

Pronova Biopharma

Vurdering av utslipp til Sandefjordsfjorden



Hovedkontor

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

Sørlandsavdelingen

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

Østlandsavdelingen

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

Vestlandsavdelingen

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

NIVA Midt-Norge

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

Tittel Pronova Biopharma Vurdering av utslipp til Sandefjordsfjorden	Løpenr. (for bestilling) 5893-2009	Dato 21.12.2009
	Prosjektnr. Undernr. 29374	Sider Pris 26
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Vestfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Pronova Biopharma AS, Sandefjord	Oppdragsreferanse A.L. Stenerud
--	------------------------------------

Sammendrag

Det er gjort en vurdering av hvordan avløpsvann fra Pronova Biopharma kan påvirke oksygenforholdene i Sandefjordsfjorden. Arbeidet har bl.a. omfattet strømmålinger, oksygenprøver og bruk av modeller. Hovedkonklusjonen er at til vanlig vil utslippet bare i meget liten grad påvirke oksygenforholdene. De viktigste elementene i fjordens oksygenbudsjett varierer med tiden, og høsten er den mest sårbare perioden. Man kan ikke se helt bort fra at et sammentreff av flere ugunstige faktorer da kan skape en periode med en merkbar redusert konsentrasjon (til vannkvalitetsklasse Mindre God) i en lokal vannmasse omkring utslippet. Ingen undersøkelser har imidlertid påvist at dette har skjedd.

Fire norske emneord	Fire engelske emneord
1. Pronova	1. Pronova
2. Sandefjordsfjorden	2. Sandefjordsfjord
3. Utslipp	3. Discharge
4. Oksygenforbruk	4. Oxygen consumption



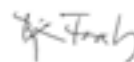
Jarle Molvær

Prosjektleder



Dominique Durand

Forskningsleder



Bjørn Faafeng

Seniorrådgiver

O-29374

Pronova Biopharma

Vurdering av utslipp til Sandefjordsfjorden

Forord

Den foreliggende rapporten er utarbeidet for Pronova Biopharma, Sandefjord, ved bestilling av 15.10.2009. Vi takker Anne Lindalen Stenerud for konstruktivt og godt samarbeid.

Sandefjord havnevesen takkes for godt samarbeid under utsetting og opptak av strømmåler, og ved innsamling av vannprøve for oksygenanalyser.

Ved NIVA har i hovedsak Uta Brandt, Jan Magnusson, Anna Birgitta Ledang og Jarle Molvær deltatt i prosjektet. Sistnevnte som prosjektleder.

Oslo, 21.12.2009

Jarle Molvær

Innhold

Sammendrag	5
1. Bakgrunn og formål	6
2. Områdebeskrivelse	6
3. Metodikk og data	9
3.1 Metodikk	9
3.1.1 Modellen FjordEnvironment	9
3.1.2 Stoffbudsjett	9
3.1.3 Modellen Plumes	9
3.2 Data	10
3.2.1 Utslippet	10
3.2.2 Vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet	11
3.2.3 Undersøkelse av strømforhold	12
4. Resultater og vurderinger	13
4.1 Vannutskiftningen innenfor Tranga	13
4.2 Tilførsler av næringssalter til fjordområdet	13
4.3 Den vertikale sjiktningen	14
4.4 Strømforhold i utslippsområdet	15
4.5 Oksygenforhold	17
4.6 Innlagring og fortykning av avløpsvannet	20
5. Utslippet og påvirkning på oksygenforholdene	23
6. Litteratur	26

Sammendrag

Prosjektet er utført på oppdrag for Pronova Biopharma, Sandefjord, med hovedmål å avklare i hvilken grad bedriftens utslipp av organisk stoff påvirker oksygenforholdene i Sandefjordsfjorden.

I den anledning ble bl.a.

- avløpsvannet analysert mht. oksygenforbruk ved 6 tidspunkt
- eksisterende data vedr. vannkvalitet i fjordområdet gjennomgått
- strømmålinger ble utført for å beskrive vannutskiftning og gi grunnlag for utslippsberegninger
- oksygenprøver innsamlet ved tre anledninger

Resultatene kan sammenfattes i følgende punkter:

- avløpsvannet har et varierende og relativt stort oksygenforbruk, men innblandes i en vannmasse med god vannutveksling mot ytre Oslofjord, dermed god oksygentilførsel og vanligvis Gode – Meget Gode oksygenforhold (etter SFT klassifiseringssystem).
- *beregninger av avløpsvannets innlagring, fortynning samt målt oksygenforbruk viser at til vanlig vil utslippet bare i liten grad påvirke oksygenforholdene i denne delen av Sandefjordsfjorden. Dette ble også bekreftet ved de tre prøveinnsamlingene mht. oksygen i oktober-november 2009.*

De viktigste elementene i fjordens oksygenbudsjett varierer med tiden, og høsten er den mest sårbare perioden. Man kan derfor ikke helt se bort fra sjeldne situasjoner med sammenfall av mange uheldige omstendigheter – deriblant liten vannutskiftning, relativt lave oksygenkonsentrasjoner i vannet som strømmer inn fra ytre Oslofjord, maksimalt oksygenforbruk og minimal fortynning. Dette vil i utgangspunktet skape en situasjon med generelt relativt lave oksygenkonsentrasjoner i hele Sandefjordsfjorden, og lavest innerst inne. Påvirkningen fra Pronovas avløpsvann vil være konsentrert om en vannmasse på 2-3 m tykkelse i 8-12 m dyp som kan få mindre gode oksygenforhold, og sannsynligvis så avgrenset at den er vanskelig å registrere. Oksygenkonsentrasjonen i utslippsområdet vil likevel være så høy at den ikke skader økosystemet. Der finnes imidlertid ikke data som kan bekrefte – eller avkrefte – at slike episoder med lokal påvirkning virkelig forekommer om høsten.

1. Bakgrunn og formål

Pronova Biopharma, Sandefjord, as har utslipp av prosessvann til Sandefjordsfjorden (se **Figur 1**) og har kontaktet NIVA om en vurdering av utslippet i forhold til størrelse på influensområdet, innlagring og oksygenforbruk. Utslipet skal også sees i sammenheng med generelle miljøtilstanden i fjordområdet.

Dette gjøres på grunnlag av

- Beregninger av mengde tilført nitrogen og fosfor fra ulike kilder til Sandefjordsfjorden
- Målinger og beregninger av nåværende miljøtilstand i Sandefjordsfjorden, med vekt på oksygenforhold
- Beregninger av avløpsvannets innlagring og fortykning i vannmassene
- Målinger av vannutskiftningen i den delen av fjorden hvor Pronovas utslipp skjer

I det etterfølgende redegjøres for topografi og vannmasser, metodikk og data, samt resultater og vurderinger.

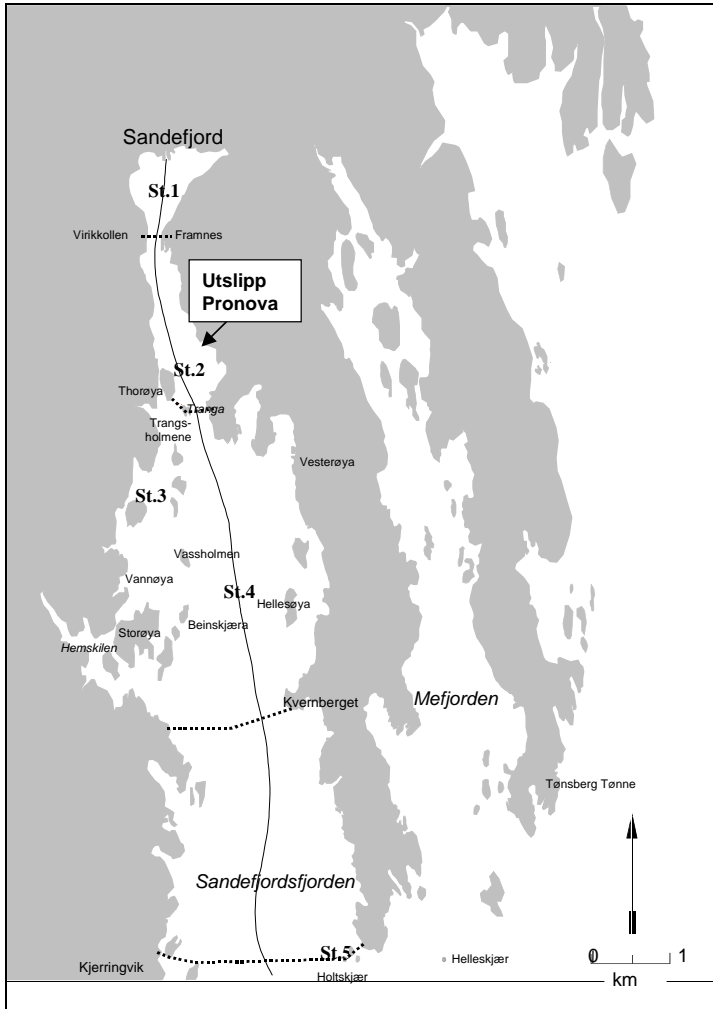
2. Områdebeskrivelse

Sandefjordsfjorden er en langstrakt fjordarm, omkring 10 km lang. Den indre delen (innenfor Tranga) er ca. 3.5 km lang og 150-750 m bred, mens de ytre to tredjedeler er omtrent 2 km bred (**Figur 1**).

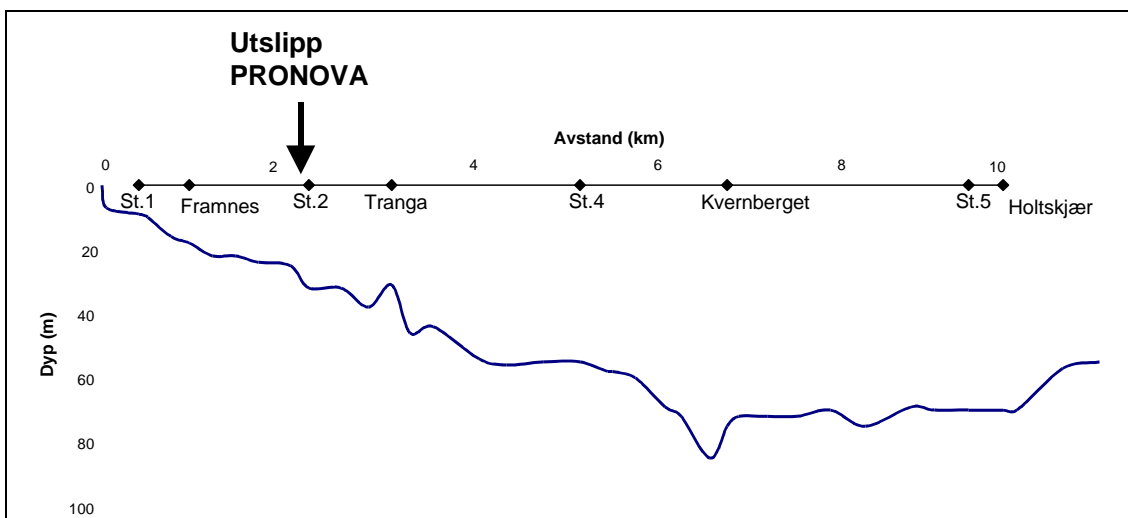
Fjorden skråner forholdsvis jevnt utover mot Skagerrak og har ingen utpregede terskler (**Figur 2**). Havneområdet innenfor snittet Virikkollen - Framnes er grunt, med midlere dyp ca. 5 m med maksimaldyp på 18 m ute ved Framnes. Videre sørover øker maksimalt dyp gradvis til 38 m rett innenfor Tranga. Her er det en markert innsnevring i tverrsnittet via Thorøya - Trangsholmene - Tranga, men det er ingen markert terskel. Terskeldypet forbi Tranga er ca. 31 m. Utslipet fra Pronova går ut i dette fjordområdet, ca. 500 m innenfor Tranga på fjordens østside (**Figur 1**).

Utenfor Tranga vider fjorden seg ut til ca. 2 km bredde, og den dypeste rennen skråner jevnt nedover mot 50-60 m forbi Hellesøya. Mellom Hellesøya og Kvernberget er en stor del av tverrsnittet forholdsvis grunt. Det dypeste partiet i fjorden finnes ved Kvernberget, hvor største dyp er 85 m.

Tilstanden i Sandefjordsfjorden har vært undersøkt i flere sammenhenger, og vi nevner spesielt undersøkelsen av vannkvalitet, planteplankton, bløtbunnsfauna og hardbunnsfauna i 1997-98 (Nygaard et al. 1998, DNV 1998), overvåkingen av ytre Oslofjord i 2001-2005 (Dragsund et al., 2006), overvåkingen av ytre Oslofjord i 2007 (Walday et al., 2008) og den kommunale overvåkingen i 2004 og 2005 (Sandefjord kommune 2005, 2006). Resultater fra disse vil i varierende grad bli brukt senere i rapporten.



Figur 1. Sandefjordsfjorden med trasé for lengdesnitt. Stasjoner (st.1-5) fra undersøkelser av vannkvalitet i 1997/98 (Nygaard et al. 1998).



Figur 2. Lengdesnitt av Sandefjordfjorden langs dypeste trasé. Lokalisering av utslipp fra Pronova Biopharma er angitt.

Tabell 1 viser horisontalt areal og integrert volum fra bunn og opp for utvalgte dyp. Verdiene er basert på planimetrering for hver hele 10 eller 20 m og visuell interpolering for mellomliggende dyp. Dersom terskeldypet er 55 m, er det avstengte volumet totalt ca. 20-25·10⁶ m³, bare 5 % av totalt fjordvolum, og bare 10 % av volumet under 20 m.

Tabell 1. Areal og volumdata for Sandefjordsfjorden (fra Nygaard et al., 1998)

Dyp (m)	Havnebassenget		Framnes – Tranga		Tranga – Kvernberget		Kvernberget – Holtskjær		Hele fjorden	
	Areal (km ²)	Volum (10 ⁶ m ³)	Areal (km ²)	Volum (10 ⁶ m ³)	Areal (km ²)	Volum (10 ⁶ m ³)	Areal (km ²)	Volum (10 ⁶ m ³)	Areal (km ²)	Volum (10 ⁶ m ³)
0	0,64	3,4	0,97	14	9,6	172	6,1	231	17	421
5	0,3	1,1	0,8	10	6,6	131	5,7	202	13	344
10	0,084	0,21	0,66	6,0	4,9	102	5,2	175	11	283
20			0,26	1,4	3,0	64	4,4	127	7,7	192
30			0,04	0,17	2,3	37	3,5	87	5,9	125
40					1,6	18	2,8	56	4,4	73
50					0,8	5,1	2,2	31	3,0	36
60					0,15	1,4	1,5	12	1,7	14
70					0,06	0,4	0,6	1,5	0,7	1,9
80					0,01	0,04			0,01	0,04
<i>Midlere dyp</i>	5,3		14,6		17,9		37,8			
<i>Max, dyp</i>	18,0		38,0		85,0		75,0			

3. Metodikk og data

3.1 Metodikk

3.1.1 Modellen FjordEnvironment

For å vurdere tilstanden i hele Sandefjordsfjorden bruker vi FjordEnvironment (Stigebrandt, 2001). Dette er en modell som omkring 1990 ble utviklet som et redskap for å vurdere konsekvenser av endrede tilførsler av næringssalter og organisk stoff på oksygenforhold og siktedyp i terskelfjorder (se Stigebrandt, 2001). Foruten en del som beskriver vannkjemiske forhold inneholder modellen også en del som beskriver hvordan endringer i ferskvannstilførsel og vind kan påvirke de hydrofysiske forholdene i fjorden, Modellen er ofte brukt i vurderinger av miljøforhold langs norskekysten, Det faglige grunnlaget ble utarbeidet med data fra Møre og Romsdal, men er også funnet å passe for forholdene langs øvrige deler av norskekysten,

3.1.2 Stoffbudsjett

For vurderingen av hvordan utslippet påvirker tilstanden i Sandefjordsfjorden er bedriftens andel av totaltilførselen av organisk stoff og næringssalter av interesse, Et stoffbudsjett for Sandefjordsfjorden vil bestå av bidragene fra:

- Kommuntalt avløpsvann (i alt vesentlig fra husholdninger)
- Industri
- Avrenning fra jordbruksarealer
- Avrenning fra utmark
- Vannutskiftningen med fjordområdene utenfor Sandefjordsfjorden

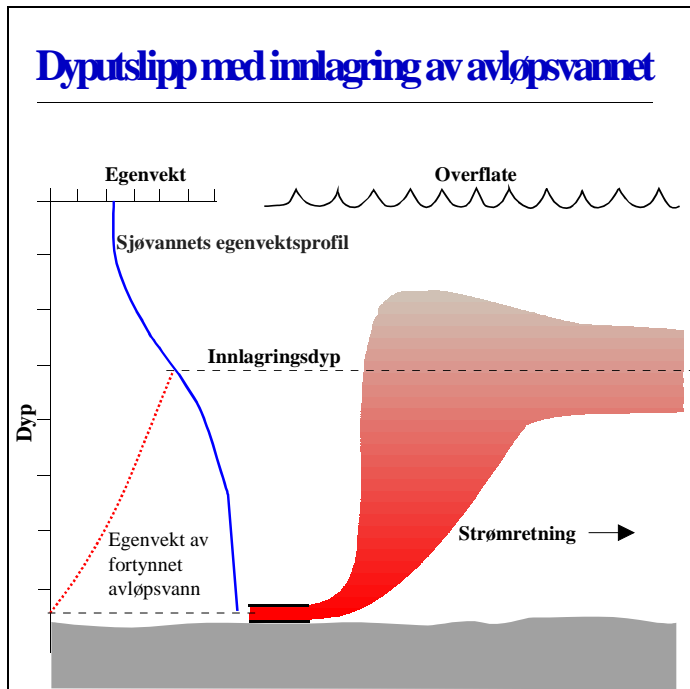
En detaljert kartlegging av tilførselene ligger utenfor denne oppgava, men vi tar sikte på å gi en riktig dimensjon på de enkelte kildene slik at de kan sammenlignes,

For å vurdere vannutskiftningen i Sandefjordsfjorden og hvordan Pronovas utslipp kan påvirke vannkvaliteten, er det brukt to matematiske modeller som nedenfor beskrives kort,

3.1.3 Modellen Plumes

Avløpsvannet har i praksis samme egenvekt som ferskvann og dermed lettere enn sjøvann. Det vil derfor begynne å stige mot overflata samtidig som det fortynnes raskt med omkringliggende sjøvann. Hvis sjøvannet har en stabil sjiktning (egenvekten øker mot dypet) fører dette til at egenvekten til blandingen av avløpsvann+sjøvann øker samtidig som egenvekten til det omkringliggende sjøvannet avtar, og i et gitt dyp kan dermed blandingsvannmassen få samme egenvekt som sjøvannet omkring (**Figur 3**). Da har ikke lenger blandingsvannmassen noen "positiv oppdrift", men har fortsatt vertikal bevegelsesenergi og vil stige noe forbi dette "likevektsdypet" for så å synke tilbake og innlagres. I en fjord er der vanligvis en vertikal sjiktning i sjøvannet og det fortynnede avløpsvannet kan innlagres uten å nå overflaten. Etter innlagringen vil avløpsvannet spres med strømmen samtidig som det fortynnes videre.

Innlagringsdypet og spredning/fortynning av avløpsvannet i nærområdet for Pronova beregner vi med den numeriske modellen Visual PLUMES utviklet av U.S. EPA (Frick et al., 2001). Nødvendige opplysninger er vannmengde, utslippsdyp, diameter for utslippsrøret samt strømhastigheten i resipienten.



Figur 3. Prinsippskisse som viser hvordan et dyputslipp av avløpsvann fungerer i forhold til innlagring. En forutsetning for innlagring er at egenvekten for fjordvannet øker med dypet (vertikal sjiktning),

3.2 Data

For beregningene av innlagringsdyp og spredning behøves opplysninger om

1. Utslipet: ledningsdiameter og vannmengder
2. vertikale profiler av temperatur og saltholdighet
3. strømforhold i innlagringsdypet

3.2.1 Utslipet

Pronova har gitt opplysninger om dagens utslipp og dette er sammenfattet i **Tabell 2**

Tabell 2. Karakteristiske tall for utslippet (kilde: Pronova)

Utslippsdyp	Avløpsledning, indre diameter	Vannmengde
15 m	300 mm	22-33 m ³ /h

3.2.2 Vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet

For beregningene av innlagring og fortytning behøves flest mulig vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet (tetthetsprofiler). Vi har til rådighet vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet som beskriver den vertikale sjiktningen ved st. 2 ca. 500 m sør for utslippet (**Figur 1**) ved 13 tidspunkt fordelt over 12 måneder (**Tabell 4**). Vi vil tro at målingene gir en rimelig representativ beskrivelse av variasjonene gjennom året.

I tillegg ble det høsten 2009 gjort målinger i forbindelse med utsetting og opptak av strømmåleren, samt innsamling av oksygenprøver. Målingene ble gjort med en vertikal profilerende sonde som registrerte dyp (trykk), saltholdighet, temperatur, dato og klokkeslett med 1 sekunds intervall mens den langsomt ble senket fra overflate og ned til bunnen (**Tabell 3**). Tidspunktene er vist i **Tabell 4**.

Tabell 3. SD204-sonden. Parametre og presisjon,

Parameter	Usikkerhet
Temperatur	$\pm 0,01^{\circ}\text{C}$
Saltholdighet	$\pm 0,01 \text{ ‰}$
Trykk	$\pm 0,1\text{m}$
Turbiditet	$<2 \text{ ‰ FTU}$

Tabell 4. Vertikalprofiler benyttet for beregning av utslippets innlagring og primærfortyning. Profilene 1-13 er fra st. 2 (hentet fra Nygaard et al., 1998) mens profilene 14-16 ble målt ved utslippet høsten 2009.

Profilnummer	Dato	Antall målinger
1	14.04.1997	12
2	28.05.1997	12
3	11.06.1997	10
4	25.06.1997	10
5	09.07.1997	10
6	23.07.1997	10
7	22.08.1997	8
8	18.09.1997	6
9	20.10.1997	6
10	19.11.1997	6
11	15.01.1998	6
12	25.02.1998	6
13	17.03.1998	6
14	19.10.2009	14
15	3.11.2009	14
16	18.10.2009	17

3.2.3 Undersøkelse av strømforhold

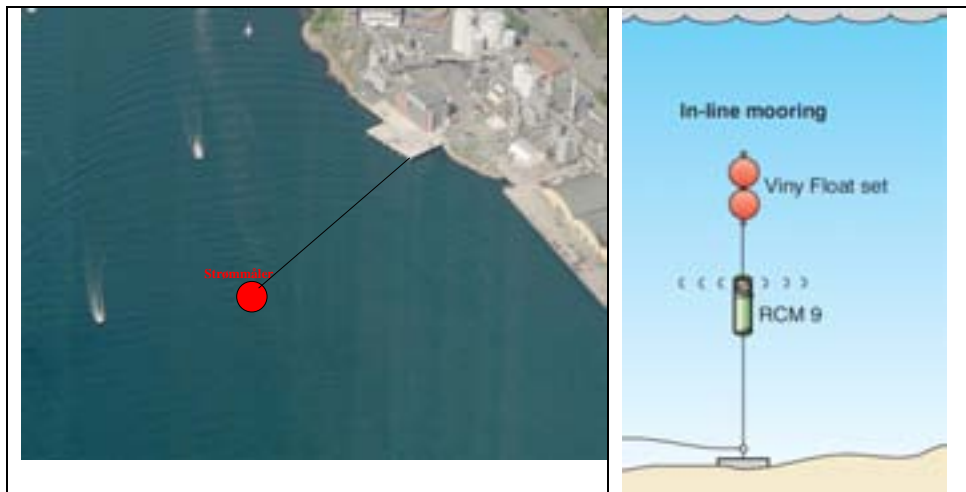
For beregningene av innlagringsdyp og spredning behøves opplysninger om strømforholdene i området fordi hastigheten og retningen av strømmen fra utslippsdyp og opp til innlagringsdypet har betydning både for innlagringsdypet og for spredningen av det fortynnede avløpsvannet. I dette området vil en forvente et strømbilde preget av virkningen av tidevannsvariasjoner og av skiftende meteorologiske forhold (vind og lufttrykk), Erfaringsmessig skaper dette et strømsystem der hastighet og retning varierer mye, og der hastigheten sjelden blir større enn 10-15 cm/s,

Siden der ikke fantes opplysninger om strømhastighet og –retning på utslippsstedet ble det iverksatt måleprogram. Den 19.10.2009 ble en strømmåler av type Aanderaa RCM9 plassert i 10 m dyp litt vest for utslippet, som vist i **Figur 4**. Bunndypet var 17 m og instrumentet registrerte hvert 10 minutt (**Tabell 5**).

Tabell 5. Strømmåleren. Parametre og presisjon.

Instrument dyp (m)	Strømhastighet	Strømretning	Temperatur
10 m	±0,15cm/s	5°	± 0,05°C

Måleren ble tatt opp den 18.11.2009, dvs. med registrering over 30 dager.



Figur 4. Posisjon for strømmåler med bunntau inn til Pronovas kai, og skisse av måler med forankring (kilde: Aanderaa Data Instruments).

4. Resultater og vurderinger

4.1 Vannutskiftningen innenfor Tranga

I dette prosjektet er det gjort beregninger med FjordEnvironment for å framskaffe typiske tall for vannutskiftningen i mellomlaget og bassengvannet. For vannmassen mellom overflata og 20 m dyp innenfor Tranga fant modellen en typisk oppholdstid på ca. 2 døgn, som tilsvarer en utskiftning av ca. 80 m³/s.

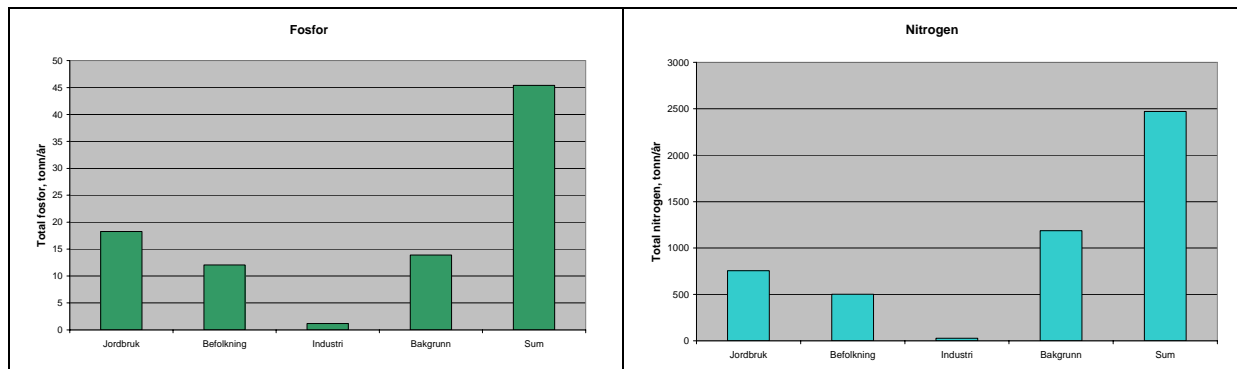
Den korte oppholdstiden illustrerer at bassengvannet til vanlig har god tilførsel av nytt oksygenrikt vann fra fjordens søndre del og fra selve ytre Oslofjord.

4.2 Tilførsler av næringssalter til fjordområdet

For beregninger av tilførsler av næringssalter til Sandefjordsfjorden er brukt NIVAs data, som en kombinasjon av RID og TEOTIL. Vi har brukt de nyeste kjente data (fra 2007) fordelt på følgende kilder:

- Jordbruk
- Befolkning
- Industri
- Bakgrunnsavrenning

Data er vist i **Figur 5**.



Figur 5. Beregnede tilførsler av fosfor og nitrogen til Sandefjordsfjorden i 2007.

I tillegg har vi anslått bidraget gjennom vannutskiftningen mellom Sandefjordsfjorden innenfor Tranga og områdene utenfor. For vannmassen mellom overflata og 20 m dyp fant modellen FjordEnvironment en typisk utskiftning av 70 m³/s. Konsentrasjonen av total fosfor og total nitrogen i fjordens søndre del er kjent fra overvåkingsprogrammet for ytre Oslofjord og

- 15 mgP/m³ for total fosfor
- 225 mgN/m³ for total nitrogen

synes rimelig representative for vannmassene som inngår i vannutvekslingen med Sandefjordsfjorden i sommerhalvåret. Dette betyr at denne vannutvekslingen tilfører fjorden en betydelig mengde av total fosfor: 90 kgP/d og total nitrogen: 1360 kgN/d. For å få en sammenlignbar enhet divideres summen av tilførsler fra land i **Figur 5** på 365 døgn, med resultatene 0,12 kgP/døgn og 6,7 kgN/døgn.

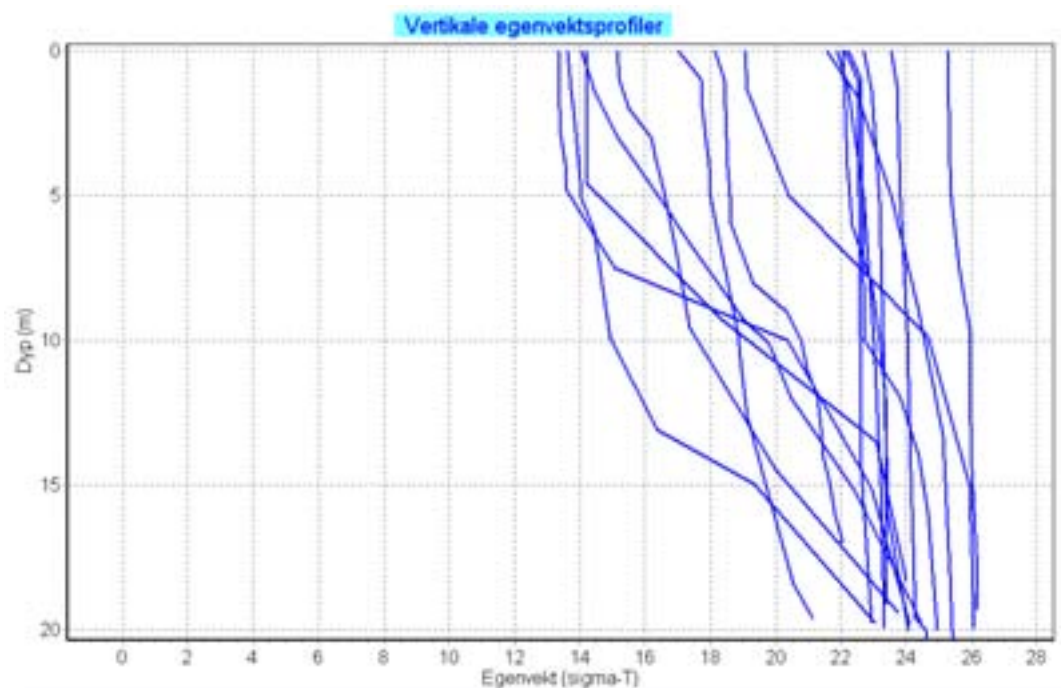
Selv om dette er ganske grove estimat av gjennomsnittverdier er det tydelig at næringssalttilførslene fra industriutslipp utgjør en meget liten del av stoffbudsjettet for den indre delen av Sandefjordsfjorden.

4.3 Den vertikale sjiktningen

Ferskvannsavrenningen til Sandefjordsfjorden er relativt liten og det fører til en varierende og ofte svak vertikal sjiktning. **Figur 6** viser egenvektprofilen¹ fra målingene på stasjon St2 ved Tranga og like utenfor Pronova høsten 2009. I grove trekk kan man snakke om to vannlag

- Overflatelaget: som ofte strekker seg fra overflata og ned til 8-15 m dyp (men iblant nærmest helt borte). Dette har åpen forbindelse utover mot kystvannet og god vannutskifting.
- Dypvannet: mellom overflatelaget og bunn.

Begge disse vannlagene er i stor grad bestemt av de hydrografiske forholdene i ytre Oslofjord og den sørligste delen av Sandefjordsfjorden. Ved 8 tidspunkt var det markert vertikal sjiktning og ved 6 tidspunkt var sjiktningen meget svak. Dette viser at selv for utslipp av en konstant mengde avløpsvann vil innlagingsdypet variere mye fra gang til gang.



Figur 6. Vertikalprofiler (16 tidspunkt) for vannets egenvekt på stasjon St2 og ved utslippet, som beskrivelse av den vertikale sjiktningen. Ved 8 tidspunkt er det markert vertikal sjiktning. Ved 6 tidspunkt er sjiktningen meget svak.

¹ Sjøvannets egenvekt er beskrevet ved størrelsen $\sigma_t = (\text{egenvekten} - 1000)$, der egenvekten er oppgitt med enheten kg/m^3 . Egenvekten beregnes på grunnlag av målingene av temperatur og saltholdighet

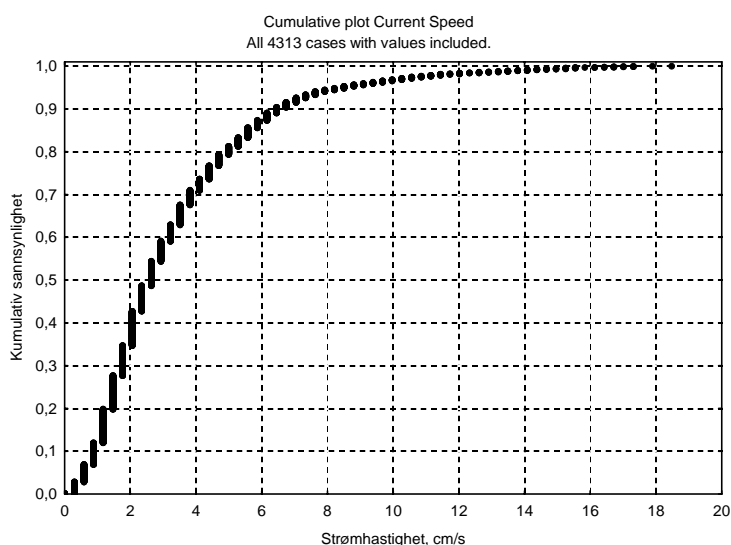
4.4 Strømforhold i utslippsområdet

For beregninger av avløpsvannets innlagring er det i første rekke strømhastigheten som er utslagsgivende og **Tabell 6** oppsummerer hovedtrekkene.

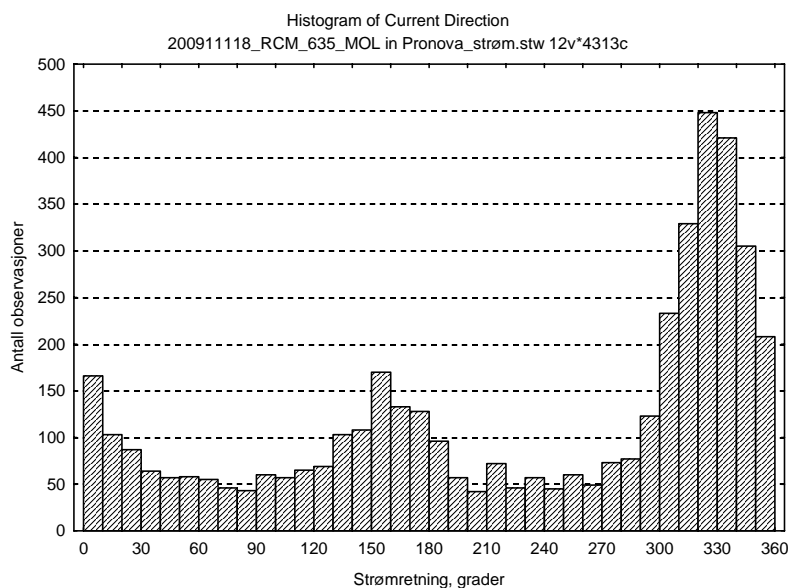
Tabell 6. Oppsummering for strømhastighet

Median	Gjennomsnitt	Maksimum
2,6 cm/s	3,3 cm/s	18,5 cm/s

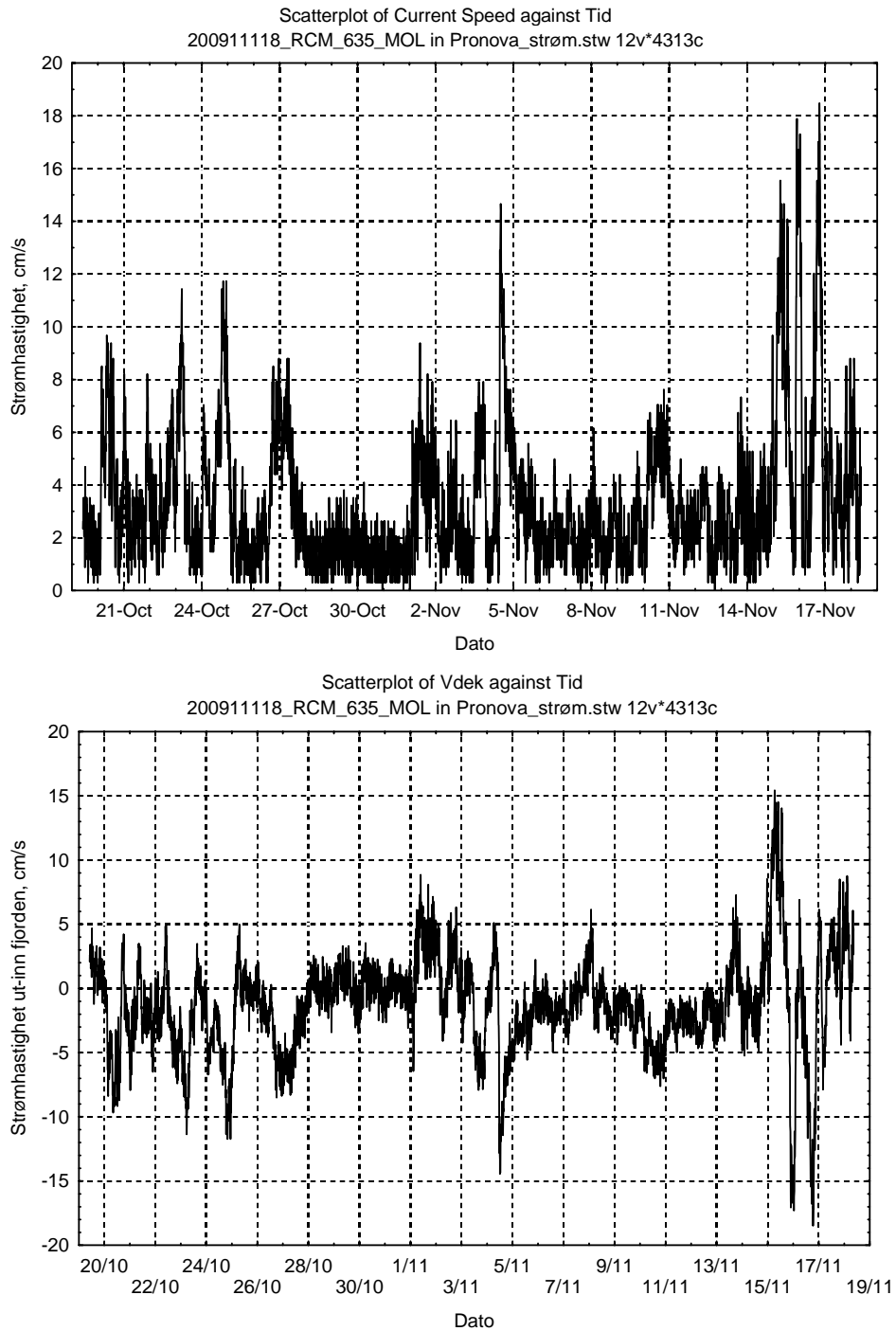
Figur 7 - Figur 9 viser resultatene fra strømmåleren og vi kommenterer kort i figurtekstene.



Figur 7. Kumulativ fordeling av hastighet. X-aksen viser strømhastighet og y-aksen fordelingen (merk ulik skala i de to figurene). Verdien 0,5 betegner medianen eller midtverdien (halvparten er mindre og halvparten større). Til sammenligning betyr 0,9 at 90% av verdiene er lavere. Medianen er 2,6 cm/s og ca. 90% av målingene er under 6,5 cm/s. Maksimum hastighet var 18,5 cm/s.



Figur 8. Fordeling av strømretning i 10 graders sektorer. Der er overvekt av registreringer omkring 330 grader (nordvest-rettet strøm).

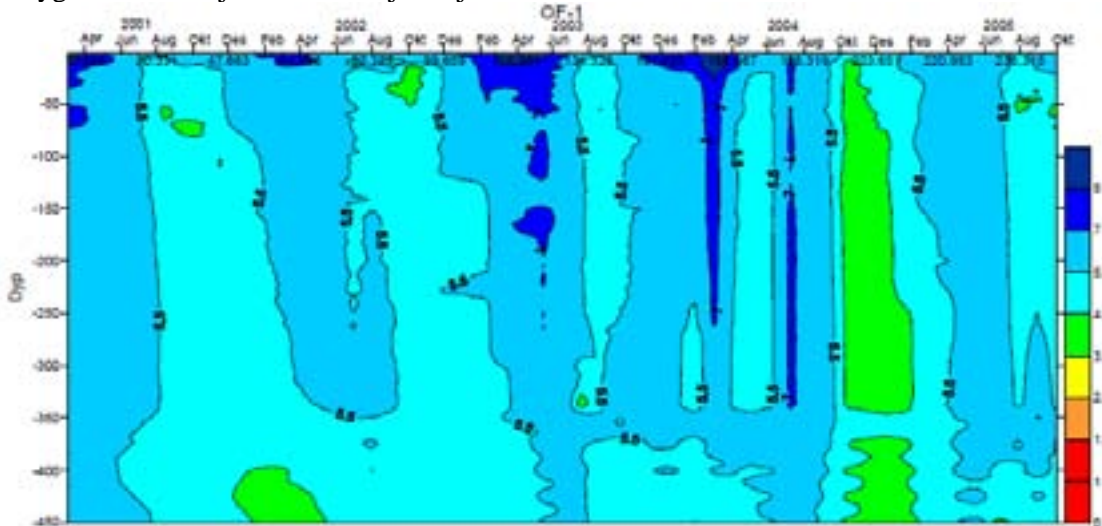


Figur 9. Øverst vises strømhastigheten og nederst vises strømkomponenten langs aksene 150-330 grader. Her er relativt store variasjoner, men de aller fleste av registreringene ligger i intervallet 0-6 cm/s.

4.5 Oksygenforhold

Hovedvannmassene i ytre Oslofjord

Som påvist ovenfor har Sandefjordsfjorden en betydelig vannutveksling med hovedvannmassene i ytre Oslofjord, og oksygenkonsentrasjonen i disse vannmassene vil dermed ha stor betydning for oksygenforholdene i Sandefjordsfjorden. Oksygenforholdene i ytre Oslofjord varierer ganske mye med tiden og oftest med minimum i tidsrommet august-oktober (**Figur 10**). Dette tyder dermed på at oksygenkonsentrasjonen i Sandefjordsfjorden vil være relativt lav i dette tidsrommet.



Figur 10. Isoplet av oksygenforholdene ved Torbjørniskjær i ytre Oslofjord i perioden 2001-2005. Horizontal akse representerer måned-år. Fargekoden tilsvarende SFTs tilstandsklasser bortsett fra klasse I – Meget God (>4,5 mlO₂/l) hvor det er angitt en inndeling. (fra Dragsund et al., 2006)

Resultater fra overvåkingen av Sandefjordsfjorden

Sandefjord kommune har overvåket oksygenforholdene i Sandefjordsfjorden og Mefjorden i 2004 og 2005. Resultatene er vist i **Figur 11** og det er stasjon 2 som i denne sammenhengen er interessant. Bortsett fra 2002 har oksygenforholdene ved bunnen vært klassifisert som Tilstandsklasse II God – Meget god.

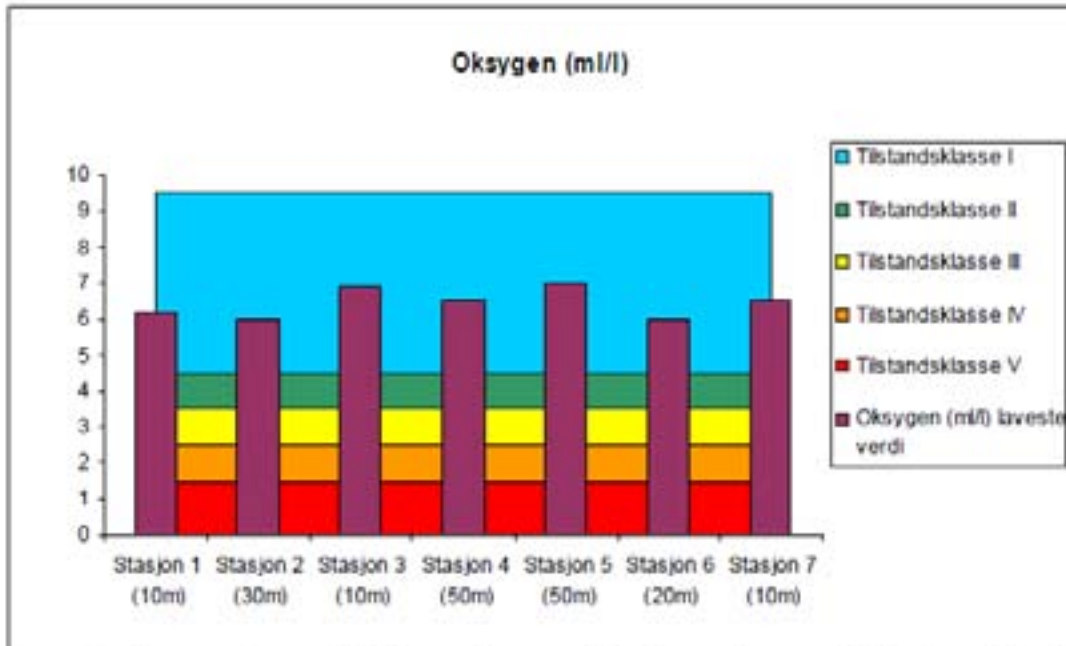
Oksygenmålinger i oktober-november 2009

I forbindelse med utplassering av strømmåler den 19.10.2009 ble det innsamlet vannprøver for oksygenanalyser på stasjoner 150-200 m nord og sør for Pronovas utslipp, samt på stasjon St2 ved Tranga. Den sistnevnte fungerer som en referansestasjon i forhold til nærområdet ved utslippet.

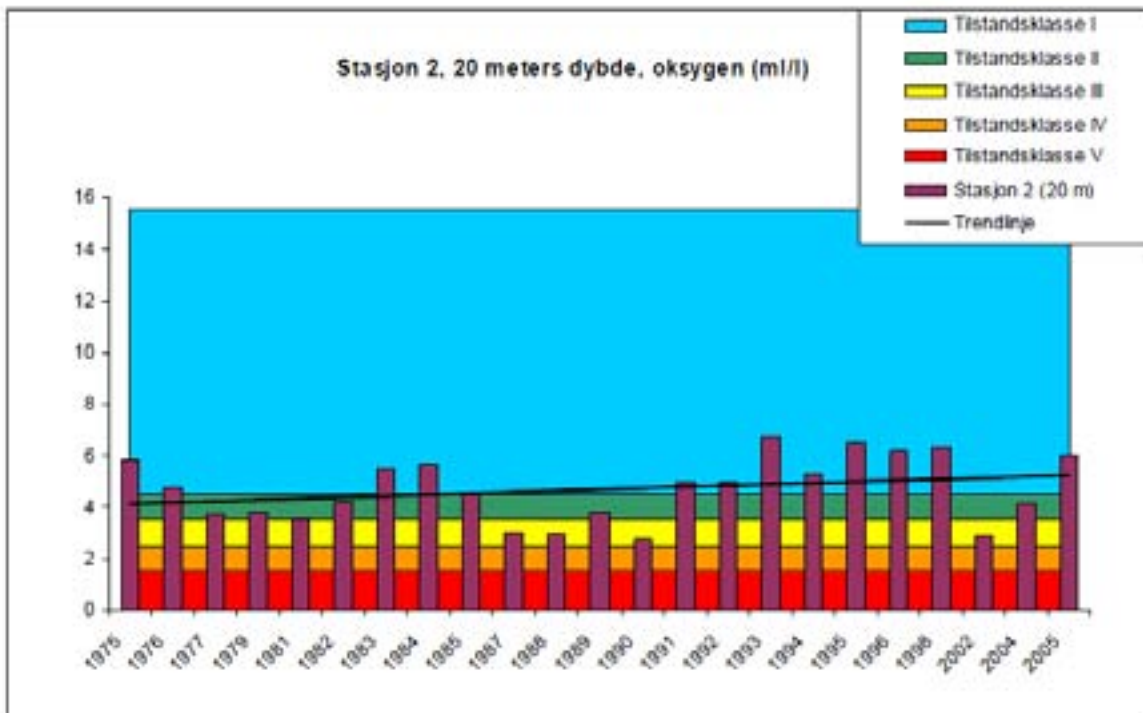
Nye prøver ble tatt 3.11.2009 og ved opptak av strømmåleren den 18.10.2009 og målingene er vist i **Figur 12**. Ved alle tre tidspunkt var tilstanden God – Meget God (jfr. **Tabell 7**). Forbedringen fra oktober til november skyldes utskiftning med nytt vann fra ytre Oslofjord.

Tabell 7. Tilstandsklassifisering for oksygen (fra Molvær et al., 1997)

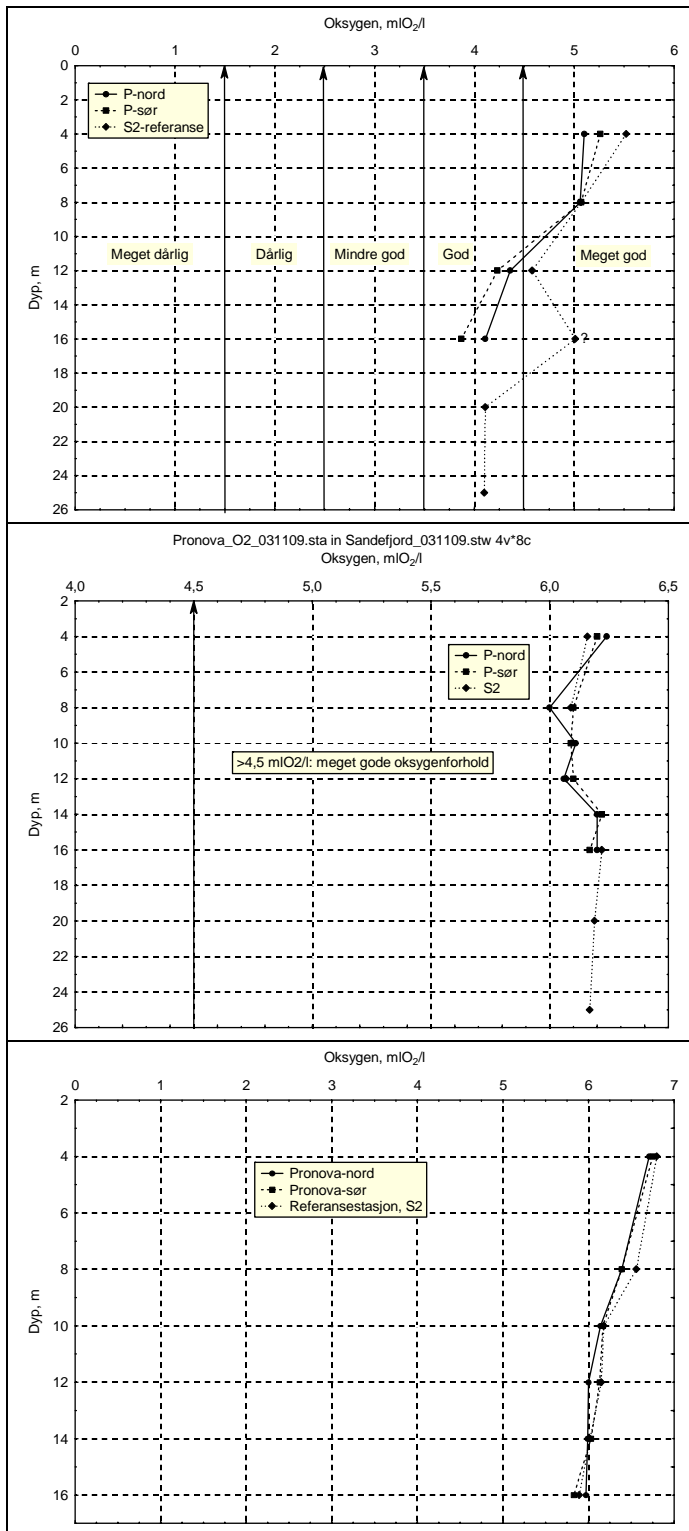
Tilstandsklasser	I	II	III	IV	V
	Meget god	God	Mindre god	Dårlig	Meget dårlig
Oksygen, ml/l	>4.5	4.5-3.5	3.5-2.5	2.5-1.5	<1.5



Figur 5. Det laveste registrerte innholdet av oksygen ved de ulike stasjonene og dybdene i Sandefjordsfjorden og Mefjorden i perioden mai – september 2005.



Figur 11. Oversikt over oksygenforhold ved stasjon St2 i Sandefjordsfjorden. Øverst: resultater fra 2005 (legg merke til stasjon 2). Nederst: langtidsutviklingen (fra Sandefjord kommune, 2006).

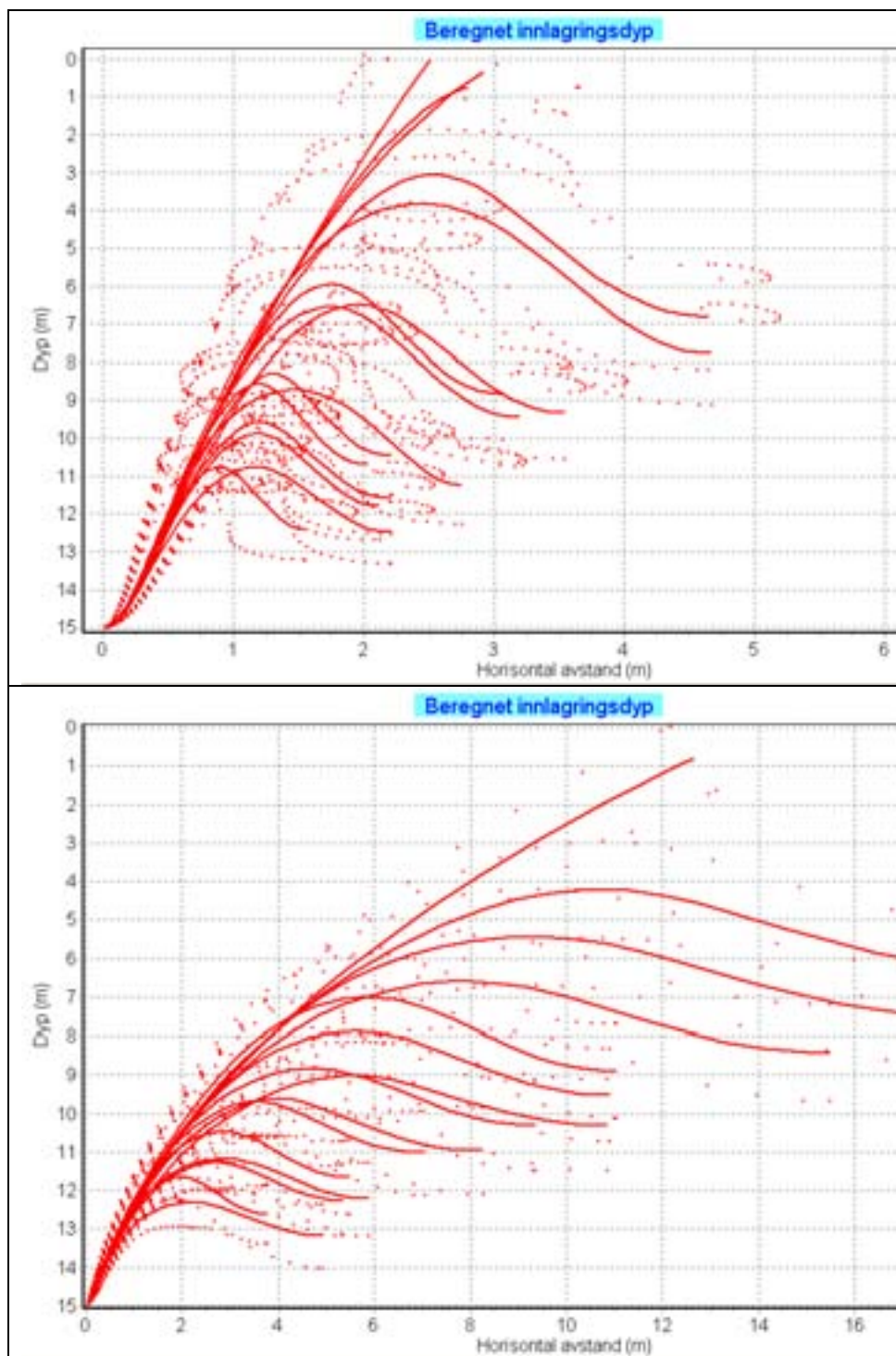


Figur 12. Måling av oksygen på en stasjon 150-200 m nord for utslippet (P-nord), samme avstand sør for utslippet (P-sør) og på stasjon St2 ved Tranga. Øverst: 19.10.2009, midten: 3.11.2009, nederst: 18.11.2009.

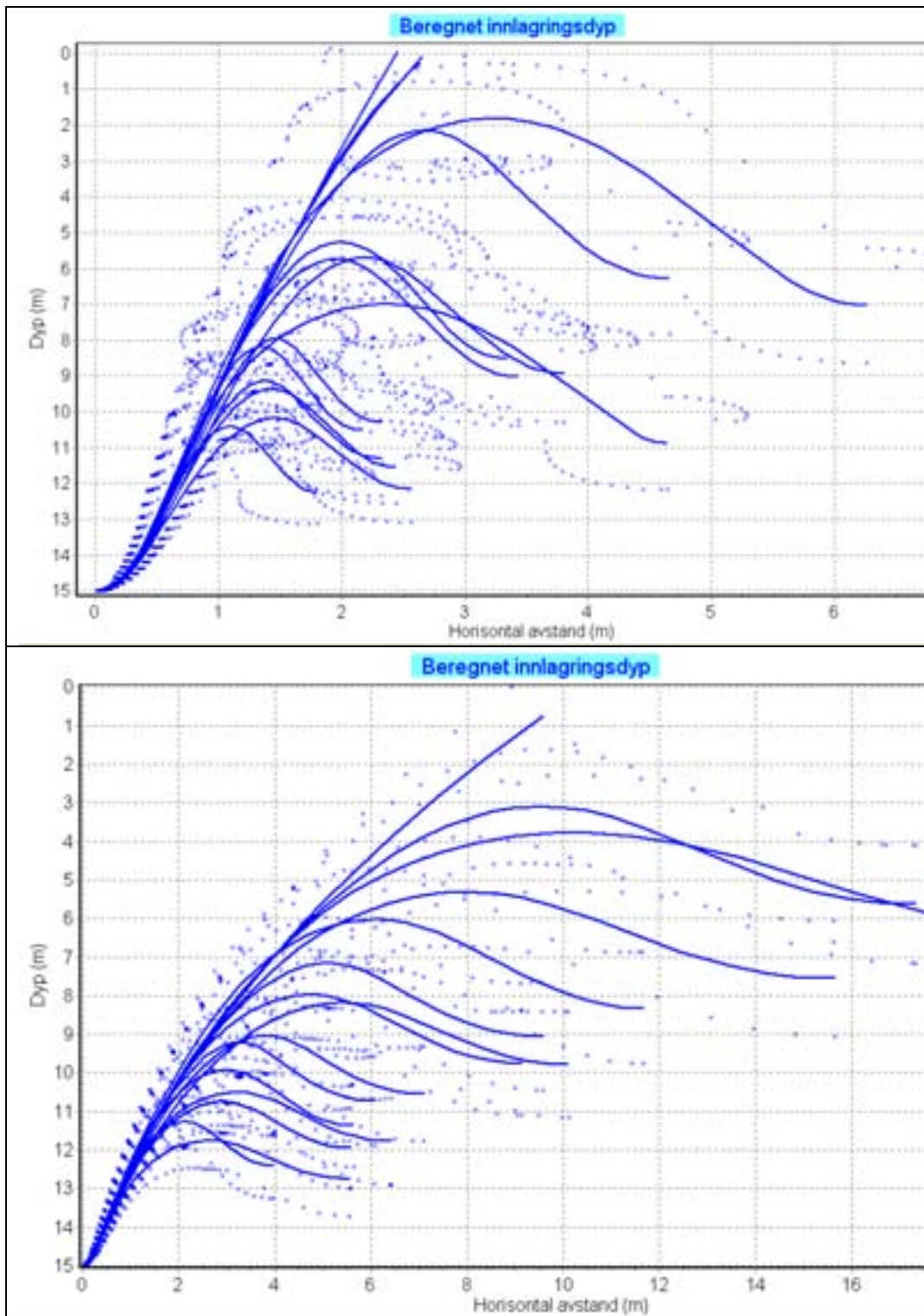
4.6 Innlagring og fortykning av avløpsvannet

Beregningene tar utgangspunkt i **Tabell 2**. Det er gjort beregninger for dagens utslipp i 15 m dyp for vannmengdene 22 m³/h (6 l/s) og 33 m³/h (9 l/s) og strømhastighetene 2 cm/s (relativt svak strøm) og 6 cm/s (relativt sterk strøm). I alt 4 kombinasjoner som sammen med 16 profiler gir 64 kombinasjoner av vannmengde – strømhastighet – vertikal sjiktning.

Resultatene viser at innlagringsdypet i hovedsak er bestemt av den vertikale sjiktningen, der det som tidligere påvist er 6 situasjoner med meget svak sjiktning og 8 situasjoner med markert sjiktning. I situasjoner med svak sjiktning er der 1-3 kombinasjoner av vannmengde og strømhastighet der avløpsvannet kan nå helt opp til overflata. Ved disse situasjonene er samtidig fortykningen maksimal (maksimal ”fortynningsdistanse”) og i intervallet 40-50x.



Figur 13. Beregnet strålebane og innlagring ved utslipp av $22 \text{ m}^3/\text{h}$ og strømhastighet 2 cm/s (øvre figur) og 6 cm/s (nedre figur) i 15 m dyp. De stiplede linjene antyder yttergrensene for skyen med fortennet avløpsvann.



Figur 14. Beregnet strålebane og innlagring ved utslipp av $33 \text{ m}^3/\text{h}$ og strømhastighet 2 cm/s (øvre figur) og 6 cm/s (nedre figur) i 15 m dyp. De stiplede linjene antyder yttergrensene for skyen med fortennet avløpsvann.

5. Utslippet og påvirkning på oksygenforholdene

Et hovedspørsmål er i hvilken grad Pronovas utslipp av organisk stoff – med påfølgende nedbrytning og oksygenforbruk – påvirker oksygenforholdene i fjordområdet. For å beskrive oksygenforbruket i avløpsvannet fikk bedriften oktober-november 2009 tatt prøver og utført BOD-analyser ved 6 anledninger. Oksygenforbruket ble bestemt ved 2, 3 og 5 dager, og resultatene er vist som BOD-2, BOD-3 og BOD-5 i øvre del av **Figur 15**. Resultatene varierte mye og vi har derfor valgt medianen som typisk tall (nedre del av **Figur 15**).

For 1 liter avløpsvann vil da oksygenforbruket (medianen) i løpet av 2 døgn være 367 mgO₂ (intervall 169-910 mgO₂). La oss anta at oksygenforbruket i løpet av de første 6 timene (12,5% av 48 timer) er så høyt som 20% av BOD-2, eller 73 mgO₂ (intervall 34-180 mgO₂). Ved utslipp av stor vannmengde (33 m³/h) og svak strøm (2 cm/s) har avløpsvannet etter 6 timer forflyttet seg ca. 430 m og modellen viser at fortynningen blir (lavt regnet) liggende mellom ca. 200x og 1000x (se også **Figur 16**). Da er altså 33 m³ avløpsvann fortynnet med 6600-33000 m³ sjøvann.

Oksygenkonsentrasjonen i sjøvannet som fungerer som fortynningsvann vil variere med tiden, men velger vi et typisk variasjonsintervall på ca. 4,5-6 mlO₂/l (jfr. **Figur 12**) og regner om til mgO₂/l ved å multiplisere med 1,42 - og for enkelhet skyld regner pr. 1 liter - får vi følgende:

- Med konsentrasjon ca. 4,5 mlO₂/l inneholder 200-1000 l sjøvann ca. 600-1200 mgO₂.
- Med konsentrasjon ca. 6 mlO₂/l inneholder 200-1000 l sjøvann ca. 1700-8500 mgO₂.

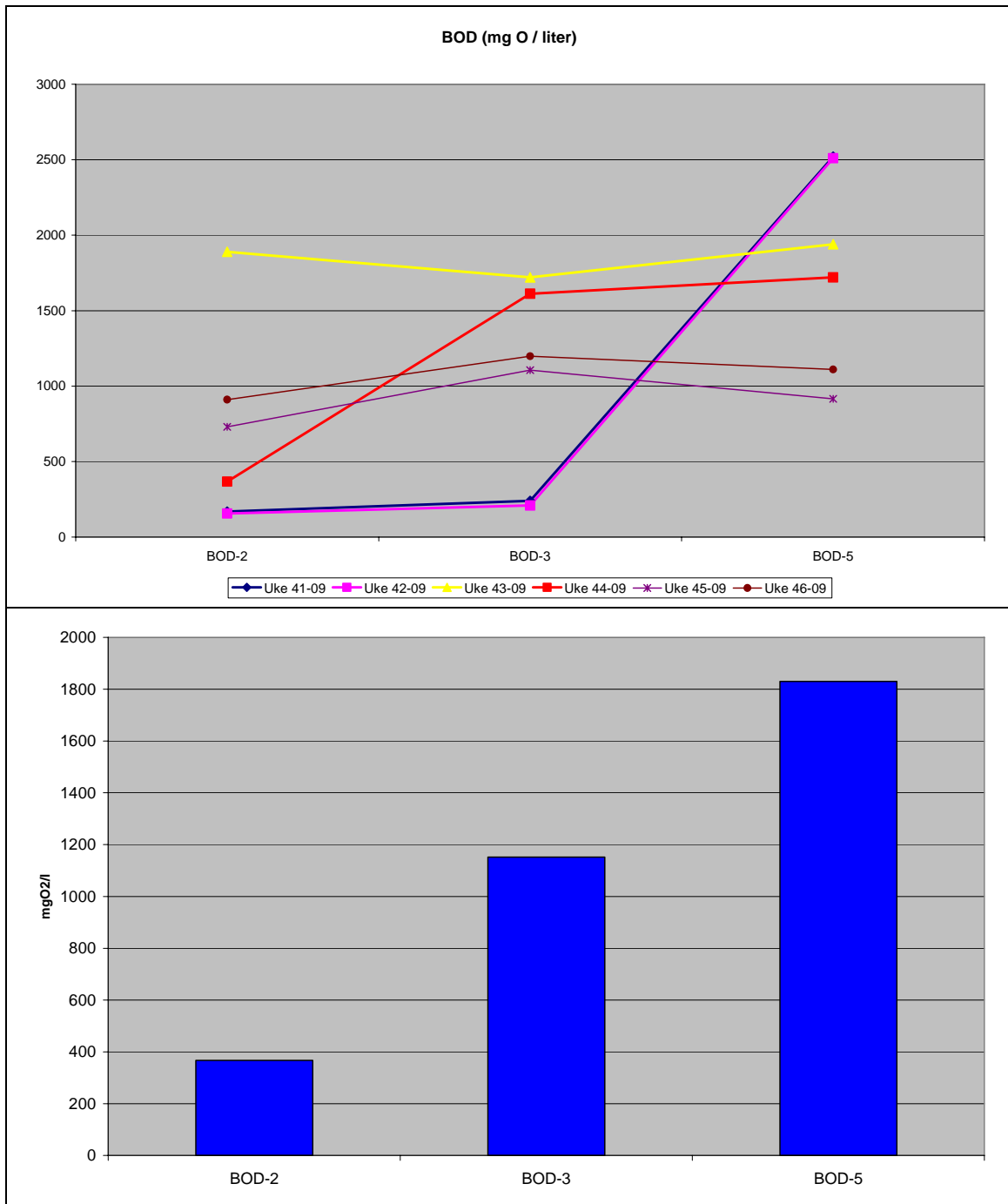
Sammenligner vi med antatt høyt O₂-forbruk på 73 mgO₂ for 1 liter avløpsvann de første 6 timene (intervall 34-180 mgO₂/l) blir *konklusjonen at oksygenforbruket fra Pronovas avløpsvann under normale forhold ikke i merkbart grad vil redusere oksygenkonsentrasjonen i vannmassen der det innlagres. Dette stemmer med de tre måleseriene som ble utført i oktober-november 2009.*

Det skal imidlertid påpekes at ved en kombinasjon av mange uheldige faktorer:

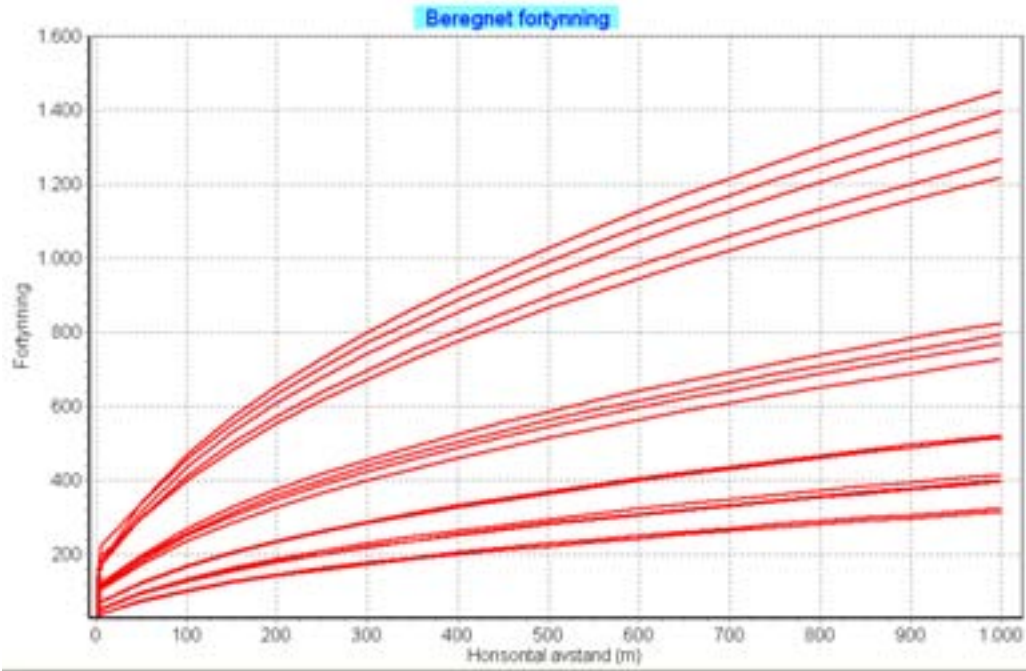
- i utgangspunktet lav oksygenkonsentrasjon i fjordvannet
- minimal fortynning
- maksimalt oksygenforbruk
- lav strømhastighet/vannutskiftning

kan man i skyen med innlagret avløpsvann (2-3 m tykk) risikere konsentrasjoner i intervallet 3-4 mgO₂/l, eller fra øvre del av vannkvalitetsklasse Mindre god til midtre del av vannkvalitetsklasse God (jfr. **Tabell 7**).

Tidspunktet vil være om høsten og vil i utgangspunktet skape en situasjon med relativt lave oksygenkonsentrasjoner i hele Sandefjordsfjorden, og lavest innerst inne. Påvirkningen fra Pronovas avløpsvann vil sannsynligvis være så avgrenset at den er vanskelig å registrere, og oksygenkonsentrasjonen i utslippsområdet likevel så høy at den ikke skader økosystemet. Der finnes imidlertid ikke data som kan bekrefte – eller avkrefte – at slike episoder med lokal påvirkning virkelig forekommer om høsten.



Figur 15. Median for 6 BOD-analyser av avløpsvannet, med resultater for hhv. 2 (BOD-2), 3 (BOD-3) og 5 (BOD-5) døgn. Merk at for BOD-2 er verdien fra uke 43 ekskludert fordi det er usannsynlig at den er større enn BOD-3.



Figur 16. Beregnet fortyning av avløpsvannet ved utlipp av $33 \text{ m}^3/\text{h}$ og svak strøm (2 cm/s)

6. Litteratur

Bakke T, Nordal O, Mohn H og Schaanning M., 2001. Forurensingstilstand i indre Sandefjordsfjorden og kartlegging av forureningskilder. NIVA-rapport L 4344-2001. 49 sider.

Det norske Veritas, 1998. Miljøovervåking i Sandefjordsfjorden og indre Mefjorden 1997-1998. Delrapport 5, Bløtbunnsfauna og gruntvannssamfunn. Statlig program for forureningsovervåking 747/98. 40 s, + Vedlegg.

Dragsund, E., Aspholm, O., Tangen, K., Bakke, Siri M., Heier, L., Jensen, T. 2006. Overvåking av eutrofitilstanden i ytre Oslofjord. Femårsrapport 2001-2005. Det Norske Veritas. Rapport nr 2006-0831.

Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J. Baumgartner, D.J. and George, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.

Molvær, J., Knutzen, J., Magnusson, J., Rygg, B., Skei, J. og Sørensen, J., 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Statens forurensningstilsyn. Veiledning 97:03, 36 sider.

Nygaard K, Bjerkgeng B og Lømsland E, 1998. Miljøovervåking i Sandefjordsfjorden og indre Mefjorden 1997-1998. Delrapport 1. Hydrografi, hydrokjemii og planteplankton. NIVA-rapport L 3932-1998. Statlig program for forureningsovervåking 743/98. 38 s, + Vedlegg,

Olsgard, F. og Molvær, J., 2002. Utslipp fra Pronova Biocare, Sandefjord. Vurdering av influensområde, oksygenforbruk og effekter i resipienten. NIVA-rapport nr. 4489-2002. 17 sider.

Sandefjord kommune, 2005. Sandefjordsfjorden. Vannkvalitet. Tilstand 2004. Utviklingstrekk 1974-2004. Sandefjord kommune, Teknisk etat. 47 sider.

Sandefjord kommune, 2006. Sandefjordsfjorden og Mefjorden. Vannkvalitet. Tilstand 2005. Utviklingstrekk 1974-2005. Sandefjord kommune, Teknisk etat. 55 sider.

Stigebrandt, A., 2001. FjordEnv – A water quality model for fjords and other inshore waters. Report C40 2001. Earth Sciences Centre. Gøteborg University, Gøteborg.

Walday, M., Gitmark, J., Naustvoll, L., Nilsson, H.C., Pedersen, A. og Selvik, J.R., 2008. Overvåking av Ytre Oslofjord 2007. Årsrapport. NIVA-rapport nr. 5640-2008. 63 sider.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

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



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no