles tomt. Turbiditets-signalet falt eksakt saman med sporstoff-signalet på denne stasjonen.

Stasjon 38 var tatt kl 16 l.t. i posisjon rett over utsleppet (33 m botndjup). Det var fortsatt utslag i sporstoff, men kun svake signal, med to toppar h.h.v. rundt 16 m og 32 m djup, samt eit svakt/mulig utslag i 7-8 m djup. Alle tre maksima var assosiert med toppar i turbiditet.

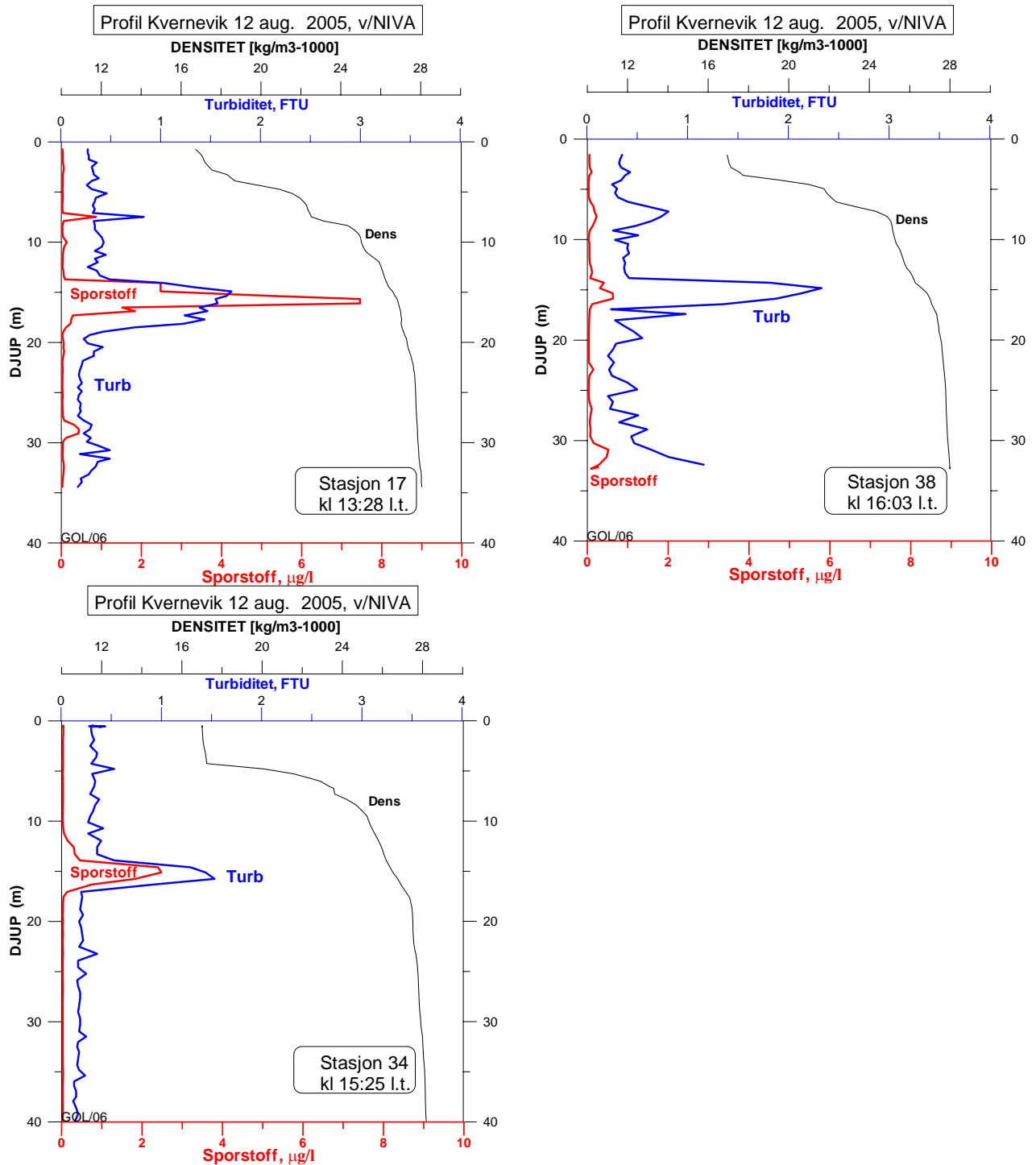


Figur 39. Målt sporstoff og turbiditet for stasjon 1, 4, 12 og 16 ved Kvernevik den 12. august.

Generell kommentar:

Tendensen syntes vere at signala rundt utsléppspunktet avtok med tida (som forventa), men at der fortsatt hang igjen sporstoff 6 timar eller meir etter avslutta dosering. Det er mogleg dette kan ha å gjere med at noko sporstoff kan ha blitt tatt opp i belegget på innsida av avlaupsrøret og blitt gradvis utvaska utover dagen, etter at doseringa stansa. Det er vanskeleg å gjere eksakt greie for denne effekten ut frå dei data/opplysningar vi har (dette vil kunne gjelde for alle tokta).

Ein anna tendens var at sporstoffet steig sakte oppover i sjøen etterkvar som skya blir transportert bort frå utsleppspunktet. Dette harmonerer for øvrig også med observasjonane i 2003-04 frå Holen og Ytre Sandviken.

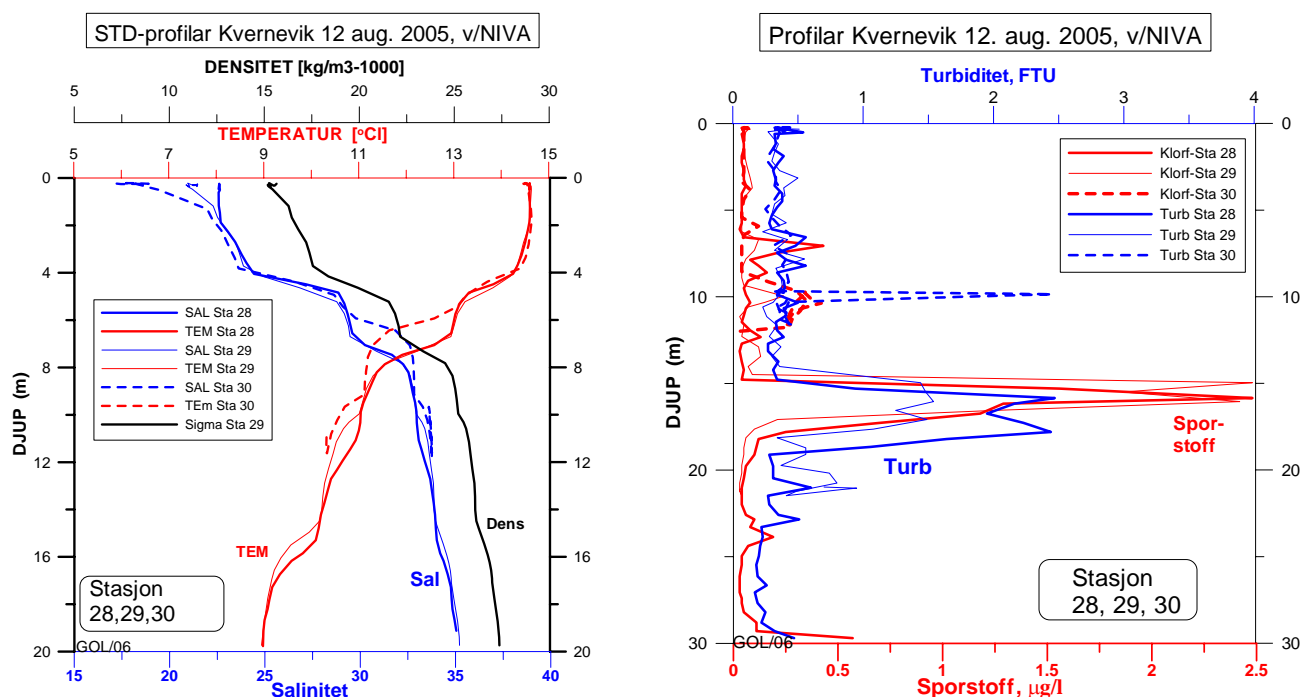


Figur 39 forts. Sporstoff og turbiditet, Stasjon 17, 24 og 38 ved Kvernevik den 12. august.

Figur 40 syner data frå stasjon 28, 29 og 30, tatt langs ei line frå utsleppspunktet og innover mot elvemunningen. Dei hydrografiske profilane (særleg salinitet) syner påverknaden frå elvevatnet, med eit tydeleg brakkvasslag mellom overflata og 2 m djup, med salinitet mellom 18 og 22 som kontrast til overflate-salinitet over 23 lenger ute. Temperaturen synte mindre gradientar horisontalt.

På desse stasjonane inn mot elvemunningen var det tydeleg sporstoff-utslag mellom 14 m og 18 m (max. 2.5) ved utleppspunktet og tilnærma like høg verdi i motsvarande djup på stasjon 29, halvvegs inn mot elva. Det var også eit sekundært maksimum mellom 7 og 9 m. Stasjon 30 inne ved kaia (max. djup 12 m) hadde utslag i sporstoff mellom 9 og 11 m djup, og hadde også eit utslag i turbiditet i same djup.

Dette tyder på at deler av utleppsvatnet strøymer inn mot elvemunningen, og at den grunnaste fraksjonen når inn til der det er større djupner enn 7-8m, d.v.s. forbi kaia på nordsida og nesten inn til brua. Elva i seg sjølv vil generere s.k. kompensasjonsstrøm retta innover, og dette kan vere forklaringa på den tilsynelatande transporten i retning elva.



Figur 40. Målingar den 12. august 2005 på stasjonane 28, 29 og 30 på som låg langs ei line frå utleppspunktet og innover mot munningen av Dalelva. Øvst: hydrografiske data; nedst: sporstoff og turbiditet.

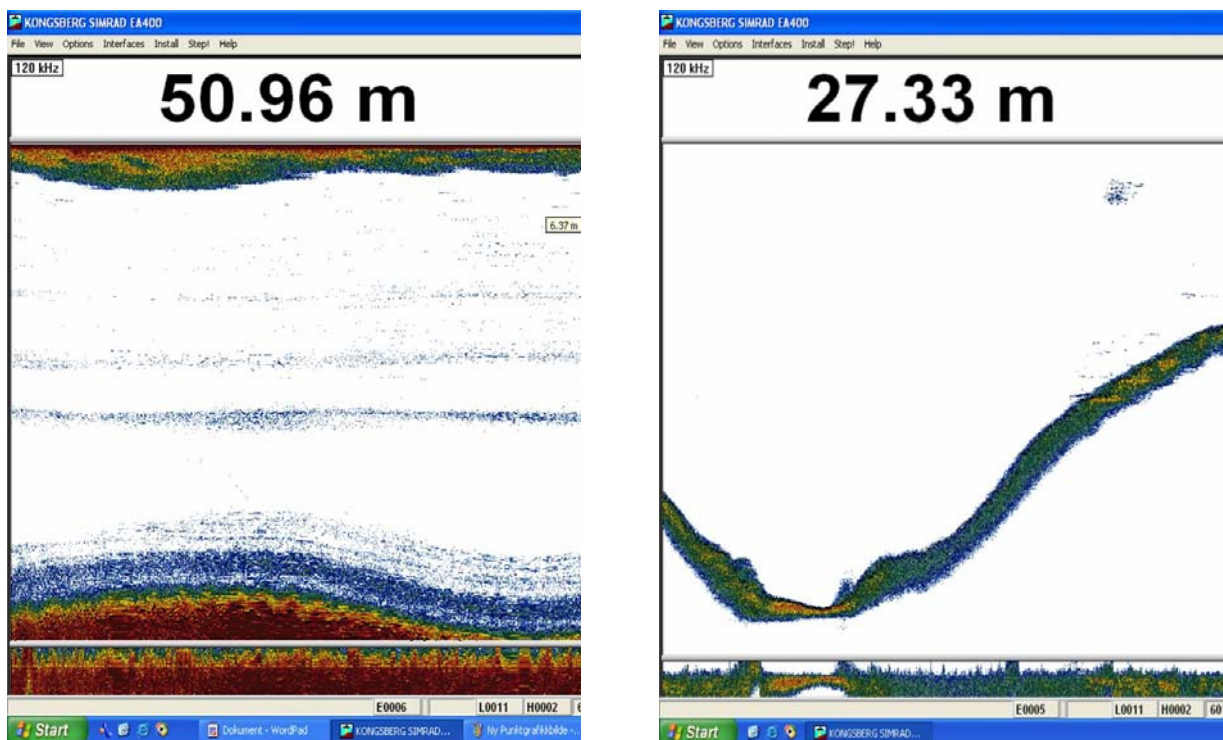
5.3 Flesland 16. august

Også denne dagen vart det tatt i alt 41 sporstoff-profilar, og i tillegg til dette blei det tatt ein djup STD-profil sør for Tyssøy, som referansestasjon for hydrografi. Sjø eige avsnitt bak i rapporten. Stasjonane dekkja eit område konsentrert i eit belte langs land frå 500 m sør for utleppet til 800 m nordafor. Sjø stasjonskart i vedlegg.

Dosering av sporstoff i reinseanlegget pågjeikk mellom kl 08:45 og 09:30 lokal tid. Første sporstoff-profil blei tatt kl 10 l.t. Vassføringa gjennom anlegget var liten denne dagen, frå stans i anlegget før oppstart dosering, til max ca 100 l/s utover dagen (**Tabell 7**).

Gjennom dagen blei det arkivert nokre kopiar av skjermbiletet frå ekkoloddet, og eit par døme på dette er synt i **Figur 41**. I biletet til venstre framtrer det tydelege sjikt av partiklar som må stamme frå utleppet. Tre eller fire sjikt med avstand 8-10 m framtrer oppe i vassøyla, kvart sjikt kan representere utlepp frå forskjellige diffusor-hol. Sannsynlegvis er det også partiklar som framtrer nær botnen.

Biletet til høgre i **Figur 41** er mindre tydeleg, men partiklar framtrer høgt oppe, i ca 10 m djup, samt små ”dottar” som kan representere ulike diffusor-hol.



Figur 41. To ekkolodd-snitt ved Flesland, 16. august 2005. Til venstre: Om lag rett over utsleppet. Til høgre: Snitt vestanfrå og inn mot utsleppet – 27 m djup i høgre kant av biletet.

Data frå første og andre sporstoff-profil ved utsleppspunktet litt etter klokka 10 er synt i

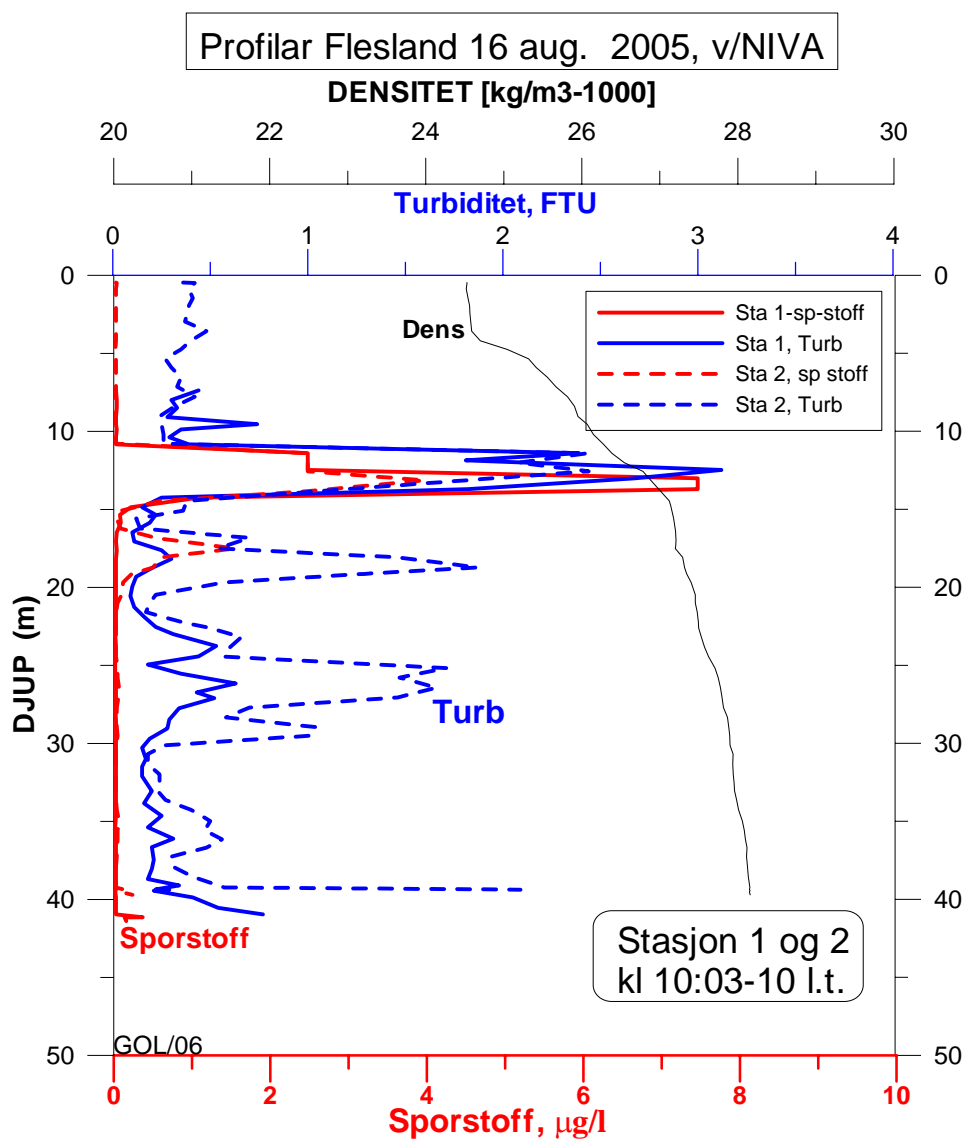
Figur 42. For sporstoff var det eit tydeleg utslag mellom 11 og 15 m djup på begge stasjonane, med max. verdi på 7.4 (stasjon 1). Stasjon 2 hadde også eit sekundært maksimum mellom 17-19 m. For turbiditet framtrer det i alle fall tre tydelege sjikt, frå 10-11 m og nedover til 30 m, og med innbyrdes avstand 7-8 meter. Denne innbyrdes avstanden høver godt med det som ekkoloddet synte.

Figur 43 syner profilar frå sju påfølgjande stasjonar, fordelt utover dagen. Desse representerer nokre av stasjonane der det var tydelege utslag på sporstoff; om lag 20% av stasjonane hadde ingen utslag.

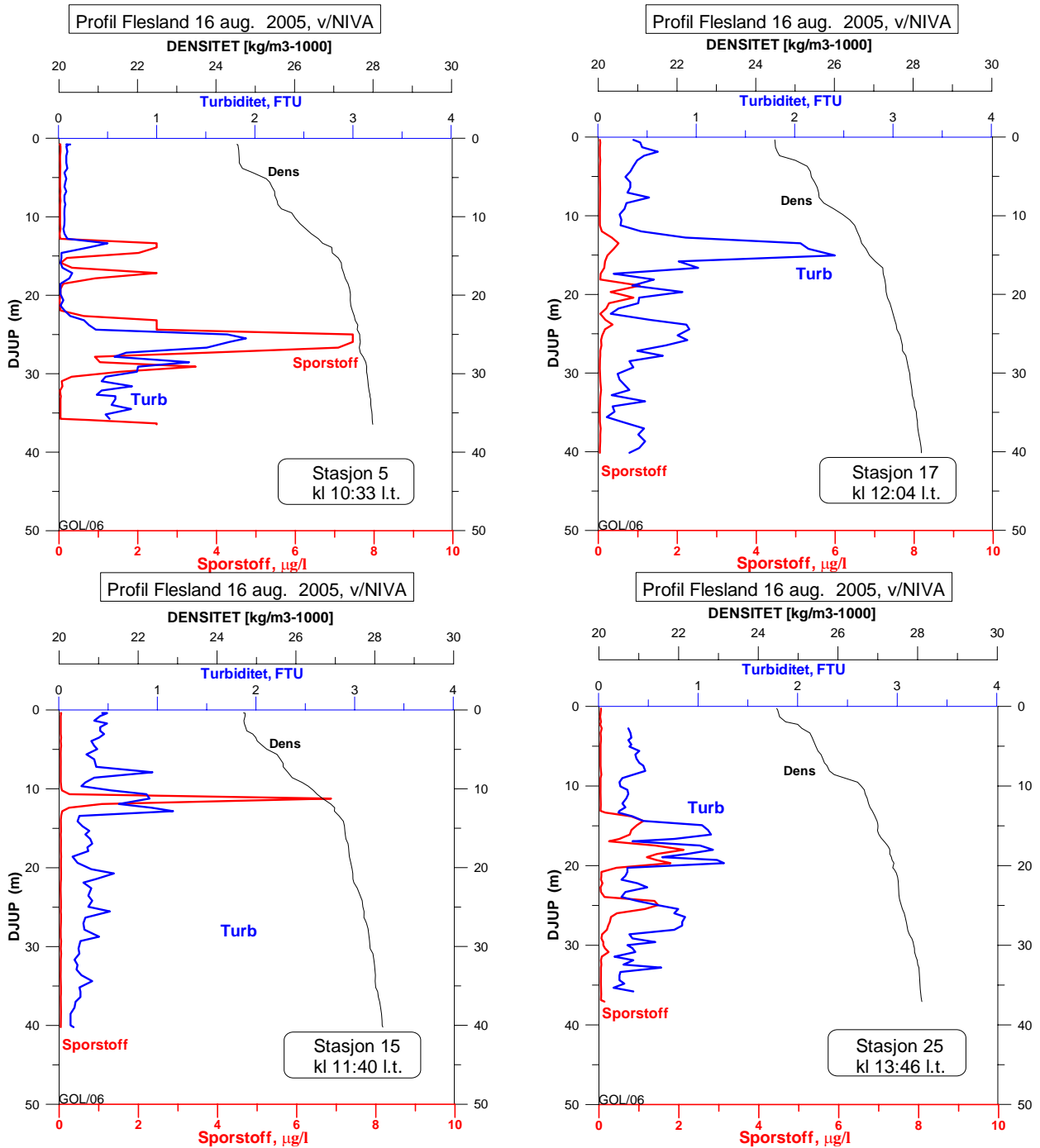
Stasjon 5 som er frå 150 m sør for utsleppspunktet, hadde to evt tre maksima, i h.h.v. 13-14 m, (17-18 m) og 22-30 m. Maksimalverdien var 7.5 i 25 m djup. Sporstoff hadde tydeleg utslag mellom 22 og 30 m (samanfallande med sporstoff), samt eit mindre utslag rundt 13-14 m.

Stasjon 15 (350 m nord for utsleppspunktet, klokka 14:40 l.t.) hadde kun eitt tynt, men karakteristisk utslag i sporstoff i 11-13 m djup med 6.7 i max. verdi. Dette fall saman med eit max. i turbiditet. Der var også eit sekundært turbiditets-maksimum i 8 m djup.

Stasjon 17, på utsleppspunktet, hadde to mindre utslag i sporstoff, i h.h.v. 13-14 m og i 18-24 m, med max. verdi på 1.0. Turbiditet hadde tydelegare utslag, fordelt på to evt tre sjikt frå 11 m og ned til 30 m, der dei to øvste fall saman med sporstoff.



Figur 42. Turbiditet - og sporstoff profiler for stasjon 1 og 2 den 16. august 2005, ved Flesland. (Auken i signal ved botnen skuldast støy.)



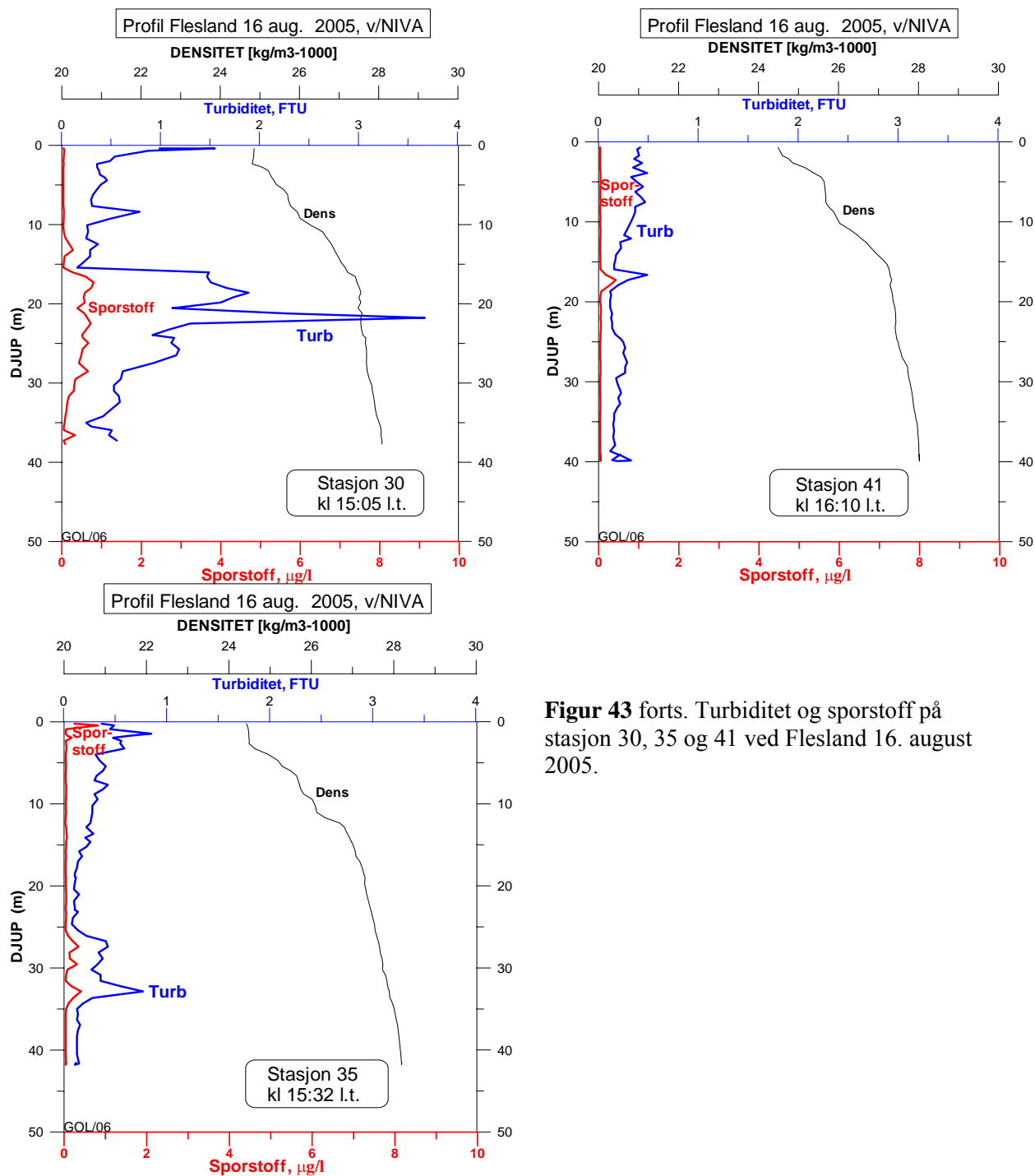
Figur 43. Turbiditet og sporstoff på stasjon 5, 15, 17 og 25 ved Flesland 16. august 2005.

Stasjon 25 (klokka 13:46 l.t.), også tatt på utsløppspunktet, hadde utslag i sporstoff i tre evt. fire sjikt, frå 13 m ned til 30 m djup, med max. verdi på 2.1 i 20 meter. Turbiditet følgde same mønster, med utslag i fleire sjikt frå 13-14 m ned til 30 m.

Stasjon 30, på utsløppspunktet igjen, hadde fordeling av sporstoff frå 13-14 m og ned til 32 m, med eit maksimum på 0.8 i 18 meter. Turbiditet hadde eit karakteristisk maksimum i 20-21 m djup, og med fleire sekundærtopper frå 8-9 m og ned til 35 m djup.

Stasjon 35 er frå 70 m nordvest for utsleppspunktet (60 m botndjup). Her var det kun små utslag i sporstoff, fordelt mellom 27 m og 33 m djup. Turbiditet hadde samanfallande utslag. Turbiditetsutslaget nær overflata har neppe med utsleppet å gjere. I og med at denne stasjonen låg på djupare vatn nær nedre ende av diffusoren, så representerer nok utslaga vatn frå det djupaste aktive diffusorholet, d.v.s. kanskje frå 40-45 m djup.

Stasjon 41 var siste stasjon denne dagen, tatt kl 16:10 lengst nord ved lykta på Saltvikneset, der ein rundar av innover mor Flesland kai som var base for om bord- og ilandstiging før/etter toktet. På denne stasjonen var det kun eit lite utslag (0.47) i sporstoff rundt 17 m djup. Dette fall saman med eit turbiditets-maksimum i ein profil som elles gjenspeglar lite partiklar i vass-søyla, m.a.o. lite påverknad frå utsleppet på denne avstanden.

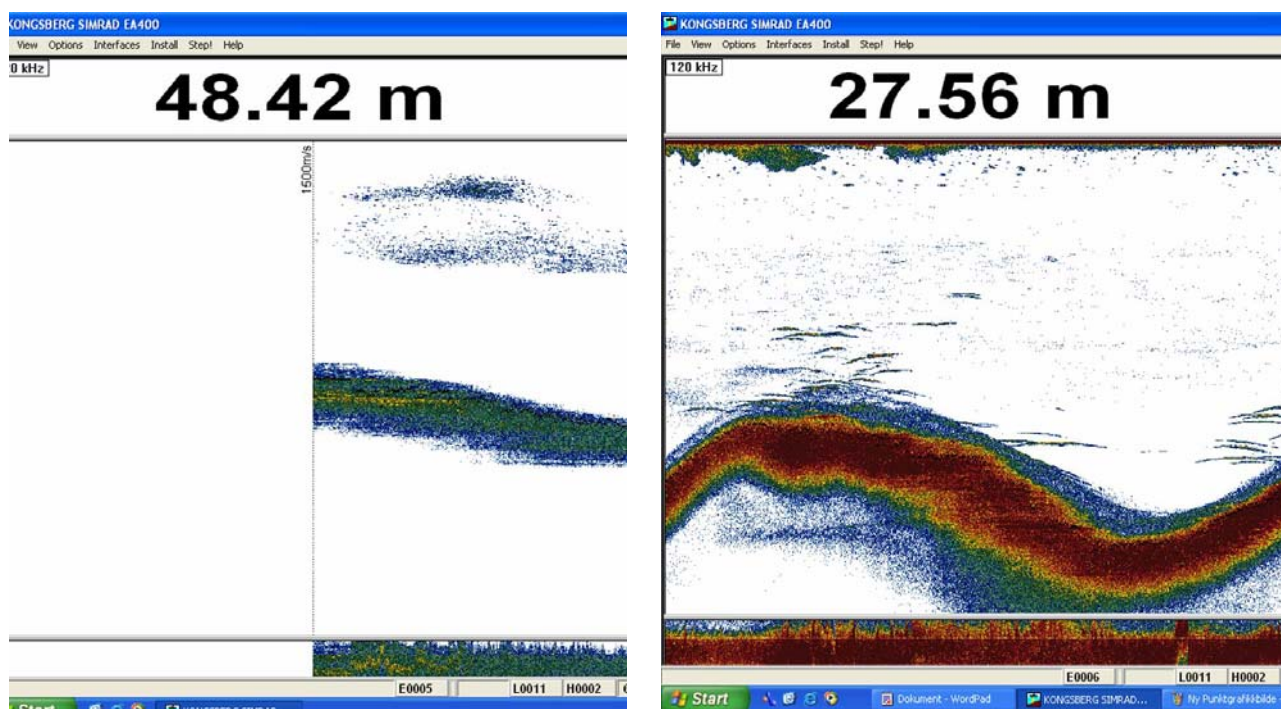


Figur 43 forts. Turbiditet og sporstoff på stasjon 30, 35 og 41 ved Flesland 16. august 2005.

5.4 Flesland 22. september

Denne dagen vart måleprogrammet hemma av sterk vind og bølger, men det blei likevel tatt 34 stasjonar. Vassføringa gjennom reinseanlegget var i underkant av 400 l/s, m.a.o. vesentleg større fluks enn på dei to føregåande tokta ved Flesland (20. juni, 16. august). Dosering pågjekk frå kl 08:45 til kl. 09:20.

I løpet av dagen registrerte vi partikkelskya hyppig på ekkoloddet. **Figur 44** syner to slike situasjonar. Til venstre to grunne sjikt med partiklar, det grunnaste med senter rundt 10 m djup, og det andre ved ca 20 m djup. Snittet til høgre vart tatt mens båten dreiv over utsleppspunktet, d.v.s. litt innafor diffusoren. Det framtrer mange forskjellige små skyer eller toppar relativt nær botnen. Dei kan representere turbulent avlaupsvatn frå dei inste diffusorhola som er på veg opp og enno ikkje er ”ferdigblanda” og innlagra.



Figur 44. Ekkoloddsnitt 22. september ved utsleppspunktet, Flesland.

Dei hydrografiske tilhøva i resipienten denne dagen er illustrert ved **Figur 45**, stasjon 1, 150 m nordvest for utsleppspunktet. Det blei målt til vel 50 m djup, m.a.o. litt djupare enn dei vanlege sporstoff-profilane som gjekk til 40-45 m djup. Det var framleis varmt (13.7 °C) i overflatelaget, som strakk seg ned til sprangsjiktet rundt 20 m djup. Merk det velblanda øvre laget, som nok skuldast den kraftige vinden denne dagen. Overflatesaliniteten låg rundt 31, aukande til ca 34.5 i 50 m djup (sonden viser noko for høg salinitet).

I **Figur 45** er også tatt med temperaturprofil frå stasjon 2 litt vestafors utsleppspunktet. Denne synte ei karakteristisk lagdeling under sprangsjiktet, med lokale maksima som kan stamme frå innlagra (oppvarma) utslippsvatn.

Utvalde resultat frå sporstoff-målingane er synt i **Figur 46**. Stasjon 1 og 2 var tatt litt nord og vest for utsleppspunktet, om lag ein time etter avslutta dosering. Sporstoff blei detektert på begge stasjonane, frå 20 m til 23 m djup, med max. verdi på 1.2 (stasjon 1). Ein kan merke seg at desse signala blei detektert like under eller i sprangsjiktet, noko som byggjer under den realistiske antakinga om at dette

er stoff frå utsleppet som har stege opp og innlagra seg. Turbiditet gav også (moderat) utslag i dette djupet, og i tillegg var det eit utslag rundt 6-7 m djup.

Stasjon 4 blei tatt på utsleppspunktet kl 10:58. Der var eit svakt utslag i sporstoff rundt 22-23 m djup, assosiert med eit maksimum i turbiditet (20-23 m). Turbiditet hadde også maksima i 30 m samt nær overflata (uvisst om sistnemnde har med utsleppet å gjere, kan for eksempel vere mikrobobler i sjøen som følgje av bølgeaktiviteten).

Stasjon 7 (kl 11:25) var tatt ca 700 m nordafor utsleppspunktet. Det var der tre tydelege utslag i sporstoff, i h.h.v. 23-24 m, 28-29 m og 35 m djup, med max. verdi på 0.85 (i 23 m). Også desse utslaga var avgrensa til intervallet under sprangsjiktet denne dagen. Turbiditeten gav lite utslag på denne stasjonen, med unntak av auka verdiar nær overflata, som neppe stammar frå utsleppet. Målingane stadfester at utsleppet raskt blei transportert nordover med ei fart minimum 8 cm/s - dette er ikkje urimeleg, sett i relasjon til strømmålingane som blei gjennomført seinare.

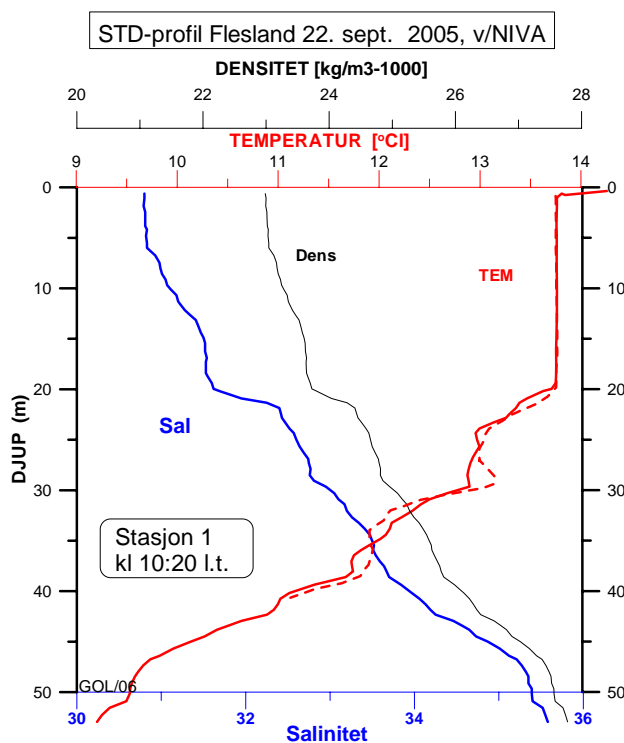
Stasjon 11 (kl 12:00) var i posisjon 400 m sør for utsleppspunktet. Også her var det eit lite utslag i sporstoff, rundt 18-19 m (max. verdi 0.21). Turbiditet hadde eit mindre utslag i 16-17 m, samt eit lite, men (muligens) signifikant utslag i 28 m djup.

Stasjon 17 (kl. 13:55) var tatt på utsleppspunktet. Det var her 2-3 tydelige maksima i sporstoff, fordelt mellom 21 m og 36 m djup. Max. verdien var 0.6, i 32 m djup. Turbiditet følgde same mønster.

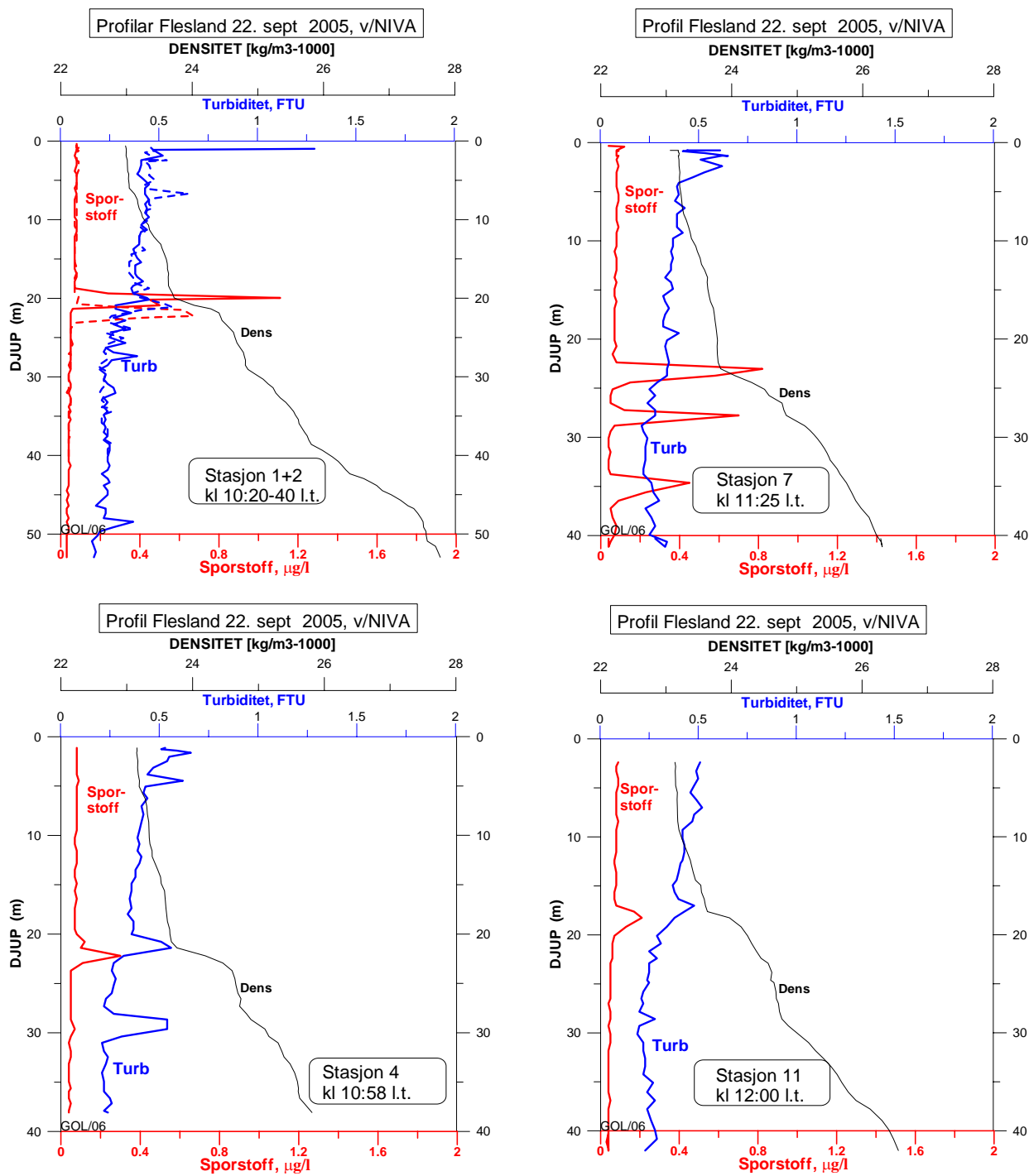
Stasjon 20 (kl. 14:15) 100 m sør for utsleppspunktet hadde to sporstoffmaksima, i 22-26 m (0.23) og i 33 m (0.33). Turbiditeten hadde tre maksima, i 15 m, 33 m (tydelegast) og 38 m.

Stasjon 27 på utsleppspunktet (kl. 15:17) hadde små utslag (0.25) i sporstoff i 26-27 m og i 33-37 m. Turbiditeten hadde utslag i 36-27 m, samt i 41 m djup (muligens ein botn-effekt).

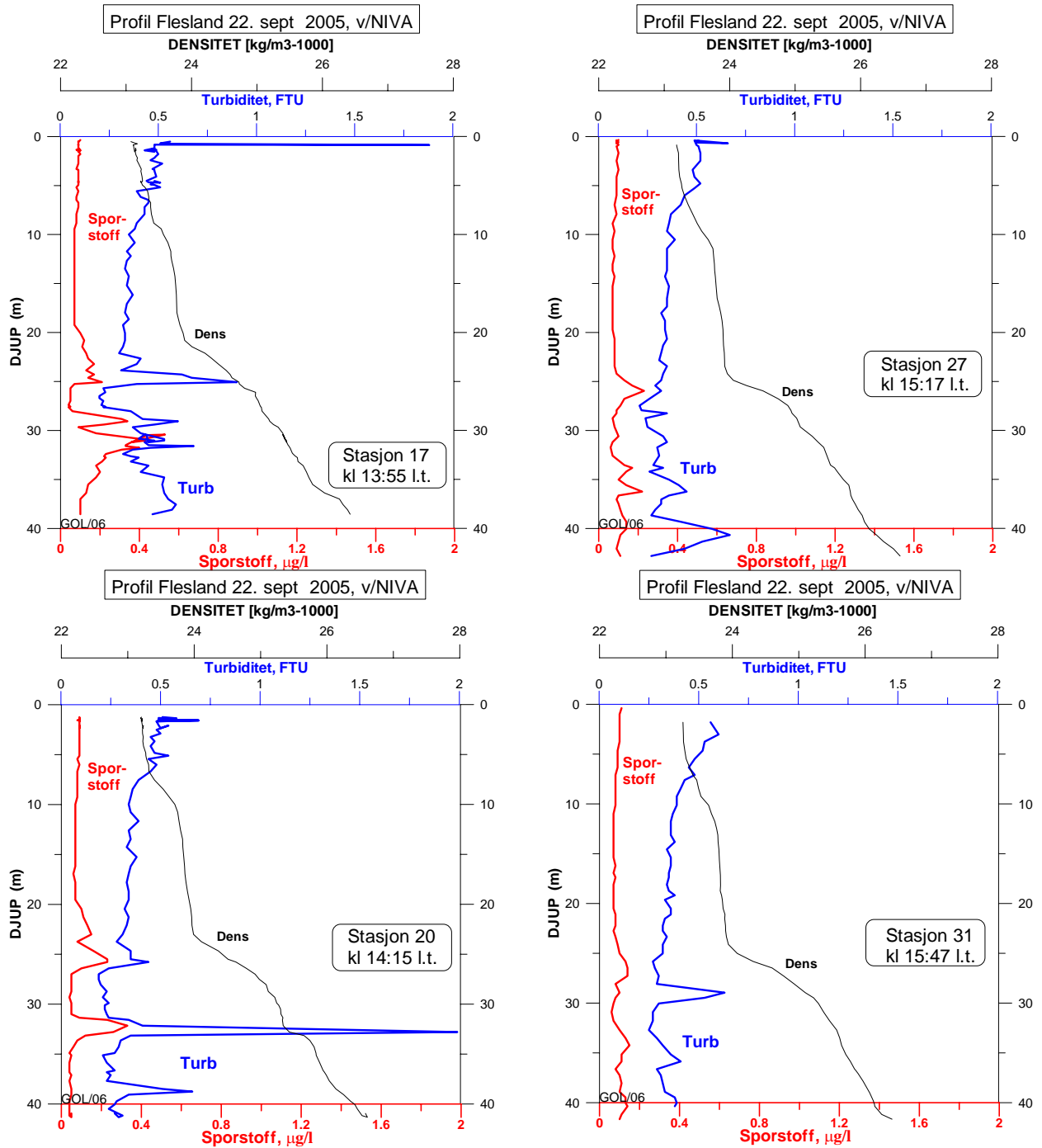
Stasjon 31 var siste stasjon i posisjon for utsleppspunktet, tatt kl. 15:47. To små (0.14) utslag i sporstoff, i 26-28 m og 33-37 m djup.



Figur 45. Hydrografisk profil for stasjon 1, 22. september 2005 ved Flesland. Den stipla temperaturkurva er frå stasjon 2.



Figur 46. Målt sporstoff og turbiditet, stasjon 1, 2 (stipla kurver), 4, 7 og 11 ved Flesland 22. september, 2005.



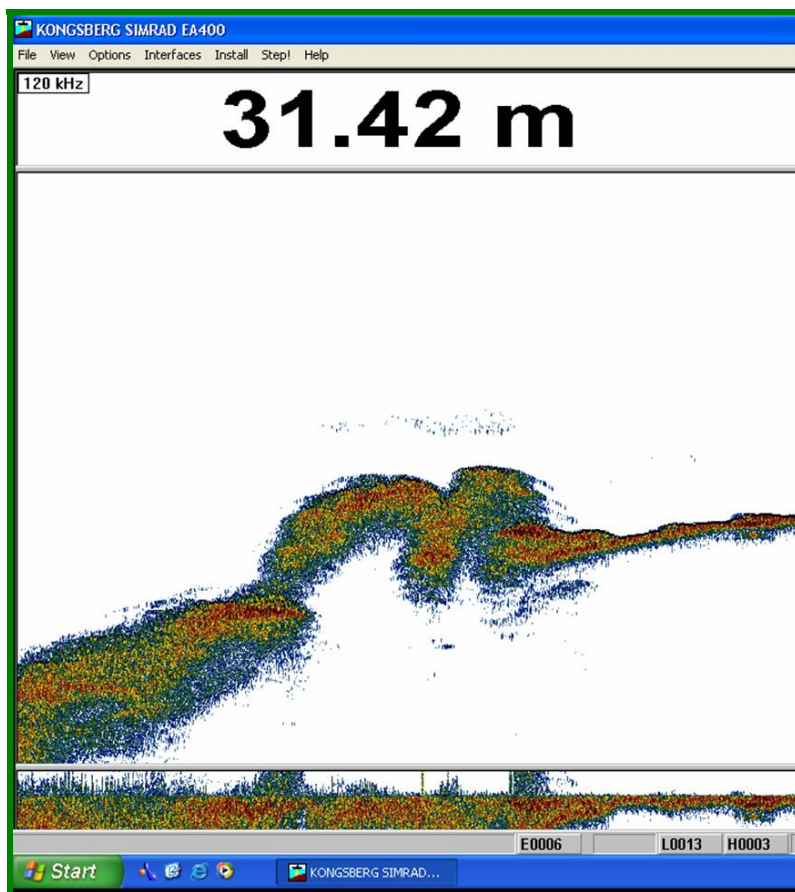
Figur 46 forts, for stasjon 17, 20, 27 og 31.

Alle profilane denne dagen bar preg av at sprangsjiktet på rundt 20 m djup fungerte som ein effektiv sperre for opptrenging av utleppsvatn. Det kan også merkast at dette sprangsjiktet flytta seg nedover gjennom dagen, frå ca 20 m djup på morgonen til ca 25 m djup på ettermiddagen. Utslaga var mest markert nordafor utleppspunktet. Det var fjøre sjø kl 08 denne morgonen, og det skulle tilsei nordgåande strøm ut over formiddagen. Det at det likevel vart observert sporstoff sønnafor utleppspunktet kan reflektere at ikkje berre strømmen styrer spreinga i nærsona, men at det ved større vassføring slik som tilfellet var denne dagen, vil trykkforskjeller bidra til å også å spreie skya/skyene motstrøms.

5.5 Kvernevik 23. september

Vêrtilhøva var gode denne dagen, med sol. D.v.s. det bles sydlig kuling ute i fjorden, men området ved Kvernevik nord for Danmarksneset låg i le. I alt 50 sporstoff-stasjonar blei tatt, og i tillegg blei det tatt 2 referansestasjonar med SBE-9 sonden, med vassprøver. Doseringa starta kl 09:20 med avslutting kl 10. Vassføringa gjennom anlegget var ca 180 l/s, d.v.s. nesten det doble i høve til fluksen ved målingane i august.

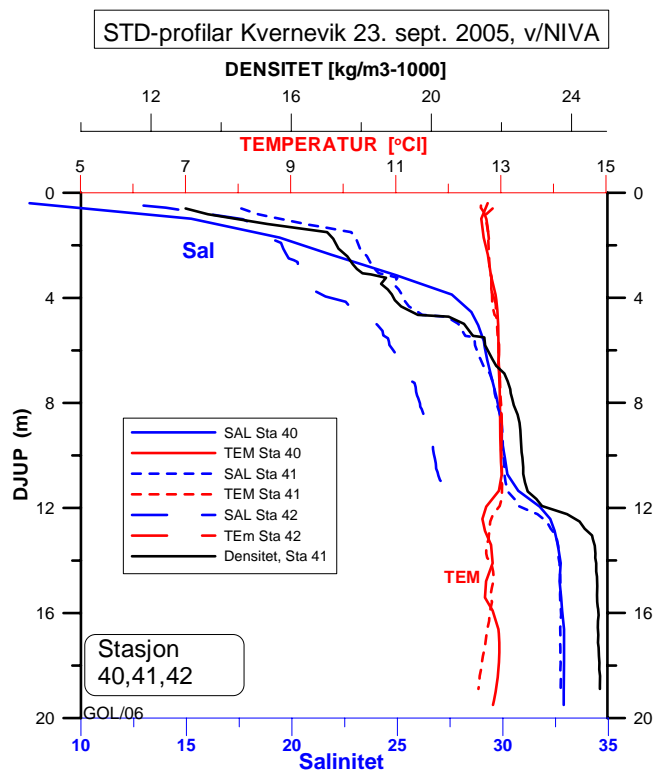
Eit ekkoloddsnitt mens båten låg over diffusoren er synt i **Figur 47**. Dei to toppane ved botn representerer sjølve diffusoren, mens skya over er spor av partiklar.



Figur 47. Ekkoloddsnitt over diffusoren i Kvernevik 23. september 2005.

Dei hydrografiske tilhøva i øvre lag er illustrert med **Figur 48**, der salinitet og temperatur for stasjon 40 (utleppspunktet), stasjon 41 (midtvegs inn til elva) og 4 (ved kaia inst ved munningen til Dalelva) er framstilt.

Det var ingen markert forskjell i temperatur mellom disse tre stasjonane, verdiane låg rundt 12.5-13 °C frå overflata til 20 m djup. På stasjon 40 var det små anomalier i temperatur mellom 12 og 16 m djup, som kan stamme frå utslippet. Saliniteten i øvste 1-2 m var faktisk lågare ute ved utsléppspunktet enn innover mot elvemunningen. Djupare nede var det imidlertid markert lågare salinitet inst ved elva. Eit djupare sprangsjikt fantes i 11-12 m djup.



Figur 48. Salinitet-og temperatur for stasjon 40-42, på line frå utsléppspunktet inn til elveosen. Stasjon 40: Utsléppspunktet, Stasjon 41: Midtvegs inn mot elvemunningen, Stasjon 42: Ved kaia, nær elvemunningen. Densitets-kuve (svart) for Stasjon 41 er også tatt med.

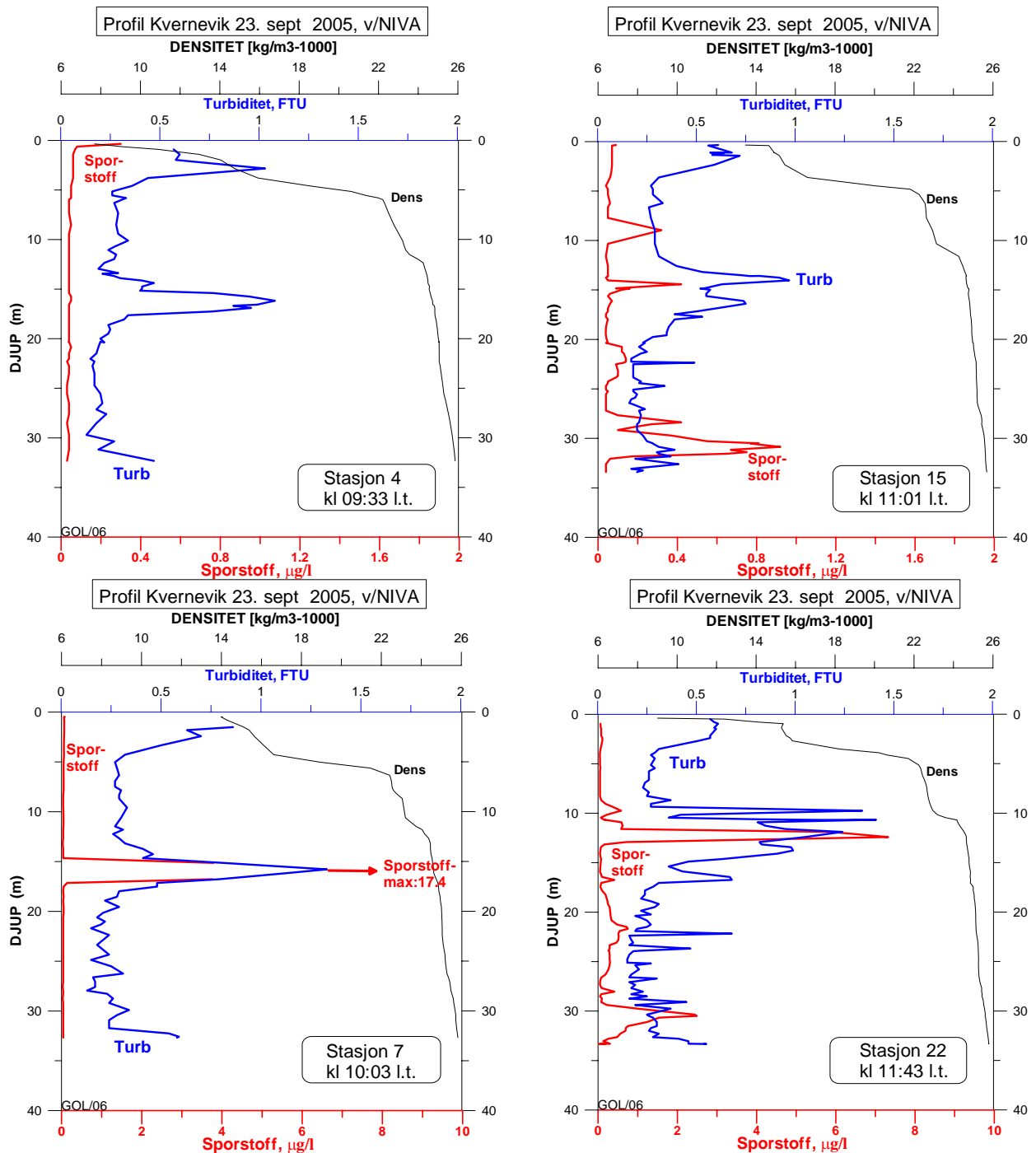
Stasjon 4 i **Figur 49** syner sporstoff og turbiditet på stasjon 4, på utsléppspunktet, ca 20 minutt etter oppstart dosering. Det var på dette tidspunktet ikkje sporbare mengder rhodamin i sjøen. Turbiditet synte to maksima, i 4-5 m djup, og i 16-19 m djup. Førstnemnde maksimum er neppe på grunn av utslippet, men representerer partiklar frå land m.m. som er blokkert frå utfelling på grunn av det øvre sprangsjiktet.

Stasjon 7 er også tatt på utsléppspunktet, kl 10:03. På dette tidspunktet hadde sporstoffet nådd ut i sjøen, og eit svært tydeleg maksimum kunne sporast i 15-17 m djup. Maksimumsverdien var 17.4, som var høgste måling denne dagen og mellom det høgste som blei målt i heile prosjektet. Maksimumet var assosiert med maksimum i turbiditet. Eit sekundært maksimum i turbiditet framstod nær botn på denne og mange andre stasjonar. Desse utslaga kan i alle fall ved fleire høve vere falske, generert når sonden har gått i botn.

Stasjon 15 frå kl 11 er også frå utsléppspunktet. Målingane nå synte fire maksima i sporstoff frå 9-10 m og ned til 30-33 m djup, med høgste verdi på 1.0 i 32 m djup. Høgste verdi i turbiditet var i 14-15 m djup.

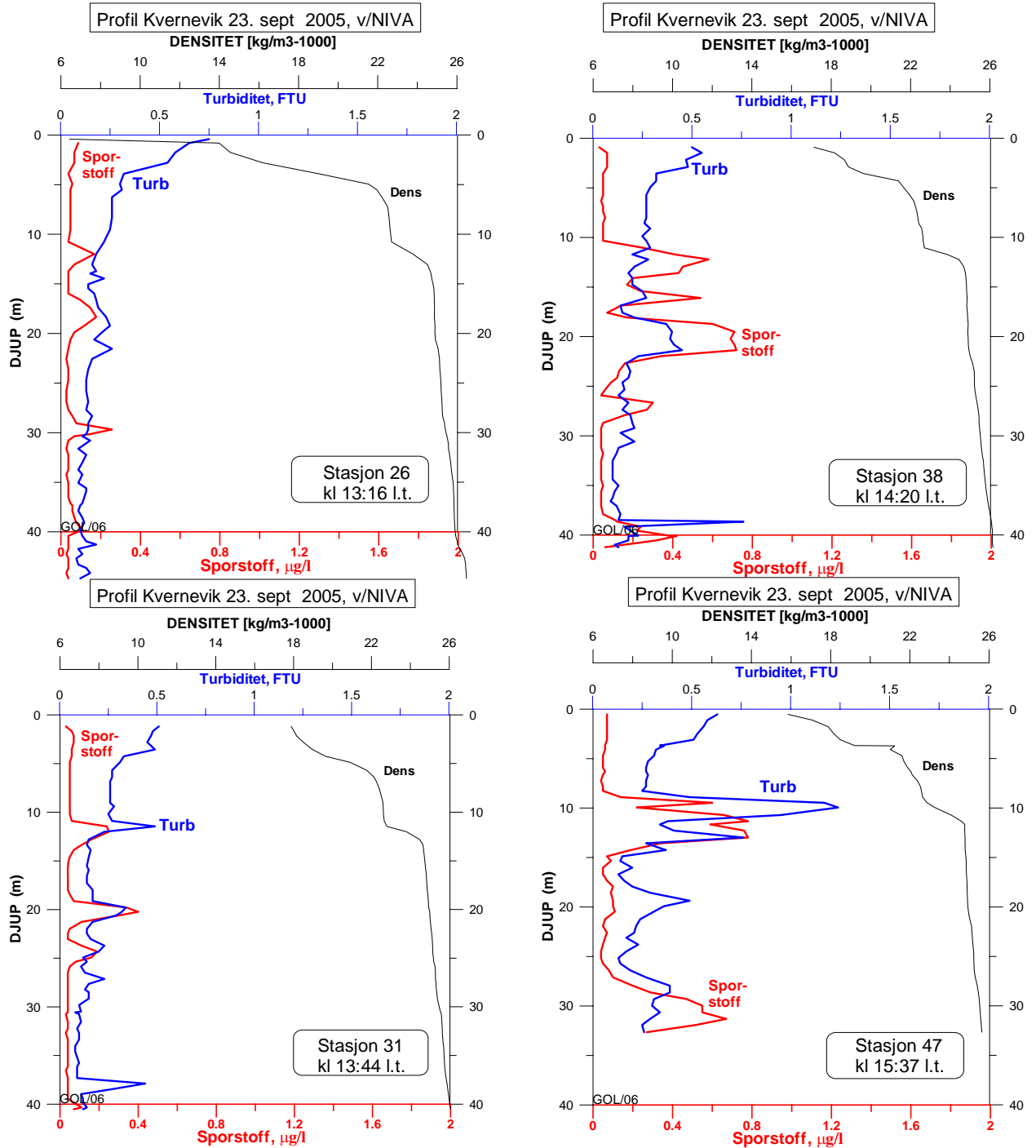
Stasjon 22 er som føregående stasjonar, også frå utseppspunktet, kl 10:43, ein knapp time etter avslutta dosering. Her var høgste sporstoff-verdi (7.3) i 12 m djup, med sekundære maksima i 10 m, 22-23 m og 30-33 m djup. Turbiditet hadde tydeleg utslag og maksimum rundt 10 m djup, gradvis avtakande ned til (bakgrunn) på ca 20 m djup.

Stasjon 26 er frå posisjon 280 m nordnordvest for utseppspunktet, tatt kl. 13:16. Botndjupet var 98 m. Også her var det utslag for sporstoff, med tre maksima fordelt mellom 10 m og 30 m djup. Høgste verdi var 0.26 (30 m djup). Turbiditet hadde kun små utslag.



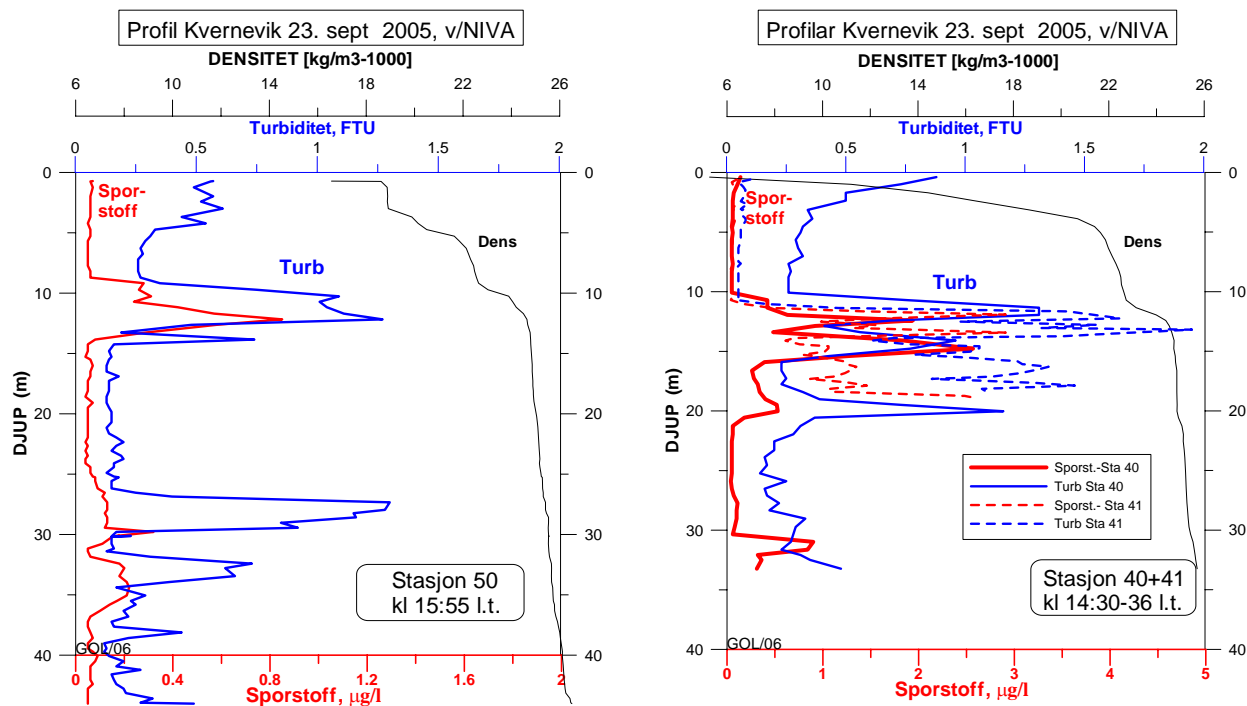
Figur 49. Målt sporstoff og turbiditet for stasjon 4, 7, 15 og 22 den 23. september i Kvernevik.

Stasjon 31 er frå posisjon 250 m sørvest for utsleppspunktet, tatt kl 13:44, på 160 m djup. Her var det tre maksima i sporstoff, øvste i 12 m og nedste i 25 m djup, med maksima på 0.4 i 20 m. Høgste verdi for turbiditet (sett bort frå overflate/botn) var i 12 m djup, samanfallande med max. i sporstoff.



Figur 49. forts. Sporstoff og turbiditet for stasjon 26, 31, 38 og 47 den 23. september i Kvernevik.

Stasjon 38 er tatt mellom stasjon 31 og det sørlege neset i Kvernevik, ca 150 m sørvest for utsleppspunktet. Her var det tydelegare utslag i sporstoff enn på føregåande stasjon (p.g.a. nærare avstand til utsleppspunktet sannsynlegvis). Botndjupet var 70 m. Det var i alle fall tre separate maksima i sporstoff, med 0.7 i 20 m som høgste verdi. Det var også teikn på eit utslag i 38-40 m djup, både for turbiditet og sporstoff, som sannsynlegvis stammar frå utsleppet (ikkje botneffekt på denne djupe stasjonen).



Figur 50. Målt sporstoff og turbiditet for stasjon 50, samt stasjon 40-41 i retning elvemunningen.

Stasjon 47 (siste ramme i **Figur 49** var frå utsleppspunktet, kl. 15:37. Utslag i sporstoff hang igjen, med tydeleg utslag i 10-15 m, samt frå 27 til 32 m djup. Høgste verdi var 0.8, i 11-13. Største utslag i turbiditet var i 10 m djup.

Figur 50 inneheld siste sporstoff-profil, stasjon 50, tatt kl 15:55 nær ytre ende av diffusoren (42 m djup). Framleis kunne ein spore eit maksimum i sporstoff på 11-12 m djup (verdi på 2.5 i 11 m). Med sekundære maksima i 27-30 m og 32-36 m djup. Turbiditet hadde fire-fem separate maksima, det øvste i 9-13 m djup.

Det var tydelege utslag i sporstoff på dei fleste av målestasjonane denne dagen. Sprangsjiktet, d.v.s. det nedre som er mest relevant for problemstillinga, låg rundt 10-12 m djup, og såg ut til å fungere som effektiv sperre for vidare oppstiging av avlaupsvatn. D.v.s. at maksima i turbiditet og sporstoff hyppig blei detektert i eller like under dette sjiktet, mens det ikkje vart detektert sporstoff i grunnare sjikt ved noko høve. Dette harmonerer med tidlegare funn. Nedre grense for påverknad kan ligge djupare enn 40 m, ref. t.d. målingane på stasjon 31 og 38 som gav utslag ned til 40-42 m i alle fall (så djupt som det blei målt). Mange av stasjonane blei tatt inne på plataet ved/innafor diffusoren, der botndjupet ligg litt over 30 m.

5.6 Kvernevik 22. november

Stille ver denne dagen. første stasjon tatt kl. 08:47 ved utsleppspunktet. Dosering pågjekk mellom kl. 08:45 og 09:20. Vassføringa gjennom anlegget var rapportert til 214 l/s, m.a.o. litt over fluksen 23. september og det doble av fluksen 12. august.

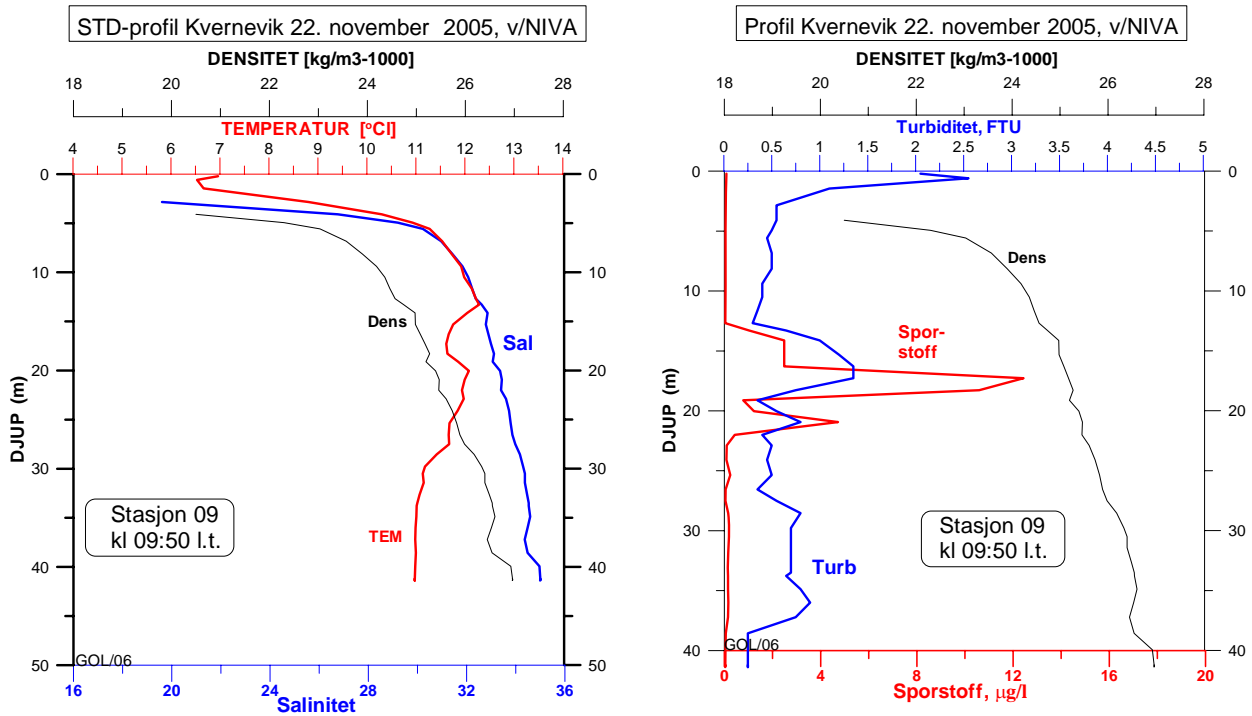
Gode tilhøve og rasjonelt måleopplegg gjorde det mogleg å ta heile 72 stasjonar denne dagen, fram til avslutting kl 18 (litt lenger dag enn vanleg). I tillegg blei det satt ut ein strømmålar ved diffusoren, sjå eige kapittel om strømmålingane.

Stasjonsplasseringa blei som vanleg variert, med fokus på retning nordover langs land, og i sørvestleg retning mot Danmarksneset, d.v.s. i dei to antatte hovedstrømsretningane. I tillegg blei det tatt nokre ekstra snitt i meir vestleg retning, for å sjå kor langt ut utsleppet kunne sporast den vegen. Og som vanleg vart det tekne profilar på utsleppspunktet med jamne mellomrom, samt ved to høve profilar inn mot elvemunningen.

Dei hydrografiske tilhøva var karakterisert av eit 1-2 m tjukt, kaldt ($< 7^{\circ}\text{C}$) overflatelag med salinitet på under 10. Salinitet og temperatur auka så gradvis, tilnærma lineært ned til ca 4 m djup, deretter auka verdiane for salinitet berre moderat til ca 34 i 40 m djup. Temperaturen hadde eit maksimum på 12.5°C i 12 m djup og fall så med djupet til 11°C i 40 m. Inne ved elvemunningen (ved kaia) var det sterkare ferskvassinnslag med salinitet under 5 i øvste 1-2 m, aukande til 26 i 4 m djup, og vidare til 32 i 15 m djup. temperaturen følgde i store trekk salinitetskurva her, med gradvis aukande verdier frå $6-7^{\circ}\text{C}$ i øvste 1-2 m til 12.5°C i 15 m.

Første stasjon blei tatt 08:47 over utsleppspunktet. Intet sporstoff detektert då. Men på neste profil på same stad kl 09:02 var det utslag på 0.7 i sporstoff i 24-36 m djup (max. i 30 m). Det blei så gått eit snitt i V-NW retning, dels for å kartlegge bakgrunnstilhøva. På dei tre neste stasjonane vestover til 600 m frå utsleppspunktet vart dei ikkje gjort funn av sporstoff.

Tilbake til utsleppspunktet kl 09:50 blei det gjort tydelege funn av sporstoff i 17 – 22 m djup, med max. verdi på 1.2 i 18 m. Neste to stasjonar var i retning inn mot elvemunningen. På stasjonen midtvegs inn vart det registrert ein verdi på 0.25 i 16 m djup. På den innarste stasjonen ved kaia var det ikkje utslag.



Figur 51. Til venstre: STD-profilar for stasjon 09 ved utsløppspunktet i Kvernevik 22. november 2005. Til høgre: Turbiditet og sporstoff for same stasjon.

Dei neste 7 stasjonane var tatt nordover langs land, forbi Morvik og Steinsneset, utan at det vart detektert stoff. Tilbake til utslippet kl 11:40 var det tydeleg utslag med 2.5 i sporstoff i 18 m djup, og stoff fordelt mellom 15-22 m og 26-30 m djup.

Neste snitt gjekk mot sørvest til stasjon nr 36, 750 m frå utsløppspunktet. Signalet avtok gradvis sørover, men det var eit lite utslag på 0.1 i 33 m djup på stasjon 34, og (muligens) eit lite utslag på sørlegaste stasjon, også i 33 m djup.

Tilbake til utsløppspunktet kl 14:46. Max. verdien då var 0.4 i 29 m djup, med stoff fordelt mellom 12 og 33 m djup.

Deretter blei det tatt fem stasjonar i retning V-NW. Det blei detektert eit tydeleg signal på 2.1 rundt 17 m djup på to stasjonar i avstand 300-350 m frå utsløppspunktet. Stasjonen i 420 m avstand hadde null utslag.

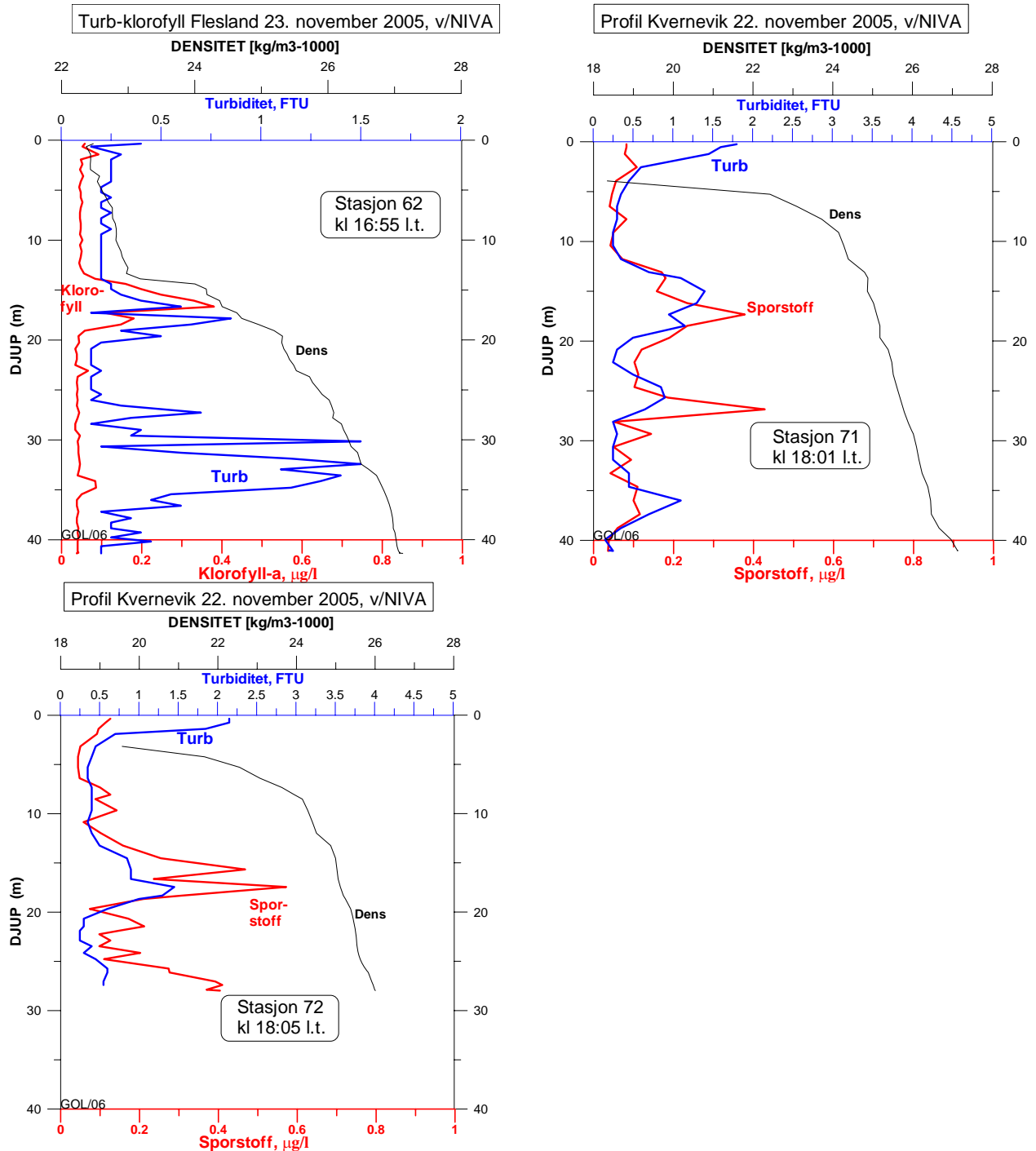
Stasjon 44 kl 15:05 var igjen på utsløppspunktet. Max verdien der var 0.5, i 27 m djup, med stoff fordelt i 3 toppar frå 14 til 36 m djup.

Så blei det tatt 9 stasjonar langs eit snitt i retning mot NW. Dei fem første stasjonane hadde utslag, med høgste verdiar i intervallet 16-27 m djup. Max verdiane avtok med aukande avstand frå utslippet, ned mot 0.15 i 18 m djup på stasjon 49, 420 m NW for utsløppspunktet. Lenger nord forsvann signalet. Stasjon 55, kl. 16:42, var igjen på utsløppspunktet, med max verdi på 0.4 i 30 m djup, og mindre utslag i intervallet mellom 12 m og 35 m djup.

Nytt snitt blei så gått i retning mot NW til lengste avstand på ca 1.200 m frå utslippet. Høgste verdi på 0.7 var detektert på stasjon 58, 210 m nordafor utsløppspunktet. Deretter fall signala gradvis til knapt detekterbart på stasjon 62, i ca 800 m avstand, og null på den nordlegaste stasjonen.

Stasjon 64 vart tatt 300 m SW for utslippet, og der var utslag på ca 0.4 i 20 m djup, med varierende utslag mellom 16-36 m djup.

Det fire neste stasjonane låg i ein halvsirkel rundt utslippet, i avstand ca 60 m. Her låg dei høgste utslaga på 0.25 – 0.4, i 21-28 m djup, med mindre utslag frå 14-22 m djup.



Figur 52. Sporstoff og turbiditet for stasjon 62, 71 og 72 i Kvernevik 22. november 2005.

Stasjon nr 71 kl. 18:00 var tilbake på utsleppspunktet. De var framleis utslag, med lokale maksima i 3-4 ulike djup, frå 12-38 m. Høgste verdi var 0.42 i 27 m djup.

Siste stasjon var i retning in mot elveosen (som stasjon nr 10). Her var det nå utslag på 0.6 i 18 m djup, og elles tydelege utslag i sjikt mellom 7-10 m, 14-19 m, og nærare botnen på 26 m djup.

Sporstoffet var persistent ved utsleppspunktet, med deteksjon der heile dagen. Dette kan, som tidlegare nemnt, skuldast at sporstoff har blitt absorbert av belegg i utløpsrøyret under doseringa, og så blitt vaska ut gradvis utover dagen. Sekundært kan det skuldast stagnerande vatn i området, men dette er mindre sannsynleg, ut frå strømkorsobservasjonane og dei seinare strømmålingane. Tydelege signal blei detektert 3-400 m i vestleg retning, og i 600-800 m retning mot SW og nord. Stoff vart også detektert inn mot elvemunningen.

Fugl:

Det blei registrert 8-10 fugl (måsar) over utsleppspunktet, meir enn ved tidlegare høve, men mindre enn t.d. typisk for utsleppet ved Holen.

5.7 Flesland 23. november

Det var bra vêrtilhøve denne dagen, med lite vind. Dosering foregjeikk frå 08:50 til 09:30. Vassføringa gjennom anlegget var stor, opp i 860 l/s rapportert undervegs i doseringa.

Det blei tatt i alt 67 sporstoff-stasjonar denne dagen, mange fordelt rundt usleppet, men nokre ekstra snitt i ulike retningar frå utsleppspunktet.

I tillegg blei det tatt STD + O2 profil sør for Tyssøy (sjå omtale i seinare avsnitt).

Dei hydrografiske tilhøva var i store trekk som i Kvernevik den dagen før for temperatur, med eit maksimum på 12.5 °C i ca 20 m djup, men med litt høgare overflatetemperatur (8.5 °C). Saliniteten synte mindre lagdeling enn i Kvernevik, med verdiar rundt 27 i overflata og 34 ved 40 m djup. Einaste antydning til sprangsjikt i byrjinga av dagen var i intervallet 12-15 m djup, dette blei meir markert mot slutten av dagen (mellom 13-14 m).

Første stasjon blei tatt kl 08:23, d.v.s. før dosering, på utsleppspunktet, og som forventa, var der ingen utslag. Første stasjon med utslag var nr 7, kl 09:15, i utsleppspunktet. Max. verdien var 4.8, i 36 m djup, med signal over eit sjikt mellom 30-39 m.

Dei to neste stasjonane blei tatt i h.h.v. 70 og 150 m avstand vestover, med signal på 0.12 (35 m) på den første, og intet utslag på den neste. Stasjon 10 (kl. 09:29) på utsleppspunktet hadde utslag heilt opp i 8 i 38 m, med signal fordelt frå 32-40 m. 70 m nord for punktet var utslaget på 2.5, i 35 m djup, og 150 m nordafor, kl. 09:43, var det ikkje utslag. På utsleppspunktet kl 09:48, var det kun eit mindre utslag (< 0.1) mellom 32-40 m djup, mens dei to påfølgjande stasjonane i 70 og 140 m avtand nordover hadde h.h.v. 1.6 og 2.1 i sporstoffverdi rundt 34-35 m djup (relativt tynt, markert sjikt).

Stasjon nr 17 (kl. 10:89 var i utsleppspunktet. Sporstoff detektert i 17-21 m djup, med max. 1.2 i 20 m. Der var to separate maksima i turbiditet; i 18-22 m og i 34-40 m.

100 m vest for utsleppet (Sta 19) var det eit tynt sjikt med utslag på 0.4 sentrert rundt 37 m djup. Deretter blei det tatt fem stasjonar i V-SW for punktet i avstand 100-350 m, utan å påvise sporstoff.

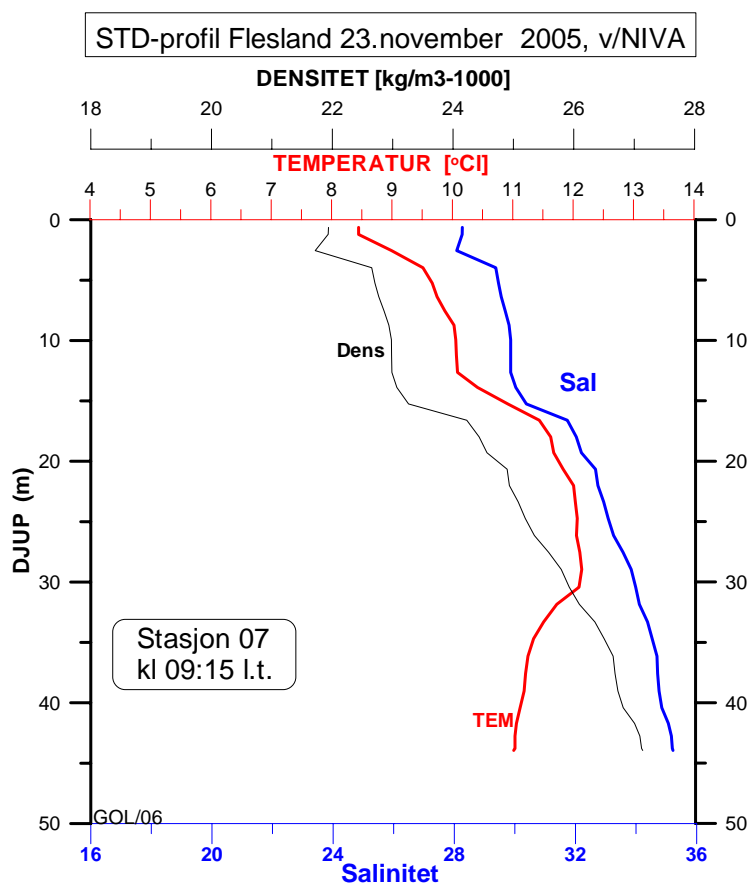
Stasjon 25, 90 m V-SW for punktet kl. 11:09, hadde eit svakt (rundt 0.09) utslag i 20 og 36 m (to tynne sjikt).

Stasjon 26 på utsleppspunktet kl. 11:13 hadde igjen tydeleg utslag, med max. på 2.3 i 20 m djup, sentrert i eit sjikt mellom 17-22 m djup.

50 m nord for utsleppet (sta 29) synt 1.6 i max. verdi i 20 m, med to mindre toppar i h.h.v. 23-26 m og 29-30 m djup.

Deretter ble det tatt fem stasjonar i V-NW i avstand 100-250 m frå utsleppspunktet. Fire av desse gav utslag mellom 0.11 og 1.3, fordelt mellom 20 og 36 m djup (ein, evt. to toppar pr stasjon.)

Stasjon 33 kl. 12:55 var tilbake på utsleppspunktet. Høgste verdi var 0.4, i 18 m, med signal fordelt mellom 16-21 m djup. Dette var assosiert med maksimum i turbiditet, og det var også eit djupare turbiditetsmaksimum (32-38 m) utan sporstoff-signal.



Figur 53. STD-profil ved Flesland 23. november 2005.

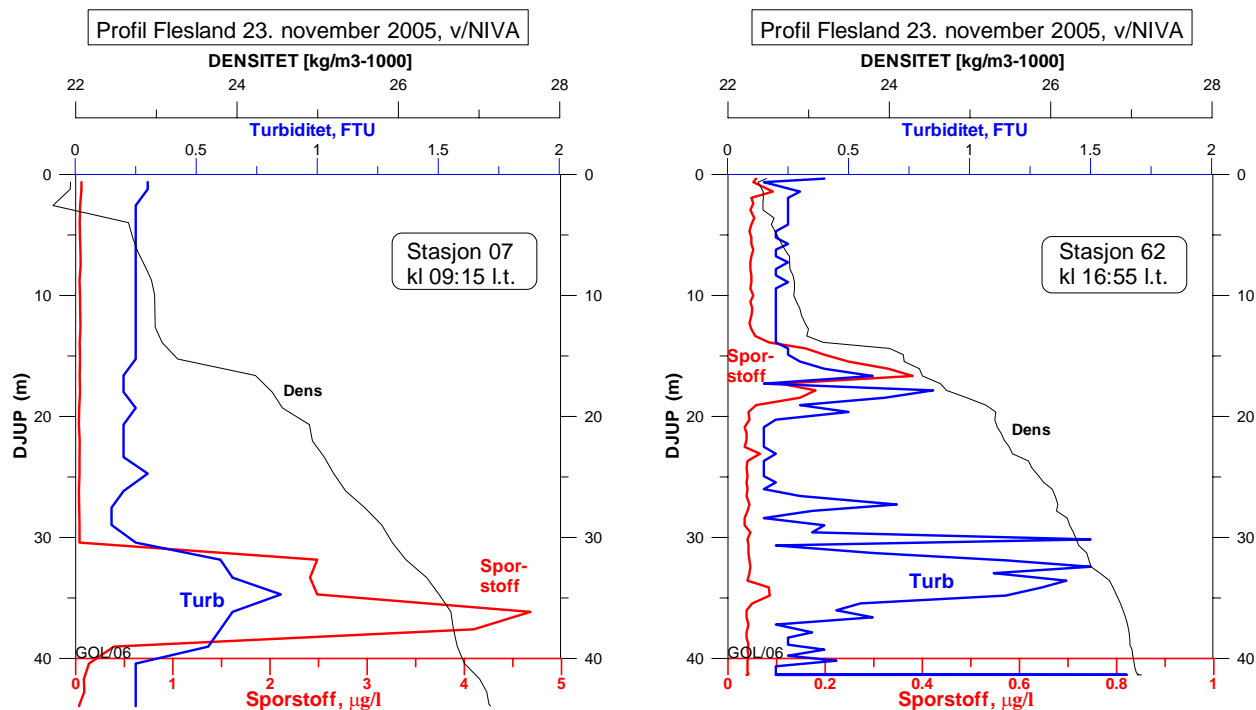
Dei fem neste stasjonane fordelte seg i ein halvsirkel rundt utsleppet, i avstand ca 60 m. Dei hadde alle utslag i eitt tynt sjikt, mellom 16-19 m, med max. verdiar frå 0.2 til 0.4.

Stasjon 39-41 låg i eit snitt i retning sørover langs land, i avstand 100 m til 250 m frå utsleppet. Kun stasjon 39 hadde utslag; 0.64 i 17 m djup.

Stasjon 42 var på utsleppspunktet, kl. 13:50. Der var sporstoff i eit sjikt mellom 18-20 m, med max. verdi på 0.18. Stasjon 43 deretter, 1.200 m SW for utsleppet, hadde 0.17 i verdi i 17 m (tynt sjikt).

Deretter følgde fire blanke stasjonar fordelt mot sørvest. Stasjon 48 var igjen på utleppspunktet, kl. 15:27. Der var utslag, max. 0.16 i 20 m, og elles signal frå 16-22 m.

Vidare blei det tatt stasjonar i sirkel rundt utleppet, i avstand på ca 140-150 m frå punktet. Det var deteksjon i 16-18 m djup på fire av seks stasjonar. Verdiane var svake, under 0.25 for sporstoff. Turbiditeten hadde eit djupt maksimum rundt 32-24 m djup.



Figur 54. Sporstoff og turbiditet profiler ved Flesland 23. november 2005, for stasjon 7 og 62.

Stasjon 56 – 59 dekkar eit snitt mot sør, inntil 650 m sør for utleppspunktet. Dei to nordlegaste stasjonane hadde max. utslag på ca 0.1 rundt 17-19 m djup, og signal frå 12 til 20 m. Dei to sørlegaste stasjonane hadde null utslag.

Stasjon 60 var tatt inne i vika om lag 400 m S for utløpet, på botndjup 30 m. Der var eit svakt utslag på 0.09 i 20 m, med antydning til signal mellom 14 -27 m.

Stasjon 61 og 62 var frå h.h.v. 70 m SW for utleppet, og på utleppspunktet. Max. verdi var h.h.v. 0.4 og 0.35, i 16 m djup, med utslag mellom 13 og 20 m (også svakt utslag mellom 34-36 m på utleppspunktet).

Stasjon 63 og 64 var tatt h.h.v. 140 m og 280 m retning nord for utleppet. Første hadde max. på 0.27 i 16 m, siste hadde max. på 0.28 i 32 m. Begge hadde signal for sporstoff fordelt frå 14 til 34 m djup.

Dei tre siste stasjonane låg i avstand ca 70 m frå utleppet, h.h.v. nord, vest og SV for dette. Max. utslag på 0.21 – 0.3 i 16-18 m djup, og 2-3 markerte sjikt med sporstoff fordelt mellom 14 og 38 m djup. Turbiditet hadde som tidlegare, eit karakteristisk sjikt mellom 32-38 m.

5.8 Kvernevik, 19. desember

Det var stille denne dagen, rolig etter ei føregående kuldeperiode. Luft-temperaturen var 3-4 grader. Doseringa starta kl. 09:05. Vassføringa gjennom anlegget var 70 l/s, den minste for alle tokta.

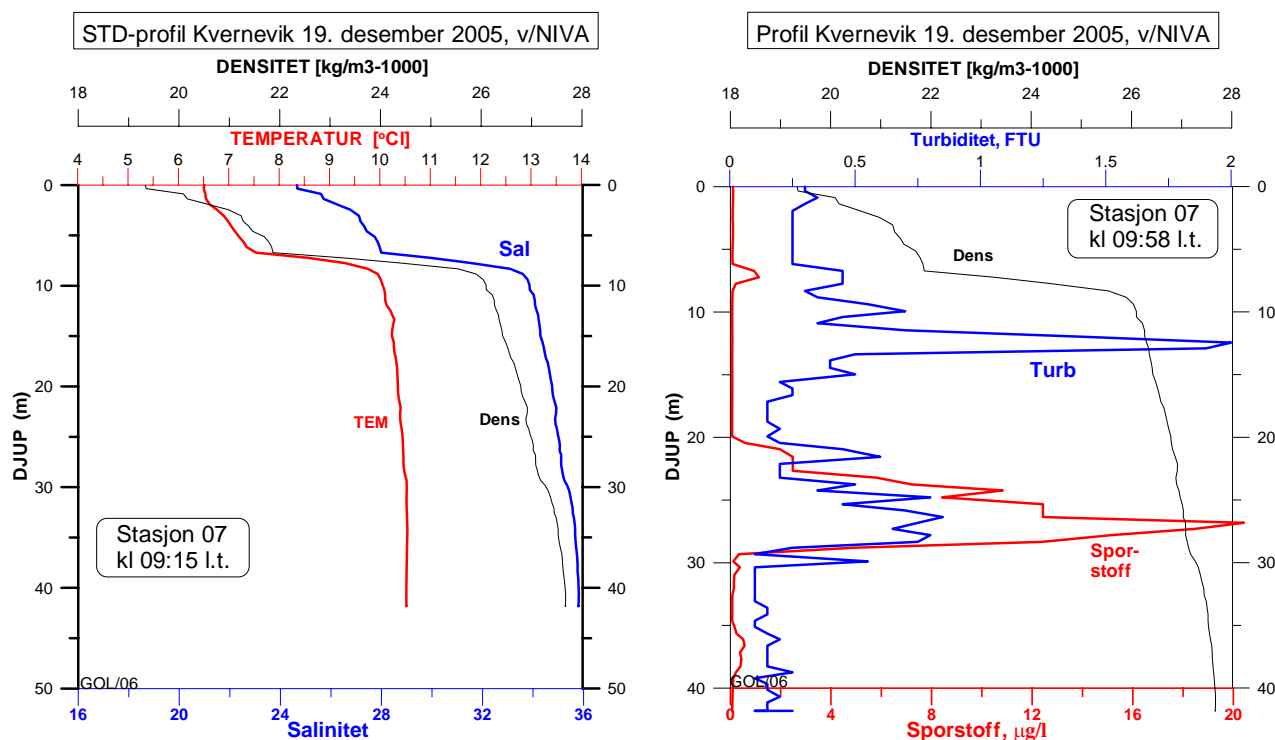
På dette toktet rakk vi å ta 52 stasjonar, fordelt meir langs snitt ut frå utsléppspunktet i høve til føregående tokt. 12 av stasjonane var frå sjølve utsléppspunktet, fordelt utover dagen.

Hydrografien syntte tydeleg lagdeling, med sprangsjiktet mellom 6-8 m djup.

Dei seks første stasjonane var på utsléppspunktet. Første tatt kl. 08:45, altså før dosering. Sporstoff blei først detektert på stasjon 5, kl. 09:28, med eit svakt (0.1) utslag i 15 m djup. Dei tre neste stasjonane hadde så kraftige utslag i 26-27 m djup, h.h.v. 11, 20 og 8 for stasjon 6-8. Gradvis kom det også fleire sjikt med utslag, slik at for stasjon 8 (kl. 10:15) var det fire sjikt, 6-8 m, 12-14 m, 24-28 m og 32-28 m. Turbiditeten hadde tendens til å ha de høgste verdiane i intervallet 10-16 m djup.

Stasjon 10 og 11 var tatt i 100 m avstand frå utsléppet, h.h.v. vest og nord for dette. Begge hadde utslag i eit tynt sjikt mellom 6-7 m, med max. verdi på 0.22-0.25. Dette laget låg midt i sprangsjiktet.

Stasjon 12, kl 10:45, var på utsléppspunktet igjen. Her var det tydeleg utslag med verdi på 2.5 både i 7 m (tynt sjikt) og i 37 m djup (utslag frå 22 – 40 m djup).

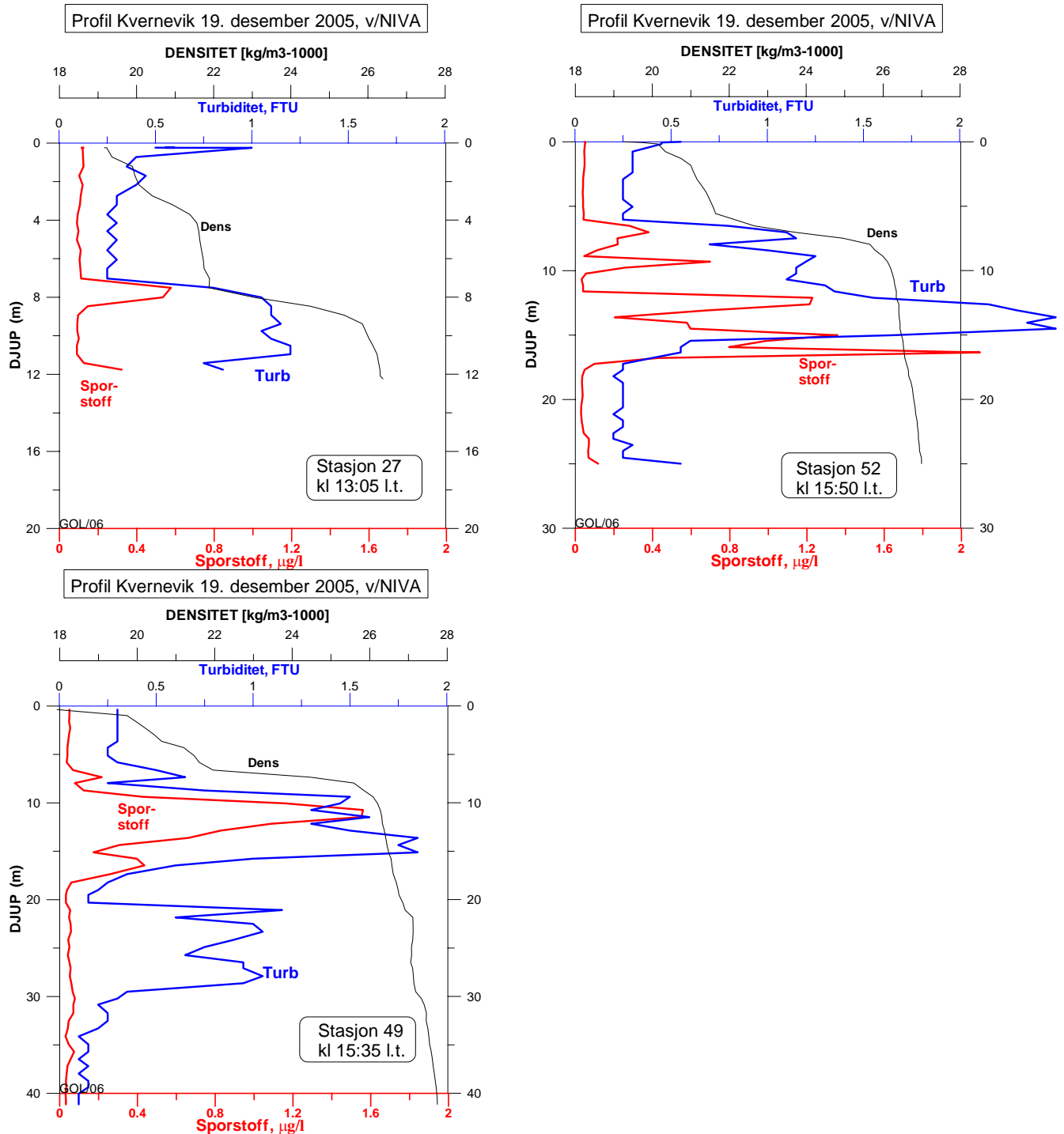


Figur 55. Til venstre: STD-profil for stasjon 7, 19. desember 2005 i Kvernevik (på utsléppspunktet). Til høgre: Turbiditet og sporstoffprofil, same stasjon.

Stasjon 13 og 14 var tatt inn mot elvemunningen. Det var utslag rundt 6 m djup på begge stasjonane (0.12), og den innarste stasjonen (botndjup på 12 m) synttes ha utslag i heile vassøyla, med signifikante

verdiar frå overflata til 6-7 m djup (0.11 – 0.13). Turbiditetsmaksimumet låg like under det tydelege sprangsjiktet i 6-7 m djup.

Stasjon 15, 75 m SW for utsleppet (kl 11:10) hadde tydeleg utslag på 2.5 i 12 m, samt også utslag mellom 32-28 m (verdi 1-1.5). Stasjon 16 og 17 var tatt i retning sørover mot Danmarksneset. Sta 16 hadde ikkje utslag, mens sta 17 (250 m sør for utsleppet) hadde ein verdi på 0.5 i eit tynt sjikt rundt 7 m, djup. Sta 18 100 m NW for utsleppet hadde no 2.5 i verdi i 12 m djup, også med utslag i 7 m, 33m og 37 m djup.



Figur 56. Turbiditet og sporstoff for stasjon 27, 49 og 52 i Kvernevik, 19. desember 2005.

Stasjonane 19 – 25 hørde til eit snitt nordover, til ca 500 frå utsleppet. Kun dei to stasjonane nærast utsleppet gav utslag, med verdi på 0.2 (sta 20) og 2.5 (sta 21) rundt 8 m djup (tynt sjikt).

Sta 26 var tilbake på utsleppspunktet, kl. 12:15. Her var det tydeleg utslag, med max. verdi på 2.2 i 12 m, og elles fleire andre toppar fordelt mellom 8 m og 35 m djup.

Stasjon 27 (kl. 13:05) var tatt inne ved kaia (12 m botndjup). Også her var det utslag rundt 7-8 m djup, (i sprangsjiktet) med max. verdi på 0.55. På stasjonen midtvegs ut til punktet var det tydeleg påverknad, med max. verdi på 2.3 i 12 m djup, og elles utslag i 8 m og 23-24 m djup.

Tilbake på utsleppet kl 13:16 var max utslaget i 12 m djup (2.2), og elles klart utslag mellom 7-16 m djup, og med eit mindre tydeleg utslag mellom 32-27 m.

Stasjon 30, 100 vest for punktet, gav utslag på 2.2 i 12 m, med signal frå 8-14 m, og eit sekundært utslag rundt 38 m djup.

Neste stasjon, 180 m vidare vestover, var blank.

Dei fem neste stasjonane låg sørover, i retning Danmarksneset, ingen med utslag.

Stasjon 37 var tilbake på utsleppspunktet, og hadde max. verdi på 0.22 i 12 m, med fordeling mellom 8-16 m. Eit svakt maksimum også mellom 28-32 m.

Stasjon 38 var tatt inne nær landfestet til avlaupsrøyret. Der var utslag i sjøen mellom 8-16 m, med max. på 2.2 i 14 m djup.

Dei 10 neste stasjonane lagde eit snitt i nordleg retning, frå utsleppspunktet nord til stasjon 48, ca 500 m nordafor punktet. Kun dei to første gav utslag, den første med 1.3 i 12 m, og den neste (utafor fossen i Morvika) med 0.16 i 22 m (samt svakare signal rundt 14 m på begge).

Stasjon 49 var tilbake på utsleppspunktet, kl 15:35. Tydeleg utslag for sporstoff mellom 8 og 18 m djup, med max. verdi på 1.6 i 11 m. Turbiditet fordelte seg i to sjikt, 8-17 m, og 22-30 m.

Stasjonen deretter var tatt 100 m vest for utsleppet. Signal mellom 10-16 m med max. 1.5 i 15 m. Sekundære maksima i 7 m, 18 m og 32 m. Neste stasjon, 80 m vidare vestover, var blank.

Siste stasjon var tatt i retning inn mot kaia (elvemunningen). Der var fleire toppar fordelt frå 7 m ned til 17 m djup, med max. verdi på 2.1 i 15 m.

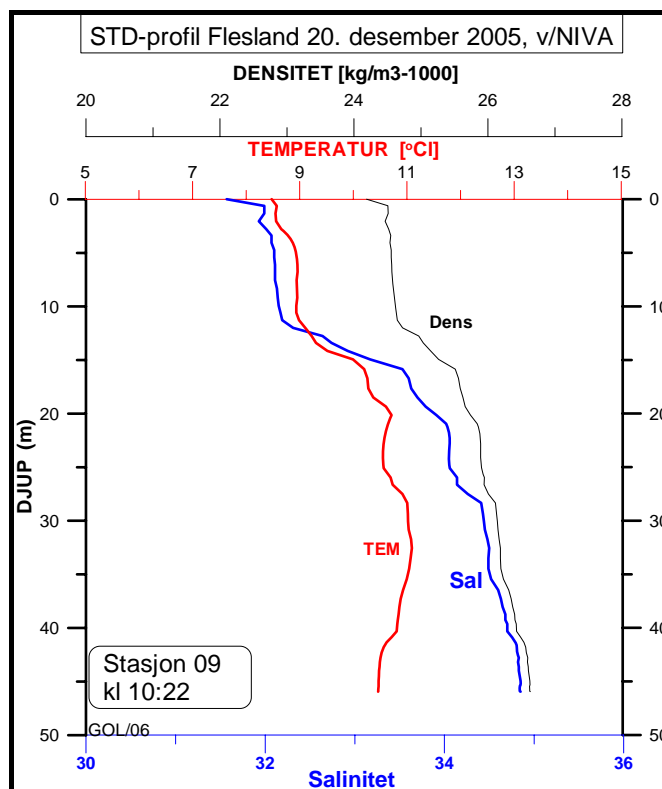
Sprangsjiktet i 7-8 m sperra for opptrenging til overflata såg det ut til. Fleire stasjonar hadde tydelege sjikt med sporstoff opp til dette nivået. Kun ein stasjon inne ved elveosen hadde utslag over sprangsjiktet, sjølv om verdiane var låge (stor fortyning). Sporstoffet hang igjen i området heile dagen, slik tilfella var også under tokta før. Stasjon 20 hadde max. verdi på 20, som var den høgste målt i prosjektet. Den høge konsentrasjonen heng nok saman med den låge vassføringa gjennom anlegget denne dagen.

5.9 Flesland 20 desember

Som dagen før, var det pent vær også denne dagen. Vassføringa gjennom anlegget var 370 l/s. Doseringa starta kl. 09:40. I forkant av dette vart strømmålaren satt ut på botnen, for å måle ein månads tid. Første stasjon blei tatt ved utsleppspunktet kl. 09:25. I alt 56 stasjonar bli tatt med

sporstoff-sonden, derav 10 på utsleppspunktet. I tillegg blei det tatt djup hydrografiprofil sør for Tysøy.

Dei hydrografiske tilhøva var karakterisert av sprangsjiktet mellom 14 og 18 m djup. Eit mindre tydeleg sprangsjikt låg mellom 3-4 m. Eit temperaturmaksimum på ca 11.5 grader hang framleis igjen i 30 m djup, m.a.o. noko djupare enn i november. Saliniteten i øvre lag (0-3 m) låg rundt 32.



Figur 57. Hydrografisk profil ved Flesland 20. desember 2005.

Sju stasjoner blei tatt innleiingsvis ved eller rundt utsleppet, utan deteksjon av sporstoff.

Første deteksjon var på stasjon 8, kl. 10:10, på utsleppspunktet. Max verdi var 12.5, i 20 m djup, med fordeling mellom 18-22 m. Også i 33-34 m var det ein høg verdi, på 9.0 for sporstoff.

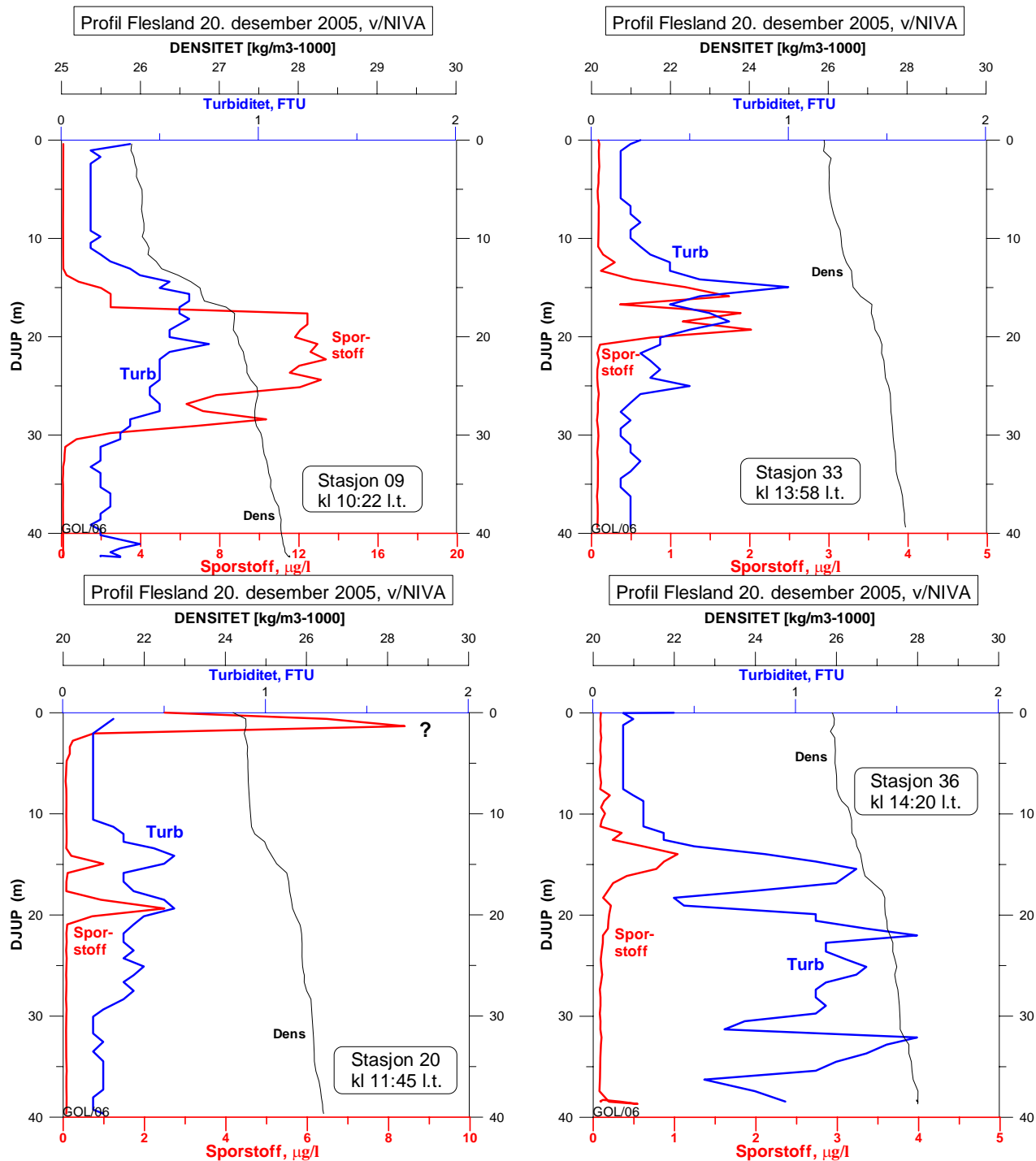
Stasjon 9 på same stad, kl 10:22, hadde ennå høgare verdi; 13 i 23 m, og jamt høg fordeling frå 15 til 31 m djup. Stasjon 10 på same stad hadde max. på 9 i 15 m, med utslag i sjiktet mellom 14 og 30 m.

Turbiditetsverdiane over utsleppet synte at det meste av partiklane låg i intervallet 20-35 m djup, med eit lag oppunder sprangsjiktet i 12-14 m.

To påfølgjande stasjonar 70 m nordafor og 70 m sønnafor utsleppet gav max. utslag i 15 m, på h.h.v. 5.6 og 2.6. Vidare sørøver, i avstand 150 m frå utsleppet kl. 11:13 var det blankt.

Stasjonane 14 – 21 utgjorde eit snitt langs land nordover frå 70 m vestafor utsleppet til vi passerte Setevika, til 550 m frå utsleppspunktet. Alle stasjonane unntatt den nordlegaste (nr 21) hadde utslag. Eit tynt sjikt rundt 15 m framkom på alle (unntatt nr 21), og også rundt 20 m var det utslag på dei fleste. Max- verdien (djup i parentes) nordover var som følgjer: 0.55 (29m), 2.4 (15m), 2.5 (15 m), 4.2

(15m), 2.3 (15 m), 6.1 (21 m) og 2.7 (19 m). Største utslaget var m.a.o. på stasjon 19, utafor Setevika, heile 400 m nord for utslappspunktet.



Figur 58. Turbiditet og sporstoff for stasjon 9, 20, 33 og 36 ved Flesland 20. desember, 2005.

Stasjon 22 repeterte stasjon 18, og gav liknende høgt utslag; 3.9 i 15 m, og sekundært mellom 12-17 m djup.

Stasjon 23 var tilbake på utslappspunktet. Tydeleg utslag igjen, med max. på 2.0 i 16 m, og 1.9 i 20 m, og med tydeleg signal frå 12-28 m.

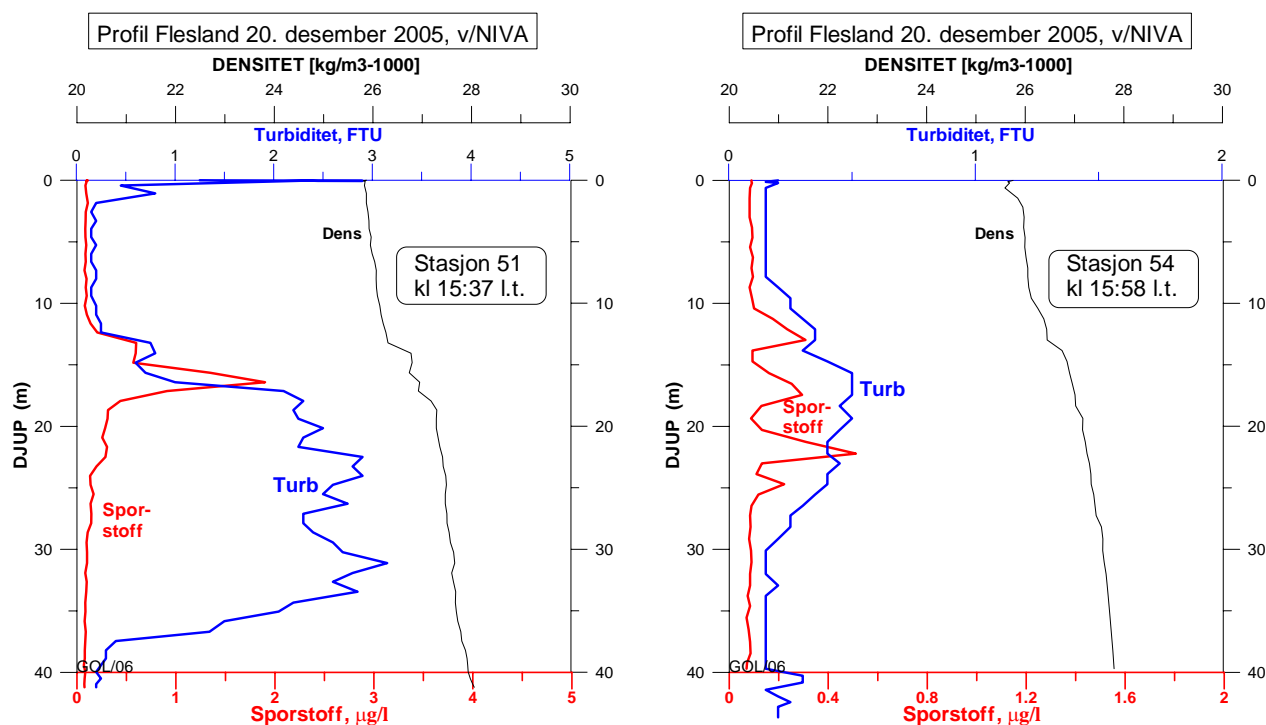
Sta 24 (kl. 13:20) 100 m sør for utsleppet gav max. utslag på 1.8 i 21 m, med signal heile vegen frå 14 m til 28 m.

Tilbake på utsleppet kl 13:25, med max verdi på 0.9 i 30 m, og 0.4 i 15 m. Utslag frå 13 – 31 m.

Stasjonane 26-28 gjekk langs ei linje vestover frå utsleppet, ut til 200 m avstand. Vestlegaste stasjon (28) hadde null utslag, mens 27 hadde max. på 0.7 (16 m) og 26 hadde max på 1.1 (i 15m). Vestlig utbreiing var m.a.o. rundt 150 m frå utsleppet.

Stasjonane 29 – 35 utgjorde eit snitt nordover igjen, frå utsleppet ut til ca 500 m avstand. Samtlege stasjonar hadde utslag, fordelt i intervallet mellom 12 m og 22 m, oftast med 3-4 toppar. Også då var høgste verdi å finne midt i snittet (stasjon 33), med 2.0 i 20 m som max. Elles låg max. verdiane typisk mellom 1 og 1.5, fordelt mellom 15 og 20 m djup.

Stasjon 36, kl. 14:20, var tilbake på utsleppspunktet. Max. verdi var 1.1 i 14 m djup, med signal frå 12 m til 25 m djup. Framleis kun moderat utslag for turbiditet.



Figur 59. Målt turbiditet og sporstoff for stasjon 51 og 54 ved Flesland 20. desember, 2005.

Snittet med stasjon 36-44 gjekk sørover, frå utsleppet ut til 550 m avstand sørvest for Slettevika. Dei seks nordlegaste stasjonane hadde alle utslag, fordelt i fleire sjikt, og med max. verdiar mellom 0.45 og 0.75 fordelt mellom 14 og 20 m. Dei tre sørlegaste stasjonane hadde ikkje utslag, med unntak av den sørlegaste som, hadde eit svakt signal på 0.15 i 8 m djup.

Stasjonane 45 – 50 danna eit snitt nordover igjen, mot utsleppspunktet, men 50-100 m vestafor førre sørgåande snitt. Dei to sørlegaste stasjonane var blanke, mens stasjonane frå 47 nordover til 50 hadde alle utslag, med max. verdi i 14-16 m djup, frå 0.7 på stasjon 47 i sør, til 1.3 på stasjon 50, ca 150 sør for utsleppspunktet.

Stasjon 51 kl 15:37, var tilbake på utsleppspunktet. Her var det fortsatt utslag frå 12 m ned til 26 m djup, med eit tynt sjikt mellom 15-18 m med høgste verdi på 1.95. M.a.o. framleis tydeleg innslag av sporstoff ved utsleppspunktet. Turbiditeten hadde tydeleg utslag frå 15 m ned til 37 m djup.

Stasjon 52-53 gjekk vestover frå utsleppspunktet. Begge hadde gode utslag, med max. h.h.v. 1.95 (25 m) og 1.4 (14 m). Kun eit tynt sjikt på den vestlegaste stasjonen, avstand 180 m frå utsleppspunktet.

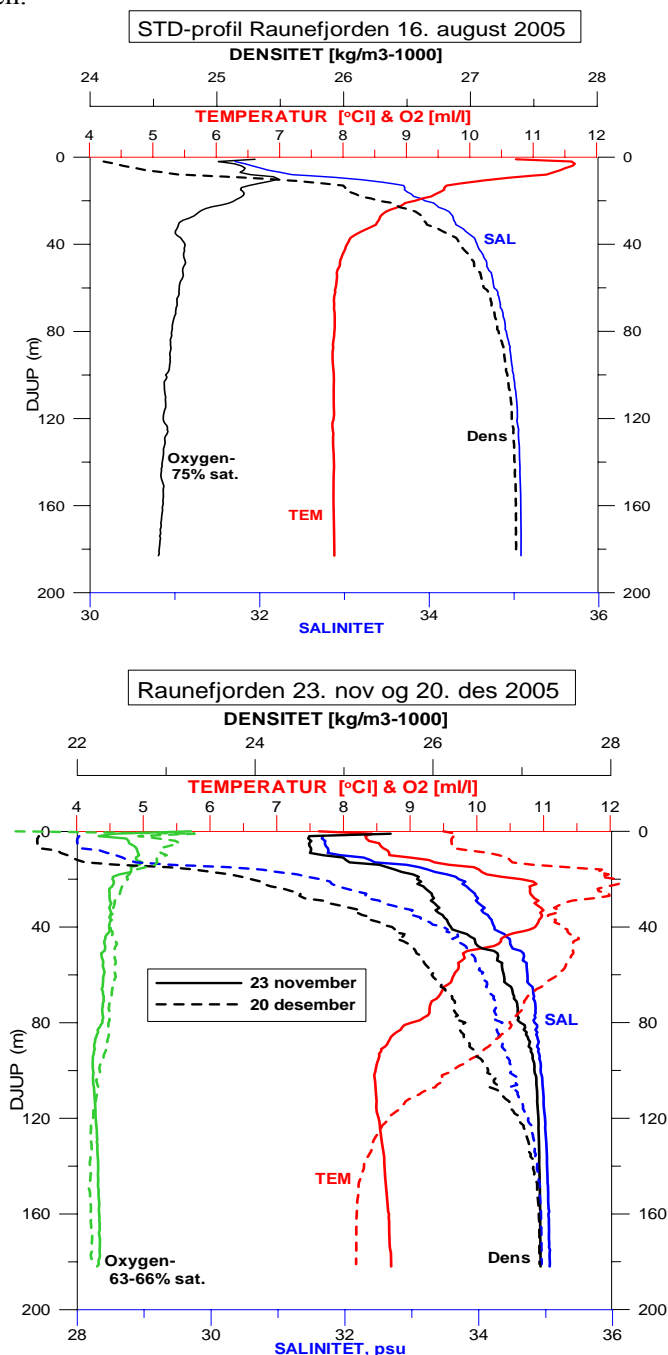
Dei tre siste stasjonane gjekk så nordover med 200-250 m avstand. Dei to første hadde utslag, h.h.v. 0.55 (22 m) og 0.16 (18 m), som maksimum, og med signal fordelt frå 10-28 m. den siste/nordlegaste stasjonen ved Saltvikneset var blank.

Fugl:

Eit titals måsar og ender blei observert over utsleppet.

6. Andre registreringar

Av tilleggsobservasjonane tar vi med hydrografiske profilar målt til 180 meter i djuphola sør for Tysøy i Raunefjorden 16. august, 23. november og 20. desember, 2005 (**Figur 60**). Det framgjekk at der var ein viss variasjon i hydrografien over måleperioden, m.a.o. ikkje full stagnasjon. Oksygenverdiane avtok frå august til november og såg ut til å stabilisere seg deretter på rundt 65 % metning. Vassprøver analysert for oksygen i h.h.t. Winklers metode stadfesta i store trekk måleverdiane frå sonden.



Figur 60. Hydrografiske profilar i djuphola sør for Tysøy, august-desember 2005.

7. Diskusjon og oppsummering

7.1 Hovudtrekk frå sporstoff-kartlegginga

7.1.1 Generelt

Signala (konsentrasjonen) frå sporstoffet avtok generelt med tid og med aukande avstand frå utsleppspunktet. Ved fleire høve vart det målt sporstoff i sjøen ved avslutting av toktet seint på dag, d.v.s. fleire timar etter at doseringa stansa. Det er tenkeleg at dette var på grunn av at noko sporstoff har blitt absorbert (adsorbert) i belegget på innsida av avlaupsrøyret og blitt gradvis utvaska utover dagen, etter at doseringa stansa. Adsorpsjon av sporstoff til partiklar har vore kjent lenge (Smart og Laidlaw 1977) spesielt for Rhodamin B. Nyare variantar av Rhodamin har mindre tendens til adsorpsjon, men kan ha blitt absorbert i belegget på røyrvæggen for ei tid under forsøka i 2005, før det blei fullstendig utvaska.

Ein annan observasjon var at utsleppsvatnet med sporstoffet steig sakte oppover i sjøen etterkvar som skya blei transportert bort frå utsleppspunktet. Liknande fenomen vart observert i 2003-04 ved Holen og Ytre Sandviken. Den stabilisering og innlagring som skjer på/ved utsleppspunktet før sekundærspreiinga tar til, er såleis ikkje heilt permanent; plumen foretar ei vidare justering til omgjevningane nedstrøms. Her kan det også vere tale om at den komponenten som sporstoffet primært er assosiert med i utsleppsvatnet, langsamt skil lag med andre komponentar (f. eks partiklar) utan at vi har belegg for å stadfeste dette.

Målingane viser at utsleppsarrangementet (diffusor) ved Flesland og i Kvernevik synest fungerer bra og etter hensikta, d.v.s. at utsleppsvatnet begge stader går ut gjennom diffusoren, og blir innlagra i god avstand under sjøoverflata. Unntaka her var kortvarige episodar (Flesland) med bypass i anlegget og utslepp inne ved land. Det var ved eit høve registrert sporstoff-signal inne ved landfestet i Kvernevik som muligens kan tyde på ein liten lekkasje der.

Datamaterialet tyder på at ved ein ved normale tilhøve ikkje har direkte overflatepåverknad frå utsleppa (med unntak for små partiklar som stig opp).

Ved nokre høve vart det likevel registrert utslag på fluorescens i overflata. I dei fleste tilfella vart dette tolka som støy, og maskert i profilane. Det kan imidlertid vere reelle målingar som representerer humus frå land, og som kan ha fluorescerande komponentar som interfererer (Göranson et al. 1984). Inne ved elvemunningen i Kvernevik såg vi også tendens til aukande signal nedover i vass-søyla. I alle fall deler av dette utslaget skriv seg sannsynlegvis frå humus tilført med elva.

Figur 61 syner at hovudutslaga i sporstoffsignal synte tendens til å avta med aukande vassføring, noko som verkar rimeleg. Det er imidlertid ingen tydeleg tendens her; for Flesland var det ein klar samanheng for dei tre første tokta, mens tokt 4 og 5 (november-desember) gav høgare konsentrasjon enn ”forventa”. Men framstillinga gjev ikkje eit fullstendig bilete, i og med at utsleppa gjerne fordelte seg over fleire sjikt, og at figuren har med kun sjiktet med høgast målt konsentrasjon. Det er også for nokre tokt noko uvisse til dei aktuelle vassføringsverdiene p.g.a. korttidsvariasjonar.

Innlagringsdjupet for den del av utsleppet med høgast konsentrasjon (**Figur 61**) fordelte seg frå ca 12 m djup og ned til ca 30 m, med eitt unntak for Flesland der toktet i november gav størst utslag nær botnen. Der er ein tendens, om ikkje heilt eintydig, til djupare innlagring ved aukande fluks. Dette verkar også rimeleg ut frå teorien om at 1) fleire og djupare diffusorhol blir aktiverte ved aukande

vassfluks, og 2) auka fluks gjev kraftigare stråle og dermed meir effektiv primærblending rundt utsleppsoپningen.

Opningane skal peike ut til sida i forhold til diffusorsegmentet, slik at utsleppsstrålane då får ein horisontal utgangsvinkel. Ved stor fluks og kraftig stråle vil då den turbulente blandingssona bli liggande meir på skrå ut frå diffusoren, i motsetning til ved svak fluks då usleppsvatnet vil stige rett opp p.g.a. oppdrifta åleine.

Vi har ikkje dokumentasjon eksakt korleis utsleppet fordeler seg på dei ulike diffusorhola. Ved liten vassfluks er det rimeleg å anta at det er kun dei inste hola som er aktiverte, mens fleire hol blir aktivert ved større fluks. Dette synt seg i målingane både av sporstoff og partiklar, i og med at det var fleire sjikt oppover i sjøen med utslag, igjen eit prov på at diffusoren fungerer.

Det blei registrert opp til 8-10 fugl (mest måsar, litt ender) over utsleppspunkta under tokta, og flest fugl ved Flesland. Talet er langt mindre enn det som ofte vart observert ved Hølen i 2003, og samanliknbart med tal for Ytre Sandviken/Breiviken då. Talet på fugl synest dermed å auke proporsjonalt med storleiken til utsleppa, sjølv om andre, lokale faktorar her kan spele inn.

7.1.2 Nokre hovudtrekk ved Flesland

Ved Flesland var det alltid tydeleg utslag i sporstoff mellom ca 10 m og 15 m djup like etter dosering og med eit sekundært maksimum mellom 17-18 m og ned til ca 30 m. For turbiditet var det tre tydelege sjikt, frå 10-11 m og nedover til 30 m, med høgst konsentrasjon rundt 20 m djup, oftast samanfallande med registreringar på ekkoloddet.

Restar av sporstoff fanst tidvis på djup rundt 20 m nord til Saltvikneset, avstand 1.5 km frå utsleppspunktet. Også restar av partikkelskya kunne sporast dit. Utsleppet var markert fortynta når det nådde dette punktet. Målingane stadfesta at sprangsjiktet i sjøen mellom det øvre laget og mellomlaget fungerer som effektiv sperre for opptrenging av utsleppsvatn til overflata.

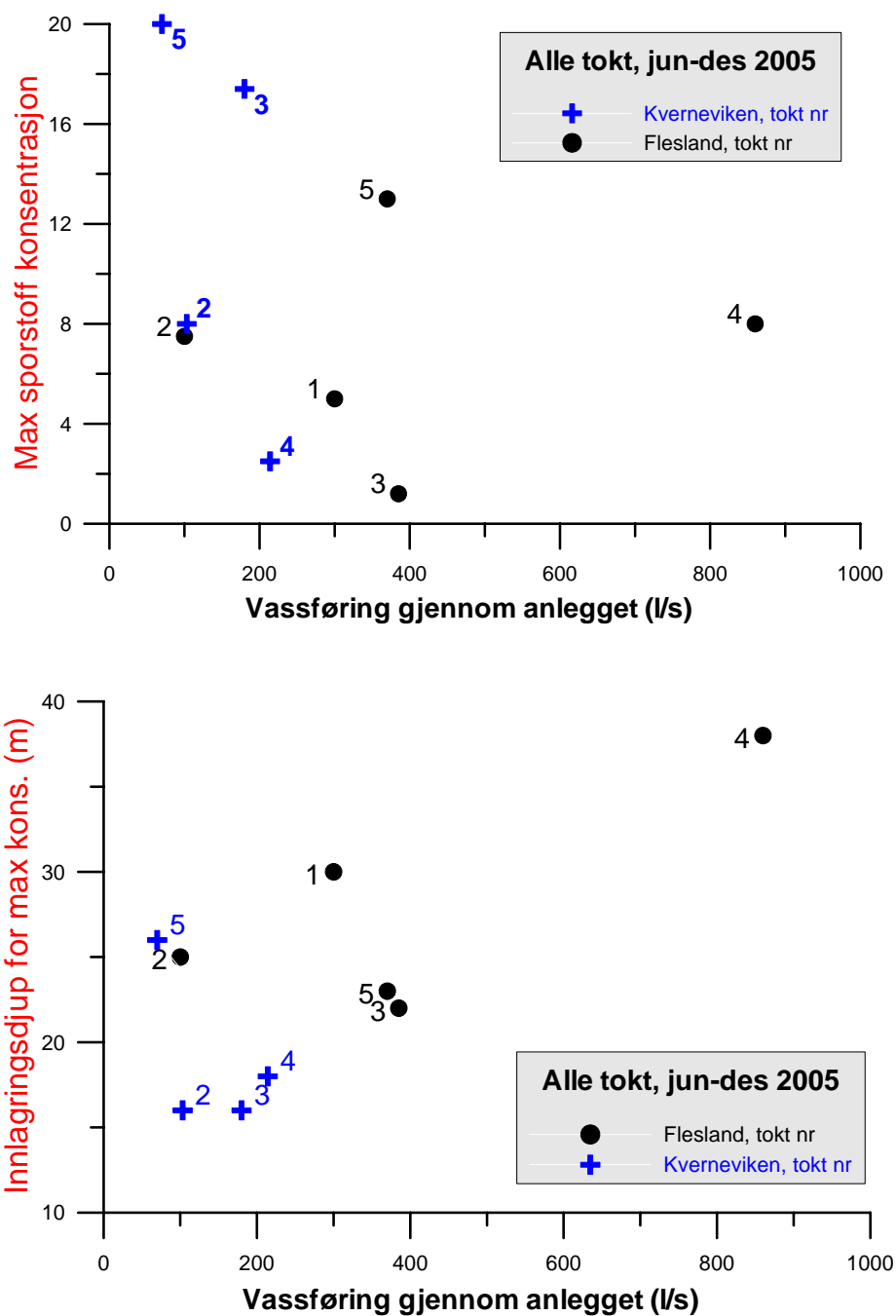
Utsleppet ved Flesland vart for det meste ført nordover (**Figur 62**). Tidvis målte vi høgare max-konsentrasjonar nokre hundre meter nedstrøms eller på sjølve utsleppspunktet. Dette skriv seg nok frå periodar då vassføringa har variert, og såleis også at sporstoff-fluksen har vore variabel, noko som måleopplegget i mindre grad var i stand til å fange opp. Den dominerande nordoverretta transporten er stadfesta av strømmålingane.

Tidvatnet bestemmer hovudtrekka for strømmen forbi utsleppet ved Flesland, og nordgåande strøm dominerer. Likevel vart det observert utsleppsvatn også oppstrøms når vassføringa var stor, noko som er tolka som at utsleppet sjølv genererer eit trykkfelt som tvingar vatnet ut frå utsleppspunktet i alle retningar, også motstrøms. Når vassføringa er stor nok, er denne strømmen sterkare enn bakgrunnsstrømmen. Vi såg tidvis svakt spor av utsleppet sørover i avstand opp til 550 m.

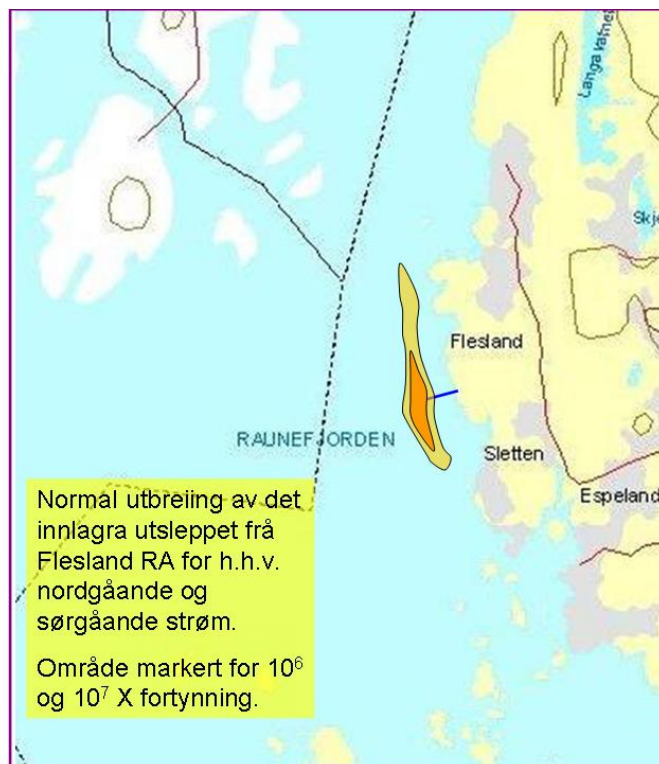
Den vestlege utbreiinga av utsleppet frå Flesland RA var om lag 200 m så langt våre målingar tilseier. Grunnaste signal i den retninga var på ca 8 m djup.

7.1.3 Hovudtrekk ved Kvernevik

Partikkelskya over utsleppspunktet blei fanga opp på ekkoloddet på alle tokta i Kvernevik. Ekkoloddet detekterte gjerne toppen av skya best, men tidvis kunne ein sjå fleire lag med partiklar, som representerte utslepp frå forskjellige diffusor-hol. Det var også fleire gonger observert ei partikkelsky nær botnen rett over diffusoren, noko som kan representere avlaupsvatn fanga opp på veg ut.



Figur 61. Maksimal målt signal for sporstoff som funksjon av vassføring gjennom reinseanlegga (øverst), og innlagingsdjupet (for sjiktet med max. utslag) som funksjon av vassføringa (nedst).



Figur 62. Horisontalfordeling av normal utbreiing av det fortynna og innlagra utsleppsvatnet frå Flesland RA, for nordgåande og sørgåande strøm. Blå strek indikerer avlaupsrøyret. Skya vil typisk representere vatn frå 10 til 17-18 m djup.

Hydrografimålingane frå utsleppspunktet og innover mot Dalelva synte klår påverknad frå ferskvatnet derfrå, med ein tydeleg salinitetsgradient i det 2-4 m tjukke overflatelaget retta utover frå elvemunningen. Det var svakare og mindre konsistent horisontal gradient i sjøtemperatur.

Det var tydeleg påverknad frå utsleppsvatnet innover i retning Dalelva i sjikt frå 6-7 m djup og ned til botn, varierende i høve til vassføring og nedbør. Sporstoff blei detektert heilt inne ved kaia i Kvernevik, under brakkvatnet. Dette må tyde på at deler av (det innlagra) utsleppsvatnet frå utsleppet frå reinseanlegget i alle fall tidvis strøymer inn mot elvemunningen, og at den grunnaste fraksjonen når inn til der det er større djupner enn 7-8m.

Denne transporten er sannsynlegvis generert av elva sjølv ("kompenasjonsstrøm"). Kun ved eit høve var det utslag med låge verdiar i øvre lag inne ved elveosen (desember, stor fortynning).

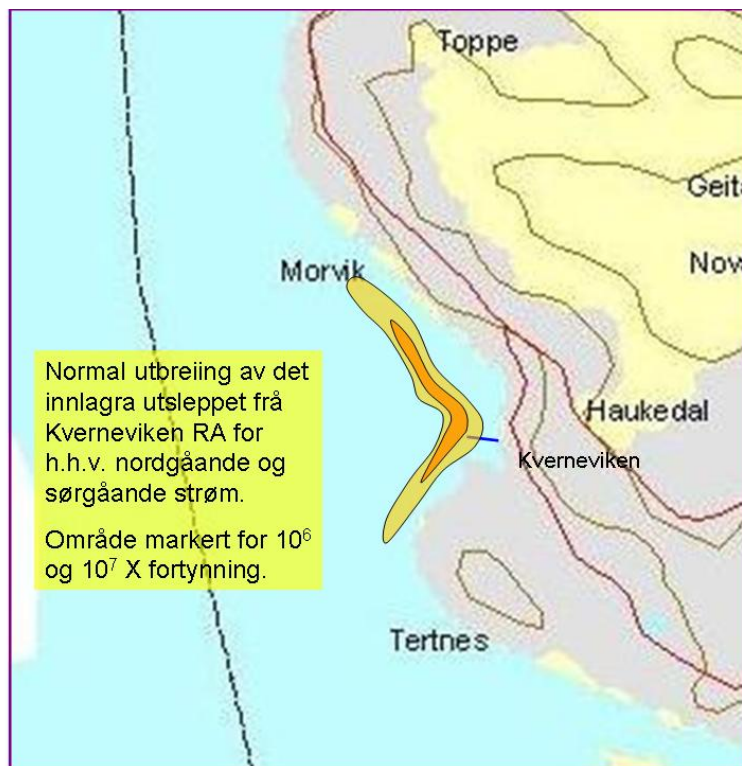
Det var også ein viss påverknad frå utsleppet utanfor elva i Morvika, fordelt i sjikt mellom 14 og 22 m djup, samt inne ved landfestet til avlaupsrøyret.

Maksima i turbiditet og sporstoff vart hyppig detektert i eller like under sprangsjiktet, mens det ikkje vart detektert sporstoff i grunnare sjikt ved noko høve. Sprangsjiktet fungerer såleis som effektiv sperre for oppstiging av avlaupsvatn også i Kvernevik, som ved Flesland.

Som ved Flesland var det også i Kvernevik tendens til at sporstoff hang igjen over utsleppspunktet fleire timar etter dosering. Dette kan, som tidlegare nemnt, skuldast at sporstoff har blitt absorbert av belegg i utløpsrøyret under doseringa, og så blitt vaska ut gradvis utover dagen.

Sprangsjiktet i 7-8 m sperra for opptrenging til overflata såg det ut til. Sporstoffet hang igjen i området heile dagen, slik tilfella var også under tokta før. Stasjon 20 hadde max. verdi på 20, som var den høgste målt i prosjektet. Den høge konsentrasjonen heng nok saman med den låge vassføringa gjennom anlegget denne dagen.

Figur 63 illustrerer typisk utbreiingsmønster for det innlagra utsleppvatnet for nordgåande og sørgåande strøm (illustrasjonen er såleis samansett av to scenaria for ulike situasjonar/tidspunkt).



Figur 63. Horisontalfordeling av normal utbreiing av det fortynna og innlagra utsleppsvatnet frå Kvernevik RA, for nordgåande og sørgåande strøm. Blå strek indikerer avlaupsrøyret. Skya vil typisk representere vatn i 12-20 m djup.

7.2 Utbreiing og fortynning

Maksimalutslaga for sporstoff i utsleppsskya (målt i området 3 til ca 20) motsvarar konsentrasjon på frå om lag 10^{-9} til 10^{-8} . Med utgangskonsentrasjon på 10^{-4} – 10^{-5} eller mindre i utgangsstrålen (kapittel 2), vil det dermed vere ei fortynning større enn 10^3 (1,000X) allereie like i nærleiken av utsleppspunktet der dei høgste konsentrasjonane vart målt. Dei registrerte (maksimal)utslaga i periferien av utsleppet motsvarar ytterlegare 10-1,000X fortynning (avh. av situasjon), slik at ein kan rekne med typisk fortynning på større enn 10^5 i avstand på 250 m eller lenger frå utsleppa, og større enn 10^6 i 500 m avstand.

Talmaterialet og den horisontale fordelinga av stasjonar med utslag/ikkje utslag i sporstoff er omfattande men dekkjer likevel ikkje heile det arealet som kan vere interessant og alle tenkelege situasjonar (p.g.a. avgrensingane i måleopplegget). Likevel kan vi skissere karta ovanfor med typiske utbreiingsområde for dei to utsleppa, basert på sporstoffmålingane og samanhalde med hovudresultata frå strømmålingane.

7.3 Resipientmessige vurderingar.

Målingane har gjeve eit anslag for utbreiingsområdet for utsleppsvatnet med basis i det som ligg innafør detekterbare konsentrasjonar til måleapparaturen. Av fortynningskurvene og utbreiingskarta framgår det at sporbare konsentrasjonar vil ligge i det ein kan kalle nærområdet til utsleppa, d.v.s innafør av storleiksorden 1 km avstand. Dette kan ein gjerne kalle det typiske influensområdet, sjølv om det tidvis sikkert kan forekomme lausrivne "skyer" eller linser av middels fortynna utsleppsvatn også lenger borte enn dette.

7.3.1 Flesland RA

For Flesland RA er resipienten Raunefjorden. Avstanden nordover forbi Bjørøy gjennom Vatlestraumen til innløpet til Byfjorden er ca 10 km. Sørøver til Korsfjorden er det 6-7 km. Spørsmålet om Flesland utsleppet påverkar Byfjorden kan adresserast ut frå noverande materiale. Hovedtransportretninga i området er nordgåande, men det er rimeleg å anta at hovuddelen av det vatnet som passerer Vatlestraumen/Bjørøy held fram vidare nordover mot Hjeltefjorden, og at berre ein mindre del av dette tidvis dreiar austover og går inn i retning Byfjorden. Ved slike tilfelle snakkar vi om avstandar på over 15 km frå utsleppspunktet får vatnet når sentrale deler av Byfjorden. Over ein slik avstand vil ein ut frå erfaring/formlar kunne oppnå ytterlegare 10-100X fortynning eller meir, i høve til i utkanten av influensområdet (1 km), slik at ein inne i Byfjorden normalt ville ha konsentrasjonar ned mot eller under deteksjonsnivå.

Om ein nyttar konsentrasjon som indikator for påverknad/ikkje påverknad, så vil ein ut frå dette resonnementet kunne sei at Flesland RA ikkje påverkar Byfjorden resipientmessig. "Stoffet" i utsleppet blir av den grunn likevel ikkje borte, det blir transportert (typisk) nordover, fortynna og til dels omdanna til andre stoff på vegen, og noko vil sedimentere på botnen. Ein %-vis rest, evt av omdanna stoff, vil kunne nå Byfjorden, men i så små mengder at det ikkje vil påverke resipienten der målbart negativt m.o.t. eutrofiering som er den klassiske indikatoren for påverknad frå kommunale utslepp. Betre kunnskap om transportmønsteret i innløpet til Byfjorden i "krysset" mot Hjeltefjorden vil gje datagrunnlag for å underbygge evt modifisere resonnementet over.

7.3.2 Kvernevik RA

Ved Kvernevik RA er avstanden til Byfjorden mindre enn for Flesland RA, av storleiksorden 5 km til sentrale deler, og kommunikasjonen med Byfjorden er meir openberr, spesielt for tilfelle då utsleppet går sørøver (om lag 25-30% av tida). Tidlegare modellforsøk indikerer at vatn frå austsida av Byfjorden/Salhusfjorden kan bli ført nord og så vest og sørøver langs Askøy (jamfør avsnitt 1.4.1). Så også vatn ført nordover frå Kvernevik kan ende opp i Byfjorden, men då med ein lenger transportveg enn for det som går sørøver direkte.

For Kvernevik heller såleis spørsmålet om påverknad/ikkje påverknad i retning av påverknad, men med ein redusert effekt i høve til den potensielle effekten av utsleppet. Stoffkomponentar frå utsleppet når truleg hyppig sentrale deler av Byfjorden, enten i opphavleg form (partiklar, næringssalt, andre stoff), eventuelt i omdanna form. Belastning i Byfjorden i form av eutrofieringseffekt frå utsleppet kan ikkje sjåast bort frå, som ein %-vis del av det totale utsleppet. Om ein tar utgangspunkt i strømmålingane ved utslepppunktet, og sporstoffmålingane, kan ein indikere at i alle fall 30% av utsleppet påverkar i syndleg retning, mot Byfjorden. Meir detaljerte berekningar for m.a. transportprosessar og stoffomdanning undervegs må til for å kunne fastslå dette meir presist.

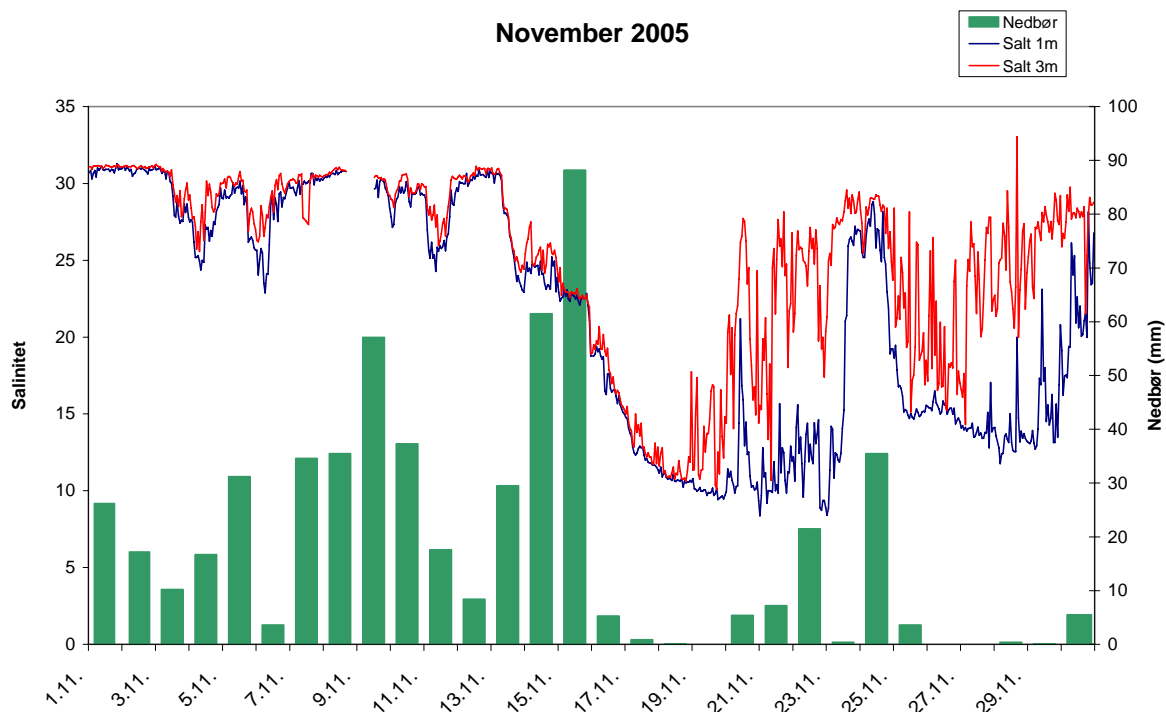
7.4 Klimaeffektar - Byfjordens respons på nedbør

Sterk nedbør medfører stor vassføring gjennom reinseanlegga og store tilførsler til fjordsystemet frå elvar og bekkar og gjennom anna tilsig, samt direkte tilførsler som nedslag på sjøoverflata. Ved slike tilhøve blir brakkvasslaget styrka, noko som kan medverke til å halde utsleppsvatnet frå reinseanlegga nede i djupet, sjølv om den auka fluksen i seg sjølv kan bety større risiko for opptrenging.

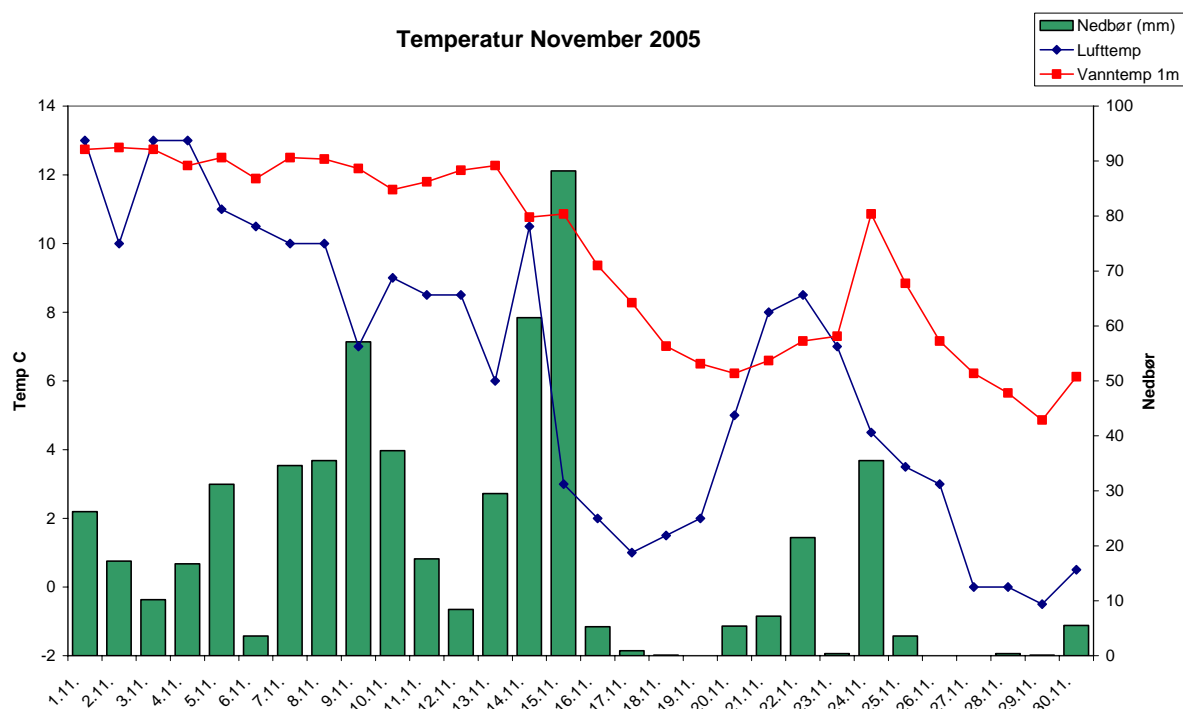
I så måte regulerer Byfjorden seg sjølv, for å dempe evt. negative effektar frå utsleppa. Her vil det vere ein faseforskyving slik at hurtig auke i nedbør raskt gjev seg utslag i vassføringa, mens fjorden responderer tregare og treng tid, gjerne dagar, før den er i ny likevekt med tilførslene. Eit slikt døme er synt i **Figur 64** og **Figur 65**, der data for dagleg nedbør i Bergen er synt saman med salinitet og temperatur i øvre lag ved Nordnes (data frå NIVAs on-line målestasjon der) for november, 2005.

Det var nær rekord-nedbør i Bergen den månaden, med ein trend til aukande døgnverdiar frå starten av månaden til ein kulminasjon den 15. november (88 mm/dag). Av kurvene ser ein at saliniteten heldt seg rimeleg stabil over 30 ppt heilt fram til 14. november, då den byrja falle markert. Lågaste verdiar, under 10 ppt både i 1 m og 3 m djup, vart registrert mellom 20 og 24. november. I 3 m djup kom saliniteten raskt tilbake til tilnærma normalverdi, mens 1 m hang igjen i 3-4 dagar, med tidvis rundt 15 ppt skilnad i salinitet mellom dei to måledjupa.

Nedbøren i perioden 1. – 14. november varierte rundt ein middelværdi på 20-30 mm/dag. Det ser ut til at Byfjorden ved slike nedbørsmengder ikkje opplever store endringar i hydrografi, m.a.o. det ligg innafor normaliteten, ned mot 25 ppt. Først når nedbøren kjem over 30-40 mm/dag responderer brakkvasslaget kraftig med verdiar ned mot 15, kanskje 10 ppt.



Figur 64. Nedbør i Bergen (Florida), søyler, samt salinitet i 1 m og 3 m djup ved Nordnes i november, 2005. Første søyle er 1. november m.m.



Figur 65. Nedbør og lufttemperatur i Bergen (Florida), samt sjøtemperatur ved Nordnes (1 m djup) i november, 2005.

Det er spådd at nedbøren på Vestlandet vil auke i åra som kjem, noko som både påverkar utsleppa, og tilhøva i resipientane. Det ligg utanfor oppgåva i noverande prosjekt å vurdere dette men vi tar med opplysningane ovanfor om visse aspekt ved korleis Byfjorden responderer på auka tilrenning i dag. Ein full studie av samspelet mellom utslepp, belastning og fjord vil krevje meir detaljerte modellar og prognoser for framtidig utvikling både på land og sjø.

8. Referansar/litteratur

- Agunwamba, J C 2002: Optimal design of dispersion experiment. *Water Research*, Vol. 36, 4570-4582.
- Bergen kommune 2006: Hovedplan for avløp og vannmiljø 2005-2015. Høringsutkast april 2006, 39s.
- Botnen, H., G. Vassenden, S. Hjøhlman, P-O Johansen og P. J. Johannessen 2001: Byfjordundersøkelsen – overvåking av fjordene rundt Bergen. Miljøundersøkelse 2000. Rapp nr. 13/2001, IFM, UiB, 155s.
- Botnen, H., E. Heggøy, G. Vassenden, P-O Johansen og P. J. Johannessen 2002: Byfjordundersøkelsen – overvåking av fjordene rundt Bergen. Miljøundersøkelse i 2001. Rapp nr. 5/2002, IFM, UiB, 158s.
- Botnen, H., E. Heggøy, G. Vassenden, P-O Johansen og P. J. Johannessen 2003: Byfjordundersøkelsen – overvåking av fjordene rundt Bergen. Miljøundersøkelse i 2002. Rapp nr. 11/2003, IFM, UiB, 180s.
- Bourgeois, W og R M Stuetz 2002: Use of a chemical sensor array for detecting pollutants in domestic wastewater. *Water Research*, Vol 36, 4505-4512.
- Brière, F. G. 1999: Drinking-water distribution, sewage, and rainfall collection. *Ecole Polytechnique de Montreal*, 385s.
- Chen, Z, P Pavelic, P Dillon og R Naidu 2002: Determination of caffeine as a tracer of sewage effluent in natural waters by on-line solid phase extraction and liquid chromatography with diode-array detection. *Water Research*, Vol. 36, 4830-4838.
- DNV 1994: Utslippsberegninger Bergen kommune. Teknisk rapport, 17. febr. 194, VERITAS, 31 s.
- Eidnes, G. 1991: Sentrum Syd hovedavløpsanlegg. Strømforholdene i Puddefjorden. Rapp nr. STF60 F91099, SINTEF NHL, 45 s.
- Ferns, P. N. og G. P. Mudge 2000: Abundance, diet and salmonella contamination of gulls feeding at sewage outfalls. *Water res*, Vol. 34, No. 2, 2653-2660.
- Gade, H. G. 1976: Byfjorden som resipient for avløpsvann. Byfjordundersøkelsen 1973-74. Rapp. Bergen kommune, anleggsseksjonen, 53s.
- Golmen, L.G. 1991: Resipientgransking ved Lauvøya i Vikna, Sør-Trøndelag. Rapp. Nr. 2736, NIVA, Oslo, 74s.
- Golmen, L.G., J. Molvær og K. Sørensen 1995: Sentrum Nord, Eidsvåg hovedavløpsanlegg. Vurdering av vanutskifting ved alternative utslippslokalteter. Rapp. Nr. 3293, NIVA, Oslo, 70 s.
- Golmen, L. 2004: Bergen kommune. Utslepp sentrum Syd-Sentrum Nord. Kartlegging av spreining av avlaupsvatn. Rapp. nr. 4760, NIVA, Bergen/Oslo, 61 sider.

- Göranson, C. G., E. Fogelqvist og G. Nyquist 1984: Spårämnesundersökningar vid pappersmasseindustrier – resultat og erfarenheter. Rapp. Sv. Havforskarforeningens årsmöte 1984, V62/139/CGG/UBP, 18 s.
- Hageberg, A. 2001: ROMEO. Roterande fysisk fjordmodell av Hjeltefjorden, Byfjorden, Herdlefjorden of fjordane rundt Osterøy. Hovedoppgåve, Geofysisk institutt, UiB, 92s.
- Heggøy, E., P.-O. Johansen, G. Vassenden, H. Botnen og P. Johannessen 2005: ”Byfjordundersøkelsen” – Overvåking av fjordene rundt Bergen. Marinbiologisk miljøundersøkelse i 2004. Rapp. nr 6/2005, UiB, biologisk institutt/VestBio-UNIFOB, 194s.
- Helle, H 1975: Oseanografisk resipientundersøkelse av fjordene rundt Bergen 1973-74. Rapp. juni 1975, Geofysisk institutt, UiB, Bind I: Tekst, 44 s.
- Helle, H. 1978: Summer replacement of deep water in Byfjord, Western Norway: mass exchange across the sill induced by coastal upwelling. Hydrodynamics of Estuaries and Fjords (J.C. Nihoul, red.), Elsevier forlag, s. 311-324.
- Hobæk, A. 2000: Overvåking av ferskvannsresipientar i Bergen kommune 1999. Mildevatn, Midtbygda-, Åstveit-, Arna- og Kalandsvassdragene. NIVA-rapport Lnr. 4177-2000, 84s.
- Hobæk, A. og Bjørklund, A.E. 2004: Overvåking av ferskvannsresipientar i Bergen kommune. Sammendragsrapport 1992-2000. NIVA-rapport Lnr. 4773-2004. 67s.
- Johannessen, P. J. 1988: Overvåking av fjordene rundt Bergen. Byfjordundersøkelsen 1979-1984. Sluttrapport. Bergen kommune, Komm. avd. Tekn. utbygging, 56 s.
- Johnsen, T.M. og A. Sundfjord 1999: Oksygenmålinger i Raunefjorden i forbindelse med utslipp av avisingsværse fra Flesland flyplass. Rapp. nr 4110-99, NIVA, Oslo/Bergen, 25 s.
- Kalikhman I 2002: Patchy distribution fields: Sampling distance unit of a zigzag survey and reconstruction adequacy. Env.Monitoring and Assessment, Vol 80, 1-16.
- Källqvist et al. 2002: Implementation of the Urban Waste Water Treatment Directive in Norway. An evaluation of the Norwegian approach regarding Wastewater Treatment. Rapp Nr 4466, NIVA, 70s.
- Lilletvedt, T. 1994: Næringssaltregnskap for Byfjorden, Bergen. Hovedoppgave i VAR teknikk 1994, NTH-Institutt for Vassbygging, Trondheim, 72 s.
- Linde, E. 1970: Hydrography of the Byfjord. Rapp. nr. 20, Geofysisk inst., UiB, 40 s + fig.
- Lohrman, A og C C Ebbesmeyer 1992: Acooustic Monitoring and Tracking of Waste water plumes. MEMO, Nortek AS, 9 s.
- Lundven, M., P. Gentien, K. Kononen, E. LeGall og M. M. Danielou 2003: In situ video and diffraction analysis of marine particles. Estuarine, coastal and shelf science, Vol 57, 1127-1137.
- Lynch, D og D J McGillicuddy 2001: Objective analysis for coastal regimes. Cont. Shelf Res. Vol. 21, 1299-1315.
- MILJØPLAN 1978 (Holene, Lindseth): Flesland avløpsanlegg. Utslipp av avløp til Raunefjorden. Rapp. Miljøplan, Høvik, mars 1978, 49s.

Mork, K 1997: Utslepp of rensing av avløpsvatn. Datakvalitet og berekningsmåter. Rapp. Statistisk Sentralbyrå, Nr 97/02, 64 s.

Møskeland, T. 2006: Pilotprosjektet i Trondheim havn. Tracer undersøkelse – deponiet ved Pir II. Rapp. Nr. 2006-022, Rev. 01, DNV Consulting, 34 s + vedl.

NIVA/NHL 1985 (Molvær et al.): Vurdering av renskrav for utslipp av kommunalt avløpsvann til sjøresipienter. Rapport nr 1721, NIVA, Oslo, 83s.

NORVAR 2002: Implementering av Eus avløpsdirektiv. Spesifikk produksjon av BOF5/BOF7, beregning av PE, relevante koeffesienter. Notat Norvar, sept. 2002, 16 s.

Smart, P. L. og I. M. S. Laidlaw 1977: An evaluation of some fluorescent dyes for water tracing. Water Resources Research, Vol. 13 –Nr 1, 15-33.

SFT 1983: Retningslinjer for dimensjonering av avløpsrenseanlegg. Revidert utgave. Rapp. Nr TA-525, Statens forurensingstilsyn, 68 s.

SFT 1995: Miljømål for vannforekomstene. Tilførselsberegninger. Rapp Nr. TA 1139/1995, SFT, 70s.

SFT 1996: Forurensingsregnskap for avløpssektoren. SFT rapp. Nr 96:19, 80s.

SFT 2001: Krav til kommunale avløpsanlegg 2001-2005. Retningslinjer til Fylkesmannen. SFT veiledning TA-1820/2001, 19 s.

SFT 2002 (J. Molvær): Resipientundersøkelser i fjorder og kystfarvann. EU avløpsdirektiv. Rapp. TA-1980/2002, SFT, Oslo, 52 s.

SFT 2003: Vurdering av konsekvenser av forslag til fellesforskrift for avløpssektoren. Notat på høyring 01.07.2003, SFT, Oslo, 39s.

Tangen, K. og J. Arff 2003: Høvringen renseanlegg og miljøtilstanden I Trondheimsfjorden. Rapp. OCN R-23015, OCEANOR, Trondheim,. 58 s.

Trump, C. L. og G. O. Marmorino 2003: Mapping small-scale along-front structure using ADCP acoustic backscatter range-bin data. Estuaries, Vol. 26, Nr 4A, 878-884.

Viento, N. M., T Tuhkanen og L. Kronberg 2005: Seasonal variation in the occurrence of pharmaceuticals in effluents from a sewage treatment plant and in the recipient water. Env. Sci. Technol. Vol. 39, Nr. 21, 8220-8226.

Vråle, L. 1987: Forurensingsmodell for avløpsvann fra boliger. NTNFs program for VAR teknikk. Prosj. rapp. 60/87, 45 s.

Vedlegg A. Stasjonsplassering

