



RAPPORT LNR 5148-2006

Sporstoff-forsøk ved hovedutsleppet frå Statoils raffineri på Mongstad



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 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

Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 54 63 85 / 86
Telefax (47) 54 63 87

Tittel Sporstoff-forsøk ved hovedutsleppet frå Statoils raffineri på Mongstad	Løpenr. (for bestilling) 5148-2006	Dato mars 2006
	Prosjektnr. Udemnr. 24295	Sider Pris 46
Forfatter(e) Lars G Golmen Einar Nygaard (Statoil)	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Hordaland	Trykket NIVA

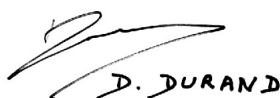
Oppdragsgiver(e) Statoil ASA, 4035 Stavanger	Oppdragsreferanse 4500841728,Nygaard
---	---

<p>Sammendrag</p> <p>Rapporten omhandlar forsøk med dosering av sporstoff i avløpet for prosessvatn frå Statoils raffineri på Mongstad. Det blei utført forsøk i to runder, h.h.v. 14. – 15. mars og 27. – 28. juni 2005. Forsøka ga klar deteksjon av utsleppsplumen over og rundt diffusoren som ligg mellom 50 og 55 m djup. I mars blei utsleppsskya detektert frå ca 40 m og opp til ca 28 m djup, og ingen spor i grunnare sjikt. Skya kunne då følgast i vestlig retning over ein km frå diffusoren. I juni blei stoff detektert mellom 30 og 40 m djup. Under desse forsøka var det ein tydeleg lekkasje på røret inne ved land, der sporstoff var klart synlig på sjøoverflata. Resultata frå junitokta m.h.t. spreining/fortynning ved diffusoren kan dermed representere ein situasjon med litt (20%) mindre fluks enn normalt. 15. mars blei det også utført ein kontroll av avløpsrøret med ROV. Ingen lekkasje blei spora på det tidspunktet.</p>

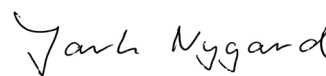
<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fensfjorden 2. Mongstad 3. Raffineri 4. Utslepp 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fensfjord 2. Mongstad 3. Refinery 4. Discharge
--	---



Lars G. Golmen
Prosjektleder



Dominique Durand
Forskingseiar



Jarle Nygaard
Fag- og markedsdirektør

Sporstoff-forsøk
ved hovedutsleppet frå
Statoils raffineri på Mongstad

Føreord

Statoils raffineri på Mongstad har to større utslepp mot Fensfjorden. Det eine er for kjølevatn på som går ut austsida av anlegget. Det andre er for restvatn frå sedimenteringsbassenget fror oljehaldig vatn, som går ut på vestsida av raffineriet, i retning Mongstadvågen.

Foreliggende rapport omhandlar kartlegging av spreinga av det sistnemnde utsleppet, på basis av data frå to tokt i 2005 med M/S "Solvik" v/Leon Pedersen, Askøy. Prosjektet blei tinga i november 2004, og tokta blei avvikla i mars og juni 2005.

Einar Nygaard frå Statoil delttok på siste tokt. Ellers bidrog fleire ved NIVA under dei to tokta: Tom Chr Mortensen under ROV inspeksjonen, og Petter Stenstöm på det første toktet. Fleire personar ved raffineriet bistod under planlegging og gjennomføring av prosjektet: Merete Lunde, Anne-Lise Vågnes og John Erik Skare, som var med under ROV inspeksjonen.

Takk til alle involverte.

Bergen, desember 2005/mars 2006

Lars G Golmen

Innhold

Sammendrag	6
Report summary	7
1. Innleiing	8
1.1 Formål med prosjektet	8
1.1.1 Tillegg for ROV survey	8
1.2 Generell omtale av området	8
1.3 Hydrografi og strømforhold i området	10
1.3.1 Strømforhold	10
1.4 Utsleppet frå sikringsbassenget	12
2. Metodikk	14
2.1 Bruk av sporstoff	14
2.1.1 Stoff og dosering	14
2.1.2 Toktdatoar og antal stasjonar	16
2.2 Lekkasje på røyret i juni.	17
2.2.1 Sporstoffkalibrering	18
3. ROV-survey	21
3.1 Resultat av ROV survey	22
4. Resultat sporstoff kartlegging	25
4.1 Tokt 14. mars 2005	25
4.1.1 Sporstoff-verdiar 14. mars	25
4.2 Tokt 15. mars 2005	27
4.2.1 Sporstoff 15. mars	27
4.3 Tokt 27. juni 2005	28
4.3.1 Sporstoff 27. juni	29
4.4 Tokt 28. juni 2005	32
4.4.1 Sporstoff, 28. juni	33
5. Diskusjon	34
5.1 Dosering av sporstoff	34
5.2 Målingane	34
5.3 Lekkasjen	35
5.4 Spreiing i relasjon til strømforholda	36
5.5 Sluttkommentar	38

6. Referansar	39
Vedlegg A. Fluorescein datablad	40
Vedlegg B. Stasjonsplott	44

Sammendrag

På oppdrag frå Statoil ASA har Norsk institutt for vannforskning, NIVA, foretatt forsøk med dosering og sporing av fluorescerande stoff i utsleppet av prosessvatn frå raffineriet på Mongstad.

Formålet var å forsøke detektere utsleppsvatnet ved utløpet av den ca 1.300 m lange avlaupsleidningen som har to diffusorsegment i enden, lokalisert på ca 50 m djup i Fensfjorden, vest for Kai 7.

Forsøka blei foretatt 14. og 15. mars, samt 27. og 28. juni 2005. Til forsøka blei det nytta fluorescein (Fluorescein Dye, DYMO MS-200). Sporstoffet med konsentrasjon 1:50 blei kvar morgon dosert ut i avløpskummen i nedre del av sikringsbassenget mot Mongstadvågen. Deretter blei det profilert i sjøen rundt diffusoren med STD sonde påmontert følsam fluorescein sensor (type Seapoint) samt turbiditetssensor.

Det blei tatt typisk 30-40 stasjonar på kvar av toktdagane. På alle tokta blei spostoff detektert ute ved diffusoren, og også i varierende avstand frå denne. Høgste målte verdi med sensoren var 2.95, og ellers låg registreringane under 1.0. Dette representerer sporstoffkonsentrasjon på h.h.v. 0.8×10^{-8} og ca 3×10^{-8} med teoretisk fortykning over diffusor-opningen på 250X - 900X.

For målingane sett under eitt var det ingen konsistent relasjon mellom aktuell vassfluks i avlaupet og max. målt sporstoff-konsentrasjon i sjøen. Men for dagane i mars og juni parvis var det positiv korrelasjon mellom desse parametrane (høg vassfluks medførte lågare max. konsentrasjon).

Målingane av sporstoff i sjøen var også konsistente m.h.t. innlagringsdjup for avlaupsvatnet og synte at dette skjer mellom 30 og 40 m djup, med evt. avvik på kun ein meter eller to ut over dette intervallet.

Det var ikkje indikasjonar på opptrenging til overflata eller til øvre lag i sjøen.

Turbiditetsmaksimum følgde stort sett fluorescens maksimum der begge hadde utslag.

I juni blei det rapportert om ein lekkasje på avlaupsleidningen inne ved land. Denne lekkasjen kunne lett sjåast på overflata på grunn av det gule sporstoffet. Profilering med STD sonden synte dei høgste konsentrasjonane nær overflata, med fluorescensverdi på 8 som motsvarar konsentrasjon på ca 2×10^{-7} , eller fortykning på ca 40X i høve til konsentrasjonen inne i røyret. Høgast konsentrasjon nær overflata er konsistent med at avlaupsvatnet har lågare salinitet enn resipienten og dermed vil stige opp frå lekkasjepunktet ved botnen.

Report summary

Title: Dye tracer release experiments at the process water discharge of the Statoil Mongstad refinery.

Year: 2006

Author: Lars G. Golmen and Einar Nygaard

Source: Norwegian Institute for Water Research, Report No. 5148, ISBN 82-577- 4861-7

On contract from Statoil ASA the Norwegian institute for water research, NIVA, performed experiments by adding fluorescence dye to the main discharge from the water processing unit at the Mongstad refinery. The main purpose was to detect the dye by sensitive sensors in the sea recipient surrounding the diffuser segments at 50 m depth, 1.300 m from the inlet well.

The experiments were conducted on 14 and 15 March and 27 and 27 June, 2005, respectively, with similar arrangements every day. Fluorescein Dye (DYMO MS-200) were the tracer used for the experiments. 2 litres, diluted to 1:50, were each morning distributed at constant rate into the discharge on land over ca ½ hour. Following this, a measurement campaign at sea followed, by frequently taking vertical profiles of fluorescence, turbidity, salinity and temperature versus depth. A Seapoint fluorescence sensor was used to trace the dye.

Typically 30-40 stations were accomplished each day, and dye was detected every day and on most stations, at varying distance from the diffuser. The highest sensor reading was 2.95. Otherwise readings were generally low, between 0.1 and 1.0. 1 and 2.95 represent dye concentrations of 0.8×10^{-8} and 3×10^{-8} respectively, and a theoretical dilution factor of 250 - 900.

There was no consistent relation between the reported discharge flux (varying between ca 10,000 and 17,000 m³/day) and the maximum dye readings in the sea. However, for each of the two monthly experiments there was a positive pair-wise correlation; high flux corresponding to lower concentration.

The dye was consistently detected in the sea recipient in layers between 30 and 40 m depth.

There was no indication of surfacing of the discharge plume.

The turbidity maxima were generally positively correlated with the peaks in dye, indicating that some particles are accompanying the discharge water.

1. Innleiing

1.1 Formål med prosjektet

NIVA fekk hausten 2004 henvending frå Statoil ved Einar Nygaard om å lage forslag til utføring av eit sporstoff-forsøk ved hovedutsleppet for prosessvatn til Fensfjorden fra raffineriet på Mongstad. Bakgrunnen for dette var primært behov hos Statoil for validering/kalibrering av gjennomførte modell-simuleringar for spreiding av utsleppet, inkludert verifisering av innlagring og fortynning. Førstebels resultat av simuleringar på det tidspunktet indikerte innlagring rundt 35 meters djup (Nygaard og Eik 2004, dok nr PTT-NKG-RA 0067).

I tråd med dette laga NIVA framlegg til ei sporstoff-forsøk som vart akseptert i november, 2004. Forslaget inkluderte eit opplegg med forsøk fordelt over to perioder (sesongar) som ville representerer ulike hydrografiske og evt strømningsmessige forhold i Fensfjorden. NIVA foreslo første måling på vinteren/etervinteren 2005, og andre måling på forsommaren 2005.

Utsleppet frå sedimenteringsbassenget inneheld sannsynlegvis betydelege mengder ferskvatn, slik at det vil stige oppover i sjøen (resipienten) etter utslepp frå diffusoren. Etter denne oppstigingsfasen vil vatnet innlagre seg og bli spreidd med strømmen i det aktuelle djupet. Det er mogleg at noko av utsleppet til tider kan brei seg sørover over terskelen mellom Håvarden and Leirvåg. Men det er forventa at det meste spreier seg i sjølve Fensfjorden. Strømmmålingar utført på staden (Golmen 2004) indikerer overvekt av strøm i retning W-SW.

1.1.1 Tillegg for ROV survey

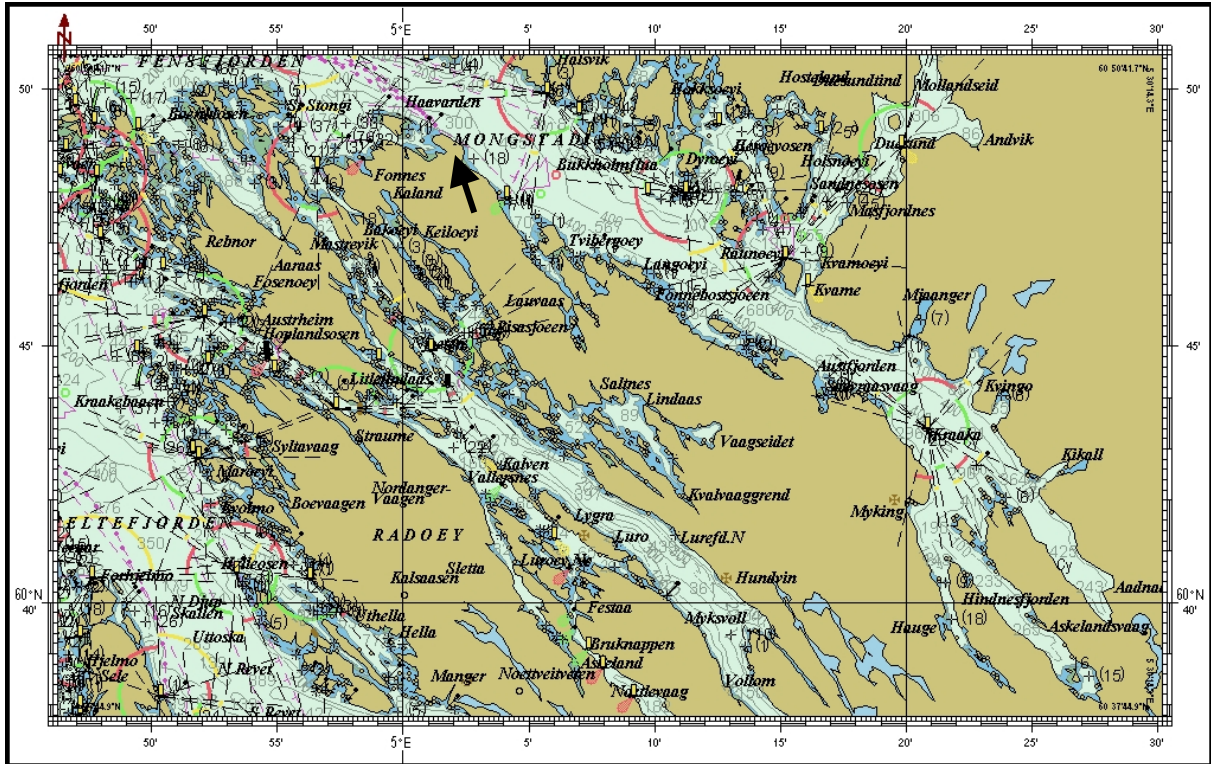
I samband med mistanke om lekkasje på avlaupsleidningen tinga Statoil ei tilleggsgransking med bruk av fjernstyrt undervass-kamera – ROV. Dette blei avtalt i februar 2005, for inkludering i første ordinære tokt.

1.2 Generell omtale av området

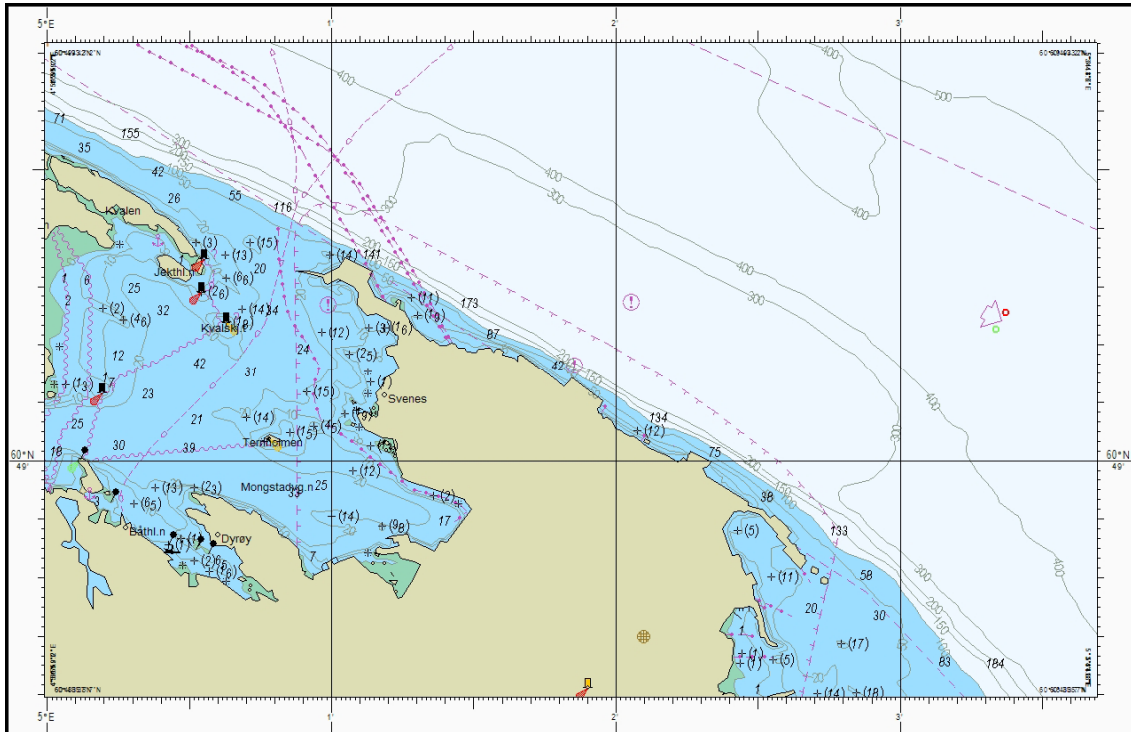
Raffineriet på Mongstad vart etablert av Norol i 1972, aust for Mongstadvågen i Lindås, ca. 50 km nord for Bergen. Det består i dag av oljeraffineriet, råoljeterminal og eit NGL (gass) anlegg. Det ligg føre planer om utviding med eit energiverk (varmekraftverk; Statoil 2004).

Mongstad-anlegget ligg på sørsida av Fensfjorden (**Figur 1**) som er open ut mot Nordsjøen ved Holmengå nord for Fedje. Fjorden er djup, ca 400 m nær Mongstad og opp mot 700 m ved det djupaste punktet lenger inne, i Austfjorden. Terskelen ved Holmengrå ligg på ca 250 m djup.

Området nær hovedkaaien og utsleppsleidningen for prosessvatn skråar bratt mot nordvest. Sjølve utsleppspunktet ligg i nordenden av sundet mellom Mongstad og øya Håvarden (**Figur 2**). Dette sundet er ca 500 m breidt med største djup på ca 40 m og terskeldjup på ca 31 m mellom Håvarden og Terneholmen.



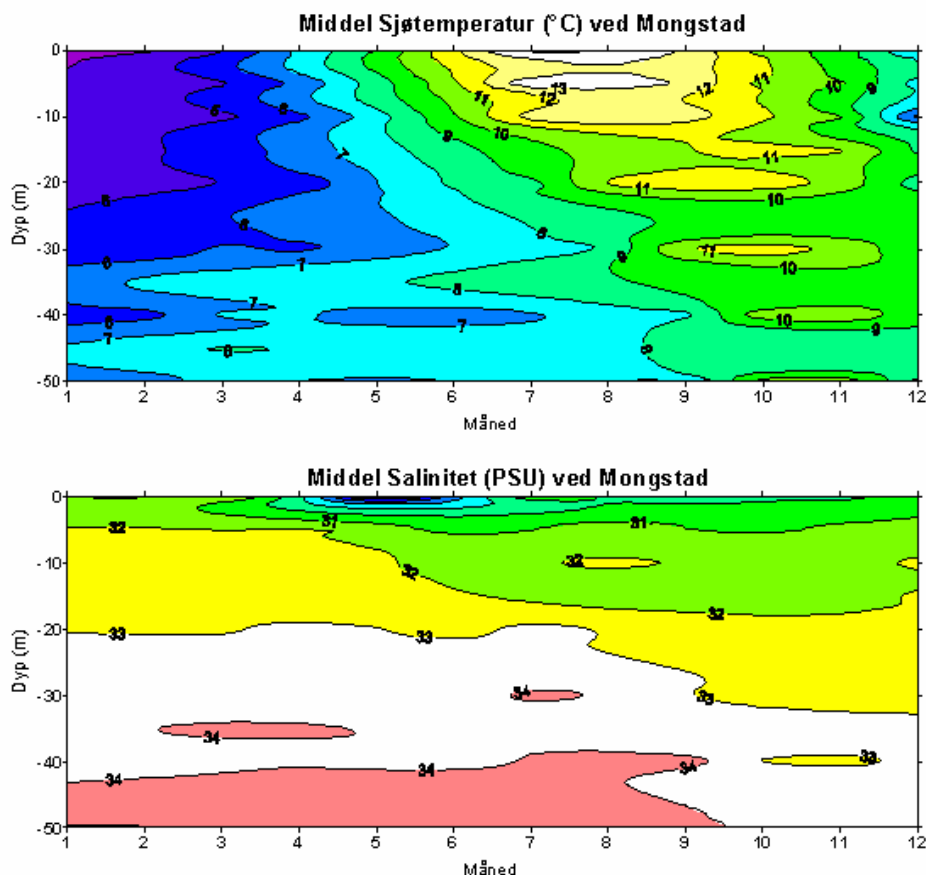
Figur 1. Kart over området rundt Mongstad (pil syner raffineriet).



Figur 2. kopi av sjøkart som syner botntopografien i området ved raffineriet.

1.3 Hydrografi og strømforhold i området

I 1972 utførte Geofysisk instutt, UiB, månedlege målingar av salinitet og temperatur versus djup i Fensfjorden. Resultat av desse målingane er synt i **Figur 3**. Det var liten/moderat sjikting i området, med ein antydning til eit markert brakkvasslag i månadane april- juni. Overflateverdiene for salinitet låg då rundt eller litt under 30 ppt, mens verdiane i djupvatnet oftast var over 34 ppt.

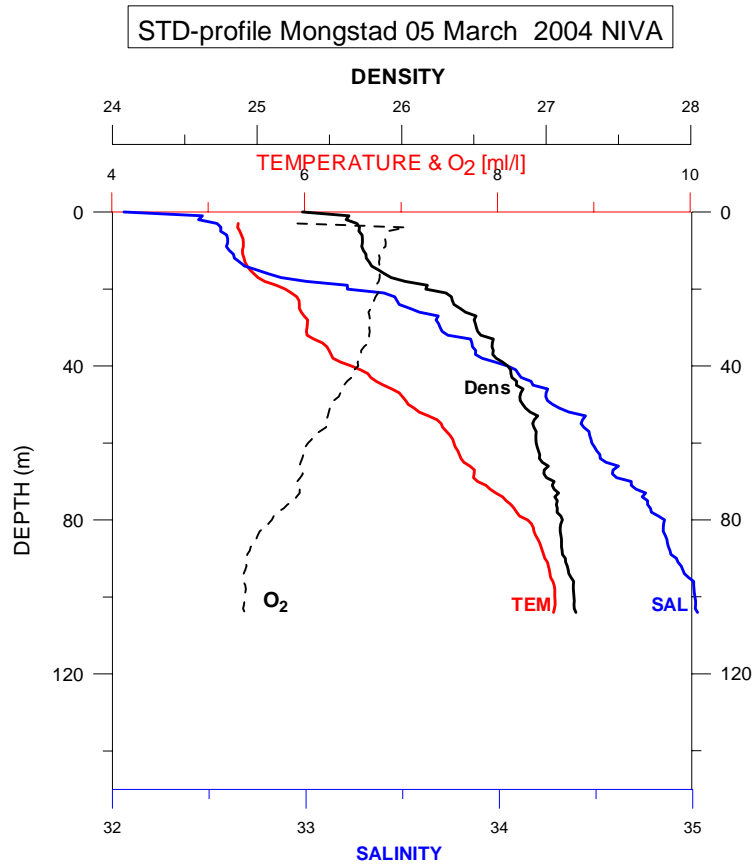


Figur 3. Årssyklus for temperatur og salinitet ved Mongstad basert på målingar i 1972 (Frå Statoil, etter data frå UiB v/Gade 1973).

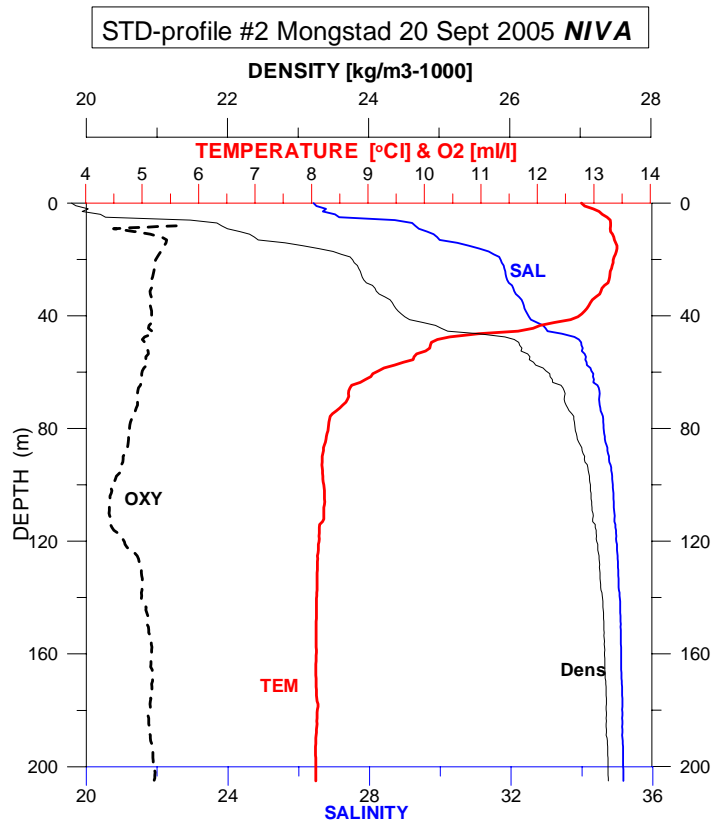
Det er sporadisk foretatt nyare hydrografimålingar i sbm ulike prosjekt. NIVA tok profiler i 2004 i samband med strømmålingsprogrammet då, sjå **Figur 4**. Eit tynt sjikt med salinitet ned mot 30 ppt låg over eit ca 15 m tjukt blandings sjikt, som var skilt frå djupvatnet gjennom ein relativt markert pynkoklin i 17-20 meters djup. **Figur 5** syner ein profil tatt i september 2005, som kan dekke situasjonen sein sommar.

1.3.1 Strømforhold

NIVA utførte strømmåling ved diffusoren i perioden 31. oktober til 2. desember, 2003 (Golmen og Nygaard 2003). Målingane blei gjort med ein profilerande akustisk doppler strømmålar (ADP). Resultata synte gjennomsnitt strømsstyrke på ca 10 cm/s i øvre sjikt, og 5-6 cm/s i 45 m djup (djupaste målecelle). Dominerande strømrøtning var mot vest /sørvest, tydelegast i øvre lag. I djupare sjikt var det større grad av bimodalitet, med veksling mellom SW og NE strømrøtning.



Figur 4. Målt profil av salinitet og temperatur samt densitet ved Mongstad i mars 2004.



Figur 5. STD profil tatt av NIVA ved Mongstad i september 2005, i tilknytting til eit anna prosjekt.

SINTEF utførte strømmåling med botnmontert ADCP nær utsleppspunktet i perioden 30. mars – 23. august 2005 (Eidnes 2005). Målepunktet var noko lenger ut mot nordaust i høve til NIVAs målingar i 2003. Middel trømsstyrke var 20-27 cm/s i øverste måleceller, 13-15 cm/s i intervallet 35-45 m djup, og avtakande til rundt 10 cm/s i 60-75 m djup. Dominerande strømreretning i sjikt frå 35 m til 75 m djup var mot søraust, altså innover fjorden. Frå 25 m og oppover var det dominerande strømreretning mot nordaust.

1.4 Utsleppet frå sikringsbassenget



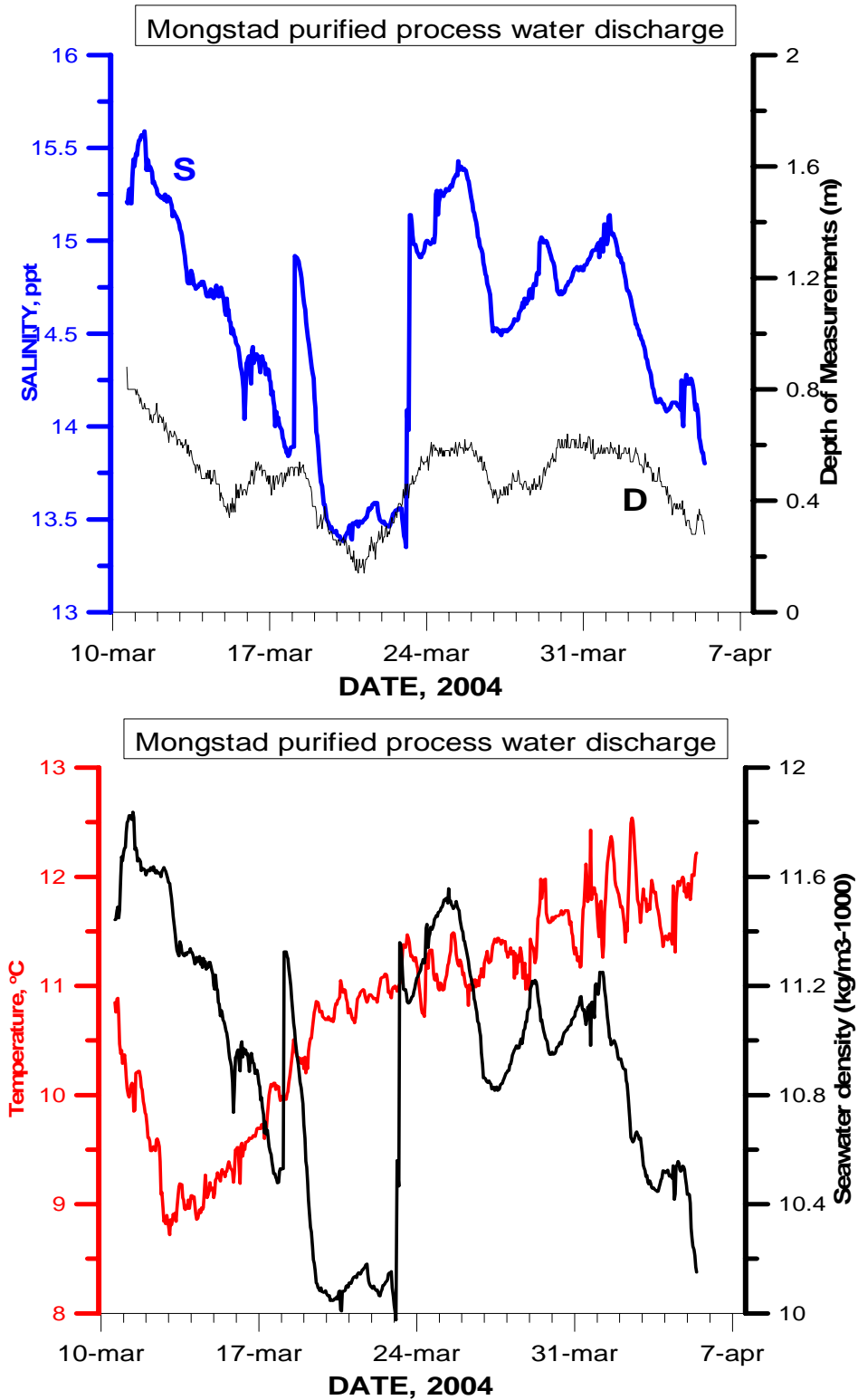
Figur 6. Foto av utløpskummen i nedre del av sikringsbassenget.

I nedre enden av sedimenteringsbassenget og sikringsbassenget er det støypt ein avløpskum (**Figur 6**) som held overflatevatn borte, og som slepp igjennom vatn frå djupare sjikt. Skum og evt. restar av flytestoff akkumulerer i ei renne på insida av kanten av kummen, før vatnet renn ned i senter av kummen og vidare ut gjennom to røyrinntak mot sjøen. Det eine røyrret er nødoverløp.

Utsleppsleidningen er av plast/polyester og har 1.200 mm diameter, og total lengde ut til diffusor er 1.250 meter. Der ligg først eit litt tjukkare (1.400 mm) 60 m langt segment frå kummen og ut under fyllinga/demningsveggen mot Mongstadvågen. Leidningen blei etablert i 1989, som del av utvidinga av raffineriet då.

Det er ingen pumper for å drive avløpsvatnet ut. Fallet er lite slik at ved flo sjø er det lite trykk for å drive avløpet, mens trykket aukar ved fallande sjø. Fluksen ligg normalt ein stad mellom 10,000 og 20,000 m³/dag. Ved dei fire tokta, mars og juni 2005, varierte fluksen (døgnmiddel) mellom 11.000 m³/dag og 17.000 m³/dag.

Avløpsvatnet har noko vekslende salinitet og temperatur. **Figur 7** syner resultat av målingar i utløpskummen i mars 2004, med salinitetsverdiar varierende mellom 13,5 og 15,5 ppt i det tidsrommet. Vassprøver som NIVA tok i sbm sommar-toktet i 2005 synte h.h.t. 12,5 og 13,2 ppt i salinitet, og stemmer såleis bra med 2004 verdiane.



Figur 7. Målt salinitet og temperatur i utløpskummen i mars-april 2004.

2. Metodikk

2.1 Bruk av sporstoff

For å verifisere innlagring og spredning av utsleppet frå Mongstad blei det utført s.k. sporstoff-forsøk to ulike perioder i 2005: 14-15 mars og 27-28 juni.

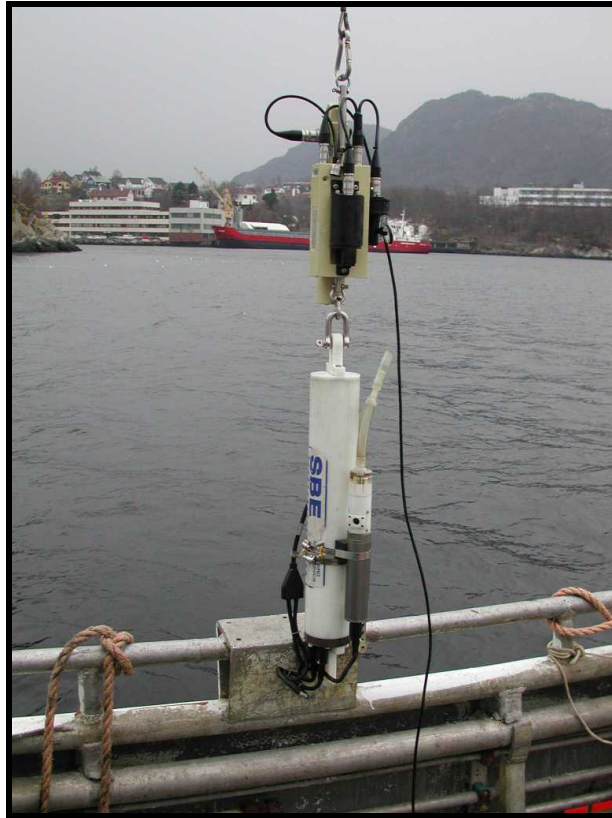
2.1.1 Stoff og dosering

Etter anbefaling fra Statoil brukte vi sporstoffet Fluorescein (Fluorescein Dye). Detaljar om dette stoffet er synt i Vedlegg A. NIVA hadde frå før lang erfaring med bruk av Rhodamin bl.a. fra Byfjorden i Bergen. Fluorescein liknar Rhodamin, men krev forskjellig sensor. Fluorescein blir lettare nedbrote i naturen (av sollys m.m.) i høve til Rhodamin. Deteksjonsgrensene er om lag dei same (ned mot 10^{-10} i konsentrasjon).

Fluorescein (DYMO MS-200) er i konsentrert form (d.v.s. i leveringstank med 10-30% konsentrasjon) brun/oransje, og går over til grønt og så gult ved aukande fortynning. Densiteten er oppgitt til 1.08 kg/l ved 25 °C, og pH verdi rundt 8-10. Stoffet blei valt til erstatning for Rhodamin fordi det er relativt ufarlig ("ikke farlig gods" etc) og har noko betre miljøegenskapar som lettare nedbryting. Bruken var klarert av Statoil med SFT og Fylkesmannens miljøvernavdeling.

Tekniske data for fluorescein er tatt med i Vedlegg A.

Før kvart tokt blei sporstoff (fargestoff) dosert ut i avløpet frå sikringsbassenget over eit kortare tidsrom (ca ½ -1 time) i konsentrasjon ca 1/50. Avhengig av aktuell avløpsfluks og under forutsetning av god blanding i røret utover var forventa fortynning ved utløpet i fjorden ca 10.000X. Med forventa initalfortynning ved diffusoropningane av storleiksorden 10-100X ville vi då ligge innafør deteksjonsintervallet for sensoren nær diffusoren.



Figur 8. SAIV sonden (øverst) sammen med Seabird SBE19 sonde (for interkalibrering).

Etter dosering blei det igangsatt måling frå båten ute i fjorden rundt utsløppspunktet for å detektere avløpsvatnet (sporstoffet) og følge dette nedstrøms. Med den aktuelle doseringa var utsløppskonsentrasjonen av sporstoff antatt å bli ca 1/10.000. Dermed ville ein teoretisk kunne spore utsløppsvatnet i lang avstand nedstrøms (lågaste deteksjon for sensoren er rundt 10^{-10} d.v.s. langt under det ein vil kunne sjå frå anomaliar i andre målte parametrar som overtemperatur).

Til desse målingane blei det nytta ein følsom fluorescens sensor (Seapoint fluoresein sensor) påkopla en STD sonde av type SAIV 204, serie nr 450, med Sensor unit, Serie nr 185. Loggeintervallet var satt til 1g/sekund. Tekniske data om Seapoint sensoren er synt i tekstboksene under. SAIV sonden hadde også turbiditetssensor, foruten dei vanlege sensorane for trykk (djup), salinitet (konduktivitet) og temperatur.

Seapoint Fluorescein sensor

The Seapoint Fluorescein Fluorometer (SFF) is a high-performance, low power instrument for *in situ* measurements of fluorescein dye. Its small size, very low power consumption, high sensitivity, wide dynamic range, 6000 meter depth capability, and open or pumphrough sample volume options provide the power and flexibility to measure fluorescein in a wide variety of conditions. The SFF uses modulated LED lamps and excitation filter to excite fluorescein present in water. The fluorescent light emitted by the fluorescein passes through an emission filter and is detected by a silicon photodiode. The low level signal is then processed using synchronous demodulation circuitry which generates an output voltage proportional to fluorescein concentration. The SFF may be operated with or without a pump. The sensing volume may be left open to the surrounding water, or, with the use of the supplied cap, can have water pumped through it. Two control lines allow the user to set the sensitivity to one of four options. These lines may be hardwired or microprocessor controlled to provide a suitable range and resolution for a given application. The sensor is easily interfaced with data acquisition packages; a 5 ft. pigtail is supplied. Custom configurations are available.

Spesifikasjonar for Seapoint fluorescein sensoren

w Power Requirements	8.5-20 VDC, 27 mA avg., 50 mA pk.		
w Output	0-5.0 VDC		
w Output Time Constant	1.0 sec.		
w Excitation Wavelength	475 nm CWL, 30 nm FWHM		
w Emission Wavelength	530 nm CWL, 30 nm FWHM		
w Sensing Volume	340 mm ³		
w Minimum Detectable Level	0.002 µg/l		
w Sensitivity/Range	<u>Gain</u>	<u>Sensitivity, V/(µg/l)</u>	<u>Range, µg/l</u>
	30x	10	0.5
	10x	3.3	1.5
	3x	1.0	5
	1x	0.33	15
w Depth Capability	6000 m (19,685 ft)		
w Weight (dry)	1000 g (2.2 lbs)		
w Operating Temp.	0°C to 65°C (32°F to 149°F)		
w Material	Rigid cast polyurethane, epoxy		
w Underwater Connector	Impulse AG-306/206 (others available on request)		

SAIV sonden blei firt langsamt nedover i djupet tilkopla ein signalkabel. Max måledjup var ca 60 m, d.v.s. 10-15 m djupare enn diffusoren slik at ein var sikker på å få fanga inn den del av den antatt oppstigande utsleppsskya som måtte finnast på stasjonen.

Ved nokre høve blei sonden taua langsamt i konstant djup (30-40 m) etter båten rundt utsleppet for å få inn første signal av sporstoffet etter dosering.

Måleresultata blei overført frå sonden gjennom kabel, og var gjort tilgjengelig i sann tid på ein PC om bord gjennom bruk av akvisisjonsprogrammet til SAIV, og data blei lagra på disk, ei fil pr stasjon, Internminnet i sonden fungerte som data backup; det blei tømt etter kvart tokt.

Posisjonen for kvar stasjon blei logga i båten datasytem, og posisjonslista kunne hentast ut derfrå etter tokta.

2.1.2 Toktdatoar og antal stasjonar

Antal stasjonar er synt i **Tabell 1**. Stasjons-plott et tatt med i Vedlegg B.

Tabell 1. Oversyn over toktdatoar og stasjonar.

Dato, 2005	Antal stasjonar	kommentar
Mandag 14. mars	32	13(3: Avløp 10.341 m ³ /dag
Tysdag 15. mars	26	ROV survey prioritert, kl 10 – 13. Avløp: 15.305 m ³ /dag
Mandag 27. juni	37	Lekkasje nær land detektert. Avløp ca 17.000 m ³ /dag
Tysdag 28. juni	31	Lekkasje nær land detektert. avløp ca 11.000 m ³ /dag

På første toktet, 14. mars 2005, gjorde båten ein kort survey først, for å finne utslepps-røret og diffusoren v. hj. a. ekkoloddet. Røyret var lett å finne. Dei to diffusor-endane ligg på knekkpunktet av

botnskråninga, der den går over frå slakt til bratt hellande. Dese to segmenta var difor ikkje like lett synlege på ekkoloddet, men posisjonen kunne likevel bestemmast (krysset, og endane). I tillegg kunne ein ved nokre seinare høve detektere utsleppsstrålen på ekkoloddet, som ein stadfesting av posisjonen.

2.2 Lekkasje på røyret i juni.

Før andre toktrunde var det rapportert lekkasje på avløpsrøyret inne ved land, på ca 10 m djup. Lekkaspunktet var merka med blåser (Figur 9). Under tokta i juni la vi opp til også å kunne observere lekkasjen v.h.j.a. sporstoffet. Sporstoff kunne tydeleg detekterast visuelt og med instrument på og under overflata (Figur 10, Figur 11). Lekkasjen hadde oppstått tidlegare, kanskje var den der alt under tokta i mars. Eventuelt kunne den ha tiltatt gradvis mellom måleperiodene. Planen var å tette lekkasjen hausten 2005.

Asplan-viak gjorde ein nærmare vurdering av lekkasjen, og kom til at den representerte max 20% av total vassfluks. Resultata frå sporstoffforsøka kan dermed til ein viss grad vere påverka av dette – ein større andel av sporstoff enn 20% kan teoretisk ha forsvunne ut i lekkasjen fordi blandinga i røyret ikkje var fullstendig ved dette punktet på leidningen. Kvalitativt sett bør imidlertid resultata også frå desse to tokta (forsøka) uansett vere relevante og nyttige.



Figur 9. Omådet inne ved land der det var lekkasje på avløpsrøyret.



Figur 10. Synlig sporstoff i overflata den 27. juni 2005.



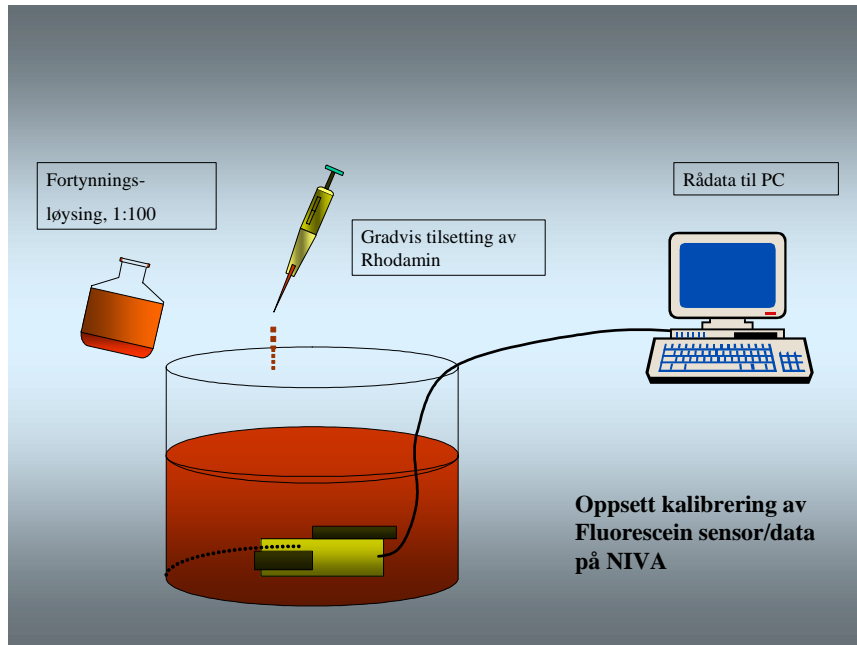
Figur 11. Lekkasje nær land, 27. juni 2005.

2.2.1 Sporstoffkalibrering

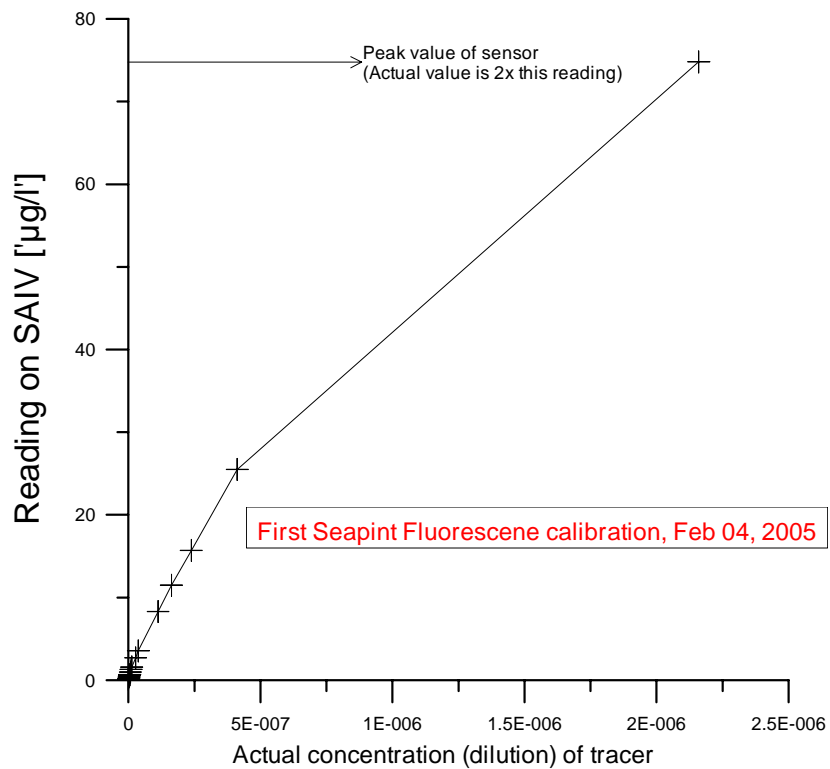
Test/kalibrering av fluorescein sensoren blei gjort innleiingsvis i eit prøvekar mot kjent konsentrasjon av sporstoff: Kjent mengde sporstoff blei dosert ut med pipette i 50 l sjøvatn, slik at konsentrasjonen gradvis auka. Sonden låg i karet, innstilt på logging via kabel til PC (**Figur 12**).

Før oppstart av kalibreringa blei det gjort måling med SAIV sonden i sjøen for å sjekke bakgrunnsverdien for fluorescein, som synt seg å ligge rundt 0.04 – 0.06.

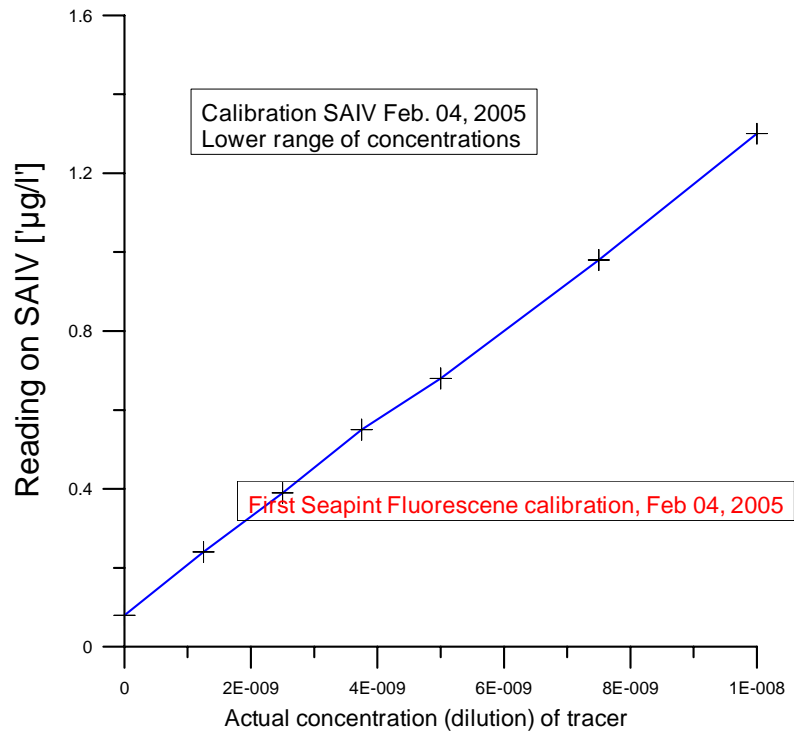
Figur 13 og **Figur 14** viser kalibreringskurvene frå testen i februar 2005. Første figur dekker heile måleområdet, den andre dekker lågare del av dette. Eine kurva syner kurve for målt konsentrasjon mellom 0 og ca 80 $\mu\text{g/l}$, motsvarande faktisk (d.v.s. antatt/berekna) konsentrasjon mellom 0 og 2.5 $\times 10^{-6}$. Kurva for låge konsentrasjonar var tilnærma lineær.



Figur 12. Skisse over opplegget for sensorkalibrering (sporstoff).



Figur 13. Kalibreringskurve for Fluorescein, februar 2005.



Figur 14. Kaliberingskurve for Fluorescein, for låge konsentrasjonar.

3. ROV-survey

Etter at avtalen om oppdraget blei inngått på slutten av 2004, kom det spørsmål/ønske frå raffineriet om det var mulig å foreta ein ROV (fjernstyrt miniubåt) survey med filming rundt utsleppsrøret, evt. i samband med sporstoff-forsøka.

Formålet med kartlegginga, og bruken av resultatata, var m.a.

1. Tileggsopplysningar (visuelt) for modelleringa av utsleppet
2. Observasjon av eventuell påverknad av botnen rundt utsleppet
3. Deteksjon av eventuelle lekkasjar
4. Tillegg til baseline miljøinformasjon (foto etc).

Surveyen blei foretatt 15. mars 2005. Med frå raffineriet var John E. Skare. Førebels resultat frå survey blei oversendt raffineriet like etter.

Til surveyen blei NIVAs Seabotix ROV (sjå foto, **Figur 15**). Denne blei styrt frå en konsoll om bord, via ein 150 m lang kabel (umbilical). ROVen har to kamera, eit sv/kv, og eit i farge. Thrusterar for manøvrering opp/ned/til sida. Sensorar for djup (trykk) og heading. Data posisjon, tid etc. blir lagt inn på skjermbilledet om bord (og lagra digitalt). Digitalt opptak om bord på eit SONY system. Filoverføring til DVD.

ROVen hadde også eit akustisk posisjoneringssystem (undervassmodem) som gir eksakt posisjon. Under surveyen ved Mongstad var dette systemet ute av funksjon. Ved å starte surveyen inne ved land og følge røyret utover samtidig som djup blei registrert, hadde ein bra kontroll med posisjon.



Figur 15. NIVAs Seabotix ROV.

3.1 Resultat av ROV survey

Desse resultatata (DVD, fotos) blei levert til raffineriet like etter toktet den 15. mars 2005, som dokoumentasjon på status. Det blei ikkje registrert nokon lekkasje under dette toktet. Nokre fotografi er tatt med her, i **Figur 16 - Figur 19**. Dei fleste diffusorhola var i synlig aktivitet, med stoffsky over/like ved.

I flg. denne kartlegginga såg dermed avløpet til å fungere bra. (Det blei seinare rapportert om lekkasje på røret inne ved land, noko som vi kunne sjå klart under tokta i juni.)

Det blei dosert sportstoff i avløpet mellom kl 0930 og 1000, i forkant av ROV surveyen 15. mars. Surveyen kom først i gang ca kl 11, slik at sportstoffet innan vi kom ut til diffusorområdet sannsynligvis var transportert ut av røyret. Difor blei det ikkje detektert synlig sportstoff (gjennom ROV kamera).



Figur 16. Parti av avløpsrøret, nær diffusoren.



Figur 17. Diffusorhol, ca 55 m djup.



Figur 18. Diffusorhol, vendt oppover.



Figur 19. Diffusorhol, med synleg partikkel/stoffsky.

4. Resultat sporstoff kartlegging

4.1 Tokt 14. mars 2005

Dette var første toktdag i prosjektet. Ved ankomst tok båten ein kort survey for å detektere rør og diffusor, og få posisjon lagra og plotta i loggesystemet om bord. Ein mann frå NIVA var om bord i båten, ein person gikk inn på raffineriet, i følgje med personell derfrå, og førebudde dosering.

Doseringa av sporstoff foregikk mellom 10:30 og 11:00 lokal tid. NIVA personen forlot deretter raffineriet og gikk om bord i båten ved kaia i Leirvåg, 5 minutt frå Mongstad. Deretter starta systematisk profilering med SAIV sonden, både ved utsleppet og i punkt lenger frå.

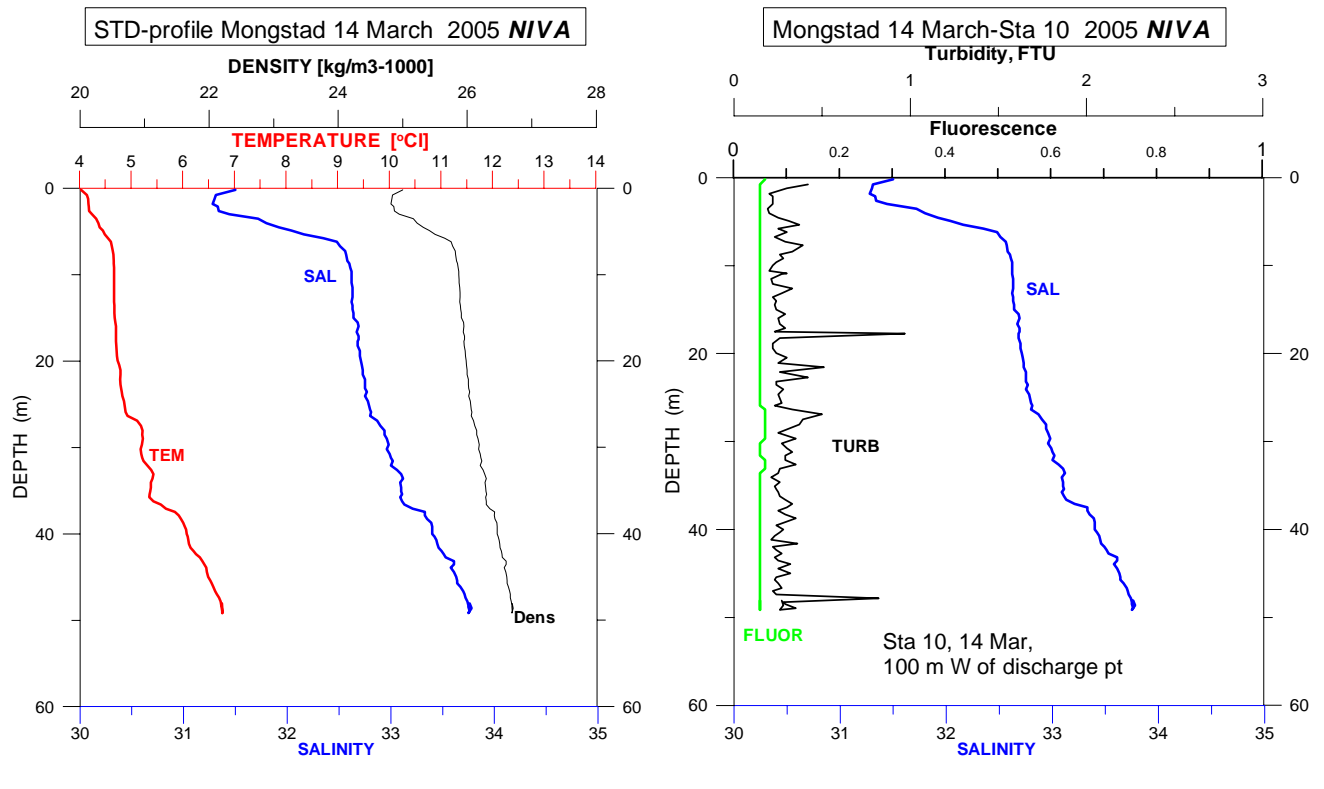
Det blei tatt i alt 32 stasjonar denne dagen. Sporstoff blei raskt detektert nær utsleppet. Målestrategien blei valt ut frå kva retning sporstoffet syntes å bli transportert (assistert m.a. av strømkorsobservasjon). Dermed kunne ein få utslag på dei fleste stasjonane, og unngå for mange blanke. Blanke stasjonar utgjorde ca 10 % av totalt antal denne dagen. Måleprogrammet heldt fram til ca kl 17.

Figur 20 syner tilstanden i resipienten ("bakgrunn") like etter dosering. Målingane er frå eit punkt ca 100 m vest for usleppspunktet, og det blei ikkje registrert utslag verken på fluorescens eller partiklar (turbiditet). Stasjonen kan difor tene som "referanse". Sjiktinga var prega av låge temperaturar, lågast i overflata (4°C), aukande til ca 7°C i 50 m djup. Saliniteten hadde eit minimum (31.5) like under overflata, følgt av ein markert gradient mellom 2 m og 8 m djup. Vidare nedover var det meir kontinuerlig sjikting, til verdiar rundt 33.8 i 50 m djup. Fluorescens hadde ingen utslag, verdiane låg på "bakgrunn", rundt 0.05. For turbiditet var det også låge verdiar, med eit par mindre utslag, i h.h.v. 18 m og 47 m djup.

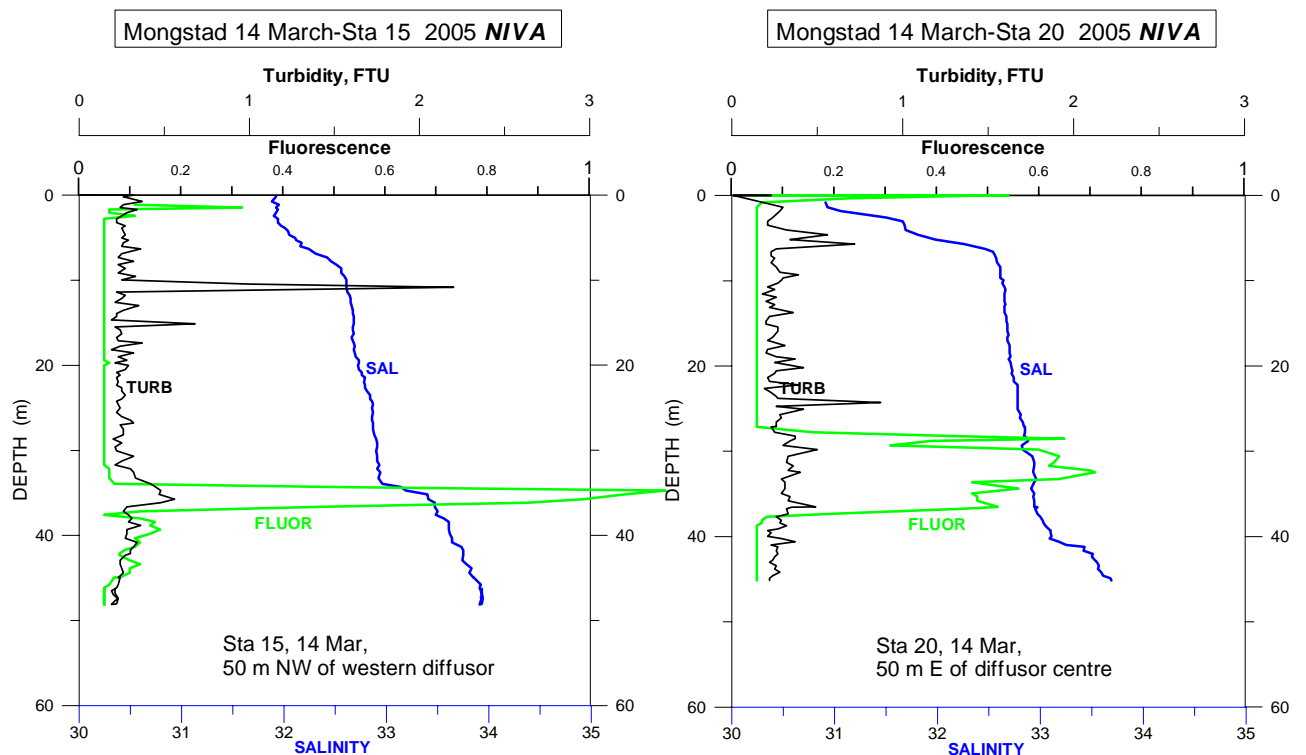
4.1.1 Sporstoff-verdiar 14. mars

Bakgrunnsverdiane for sporstoff låg rundt 0.05. Det blei først søkt både austover og vestover, for å finne signal frå sporstoff. Første mulige påvising var kl 12:05, i enden av østre diffusor (max verdi 0.25 i 45 m djup). Frå kl. 14:00 blei det lokalisert meir tydelege og konsistente utslag, først av storleiksorden 0.10-0.15, og så høgare verdiar, opp til 1.2 på stasjon 15, litt vestafor diffusoren (**Figur 21**). Stasjon 20 aust for diffusoren hadde max registrert verdi på 0.70 i sjiktet 28 – 38 m (også i **Figur 21**). Tendensen var at kun intervallet mellom ca 30 m og ca 40 m hadde utslag for sporstoff. Utslag for partiklar forekom gjerne innafor eit tjukkare sjikt enn dette.

Sporadiske høge utslag i overflata forekom på alle tokta, men dette skuldast neppe spostoff men helst anna organisk materiale, biofilm eller liknande.



Figur 20. Profil tatt kl 12:31 i.t. ca 100 m avstand frå utleppspunktet (Referansestasjon). Til venstre: profilar av salinitet, temperatur og densitet. Til høgre: Profilar av turbiditet og fluorescens (samt salinitet).



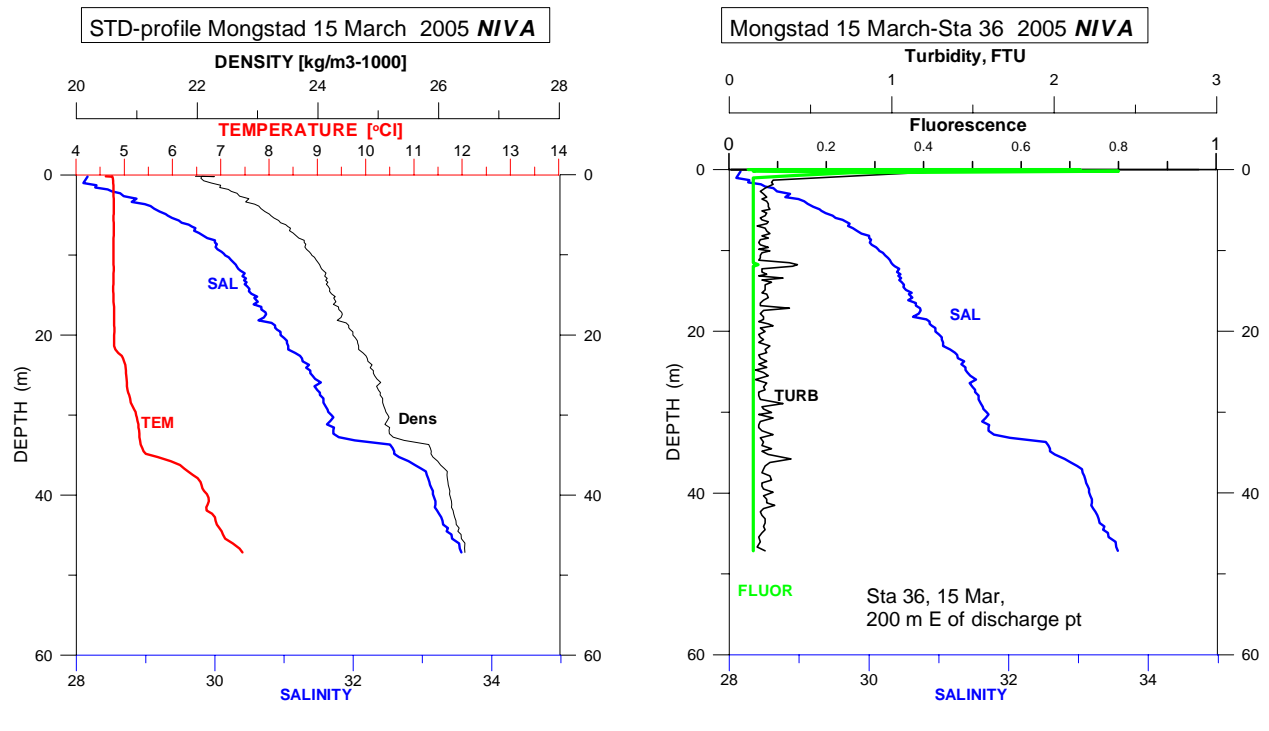
Figur 21. Resultat av sporstoffmåling 14. mars (grøn kurve) for stasjon 15 og 20. Kurver for salinitet og turbiditet er også tatt med.

4.2 Tokt 15. mars 2005

Opplegget var delvis som dagen før, med ein person om bord frå starten for å foreta måling i forkant av dosering, og ein person inne på raffineriet for å utføre doseringa. Denne dagen hadde ROV surveyen prioritet, og det var med representant frå raffineriet om bord. Doseringa starta 09:30 lokalt tid, og varte ca ½ time. Detetter forlot NIVA raffineriet, og entra båten i Leirvåg ca kl 10:30 for å bli med på ROV surveyen.

Bakgrunnsverdiene var om lag som dagen før, men med ein viss endring i stratifiseringa (**Figur 22**). Saliniteten i overflata var redusert frå ca 31.5 til 28.2. Eit sekundært sprangsjikt hadde danna seg rundt 33 m djup. Denne endringa får eine dagen til den andre avspeglar ein betydeleg dynamikk i utskiftinga i området ved Mongstad, også på slik kort tidsskala.

Kartlegging/profilering byrja ca 13:30, og det blei tatt ca 25 stasjonar denne dagen. Det tok ei stund før sporstoff blei detektert- sannsynlegvis sidan det var fleire timar sidan doseringa fann stad, og stoffet alt var ute i fjorden, på veg bort frå utsléppspunktet. Søket fokuserte først på området ved utsléppspunktet og nordaustover, der det dagen før blei detektert sporstoff. Først på 8. stasjon, ca kl 14:25, blei det fanga opp signal i fluorescens, dette var i ein posisjon i vestleg retning, avstand ca 200 m frå utsléppspunktet.



Figur 22. Profil tatt kl 13:50 den 15. mars, i austleg retning, tvers av kaia (kai 7). Til venstre: profiler av salinitet, temperatur og densitet. Til høgre: Profilar av bakgrunn for turbiditet og fluorescens (samt salinitet).

4.2.1 Sporstoff 15. mars

Etter dosering foretok vi sondering, som dagen før. Som nemnt, blei denne dagen avkorta p.g.a. ROV surveyen om formiddagen. Første stasjon med SAIV var kl 13:24 lokal tid, altså 3.5 time etter avslutta dosering (gjort i forkant av ROV surveyen). Dette medførte at sporstoffet nok forlengst var ute av

røyret ved oppstart måling, noko som blei stadfesta av at gjentekne stasjonar rundt utseppspunktet ikkje ga utslag. Søkk i austleg retning ga heller ikkje utslag. Første deteksjon var på stasjon 40 (nr 33 var første stasjon denne dagen), kl 14:23. Posisjonen var ca 200m NW for utseppet. Utslaga var i sjikt mellom 34 og 37 m djup, med høgste verdi på 0.17.

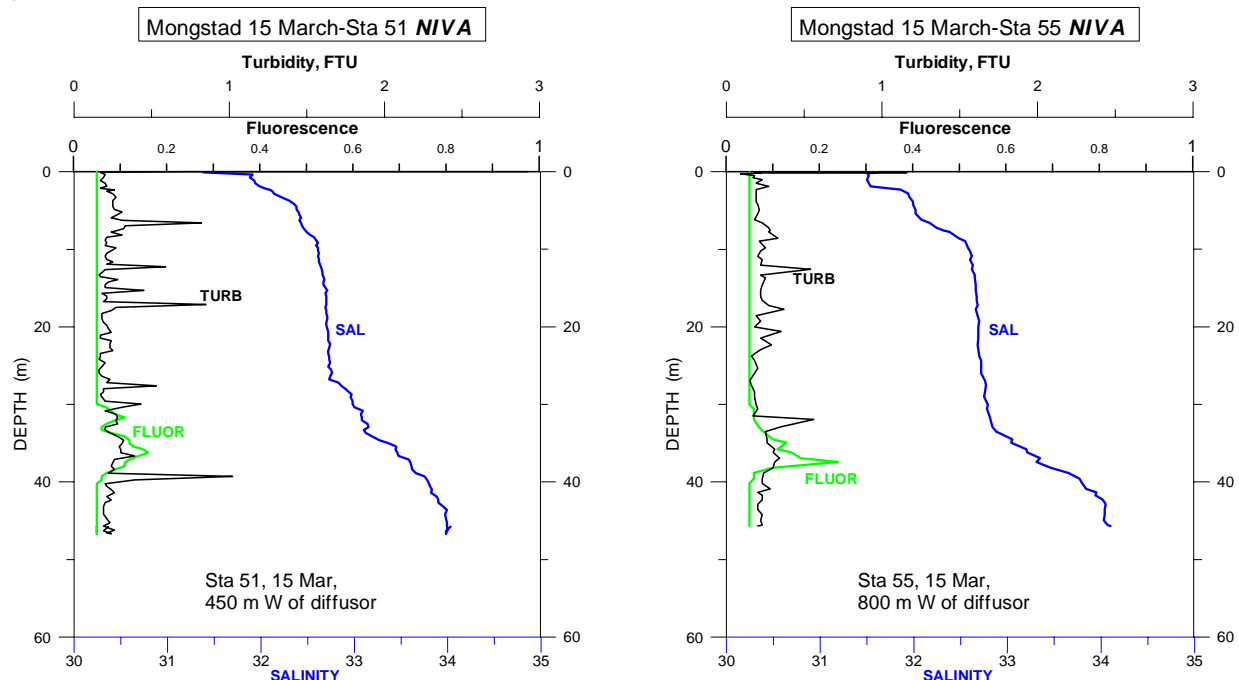
Vi fortsatte vidare vestover for om mulig å ”innhente” sporstoff-skya. Det viste seg at vi då fekk utslag på dei fleste stasjonane, fortsatt i djupe sjikt, typisk mellom 30-40 m djup. **Figur 23** gjengir resultatata frå stasjon 51 og 55, h.h.v. 450 m og 800 m vestafør utseppspunktet. Max verdiane var oppe i 0.16 og 0.24, som var signifikant, om ikkje høgt. Vi fortsatte vidare i vestleg retning, og fann sporstoff 500 m lenger vest. På siste stasjon (58), 400 m vidare vestover (ved V-spiss av Håvarden) var det ingen antyding.

4.3 Tokt 27. juni 2005

Opplegget følgde same mønster som i mars. Representant Nygaard frå Statoil deltok under doseringa, og etterpå om bord. Etter litt venting p.g.a. liten vassføring i utløpet tok doseringa til kl 11:00 l.t. og varte til 11:40. Båten var i beredskap ute på vågen, for å lokalisere evt lekkasje. Sporstoff blei rask detektert visuelt på overflata der, og båten brukte en del tid på å dokumentere dette (sjå eige avsnitt).

Sporstoffverdiane var oppe i 6.5 nær overflata over lekkasjepunktet (tre suksessive profilar ga maksimum h.h.v. 1.4, 6.5 og 3.5 for fluorescens).

Det blei tatt 37 stasjonar denne dagen. På nokre av dei første ”stasjonane” blei sonden slept langsamt fram og tilbake rundt utseppet i 25-35 m djup, for på den måten å raskare kunne fange opp sporstoff. Fram til kl 12 blei det ikkje detektert stoff ved utseppet. Båten gjekk deretter tilbake til lekkasjepunktet inne ved land, der vi tok profil frå overflate til botn (ca 10 m djup). Det var tydelege signal frå lekkasjen også denne dagen.



Figur 23. Resultat av sporstoffmåling 14. mars (grøn kurve), for stasjon 15 og 20. Kurver for salinitet og turbiditet er også tatt med.

Bakgrunnsverdiar for hydrografi denne dagen er synt i **Figur 24**. Måleposisjonen var over diffusoren, og utslag for turbiditet representerte sannynlegvis utseppet frå raffineriet, ellers bakgrunnsverdiar for fluorescens. Hydrografien var tydeleg endra frå målingane i mars, med vesentleg meir ferskvass-

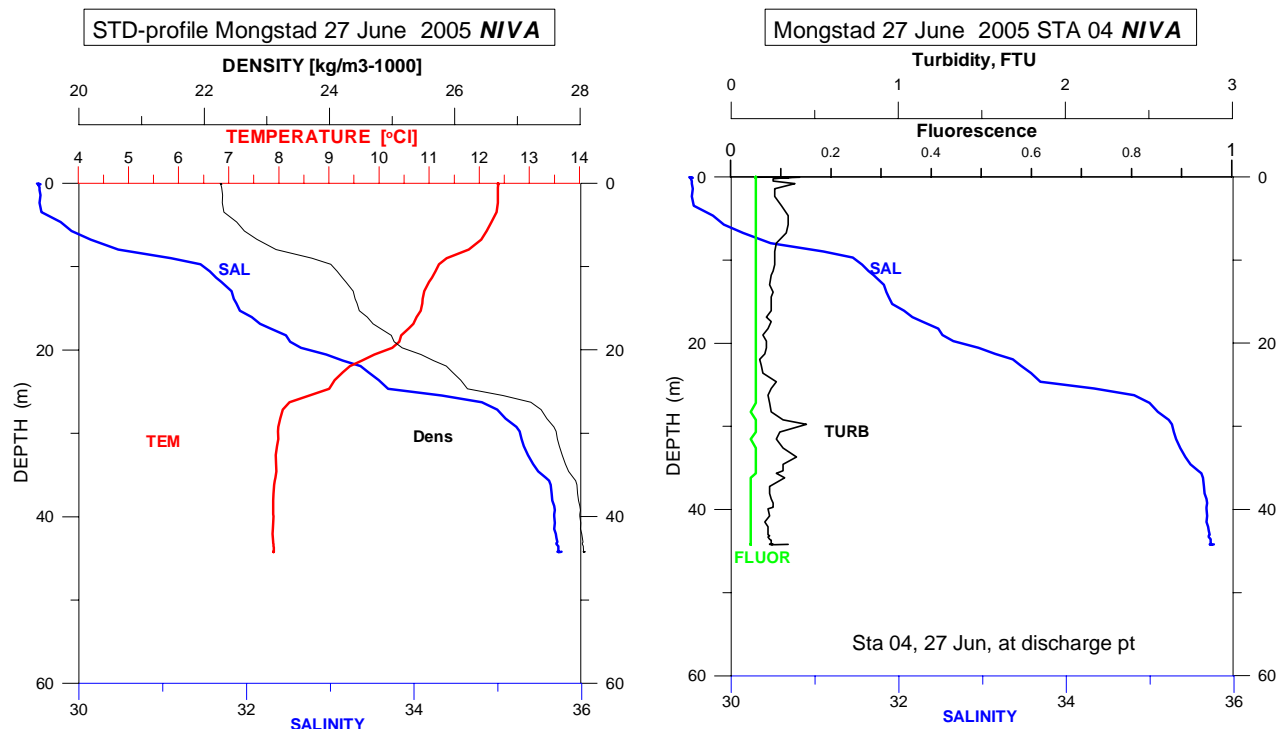
innblanding i sjikt frå overflata ned til ca 20 m djup. Rundt 25 m djup var det eit sekundært sprangsjikt. Det var ingen utslag for fluorescens på denne stasjonen. Eit mindre partikkelutslag mellom 25 og 35 m djup kan stamme frå avløpet.

4.3.1 Sporstoff 27. juni

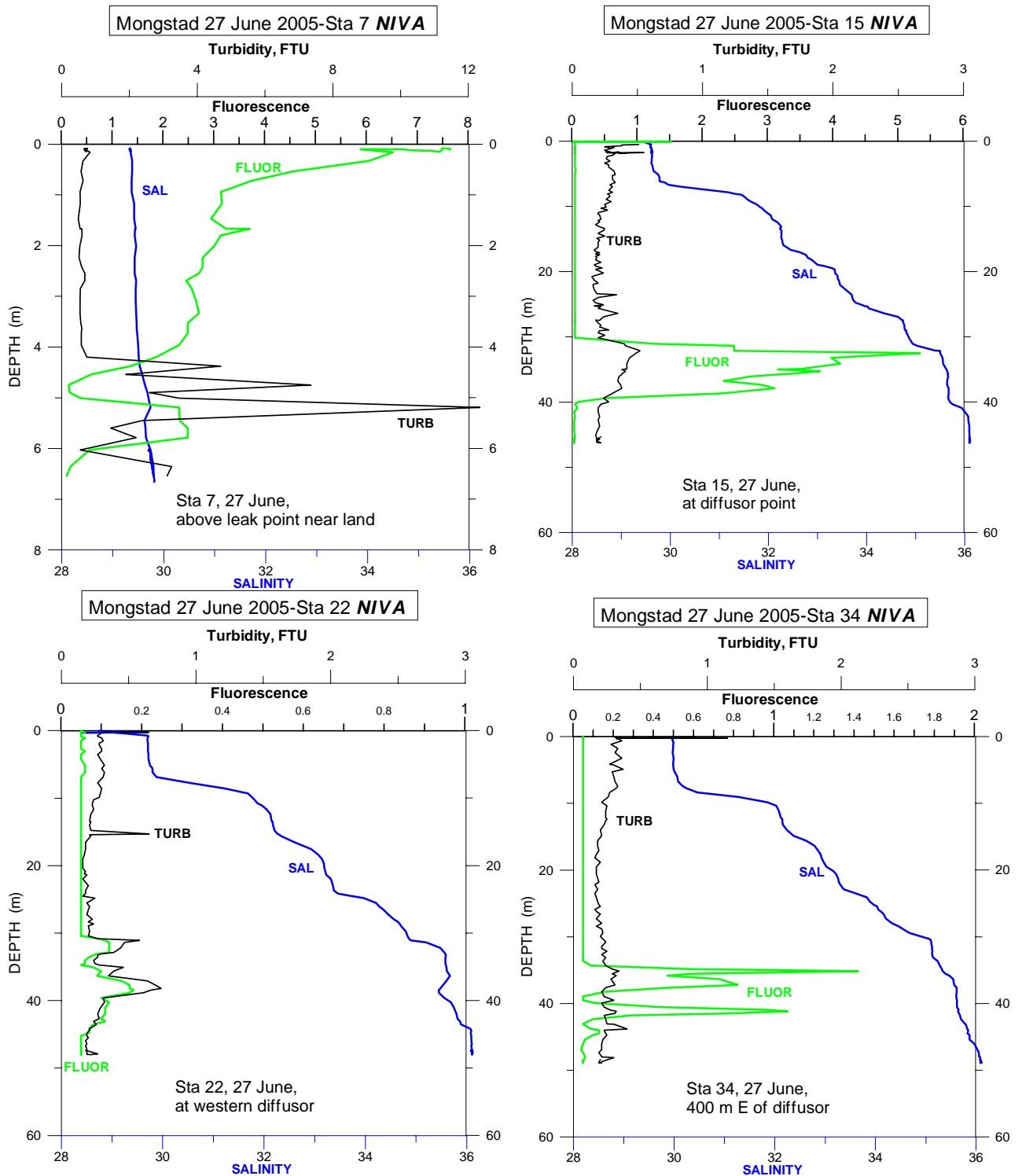
Sporstoff kartlegginga 27. juni blei delvis prega av spring av lekkasjepunktet inne ved land. Lekkasjeen lot seg lett spore, og profilering rundt klokka 12 ga tydeleg utslag i fluorescens på tre etterfølgjande stasjonar (6, 7 og 8). Stasjon 7 i **Figur 25** illustrerer det kraftige signalet over lekkasjeen, med max verdi opp mot 8, og tydeleg utslag heilt til botn. Det er uklart kor stor del av sporstoffet som lakk ut i dette punktet, for vassfluksen antyda Asplan-viak inntil 20% av total fluks. Uansett var det mindre sporstoff som kom ut gjennom diffusoren enn det som blei dosert inn, sannsynlegvis mindre enn 80%.

Figur 25 viser også tre andre profiler tatt under kartlegginga. Alle med tydeleg signal for sporstoffet. Max. verdi var 1.4 på stasjon 34, som var tatt ca 400 m vestafor utsleppspunktet. Sporstoffet blei som før detektert stort sett mellom 30 og 40 m djup. Høg sporstoff verdi fall vanlegvis saman med høg verdi for partiklar (turbiditet). Men høg turb. verdi inntraff også ved mange høve utan assosiert sporstoff-signal. På dette toktet var det dominerande austleg utbreiing av sporstoffet.

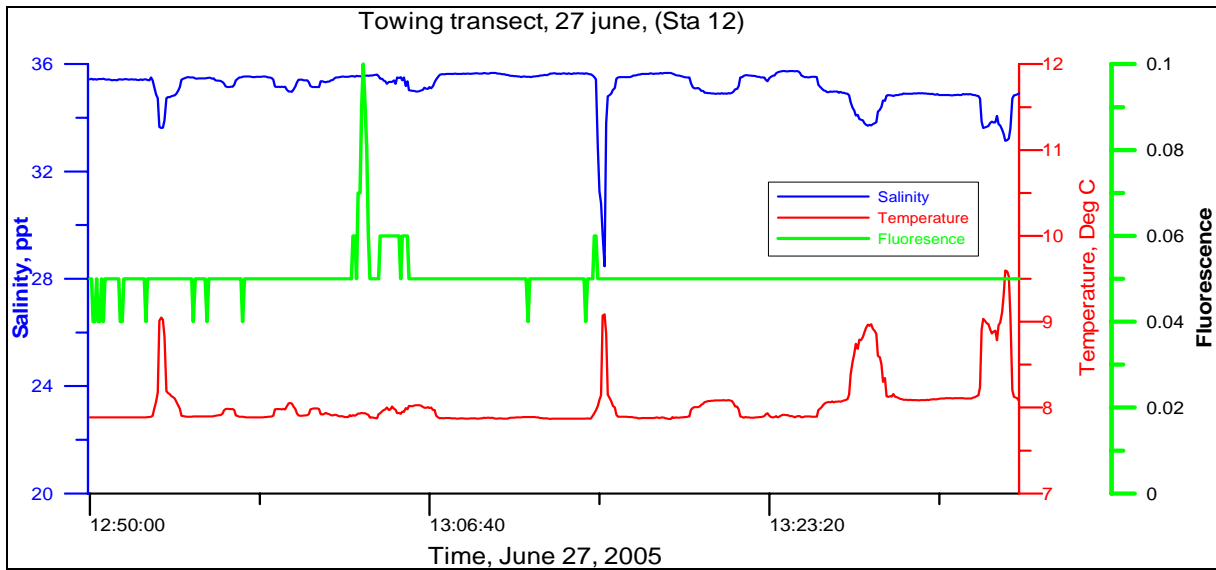
Etter nokre innleiande forsøk med profilering ved diffusoren blei det forsøkt med sleping av SAIV sonden i aktuelt djup for deteksjon av sporstoff (ca 35 m djup). Resultat for 35 minutt med sleping er synt i **Figur 26**. Det var eit par utslag på sporstoff – utslaget kl 13:03 er signifikant. Dei markerte utslaga i salinitet og temperatur som var korrelert, skuldast sannsynlegvis at sondedjupet blei midlertidig grunnare på dei tidspunkta, og neppe påverka frå avlaupsvatnet.



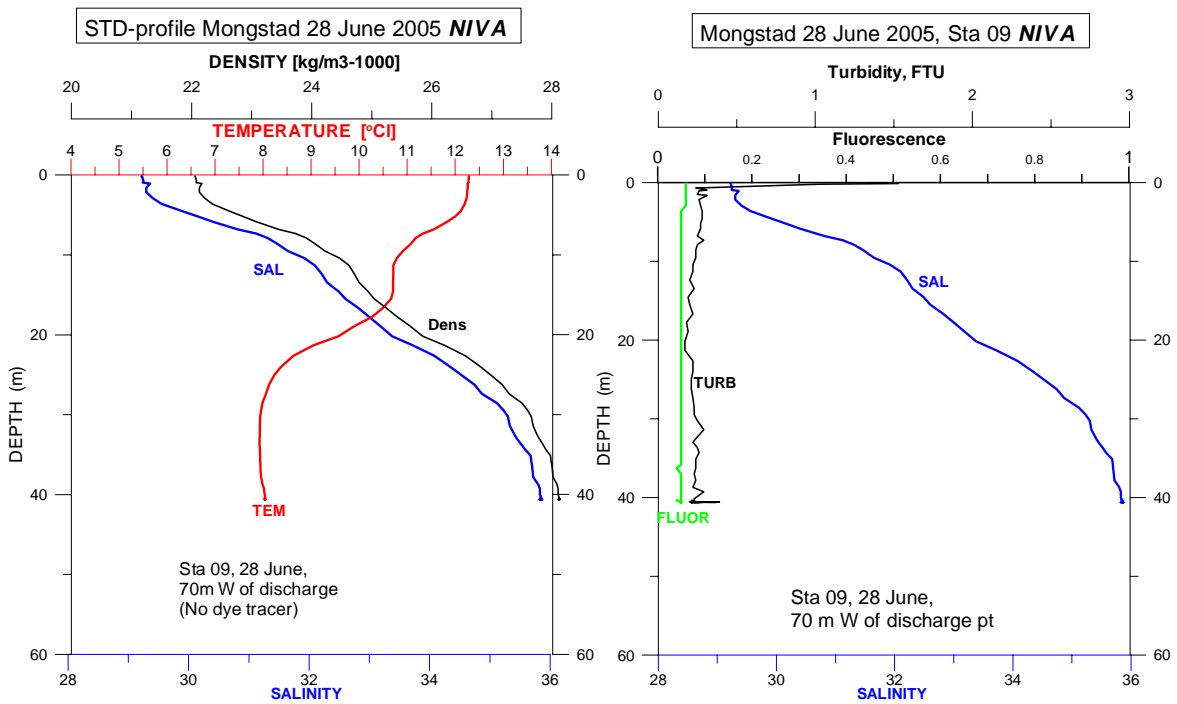
Figur 24. Profil tatt kl 11:50 l.t. 27. juni ved utsleppspunktet. Til venstre: profiler av salinitet, temperatur og densitet (Bakgrunn). Til høgre: Profilar av turbiditet og fluorescens (samt salinitet). Den målte saliniteten var sannsynlegvis litt for høg.



Figur 25. Resultat av sporstoffmåling (grøn kurve) 27 juni, for stasjon 7, 15, 22 og 34. Kurver for salinitet og turbiditet er også tatt med. Merk forskjellige akseintervall på figurane.



Figur 26. Resultat frå sleping av SAIV sonden i ca 35 m djup rundt utsleppspunktet 27. juni.



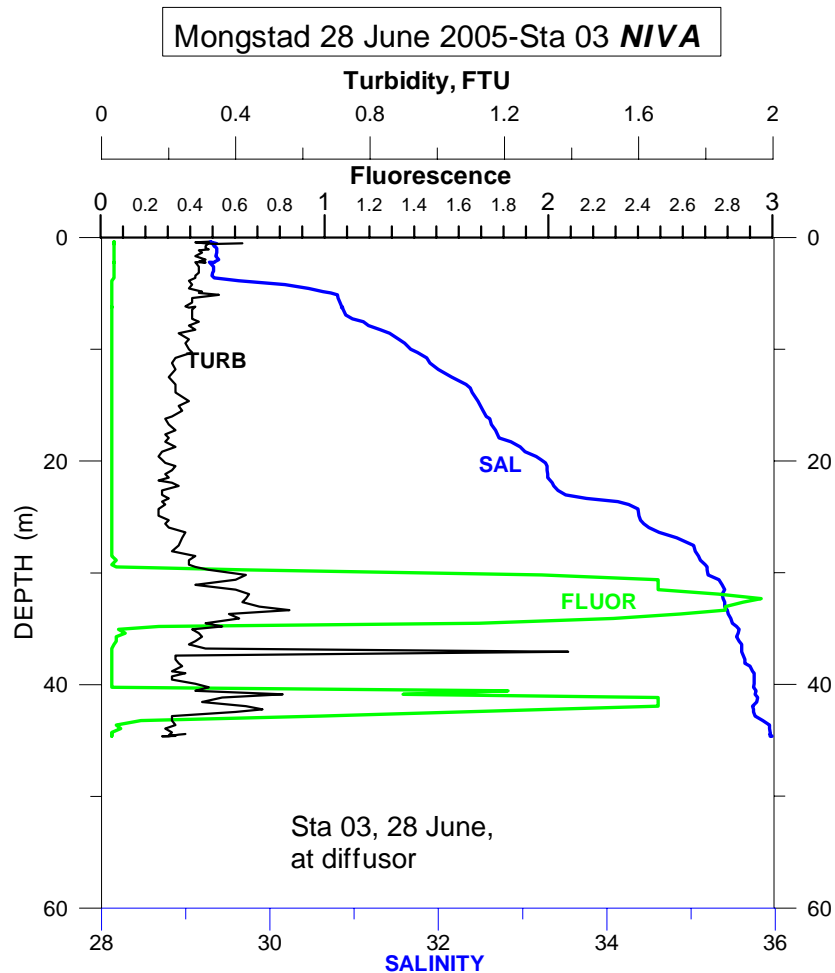
Figur 27. Profil tatt kl 13:37 l.t. 28. juni, ca 200 m avstand vestover frå utsleppspunktet. Til venstre: profiler av salinitet, temperatur og densitet. Til høgre: Profilar av turbiditet og fluorescens (samt salinitet). Målt salinitet var sannsynlegvis litt for høg.

4.4 Tokt 28. juni 2005

Opplegget den 28. juni følgde same mønster som dagen før. Einar Nygaard frå Statoil deltok på tokt også denne dagen. Dosering starta 09:45 lokal tid. Kl 10:15 blei lekkasjen frå røyret detektert ute i vågen, mest ved blåse # 3 utanfrå (sjå fotografi). Frå kl. 10:45 til ca kl 12 låg båten i området ved utsleppspunktet, mens sonden blei slept sakte i ca 35 m djup. Sporstoff blei først detektert kl 12:24, ved utsleppspunktet (SAIV stasjon 03).

Figur 27 syner bakgrunnsverdiane denne dagen. Temperaturstrukturen var stort sett som dagen før, med verdi over 12 grader i overflata, og rundt 8 grader i 40-50 m djup. Overflatesaliniteten låg rundt 29 i øverste 2-3 meter, derunder aukande relativt kontinuerleg nedover. (Salinitetsverdiane frå juni-tokta var sannsynlegvis ca 1 ppt for høge. Årsaken kan vere ein mindre skade/deffekt på konduktivitetssonden som blei oppdaga i ettertid.) For turbiditet og fluorescens var det låge verdier.

Vi satte ut eit **strømkors** kl 12:14, sjølv koret hang i 25 m djup. Det dreiv vestover, kl 13:18 observert 420 m frå utsleppet. Det blei tatt opp kl 14:25, då det hadde dreve totalt ca 1.000 m vestover. Dette motsvarar ein strømfart på 13 cm/s.



Figur 28. Sporstoff-profil 28. juni, over diffusoren.

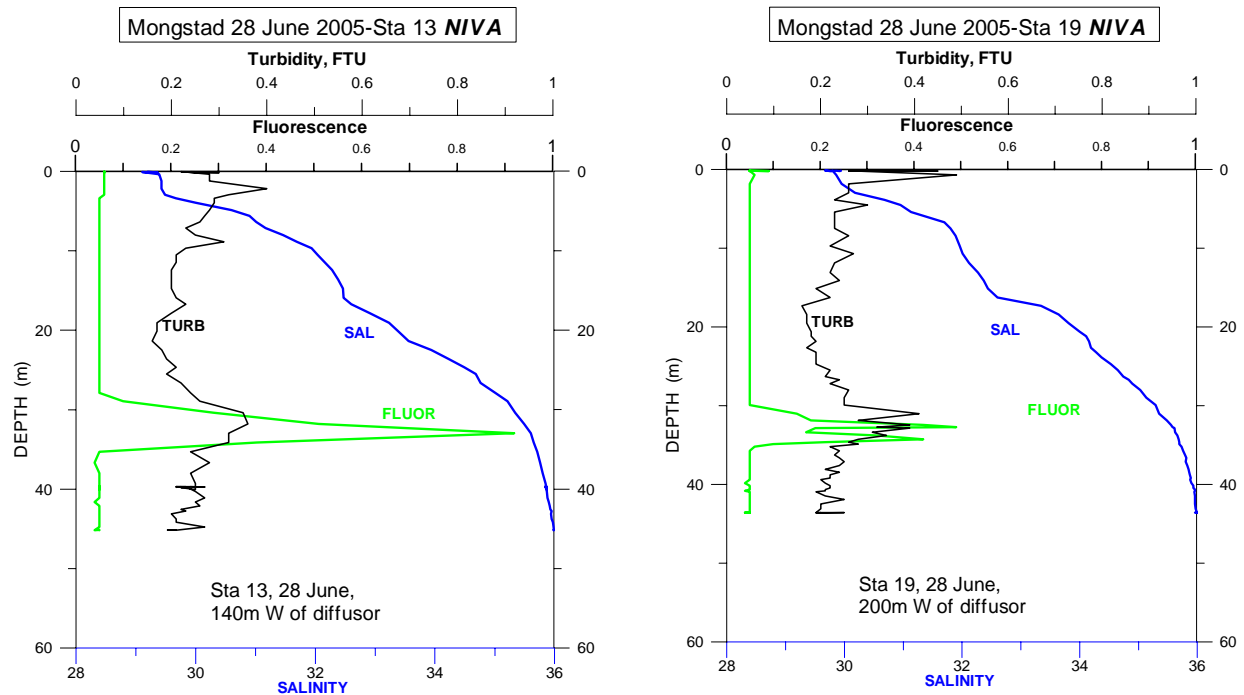
4.4.1 Sporstoff, 28. juni

Sporstoff-kartlegginga starta med lokalisering av lekkasjen inne ved land. Det blei detektert sporstoff visuelt, samt ved hjelp av sensoren; max målt verdi var 3.4 i 2-3 m djup, men høg konsentrasjon i intervallet frå 1 m til 5 m djup.

Figur 28 og **Figur 29** syner profilar målt dels over diffusoren, og i vestlig retning. Profilen i **Figur 28** blei målt ca 2 timar etter doseringa og ga tydeleg utslag i intervallet 30 – 42 m, med max. verdi 2.95 i 32 m djup. Max. verdiane var korrelert med høgare turbiditetsverdiar.

Stasjon 13 og 19 (**Figur 29**) er tatt vestfor diffusoren, og hadde begge tydeleg innslag av sporstoff, med max. verdi h.h.v. 1.35 og 0.5 rundt 32-33 m djup.

Samtlege sporstoff-profilar frå målingane ved Mongstad ga inntrykk av at stoffet var konsentrert i eit markert og relativt tynt sjikt, som oftast blei funne mellom 30 og 40 m djup.



Figur 29. Sporstoff-profilar 28. juni, vest for diffusoren.

5. Diskusjon

5.1 Dosering av sporstoff

Doserings-opplegget ser ut til å ha fungert tilfredsstillande. 2 liter konsentrert sporstoff blei kvar gong først fortynna til ca 1:50, og så dosert ut i avløpet over ca ½ time på morgenen. Det optimale ville nok vere å ha kontinuerleg dosering så lenge målingane pågjekk, men dette ville krevje store mengder sporstoff samt ekstra bemanning på land frå NIVA og raffineriet.

Utsleppsleidningen er ca 1.300 m lang, med diameter 1.200 mm (1.400 mm innerste 60 meter). Det gir eit totalt leidningsvolum på ca 1.500 m³. Med ein utsleppsfluks på 10.000 m³/dag vil det ta ca 3 ½ time å fylle røyret. Med 20.000 m³/time er denne teoretiske tida den halve. Målt avløpsfluks under våre forsøk varierte frå 10.341 m³/dag den 14. mars til 17.000 m³/dag 27. juni, slik at i teorien låg transporttida for sporstoff frå kummen ut til diffusoren på frå max. 3 timar til ca 2 timar under våre forsøk. lekkasjen kan ha medført forlenging av denne tida, evt kompensert andre vegen for medrivning/inntrenging av tyngre vatn inn gjennom holet.

Tidvis gjekk det kortare tid enn det teoretiske før første deteksjon i resipienten blei gjort. Første deteksjon blei gjort h.h.v. 1 t 24 min, 5 t, 1 t 20 min og 2 t 40 min etter start dosering. Det er ingen korrelasjon mellom desse tidene og aktuell vassfluks. Kortare tid enn teoretisk kan ha fleire årsaker:

- Vi var ikkje klare i posisjon for måling ved utsleppet ved tidspunktet når første sporstoff kom ut
- Vi målte i feil posisjon/retning ved diffusoren i forhold til sporstoff-skya slik at vi først fikk signal ei tid etter denne etablerte seg
- Ein saltvasskile kan ligge innover i røyret frå diffusoren, slik at effektiv opning er mindre enn det diameteren tilseier. Særleg ved låg vassføring (laminær strøming) kan kan innebere redusert gjennomstrøymingstid i høve til teoretisk
- Indre begroing av røyret kan medføre redusert effektiv diameter og dermed redusert transporttid

(Den lange mellomtida den 15/3 skuldast den innleiande ROV surveyen).

Mens doseringa pågjekk, over ½ time, rann det samtidig ut frå 230 til 350 m³ i avløpet (avhengig av dag). Med 1:50 fortynning av sporstoff før dosering kan ein rekne med sporstoff-konsentrasjon inne i røyret (forutsatt full blanding) på mellom 10⁻⁵ og 10⁻⁶ (0.6 – 0.9x 10⁻⁵).

5.2 Målingane

Gjennom dei fire tokta, i mars og juni 2005, blei det tatt ca 125 vertikal-profilar i og rundt utsleppspunktet, samt av lekkasjen inne ved land i juni. Dei høgste sporstoffregistreringane var på ca 8, over lekkasjepunktet.

Ute i området over diffusoren var høgste målte konsentrasjon 1.2 14. mars; 0.24 15. mars; 1.4 27. juni og 2.95 den 28. juni. Alle registreringane ute over diffusoren var m.a.o. vesentleg lågare enn over lekkasjen, noko som er rimeleg av fleire grunnar; fortsatt blanding inne i røyret nedstrøms lekkasjen, og effekt av diffusoren med rask initialblanding i opningane der.

I høve til kalibreringskurva for sensoren vil høgge konsentrasjonar enn 10⁻⁶ medføre at sensoren går ”i taket”. Først ved 1x10⁻⁶ eller ca 10 x ytterlegare fortynning i høve til den teoretiske konsentrasjonen

inne i røyret ville konsentrasjonen kome innafør deteksjonsintervallet. Den høgste registrerte fluorescensverdien i sjøen på 8 motsvarar konsentrasjon på ca 2×10^{-7} , eller fortyning på ca 40X i høve til konsentrasjonen i lekkasjeopninga nede på røyret.

Målt sporstoffverdi på 1.4 motsvarar tilsvarende konsentrasjon (kalibrerings-kurva) på 0.8×10^{-8} . Dette vil i så fall representere fortyning på over 900X. Max. målt verdi ved diffusoren på 2.95 motsvarar konsentrasjon på ca 3×10^{-8} , eller fortyning på 250X. Sistnemnde fortynningsverdi ligg innafør det ein kan rekne som normalt for initialfortyning, den første kan representere nedstrøms fortyning (Far field dilution).

Relasjonen mellom (dagleg) vassfluks og max. målt sporstoff-konsentrasjon i sjøen var ikkje konsistent for alle tokta, men ser ein på parvis på dagane i mars og dei i juni, er det positiv korrelasjon mellom parametrane (høg vassfluks meførte lågare max. konsentrasjon).

Fluorescein verdiane representerer faktiske konsentrasjonar av sporstoff. Den faktiske konsentrasjonen kan relearterast til kalibreringa (kurve), jamfør avsnittet om dette. Det vil alltid vere ein viss usikkerheit her, i og med at den reaktive substansen kan vere ujamt fordelt (i små patches), og samverknad med andre stoff i utsleppet kan påverke nedbryting og signalstyrken for gitt utgangskonsentrasjon. Som nemnt i rapporten motsvarar det høgste detekterte signalet i sjøen (ca 8, rett over lekkasjen) ein konsentrasjon på 2×10^{-7} , eller 40X fortyning.

Eit signal på 1.4 motvarar konsentrasjon på 0.8×10^{-8} , og vil korrespondere til 900X fortyning under ellers gitte føresetnader. Den målte verdien på 2.95 over diffusoren motsvarar konsentrasjon på 3×10^{-8} , eller 250 X fortyning. Dei svake signala detektert over 1 km frå utsleppet på av storleiksorden 0.1 (+/- 0.05) eller konsentrasjon på ned mot 10^{-10} . Dette motsvarar fortyning på >10,000X.

Forsøksvis tabell over fortyning versus avstand – alle tokt sett under eitt:

Avstand frå diffusor	100-200 m	500 m	1,000 m	1,500 m
Typisk fortyning	100-200X	500-1,000X	>10,000X	>50,000X

Breidda på plumen varierte – vi forsøkte måle på tvers nokre gonger (tverrsnitt), på stasjonar der vi hadde tydeleg signal, og stasjonar på kvar side. For eksempel 28. juni målte vi snitt 200 m vestafør diffusoren, og fant spor 50-70 m både nordafør on SW for linja, intet sport ytterlegare 60 m ut. Dette indikerer at plumen kan ha ei breidde på frå 100 m til 200 m. Sannsynlegvis vil dette variere med strømforholda, og også med utsleppsfluks og hydrografi.

I sum kan det seiast at målingane var temmeleg konsistente m.h.t. innlagringsdjup for avlaupsvatnet: Mellom 30 og 40 m djup stort sett.

Turbiditetsmaksimum følgde stort sett fluorescens maksimum der begge hadde utslag.

5.3 Lekkasjen

Lekkasjen som oppstod mellom tokta i mars og juni, bidrog til noko usikkerheit i målingane i juni. Asplan-viak sin rapport om lekkasjen indikerer at max 20% av avløpsfluksa lakk ut. Sidan lekkasjen var nær land og nær avløpskummen der doseringa fann stad, er det mogleg at spstoffet ikkje var heilt blanda med anna vatn i røyret innan det nådde lekkasjepunktet. I så fall kan relativ andel spstoff som lakk ut vere større enn 20%, evt. mindre en 20%, avhengig av korleis fordelinga i røyret var.

På den tidsskala vi arbeidde såg det ikkje ut som om sporstoff inne ved lekkasjen i Mongstadvågen nådde ut til området ved utsleppspunktet. I så fall ville vi sannsynlegvis ha detektert signal i sjikt nær overflata der.

5.4 Spreiing i relasjon til strømforholda

Dei observerte endringane i hydrografi frå eine dagen til den andre ved utsleppspunktet indikerer ein betydeleg dynamikk i området. Tidlegare utførte strømmålingar (NIVA 2003, SINTEF 2005) syntre slik variabilitet. Dei to måleseriane ga rimeleg godt samsvar for middel strømsstyrke i ulike sjikt, mens dominerande strømreretning var forskjellig: NIVA fann dominerande strøm mot sørvest i øvre lag, mens SINTEF fann denne retninga å vere mot nordaust. I djupet (sjikt for innlagring av avlaupsvatn) fann NIVA ein større grad av bimodalitet mellom sørvest og nordaust, mens SINTEF fann hovedvekt av strøm mot søraust. Årsaken til denne forskjellen er ikkje analysert men kan tilskrivas m.a. ulikt målepunkt og ulikt måletidspunkt (same sesong men ulikt år).

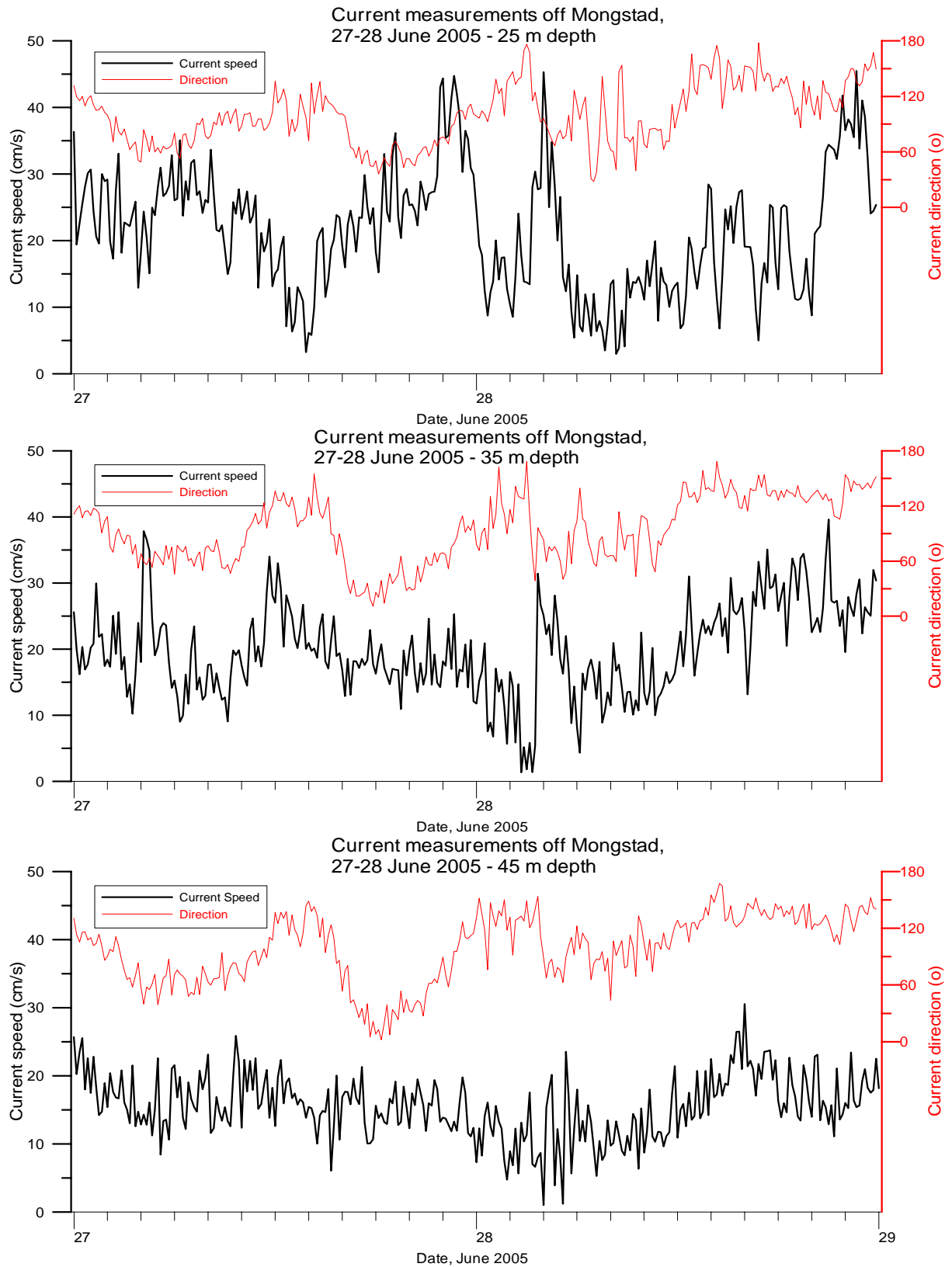
Dei foreliggende registreringane av sporstoff syner at avlaupet innlagrar seg vesentlegast i intervallet 30-40 m djup. Variasjonar vil for det meste skuldast varierende utsleppsfluks og evt. varierende salinitet i avlaupsvatnet. Sporstoff blei funne både austafør og vestafør diffusorområdet. Tilfelle med austleg utbreiing syntest vere mindre omfattande enn dei med vestleg utbreiing. For sistnemnde kunne vi registrere stoff lenger enn 1 km frå diffusoren, mens strømkorsobservasjonane indikerte vestgåande strøm med styrke 13 cm/s som er innafor det som er målt med strømmålar tidligare.

Figur 30 syner resultat av strømmålingar nord for diffusoren for dagane 27. og 28. juni 2005, d.v.s. mens sporstoff forsøk pågjekk. Målingane var utført av SINTEF (sjå foran i rapporten). Måleposisjonen var ca 200 m avstand frå diffusoren. Vi har tatt ut måledata for ADCP-cellene som repr. 25 m, 35 m og 45 m djup. Målecella i 35 m er sannsynlegvis den mest representative for korleis plumen/sporstoffet spreier seg. Figuren syner at strømsstyrken desse to dagane låg rundt 25 cm/s i 35 m djup, litt høgare i 25 m, og litt under i 45 m djup. For 35 m djup var denne verdien også rimeleg representativ for tilhøva mens målingane pågjekk, frå ca kl 10 l.t. kvar av dagane. Det må understrekast at målingane er frå eit ope og uskjerma område i fjorden, mens diffusoren ligg nærare land der tilhøva nok er delvis styrt av lokal topografi (jamfør strømmålingane frå 2003).

Strømreretninga (i 35 m) den 27. juni var mot SE i oppstarten av forsøka, og skifta så til retning mot NE. Den 28. juni starta den med østlig strøm, så skiftande til SE retning. Begge dagane var det m.a. ein tendens til austgåande strøm i den aktuelle måleposisjonen. Dette gjeld også for dei to andre måledjupa: ingen innslag av strøm med vestlig komponent.

Sporstoff-målingane 27. juni ga utslag i austleg retning rå diffusoren, stoff detektert i avstand inntil 200 m. Dette var verdiar i området 0.08 – 0.15. Motsvarande blei det målt verdi på opptil 2.4-3 (Stasj 16) i vestre ende av diffusoren og verdi på 0.1-0.2 i avstand 200 m vestafør diffusoren. Vi kunne følge plumen fleire hundre meter vestover den dagen, slik at det tyder på at strømmen hadde ein klar vestlig komponent den dagen.

Den 28. juni fant vi også det sterkaste signalet frå plumen i vestlig retning frå diffusoren. Også strømkorset syntre vestlig drift den dagen (plukka opp ved stasjon 18). I avstand 140 m frå diffusor vestover målte vi 2,5, og i avstand 250 m frå diffusor målte vi 0.1 i sporstoff. M.a.o. strømmålingane (retning) synes ikkje vere heilt konsistente med tilhøva inne ved diffusoren.



Figur 30. Målt strøm 27. og 28. juni, 2005, i ein posisjon ca 200 m nordvest for diffusoren. Måledata frå Statoil/SINTEF).

5.5 Sluttkommentar

Sporstoff-forsøk av den typen som blei gjennomført ved Mongstad, er ganske komplekse og krev stor grad av koordinering på logistikksida. Dette gjeld faktorar som:

- Båt og båtens utstyr og personell
- Utstyr til å måle med
- Datautstyr til å logge data på
- Utstyr og program for sanntids display av måledata
- Kommunikasjon mellom land og båten
- Samarbeid og koordinering med landsida (raffineriet)
- Ivaretaking av tryggleiks-krav på land (raffineriet) og sjø (båten).
- Transport over land til og frå Mongstad

Alt dette gjekk bra – utan nemneverdige problem.

I tillegg er det kritisk med gode førebuingar, og kontroll av utstyr både før, under og etter tokta. Kalibrering av sensoren er ein viktig del. Å handtere sporstoffet forsvarleg og å kontrollere doseringa er essensielt for eit vellykka resultat. Dette gjekk også bra ved forsøka.

Begrensingane ligg i at det er ganske ressurskrevjande å få eit godt bilete av spreinga. Det ideelle ville vere å kunne måle i fjorden kontinuerleg kanskje over to-tre dagar, også lenge etter at doseringa var avslutta, for å følge sporstoffet ut av nærsona, og ”to the bitter end”, Men dette ville fordre urealistisk stor ressursbruk. Det kunne også vere ønskjeleg å måle frå to eller fleire båtar samtidig, for å få eit meir fullstendig synptisk (samtidig) bilete av situasjonen og utviklinga. Dette berører også ressursbehovet.

Det finst alternative måletekniske metoder som kunne nyttast, m.a. bruk av ein s.k. undulerande slepefisk som blir taua etter båten mens den vekslar mellom to førehandsinnstilte djup. Dette er ein velprøvd medodikk i ope farvatn, men vil kunne ha begrensingar ved bruk nær land, og nær botnen, slik tilfellet er rundt diffusoren ved Mongstad. Som ein metode for å spore stoff utover i fjorden (i fjernsona), vil ein slik metode imidlertid kunne vere veileigna.

Avslutningsvis utførte Statoil nokre kjøringar med fleire spreingsmodellar, for å finne teoretisk fortytning in nærsonen til utsleppet. **Tabell 2** syner resultata, saman med typiske verdiar som blei målt under forsøka. MIKE modellen kan tendere til å overestimerte nærsonefortynninga, mens Plumes og RMA2/4 underestimerer fjernsone fortytninga. Forskjellene heng nok saman med ulik parametrisering i modellane, særleg for diffusjon.

Tabell 2. Resultat av kjøring av tre modellar for fortytning/spreiing, med utsleppet ved Mongstad som case.

Modell	Fortynning, gj. snitt, 500 m avstand	Fortynning, gj. snitt, 1.500 m avstand
Visual Plumes:	700	900
RMA2/RMA4:	1.000	1.500
MIKE3:	5.000	50.000
NIVA resultat, 2005:	500 - 1.000	50.000

6. Referansar

- Aure, J., O. G-Nielsen og S. Sundby 1979: Spredning av oljeholdig avløpsvann i Fensfjorden fra oljeraffineriet på Mongstad. Rapp. Havforskningsinstituttet, Bergen, 29s.
- Aure, J., O. G-Nielsen og S. Sundby 1982: Spredning av oljeholdig avløpsvann i Fensfjorden fra oljeraffineriet på Mongstad. II. Rapp. Havforskningsinstituttet, Bergen, 32s.
- Eidnes, G. 2005: Current measurements off Mongstad. Rapp SINTEF STF80MK F05, 9 s + App.
- Gade, H. G. 1973. Oseanografiske observasjoner i Fensfjorden 1972. Rapport til Norsk Hydro; Geofysisk Institutt, Universitetet i Bergen. 20 sider.
- Golmen, L. G. og E. Nygaard 2004: Statoil Mongstad Refinery. Measurements of currents at the process water discharge November 2003. data report. Rapport NIVA, LNR 4798, 37s.
- Kaartvedt, S., D. Aksnes og A. Aadnesen 1988: Winter distribution of macroplankton and micronekton in Masfjorden, western Norway. Mar. Ecol. Progr. Ser. Vol 45, s 45-55.
- Nygaard, E. og K. Eik 2004: Spredning- og fortynningsberegninger av prosessvann ved Mongstad. Fase II. Rapp. PTT NKG RA 00067, Statoil, Stavanger 43s.
- Statoil 2004: Energiverk Mongstad. Melding med forslag til utredningsprogram. Rapp. Statoil, 31 s.
-

Vedlegg A. Fluorescein datablad

Page 1 of 4

30286 - DYNO MS-200

Revisjonsdato: 2003-07-28

HMS-DATABLAD

DYNO MS-200

1. IDENTIFIKASJON AV KJEMIKALIET OG ANSVARLIG FIRMA

Handelsnavn	DYNO MS-200
Varenr.	81001608
Anvendelse	FARGESTOFF
Leverandør	M-I PRODUCTION CHEMICALS P.O.Box 466 N-2001 Lillestrøm Norway Tel: (47) 63897100 Fax: (47) 63897610
Beredskapstelefon(er)	M-I Production Chemicals, Lillestrøm 63 89 71 00
Deklarasjonsnummer	PRN. 42464

2. STOFFBLANDINGERS SAMMENSETNING OG STOFFENES KLASSIFISERING

Ingrediensnavn	EC-nr.	CAS-nr.	Innhold	Symbol	R-setn.
Fluorescein	231-791-2	518-47-8	10-30 %	Xi	R-36/38, 43

SE SEKSJON 16 FOR FORKLARING AV RISIKOSETNINGER

***Sammensetningskommentar** Ingredienser som er helsefarlige, er listet i henhold til forskrift om HMS-datablad.

3. VIKTIGSTE FAREMOMENTER

* Irriterer øynene og huden. Kan gi allergi ved hudkontakt. Produktet er lite biologisk nedbrytbar.

4. FØRSTEHJELPSTILTAK

Generelt	<p>SYMPTOMER OG VIRKNINGER</p> <p>Ved uhell og overeksponering kan kjemikallet forårsake irritasjon ved væske/damp i øynene, væske/damp på huden og ved innånding av damp. Symptomer ved kjemikalie på hud og slimhud er irritasjon og misfarging. Symptomer ved innånding av damp er hoste og pustebesvær.</p> <p>GENERELLE RÅD OM FØRSTEHJELP</p> <p>Flytt straks den skadede fra eksponeringskilden. Sørg for ro, varme og frisk luft. Hold den skadede under observasjon. Om nødvendig kontakt sykehus, lege, AMK-sentral (tif: 113) eller giftinformasjonssentralen (tif: 22591300) for særskilt råd. Vis til HMS-datablad for kjemikallet. Ved bevisstløshet løses tettsittende klær. Plasser vedkommende i stabil sideleie. Ved åndedrettsstans/hjertestans: Start gjenoppliving.</p>
Innånding	Ved tegn på irritasjon i luftveiene med hoste eller puste vansker, holdes den skadede i halvt sittende stilling. Kontakt lege/sykehus/AMK-sentral hvis ikke alt ubehag gir seg.
Svelging	Dersom vedkommende er våken, gi vann eller annen drikk for å skylle munnen og fortynne svelget kjemikalie. Dersom brekninger inntreffer hold hodet lavt slik at ikke luftveiene blokkeres og for å hindre at kjemikallet kommer i lungene (aspireres). Kontakt lege/sykehus/AMK-sentral for videre behandling eller transport til sykehus.

28.07.2003

Hud	Spyl straks forurenset hud med vann. Vask huden nøye med såpe og vann. Fortsett med grundig skylling/vask av huden til alle rester av kjemikaliet er fjernet. Ved tegn på skade/irritasjon av huden kontaktes lege/sykehus/AMK-sentral.
Øyne	Skyll straks øyet med mye vann mens øyelokket løftes. Fortsett å skylle i minst 15 minutter. Kontakt lege/sykehus/AMK-sentral for videre behandling eller transport til sykehus. Fortsett skylling under transport.

5. TILTAK VED BRANNSLUKNING

Brannslukningsmidler	Anvend; Vanndusj, -tåke eller -dis, Pulver, skum eller CO ₂ , Tørrkjemikalier, sand, dolomitt e.l.,
Brannbekjempelse	Bruk vann for å kjøle beholdere og spre damper.
Forbrenningsprodukter	Karbonmonoksid (CO), Karbondioksid (CO ₂),
Vernetiltak ved brann	Brannpersonell som utsettes for forbrenningsgasser/spaltingsprodukter anbefales å bruke åndedrettsvern. Unngå hudkontakt/innånding av støv/damp. Benytt nødvendig verneutstyr. Se pkt. 8

6. TILTAK VED UTILSIKTET UTSLIPP

Personbeskyttelse	Benytt nødvendig verneutstyr. Se seksjon 8.
Miljøbeskyttelse	Må ikke spyles til avløp. Utslipp til kloakk, vassdrag eller grunn er ikke tillatt. Meld fra til ansvarlig myndighet (politi/kommuneingeniør/miljøvernssjef/ SFT) ved større spill/lekkasjer.
Opprenskningsmetoder	Absorber i vermikulitt, tørr sand eller jord og fyll i beholdere. Ventiler godt. Fortynn med store mengder vann. For fjerning av avfall og rester se seksjon 13. Beholdere med oppsamlet spill skal være nøye merket med innhold og faresymbol. Fargestoff fører lett til misfarging ved spill.

7. HÅNDTERING OG OPPBEVARING

Forholdsregler ved bruk	Unngå søl, hud- og øyekontakt. Unngå håndtering som fører til dampdannelse.
Forholdsregler ved lagring	Hold beholderne tett lukket. Oppbevares adskilt fra oksiderende materiale.

8. EKSPONERINGSKONTROLL OG PERSONLIG VERNEUTSTYR

Ingredienskommentar	Ingen eksponeringsgrense angitt for ingrediensen(e).
Verneutstyr	



Ventilasjon	Sørg for god ventilasjon ved arbeid som fører til utvikling av damp.
Åndedrettsvern	Ingen spesielle anbefalinger er gitt, men bruk av åndedrettsvern kan være nødvendig under uvanlige forhold med sterk luftforurensning.
Arbeidshansker	Bruk egnede vernehansker ved fare for hudkontakt. Bruk vernehansker av: Nitrilgummi. Butylgummi. Neoprengummi.
Øyevern	Bruk godkjente vernebriller eller ansiktsskjerm.
Verneklær	Bruk hensiktsmessige verneklær for beskyttelse ved mulig hudkontakt.
Hygieniske rutiner	Vask huden ved slutten av hvert skift og før spising, røyking og bruk av toalett.

9. FYSISKE OG KJEMISKE EGENSKAPER

Form/konsistens	Væske.
Farge	Oransje. Rød.
Lukt	Mild (eller svak).
Løselighetsbeskrivelse	Oppløselig i vann.
Tetthet (g/ml)	1.08 Temperatur (°C): 25
pH, konsentrert løsning	8-10
Flammepunkt (°C)	> 100

10. STABILITET OG REAKTIVITET

Stabilitet	Normalt stabil.
*Risikoforhold	Unngå: Luft. Oksiderende stoffer.
Spaltningsprodukter	Ved brann eller høy temperatur dannes: Karbonmonoksid (CO), Karbondioksid (CO ₂),

11. OPPLYSNINGER OM HELSEFARE

Toksisk dose, LD 50	6721 mg/kg (oral-rotte)
Helsefare generelt	I industrien representerer irriterende egenskaper den største faren.
Innånding	Kan irritere luftveier / lunger.
Svelging	Farlig ved svelging.
Hudkontakt	Alvorlig irriterende ved langvarig eller gjentatt påvirkning. Kan gi kontaktallergi.
Øyne	Irriterende.

12. MILJØOPPLYSNINGER

Økotoksikologiske data	EC50 72 timer alge > 1000 mg/l
*Økotoksitet	For ytterligere informasjon se HOCNF fra M-I Production Chemicals
Mobilitet	Løselig i vann.
Bioakkumulasjonspotensial	Aktive komponenter: Ingen bioakkumulering forventet.
Persistens og nedbrytbarhet	Hovedkomponent: Ikke lett biologisk nedbrytbar.

13. FJERNING AV KJEMIKALIEAVFALL

Behandlingsmetoder	Bekreft avfallsdisponering med kommuneingeniør/miljøsjef/SFT og lokale forskrifter.
*Avfallskode	Farlig avfall etter Forskrift om farlig avfall. EAK-kode: 07 01 99 Annet ikke spesifisert avfall. H4-A Allergifremkallende. H4 Irriterende.
*Avfallskode (Særnorske tillegg)	Avfallsstoffnummer: 7135. Basisk organisk avfall.

14. OPPLYSNINGER OM TRANSPORT

VEITRANSPORT (ADR):	
ADR-klasse	Ikke farlig gods i hht. ADR/RID/IATA/IMDG.

15. OPPLYSNINGER OM LOVER OG FORSKRIFTER

Faresymboler

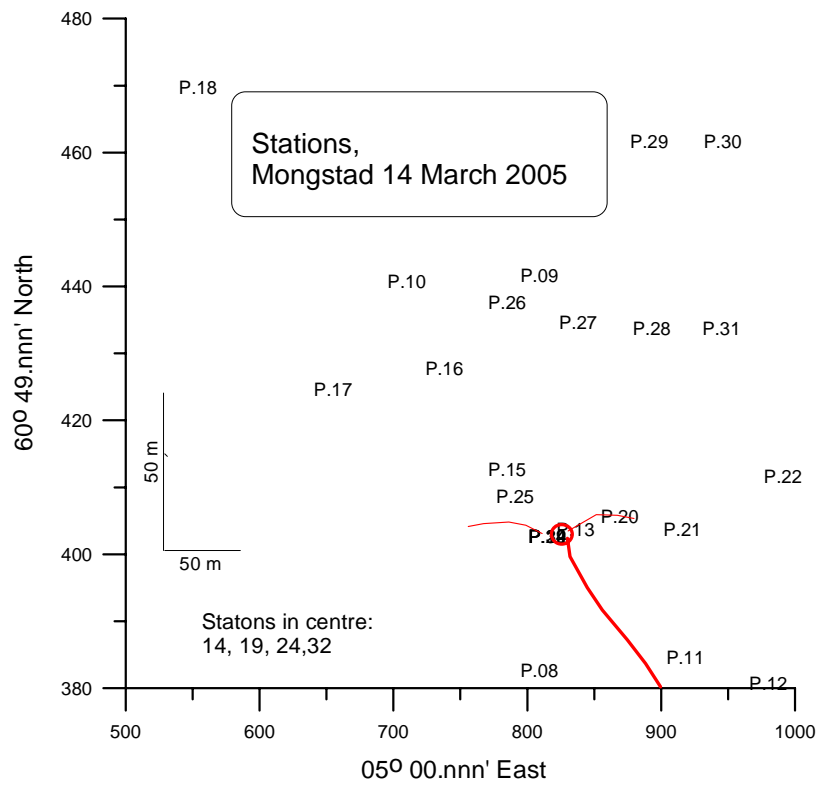


Inneholder	Fluorescein
Risikosetninger	R-36/38 Irriterer øynene og huden. R-43 Kan gi allergi ved hudkontakt.
Sikkerhetssetninger	S-26 Får man stoffet i øynene; skyll straks grundig med store mengder vann og kontakt lege. S-28 Får man stoff på huden, vask straks med store mengder vann.
Referanselister	Forskrift om utarbeidelse og distribusjon av helse, miljø- og sikkerhetsdatablad for farlige kjemikalier (best. nr. 548) av 19. desember 1997 nr.1323, med endringer av 30. juli 2002. Forskrift om klassifisering, merking m.v. av farlige kjemikalier (Statens forurensingstilsyn, Direktoratet for brann- og elsikkerhet, Direktoratet for arbeidstilsynet, Oljedirektoratet, Produktregisteret) fastsatt 16. juli 2002. Forskrift om farlig avfall (Statens forurensingstilsyn) nr. 1817, fastsatt 20. desember 2002.
*EU direktiver	Stoff-direktivet 67\548. Stoffblandingsdirektivet 1999/45/EF. Sikkerhetsdatablad-direktivet 91/155 EF og 2001/58 EU. Direktiv om farlig avfall 91/689 EF med liste 94/904 EU.

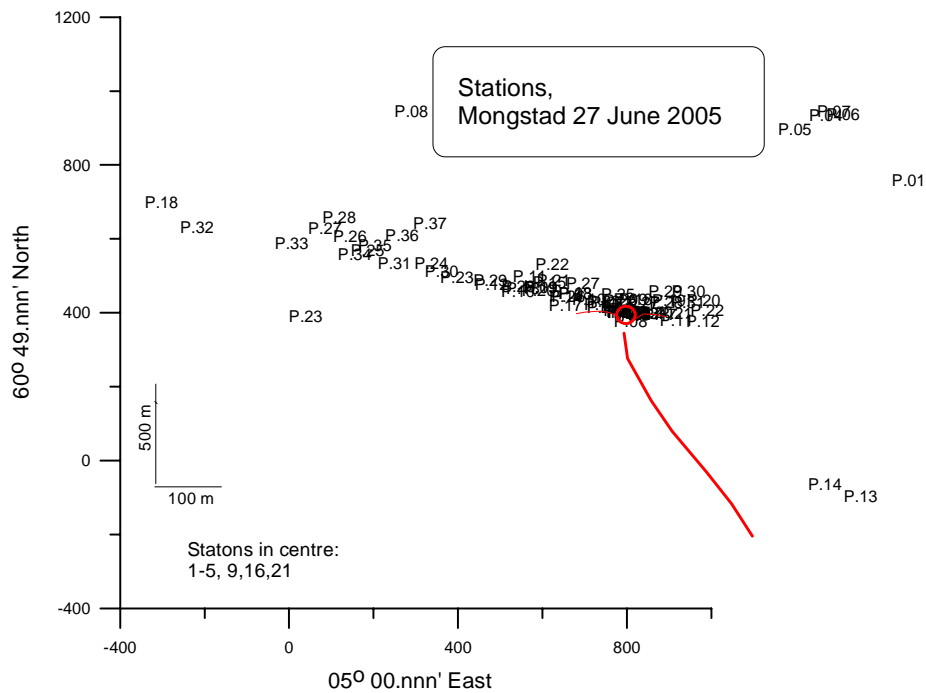
16. ANDRE OPPLYSNINGER AV BETYDNING FOR HELSE, MILJØ OG SIKKERHET

Forklaring til R-setninger i seksjon 2	R-36/38 Irriterer øynene og huden. R-43 Kan gi allergi ved hudkontakt.
* INFORMASJON SOM ER REVIDERT SIDEN FORRIGE VERSJON AV HMS-DATABLADET	
*Revisjonsdato:	2003-07-28
*Revisjonsnr.	5
*Revisjonsnr. / erstatter HMS-DB av dato:	2003-02-14
*Forbehold om ansvar	Disse opplysningene baserer seg på vår nåværende kunnskap og beskriver bare de sikkerhetsmessige forhold ved bruken av dette produktet. Det gjelder ikke som en garanti for bestemte egenskaper.
Utskriftsdato:	2003-07-28

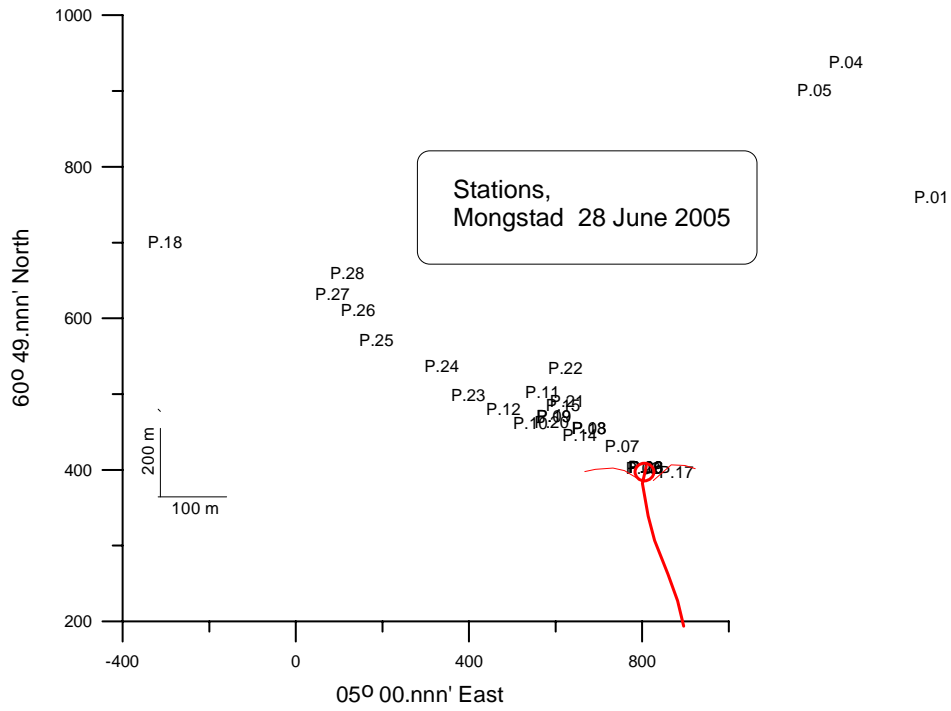
Vedlegg B. Stasjonsplott



Stasjons-plott for 14. mars, 2005.



Stasjonsplott for 27. juni, 2005.



Stasjonsplott for 28. juni, 2005.