



RAPPORT LNR 5351-2007

# Vurdering av Sørfjorden ved Risør som resipient for slamvann fra vannbehandlingsanlegg



**Hovedkontor**

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

**Sørlandsavdelingen**

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

**Østlandsavdelingen**

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

**Vestlandsavdelingen**

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

**Akvaplan-niva**

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

Tittel Vurdering av Sørfjorden ved Risør som resipient for slamvann fra vannbehandlingsanlegg	Løpenr. (for bestilling) 5351-2007	Dato 20.03.2007
	Prosjektnr. Undernr. O-26373	Sider Pris 29
Forfatter(e) Tone Kroglund Jarle Molvær Helge Liltved	Fagområde Marin eutrofi	Distribusjon
	Geografisk område Aust-Agder	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Risør kommune	Oppdragsreferanse
-----------------------------------	-------------------

<p>Sammendrag</p> <p>I forbindelse med et planlagt vannbehandlingsanlegg i Risør er det gjort en undersøkelse av mulige konsekvenser fra utslipp av ubehandlet slamvann til Sørfjorden. Undersøkelsen omfatter hydrografiske målinger, måling av oksygeninnhold i bunnvann, beregning av utslippsdyp og beregning av oksygenforbruk i slamvannet. Feltmålingene ble gjennomført i oktober og november 2006.</p> <p>Resultatene viser at avløpsvann som slippes ut på 25 meters dyp vil innlagres i 10-20 meters dyp. Oksygenforholdene i innlagingsdypet er gode og slammets oksygenforbruk vil ikke ha noen betydning for vannkvaliteten i disse vannmassene. Vurderingene forutsetter at slammets i liten grad sedimenterer ut, men forblir i vannmassene. Med liten sedimentering av partikler til dypområdene vil utslippet heller ikke ha store negative effekter på bunnområdene eller for oksygenforholdene i bunnvannet. Alt i alt forventes det ikke større negative effekter av utslippet slik det er skissert, men det anbefales å overvåke tilstanden.</p>
--

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Oksygenforbruk</li> <li>Hydrografi</li> <li>Resipient</li> <li>Slamvann</li> </ol>	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Oxygen demand</li> <li>Hydrography</li> <li>Recipient</li> <li>Sludge water</li> </ol>
--	--

*Tone Kroglund*

Tone Kroglund  
Prosjektleder

*Mats Waldav*

Mats Waldav  
Forskningsleder

*Jarle Nygaard*

Jarle Nygaard  
Fag- og markedsdirektør

**Vurdering av Sørfjorden ved Risør som resipient for  
slamvann fra vannbehandlingsanlegg**

## Forord

Denne undersøkelsen er gjennomført på oppdrag av Risør kommune og på grunnlag av program utarbeidet av NIVA 15. september 2006.

Kontaktperson i Risør kommune har vært Astrid Selen.

Under feltarbeidet ble Skjærgårdstjenestens båt benyttet. Vi takker for godt samarbeid.

Feltarbeidet er gjennomført av Tone Kroglund. Modellberegninger og vurderinger av vannutskifting, innlagingsdyp og oksygenforbruk er gjort av Jarle Molvær. Beregning og vurdering av slammets oksygenforbruk er gjort av Helge Liltved.

Analysene er foretatt ved NIVAs laboratorium og AnalyCen.

Alle takkes for innsatsen.

Grimstad, 20. mars 2007

*Tone Kroglund*

---

# Innhold

<b>Sammendrag og konklusjoner</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>7</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>8</b>
1.1 Bakgrunn for undersøkelsen	8
1.2 Beskrivelse av området	8
1.3 Formål	10
1.4 Undersøkelserprogram	10
1.5 Tidligere undersøkelser og miljøforhold	10
<b>2. Målinger av fjordens vannutskiftning og oksygenforbruk</b>	<b>12</b>
2.1 Metodikk	12
2.1.1 Stasjonsvalg og prøvedyp	12
2.1.2 Tidspunkt for undersøkelsen	12
2.1.3 Analyser	12
2.2 Resultater og vurderinger	15
<b>3. Modellberegning av oksygenforhold og dagens oksygenforbruk i fjordbassenget</b>	<b>19</b>
3.1 Metodikk	19
3.2 Resultater	19
<b>4. Beregning av utslippsdyp</b>	<b>20</b>
4.1 Metodikk og data	20
4.2 Resultater	21
<b>5. Beregning av slammets oksygenforbruk</b>	<b>22</b>
<b>6. Vurdering av dyputslippets bidrag til økt vannutskiftning og dermed økt tilførsel av oksygen til fjordbassenget</b>	<b>23</b>
<b>7. Vurdering av konsekvensene for bunnforhold og dyreliv</b>	<b>23</b>
<b>8. Litteratur</b>	<b>24</b>
<b>Vedlegg A. Rådata</b>	<b>25</b>
<b>Vedlegg B. Modellberegninger</b>	<b>28</b>

---

## Sammendrag og konklusjoner

I forbindelse med planlegging av et nytt vannbehandlingsanlegg i Risør kommune ønsket kommunen å få vurdert om det er tilrådelig å slippe ubehandlet spylevann til Sørfjorden, eller om vannet bør slambehandles før det slippes ut til fjorden.

Sørfjorden omfatter den innerste delen av fjordsystemet nordvest for Risør. Største dyp er 80 meter og terskeldypet er 21 meter. For å vurdere eventuelle effekter av utslippet ble det gjennomført undersøkelser og beregninger av fjordens vannutskiftning og oksygenforbruk, samt målinger av oksygenforbruk i slam fra tilsvarende anlegg. Faren for gjennomslag av avløpsvann til overflaten ble også vurdert. Årlig slammengder i avløpsvannet er beregnet til 18 tonn tørrstoff og 4 tonn jern.

Feltmålingene ble gjennomført i oktober og november 2006. Vannprøver ble samlet fra ulike vanddyper ved Røed og Garte og analysert for oksygen. I tillegg ble det gjennomført målinger av temperatur, saltholdighet og oksygen fra overflaten til bunn med en selvregistrerende sonde. Målingene tyder på at bassengvannet (vannmassen under terskeldyp) har liten vannfornyelse som gir oksygenproblemer. Over bassengvannet ligger et sjøvannslag (mellomlag) som har åpen forbindelse med kystvannet og relativ god vannutskiftning. Oksygenforholdene ned til ca. 35 meters dyp var *Gode- Meget gode*, vurdert etter SFTs vannkvalitetskriterier. Gjennomsnittlig oksygenforbruk i fjordbassenget ble beregnet til 0,43 ml O<sub>2</sub>/måned.

Modellberegninger viste at avløpsvann som slippes ut på 25 meters dyp normalt vil innlagres et sted i intervallet 10-20 meters dyp. Det forutsettes at utslippsmengden er ca. 600 m<sup>3</sup>/døgn og slamvannets egenvekt er omtrent som for ferskvann. I forhold til oksygenforholdene i fjorden er dette innlagringsdypet gunstig fordi dette vannlaget har fri forbindelse med kystvannet og blir tilført oksygen gjennom utskiftning med vannmassene utenfor terskelen. Pulsvis utslipp gir større vannmengde og vil gi innlagring på noe grunnere dyp. Mindre diameter på utslippsrøret vil på den annen side gi litt dypere innlagring.

Oksygenforbruket i slam fra et tilsvarende vannbehandlingsanlegg ble beregnet til 350 mgO<sub>2</sub>/gSS. For slammengden som skal slippes ut i Sørfjorden vil dette gi et oksygenforbruk i overkant av 500 kg O<sub>2</sub>/måned. Et oksygenforbruk i denne størrelsen vil normalt ikke ha noen betydning for oksygenforholdene i mellomlaget hvor vannmassene skiftes ut med jevne mellomrom, ofte kontinuerlig. I perioder med liten vannutskiftning og sterk sjiktning av vannmassene i 20-25 meters dyp, kan det imidlertid forekomme noe redusert oksygenkonsentrasjon i innlagringsdypet ved Garte (på grunn av dyp innlagring og lav fortykning).

Dyputslippet vil bidra positivt til økt vannutskiftning i fjordens mellomlag ved at sjøvann rives med og forflyttes fra utslippsdypet og opp til innlagringsdypet. For oksygenforholdene vil dette kunne være av positiv betydning i perioder med dårlige oksygenforhold.

Det er uvisst hvor stor andel av slammet som sedimenterer til dypområdene under terskeldyp, men det antas å gjelde en relativt liten del. Man kan likevel ikke utelukke at slamvann i perioder kan medføre økt sedimentering til bunnområdene og medføre økt oksygenforbruk i bunnvannet og tilslamming av habitater. Dersom man tar utgangspunkt i at 50% av slammet er tyngre partikler som sedimenterer i løpet av en time (som et verst tenkt tilfelle), vil slammet trolig sedimentere innenfor 50-150 m fra utslippet, på 30-40 meters dyp. Vannmassene i dette dypet har relativt gode oksygenforhold, men et ekstra oksygenforbruk fra slammet kan i perioder med dårlig vannutskiftning medføre reduserte oksygenforhold. De største effektene vil imidlertid være på bunnsedimentene og bunnfaunaen i nærområdet.

### **Konklusjoner:**

- Beregningene viser at slammets oksygenforbruk ikke vil ha noen betydning for oksygenforholdene i vannmassenes mellomlag. Grunnen er at vannutskiftningen og oksygentilførselen i mellomlaget er relativt god.
- Slammet sedimenterer trolig sent og vil derfor fordeles over store vannmasser i mellomlaget og kun i liten grad synke ut og sedimentere i nærområdets bunnområder. På grunn av meget stor fortykning (>100x) ved innblanding av omkringliggende vannmasser, vil heller ikke den totale partikkelkonsentrasjonen i vannmassene nær utslippet øke merkbart.
- Ved utslipp til 25 meters dyp vil slamvannet innlagres i 10-20 meters dyp og vil normalt ikke komme til overflaten og forringe vannkvaliteten der. Faren for misfarget vann i overflaten er liten, men man kan ikke utelukke at dette vil skje i perioder.
- Utslipp av ferskvann vil bidra til å øke vannutskiftningen mellom utslippsdyp og innlagringsdypet. Det betyr økt tilførsel av oksygenrikt vann og er en positiv effekt av utslippet.
- Dersom slammet som antatt sedimenterer sent, vil slammet ha liten negativ innvirkning på oksygeninnholdet i dyplaget og bunnforholdene/dyrelivet i nærområdet. Det er imidlertid knyttet usikkerhet til hvor fort slammet sedimenterer. Dersom en stor del av slammet sedimenterer til nærområdet kan det gi periodevis reduserte oksygenforhold i bunnvannet og ha innvirkning på bunnfaunaen.

### **Anbefalinger**

Alt i alt forventes det ikke større negative effekter av utslippet slik det er skissert. I verste fall blir det dårligere forhold for bunnfauna i nærområdet til utslippet, og noe dårligere oksygenforhold i bunnvannet lokalt. Ettersom dette er en trang, sårbar fjord vil ethvert utslipp bety økt belastning på fjorden. Dersom ikke vannet slambehandles anbefales en periode med overvåking av oksygenforholdene i dypvannet og bunnområdene etter igangsetting av anlegget.

## Summary

Title: Evaluating Sjørfjorden (Risør) as a recipient for slurry water from a planned water treatment plant.

Year: 2007

Author: T. Kroglund, J. Molvær, H. Liltved

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 978-82-577-5086-2

A new water treatment plant is planned in Risør, southern Norway, and NIVA was requested to evaluate possible consequences of letting untreated slurry water into the recipient fjord.

The recipient fjord, Sjørfjorden outside Risør, is a long narrow fjord with a deep basin of 80 meters depth and sill depth of 21 meters. In order to evaluate possible effects of the discharge, hydrographical surveys were done at two separate dates and the oxygen demand of both recipient water and the sludge water was calculated. The risk of sludge water to reach surface water was also evaluated. Annual amount of sludge from the planned treatment plant will be approximately 18 tons dry weight and 4 tons iron.

The survey showed that while the bottom water in Sjørfjorden is stagnant and has oxygen deficiency, the intermediate water layer has frequent water exchange with coastal water and have high oxygen content. If the sludge water is released at 25 meters depths, it will end up within the 10-20 meters depth interval (in the intermediate layer) where the oxygen content is good. The oxygen demand of the sludge (approximately 500 kg O<sub>2</sub>/month) is not large enough to have negative effects on the total oxygen content in the intermediate layer. However, in periods with low water exchange and a strong thermocline just above discharge depth, the oxygen content may be reduced in parts of the fjord. We have no direct reports on the fate of particles in the sludge water, but experiences from other sources indicates that such particles stay afloat for a long time. Thus the effects on bottom sediments and fauna will be limited, and the oxygen demand in bottom water will not be much affected.



# 1. Innledning

## 1.1 Bakgrunn for undersøkelsen

Et nytt vannbehandlingsanlegg skal bygges ved Bosvik i Sørfjorden, Risør kommune. Prosessløsningen som er valgt er etter "Grimstad-modellen" (direkte filtrering på kontinuerlig spylende sandfilter og karbonatisering i separat marmorfilter). Prosessen omfatter felling med jern som danner et relativt tungt nedbrytbart slammateriale.

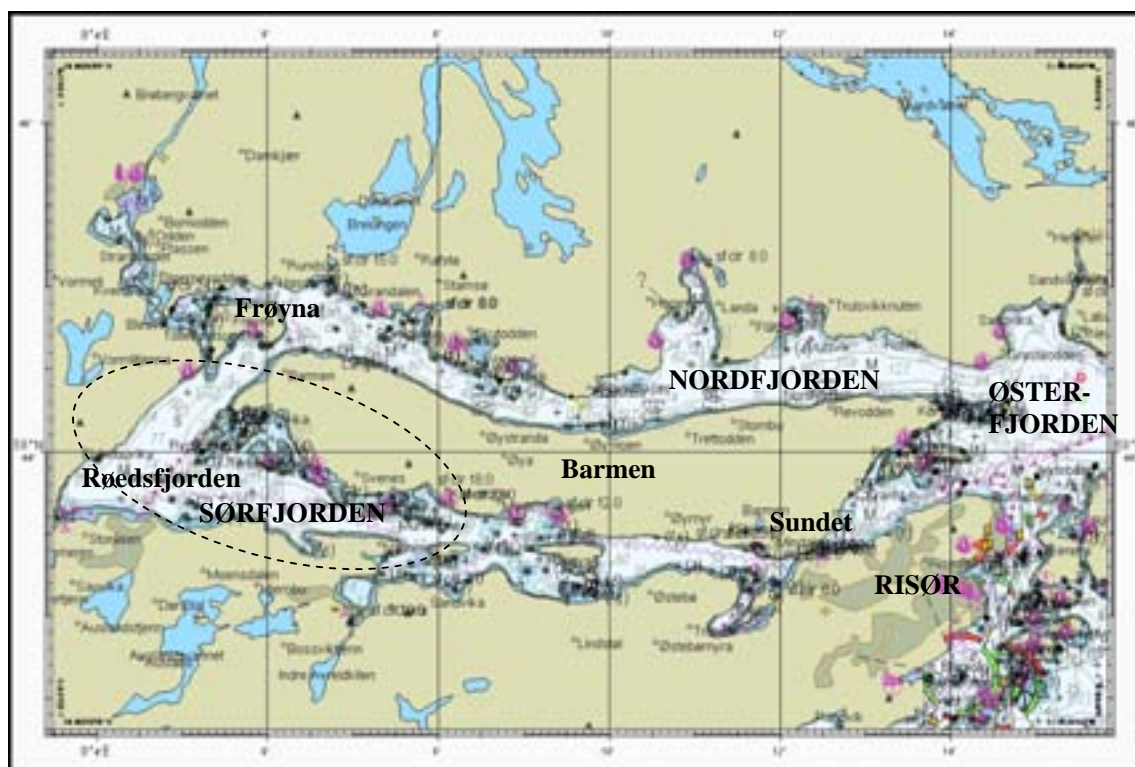
Spylevannsmengden er beregnet til 600 m<sup>3</sup>/døgn og slamvannsavløp etter sedimentering er beregnet til 15 m<sup>3</sup>/døgn. Årlig slamproduksjon er beregnet til 20 tonn tørrstoff og 5 tonn jern. Årlige slammengder i slamvannsavløpet vil være 18 tonn tørrstoff og 4 tonn jern. Partikkelmengden tilsvarer ca. 3 g/l i slamvannsavløpet. Dersom det innblandes i spylevannsmengden blir partikkelkonsentrasjonen 82 mg/l. Etter 80-150x primærfortynning er partikkelkonsentrasjonen redusert til 1-2 mg/l. Utslippet er planlagt til 25 meters dyp i Sørfjorden.

Kommunen ønsket å få vurdert om det er tilrådelig å slippe ubehandlet spylevann fra koaguleringsprosessene direkte til Sørfjorden, eller om vannet bør slambehandles før det slippes ut til fjorden. NIVA utarbeidet et forslag til undersøkelser som ville belyse dette. Prosjektforslag ble forelagt kommunen 15.september 2006.

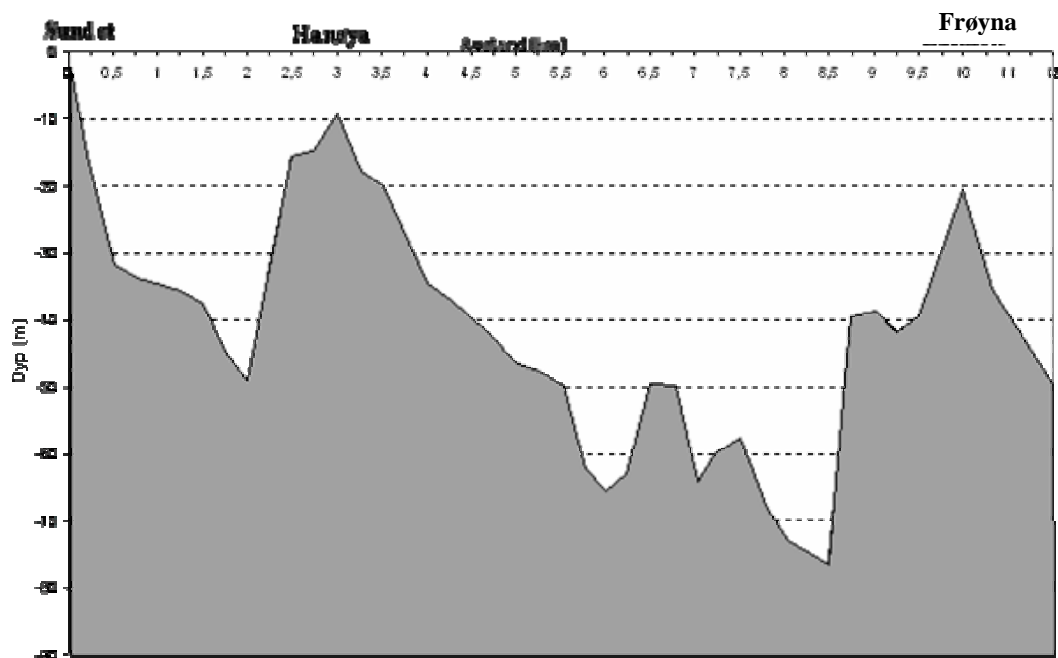
## 1.2 Beskrivelse av området

Søndeledfjorden nord for Risør er et større fjordsystem som ofte deles inn i Østerfjorden, Nordfjorden og Sørfjorden (**Figur 1**).

Sørfjorden er den innerste delen og er en beskyttet fjord med begrenset vannutsiftning. Mellom terskelen på 21 m dyp ved Frøyna i nord og den grunne passasjen ved Sundet i sørøst ligger "Røedsfjorden", et basseng med største dyp på ca. 77 m, samt flere mindre bassenger. En langsgående bunnprofil av Sørfjorden er skissert i **Figur 2**. Hele fjordens areal er 16 km<sup>2</sup>. Nedbørfeltet i Sørfjorden er 36 km<sup>2</sup>.



**Figur 1.** Kart over Søndeledfjorden nord for Risør. Fjorden deles inn i Østerfjorden, Nordfjorden og Sør fjorden. Undersøksområdet i Sør fjorden er markert med stiplet linje.



**Figur 2.** Langsgående bunnprofil av Sør fjorden mellom terskelen ved Frøyna og Sundet.

### 1.3 Formål

Formålet med undersøkelsen har vært å belyse følgende problemstillinger:

- Hva har slammengden å si for oksygenforbruket i fjorden? (Hvor stort oksygenforbruk representerer slammet)
- Hvilken betydning vil det økte oksygenforbruket ha for vannkvaliteten i fjordbassenget?
- Vil slamvannet kunne kommet til overflaten og forringe vannkvaliteten ved valgte utslippsløsning? Hvilket dyp bør utslippet ha for å unngå gjennomslag av misfarget vann til overflaten?
- Utslipp av ferskvann vil bidra til å øke vannutskiftningen mellom utslippsdyp og innlagingsdypet, som betyr tilførsel av mer oksygenrikt vann. Hvor stor blir en slik positiv effekt?
- Vil slammet ha negativ innvirkning på bunnforholdene/dyrelivet og i så fall hvor stor utstrekning.

### 1.4 Undersøkelserprogram

For å finne ut om det er det tilrådelig å slippe ubehandlet spylevann til Sørfjorden er følgende elementer undersøkt:

- Målinger av fjordens vannutskiftning og oksygenforbruk
- Beregning av oksygenforbruk og oksygenforhold i fjordbassenget ved hjelp av Fjordmiljømodellen
- Vurdering av utslippsdyp
- Vurdering av dyputslippets bidrag til økt vannutskiftning og dermed økt tilførsel av oksygen til fjordbassenget
- Beregning av slammets oksygenforbruk

### 1.5 Tidligere undersøkelser og miljøforhold

Det foreligger flere hydrokjemiske og biologiske undersøkelser fra fjorden, blant annet fra 1996 da miljøtilstanden i kommunen ble kartlagt i samarbeid med Havforskningsinstituttets Forskningsstasjon Flødevigen (Kroglund m. fl. 1998). De hydrografiske dataene omfatter målinger av temperatur, saltholdighet, oksygen og tetthet ved blant annet en stasjon utenfor Røed i Sørfjorden. Målingene ble gjennomført 4 ganger i perioden august – oktober 1996. I tillegg foreligger det hydrografiske målinger fra Røed i forbindelse med de årvisse yngelundersøkelsene i regi av Flødevigen ("høstundersøkelsen"). Temperatur, saltholdighet og oksygen måles i standard dyp én gang pr år i september-oktober (Johannessen og Dahl 1996). Stasjonen ved Røed inngår også i en rekke andre lokale undersøkelser. En oversikt over eldre undersøkelser og oppsummering av miljøtilstand fram til 1994 er gitt i Jacobsen m. fl. (1994).

#### *Miljøforhold*

Allerede på slutten av 1960-tallet ble det funnet svært lite oksygen (0,06 ml/l) så grunt som 20 m dyp ved Engholmen helt øst i Sørfjorden. I Rødsfjorden var det avtagende oksygenforhold med økende dyp, men ned til 50 m var det oksygenkonsentrasjoner over 2 ml/l. På 1980-tallet ble det registrert oksygenkonsentrasjoner ned mot 0 ml/l i 50m dyp og råttent vann på 70m dyp i Rødsfjorden (se Jacobsen m.fl. 1994 for oversikt). I undersøkelsen fra 1996 og 1997 var det lave oksygenverdier (< 1 ml O<sub>2</sub>/l) på 75 meters dyp ved Røed i hele undersøkelsesperioden, og ved en anledning var det hydrogensulfid i bunnvannet. Dette tilsvarer tilstandsklasse V (*meget dårlig tilstand*).

Sammenligninger med tidligere undersøkelser tyder ikke på større endringer i oksygenforholdene i Sørfjorden fra 1980-tallet. Ved 30 meters dyp var oksygeninnholdet 2.5 -3 ml O<sub>2</sub>/l. Oksygenforbruket ble beregnet til 0,67 ml O<sub>2</sub> pr liter pr måned etter en forenklet Fjordmodell (Kroglund m.fl. 1998).

I 1996 var bløtbunnsfaunaen på 31 meters dyp ved Røed mer artsrik og hadde høyere artsmangfold (tilstandsklasse *meget god*) enn forventet på en lokalitet isolert fra åpne kystfarvann (Kroglund m.fl. 1998). Sedimentene var forholdsvis grove og hadde lavt organisk innhold (tilstandsklasse *meget god*). Dette skyldes trolig strøm eller andre forhold som hindrer opphopning av organisk materiale. Stasjonen var likevel dominert av arter som preger organisk anrikede sedimenter. Resultatene tyder på at det også på 30 meters dyp inntreffer perioder med dårlige oksygenforhold eller betydelig avsetning av organisk materiale på lokaliteten, og at forholdene ikke er stabile.

Strandsonen i Sørfjorden bar i 1996-97 preg av overgjødsling. Alle undersøkte lokaliteter hadde stort innslag av forurensingstolerante, hurtigvoksende trådformete alger som indikerte overkonsentrasjoner av næringssalter (overgjødsling). Det ble konkludert med at overflatelaget i Sørfjorden var svært sårbar for økte tilførsler av næringssalter.

## 2. Målinger av fjordens vannutskiftning og oksygenforbruk

### 2.1 Metodikk

#### 2.1.1 Stasjonsvalg og prøvedyp

Vannprøver for analyse av oksygen ble innsamlet fra to stasjoner; H5 Røedsfjorden og H6 Garte (**Tabell 1**). I tillegg ble temperatur, saltholdighet, oksygen, turbiditet og klorofyll målt fra overflate og til bunn med selvregistrerende sonde av type SAIV 204. Målinger med sonden ble også gjort på to ekstra stasjoner, H7 Garte ytre og H8 Bossvik. Plassering av stasjonene er vist i **Figur 3**.

**Tabell 1.** Stasjoner undersøkt høsten 2006

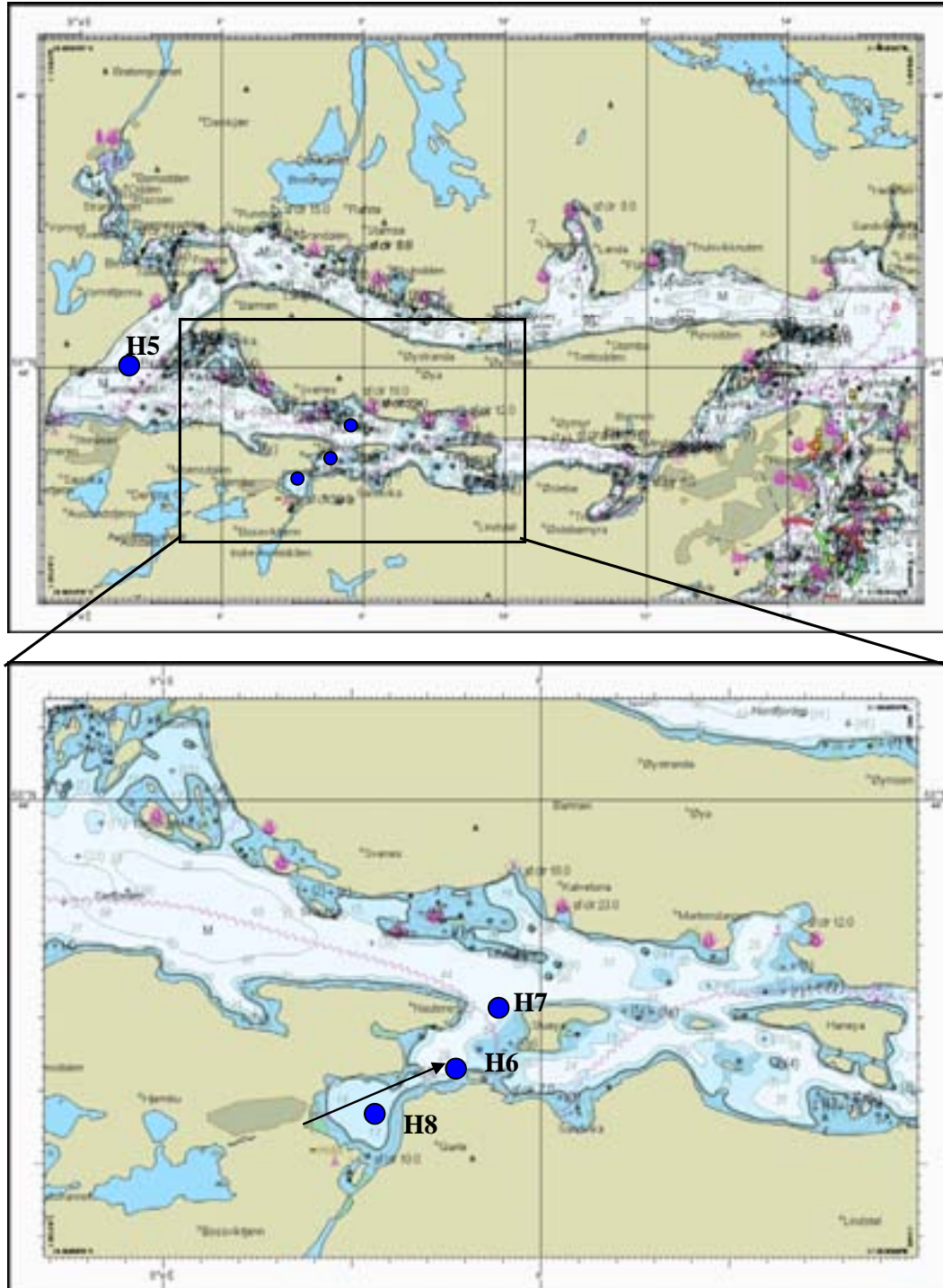
Stasjon	
H5 Røedsfjorden	Stasjon ligger i fjordens dypeste parti. Vannprøver for analyse av oksygen ble tatt i 5, 10, 20, 30, 50, 60, 70 og 75 meters dyp.
H6 Garte (mellombasseng)	Stasjonen ble plassert ved det planlagte utslippspunktet i Sørfjorden. Vannprøver ble tatt i 5, 10, 15, 20 og 25 meters dyp.
H7 Garte ytre (hovedbasseng)	Stasjonen ligger i hovedbassenget i Sørfjorden, utenfor det planlagte utslippspunktet.
H8 Bossvik (indre basseng)	Stasjonen ligger i det innerste bassenget ved Garte.

#### 2.1.2 Tidspunkt for undersøkelsen

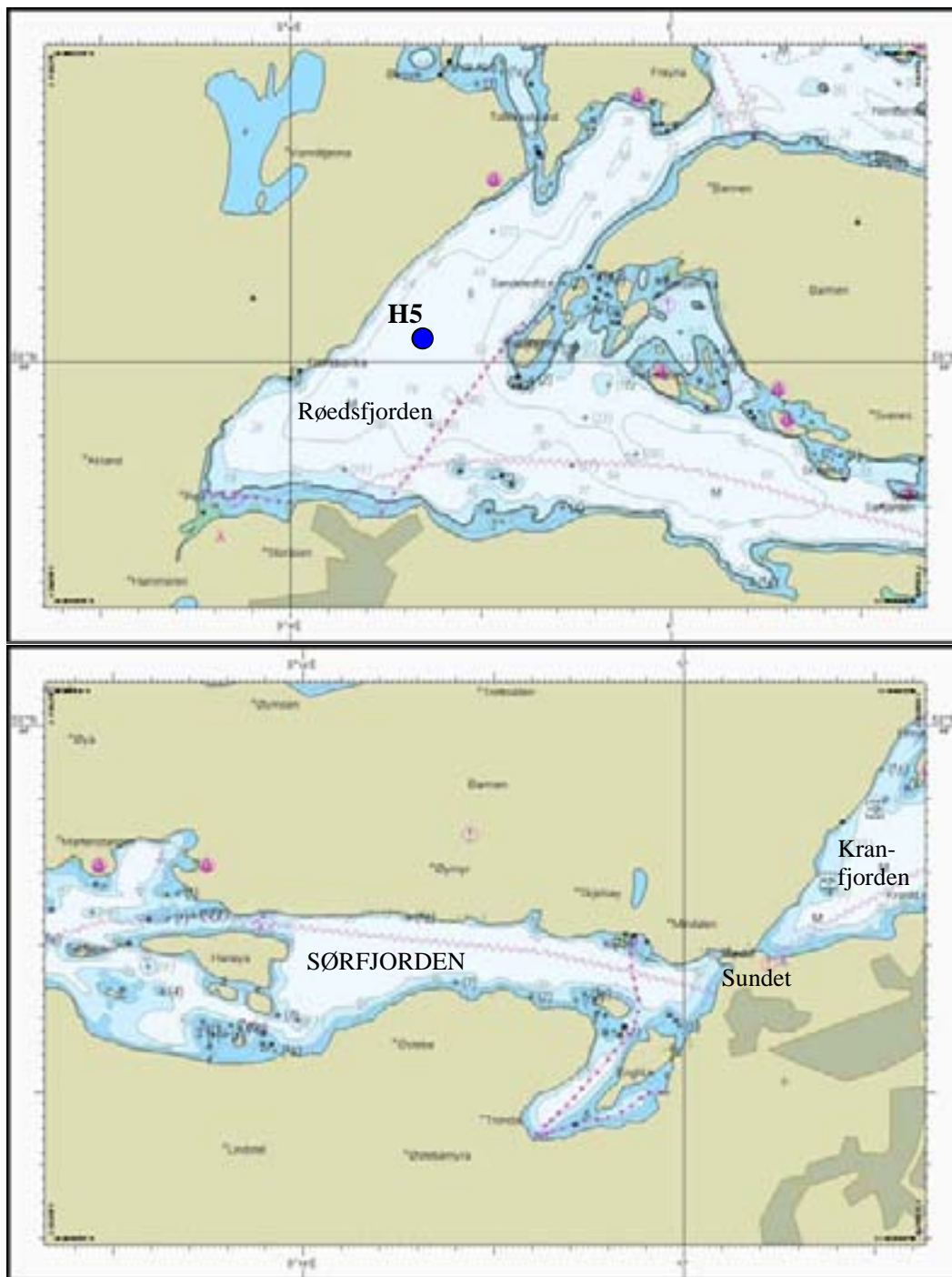
Målingene ble gjennomført 10. oktober 2006 og 21. november 2006, som er innenfor tidsrommet da en forventer liten vannfornyelse og de laveste konsentrasjonene av oksygen.

#### 2.1.3 Analyser

Oksygenprøvene ble analysert med Winkler-metoden. Prøvene fra første feltomgang ble analysert av AnalyCen ettersom NIVAs laboratorium var midt i en flytteprosess og dermed ikke kunne ta imot prøvene.



**Figur 3.** Kart som viser plassering av undersøkelsesstasjonene H5, H6, H7 og H8. Planlagt utslippspunkt er vist med pil.



**Figur 4.** Øverste kartet viser detaljkart over stasjonen H5 ved Røed. Nederste kartet viser området øst for planlagt utslippspunkt.

## 2.2 Resultater og vurderinger

### Vannmassene

Alle data er vist i Vedlegg A og er brukt som grunnlag for beregningene av innlagingsdypet for avløpsvannet (vurdering av egnet utslippsdyp), som bakgrunnsinformasjon om lagdeling og som input til FjordEnv-modellen.

Resultater fra målinger av temperatur og saltholdighet i Rødsfjorden og ved Garte i oktober 2006 er vist i **Figur 6** og **Figur 7**. Man ser tydelig hvordan ferskvannstilførselen og bunntopografien (tersklene) skaper fire vannmasser:

1. **brakkvannslaget:** øverst ligger et brakkvannslag som i oktober hadde en tykkelse på ca. 1-1,5 meter.
2. **sprangsjiktet:** mellom brakkvannslaget og det underliggende sjøvannslaget ligger et sprangsjikt der saltholdigheten øker raskt med dypet
3. **mellomliggende sjøvannslag:** mellom sprangsjiktet og terskeldypet ligger et sjøvannslag som har åpen forbindelse med kystvannet og med relativ god vannutskiftning
4. **bassengvannet:** under terskeldypet (21 m dyp) ligger en sjøvannsmasse som ikke har forbindelse med kystvannet og med liten vannfornyelse. Her opptrer oksygenproblemer.

### Vannutskiftning

To målinger med ca. 7 ukers mellomrom gir ikke grunnlag for noen generell bedømmelse av vannutskiftningen i dypvannet i Rødsfjorden. **Figur 8** viser imidlertid at i tidsrommet mellom målingene har det ned til ca. 35 m dyp vært innstrømming av vann med forholdsvis høy egenvekt. Fra ca. 50 m dyp har vannets egenvekt avtatt. Temperaturen har vært ganske konstant, mens saltholdigheten har avtatt, og dette er et vanlig tegn på stagnasjon.

### Oksygenforhold

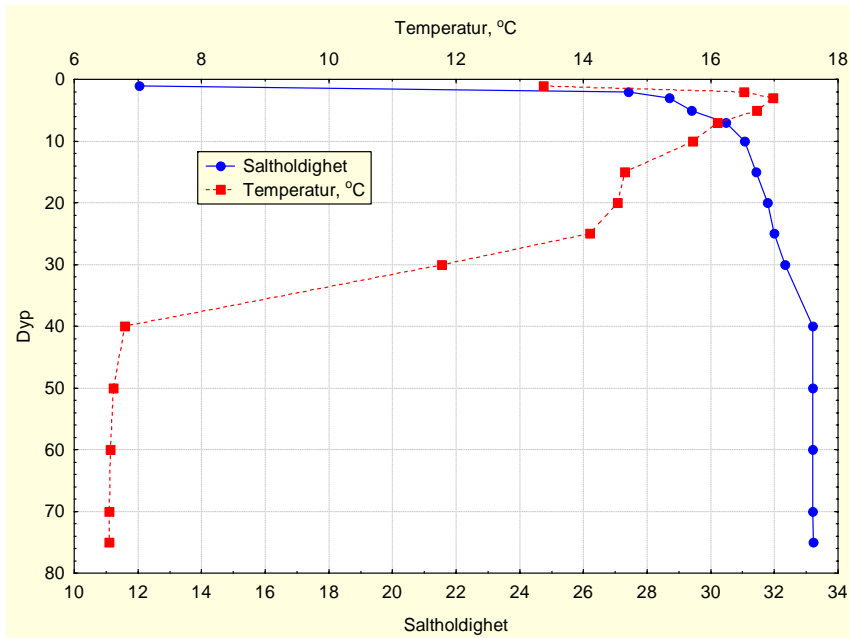
Beskrivelsen av vannutskiftningen avspeiler seg i oksygenforholdene (**Tabell 3**). Bedømt etter de norske vannkvalitetskriteriene (**Tabell 2**) var oksygenforholdene mellom overflaten og ca. 30-35 m dyp *Gode - Meget Gode* på begge tidspunktene. I Rødsfjorden førte vannutskiftningen her til en økning i konsentrasjonene fra oktober til november. Fra 50 m dyp ble derimot oksygenforholdene forverret som følge av stagnasjon og at tilførselen av oksygen derfor var mindre enn oksygenforbruket.

Resultatene i oktober-november 2006 er sammenfattet i **Figur 9** og stemmer rimelig bra med målingene på midten av 1990-tallet. Tallmaterialet er lite og gir ikke grunnlag for å påpeke noen endring i tilstanden.

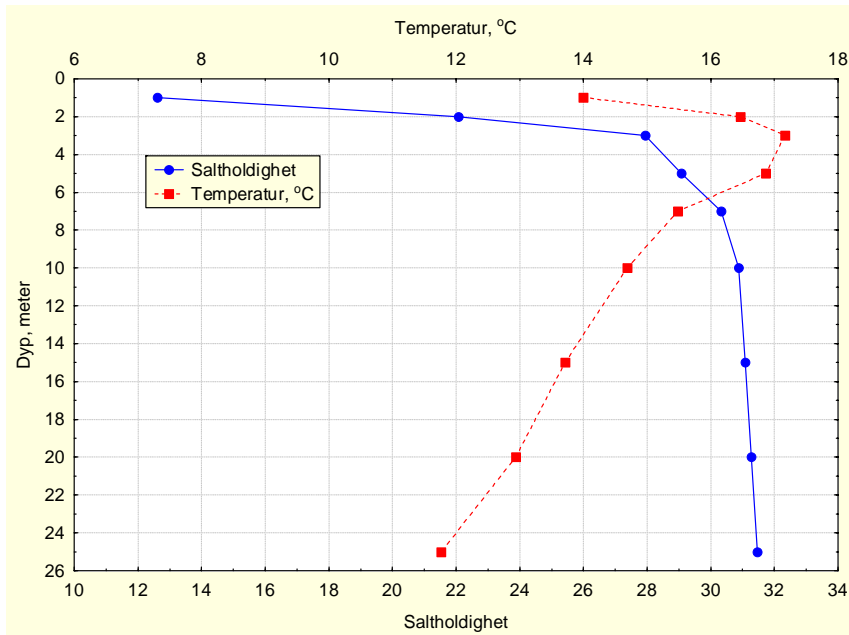
**Tabell 2.** Tilstandsklassifisering for oksygen (fra Molvær m.fl. 1997).

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

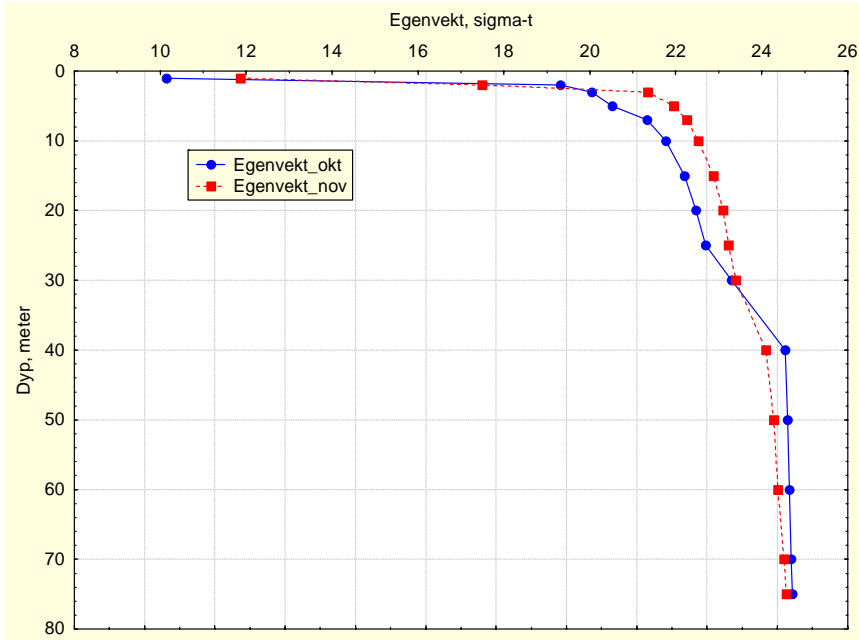




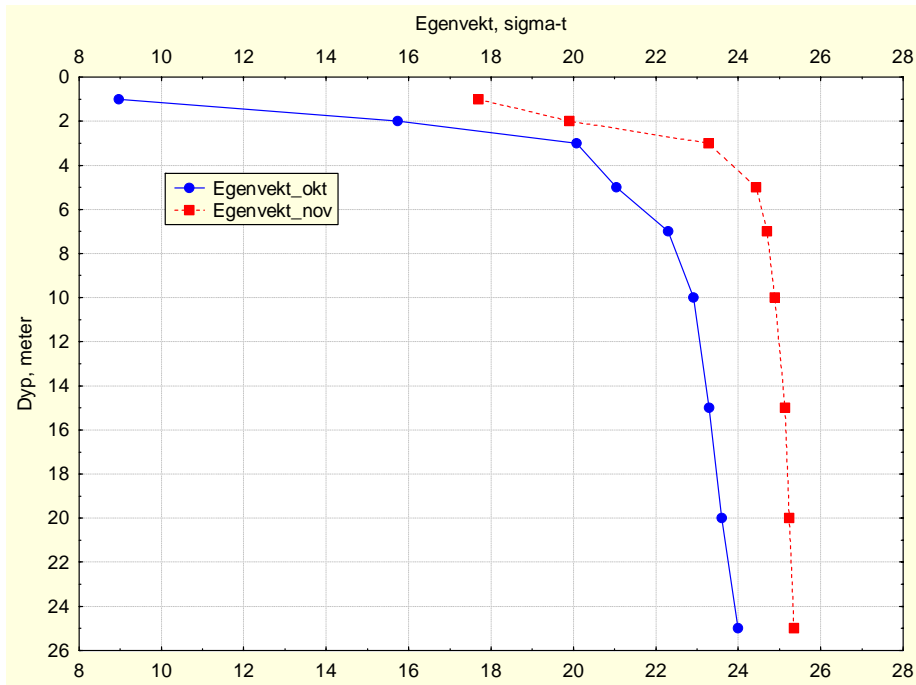
**Figur 5.** Stasjon H5, Rødsfjorden, 10.10.2006. Vertikalprofil av temperatur og saltholdighet målt med STD-sonde.



**Figur 6.** Stasjon H6, Garte, 10.10.2006. Vertikalprofil av temperatur og saltholdighet målt med STD-sonde.



**Figur 7.** Stasjon H5, Rødsfjorden. Vertikalprofil av vannets egenvekt<sup>1</sup> målt med STD-sonde 10.10.06 og 21.11.06.

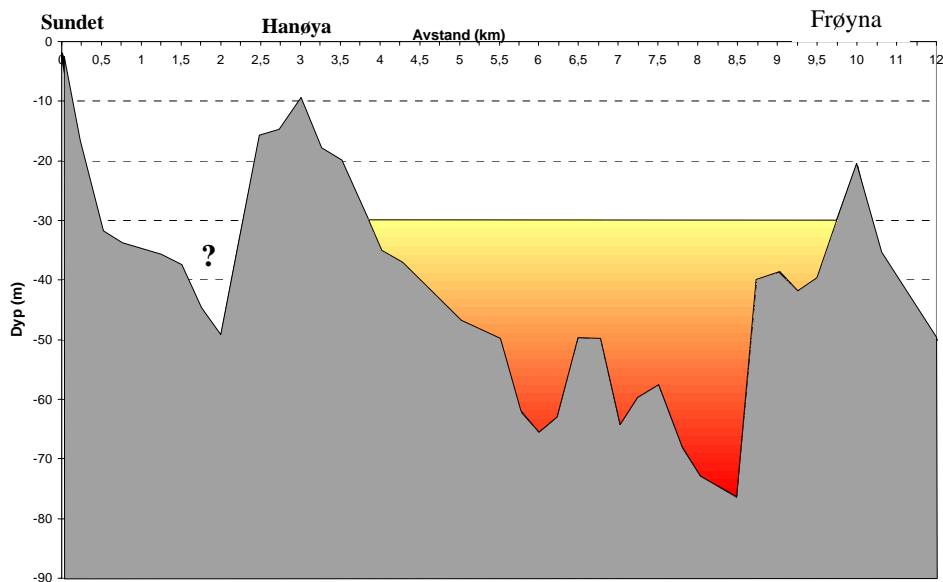


**Figur 8.** Stasjon H6, Garte. Vertikalprofil av vannets egenvekt målt med STD-sonde 10.10.06 og 21.11.06.

<sup>1</sup> Sjøvannets tetthet (egenvekt) er beskrevet ved størrelsen  $\sigma\text{-}t = (\text{egenvekten} - 1000)$ , der egenvekten er oppgitt med enheten  $\text{kg}/\text{m}^3$

**Tabell 3.** Oksygenforholdene i Røedfjorden og Garte vurdert ut fra SFTs klassifiseringssystem. Verdien i 60 m dyp på stasjon H5 i oktober er sannsynligvis feil.

Stasjon	Røedfjorden		Garte	
	H5	H5	H6	H6
Dato	10.10.2006	21.11.2006	10.10.2006	21.11.2006
Dyp, m	ml/l		ml/l	
5	5,1	4,19	5,4	4,07
10	4,4	4,44	4,2	4,17
15			4,4	4,43
20	4,4	4,57	4,0	4,12
25			3,9	3,90
30	3,7	4,49		
50	2,7	2,24		
60	4,3 (?)	2,11		
70	1,6	1,45		
75	1,2	0,88		



**Figur 9.** Oppsummering av oksygenforholdene dypere enn ca. 30 m i Røedsfjorden. Sterkere rødfarge illustrerer dårligere oksygenforhold.

## 3. Modellberegning av oksygenforhold og dagens oksygenforbruk i fjordbassenget

### 3.1 Metodikk

*FjordEnvironment* 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 og det faglige grunnlaget er også funnet å passe for forholdene langs Skagerrakkysten.

Som nevnt foran har modellen også tidligere vært brukt til beregninger i Sørfjorden.

### 3.2 Resultater

I dette prosjektet er det gjort nye beregninger med *FjordEnvironment* og resultatene er vist i Vedlegg B. Gjennomsnittlig oksygenforbruk i fjordbassenget er denne gangen beregnet til 0,43 mlO<sub>2</sub>/mnd. Dette er betydelig lavere enn det som ble funnet i 1996 (0,67 mlO<sub>2</sub>/mnd), men beregningsmåten i 1996 er ikke dokumentert og det er derfor umulig å sammenligne beregningsgrunnlaget og finne årsaken til ulike resultater.

Man kan merke seg at beregningene angir at det mot slutten av normale stagnasjonsperioder vil opptre hydrogensulfid i dypvannet Røedsfjorden, noe som stemmer med tidligere målinger.

Oksygenforbruket vil variere gjennom året pga. av varierende mengde organisk materiale som tilføres dypvannet. Til vanlig er oksygenforbruket størst i sommerhalvåret som følge av nedsynkning av plankton fra vannmassen over terskeldypet, og lavest i vinterhalvåret. Oksygenmålingene i oktober og november 2006 (jfr. **Tabell 3**) gir grunnlag for beregning av oksygenforbruket i det tidsrommet. En forutsetning for en slik beregning er at vannmassen ikke har blitt tilført oksygen gjennom vannutskiftning, og resultatene for stasjon H5, Røedsfjorden, tyder på at vannmassen under ca. 50 m dyp har vært stagnant (jfr. Vedlegg A). Vi ser bort fra oksygenmålingen i 60 m dyp i oktober fordi den sannsynligvis er feil. Beregnet oksygenforbruk blir da:

Dyp	Oksygenforbruk
50 m	0,38 mlO <sub>2</sub> /mnd
70 m	0,13 mlO <sub>2</sub> /mnd
75 m	0,24 mlO <sub>2</sub> /mnd

For oktober-november 2006 viser altså målingene et oksygenforbruk på ca. 0,1-0,4 mlO<sub>2</sub>/mnd.

## 4. Beregning av utslippsdyp

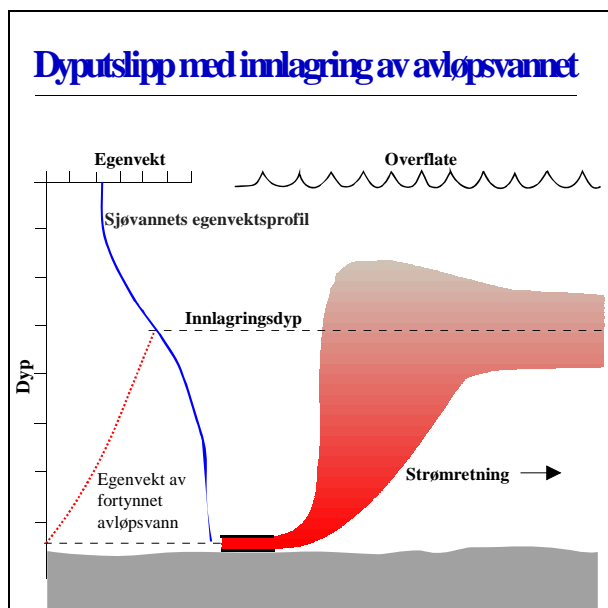
### 4.1 Metodikk og data

Det relativt lette avløpsvannet vil fra utslippspunktet begynne å stige mot overflata samtidig som det fortynnes raskt med omkringliggende sjøvann. Det er ikke ønskelig at avløpsvannet når helt til overflaten og det ble derfor gjort beregninger som sikrer at man velger et utslippsdyp der påvirkning av overflatelaget unngås.

I en fjord er der vanligvis en vertikal sjiktning i sjøvannet og det fortynnede avløpsvannet kan innlagres, uten å nå overflaten (se **Figur 10**).

For beregningene av innlagringsdyp behøves følgende data

1. ledningsdiameter
2. vannmengde
3. vertikale profiler av temperatur og saltholdighet: Sjiktningen har avgjørende betydning for muligheten til å innlagre avløpsvannet. Den vil variere med tiden (med varierende mengde ferskvann i fjorden) og det er nødvendig med mange målinger for å gi en god beskrivelse. Her brukes data fra tidligere målinger og fra målinger høsten 2006.



**Figur 10.** Prinsippkisse som viser hvordan et dyp utslipp av avløpsvann fungerer i forhold til innlagring. En forutsetning for innlagring er at egenvekten for fjordvannet øker med dypet (vertikal sjiktning).

For å beregne innlagringsdypet og deretter fortynningen og spredning vil vi bruke en modell – Visual Plumes (Frick et al., 2001) - som det amerikanske miljøverndirektoratet EPA har utarbeidet for bruk på denne typen av prosjekter. Beregningene gjøres med bruk av:

- vertikale profiler for temperatur og saltholdighet
- aktuelle vannmengder
- det valgte utslippsdyp, og for alternativer hvis slike finnes

For våre beregninger har vi brukt:

Vannmengde	Utslippsdyp	Rørdiameter	Strømhastighet	Egenvekt
7 l/s	25 m	200 mm	5 cm/s	1000 kg/m <sup>3</sup>

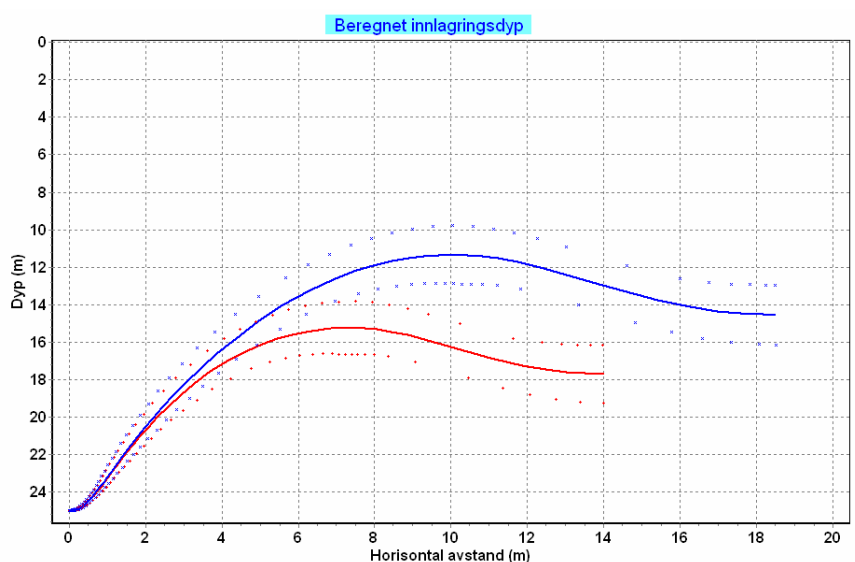
Merk at vannmengden er beregnet på grunnlag av et kontinuerlig utslipp som utgjør 600 m<sup>3</sup>/døgn. For detaljer rundt kortvarige utslipp av større vannmengder bør det gjøres nye beregninger, men generelt vil pulsvis utslipp gi større vannmengde og føre til at avløpsvannet innlagres høyere i vannmassen og gjerne med mindre fortykning. Mindre diameter på utslippsrøret vil på den annen side gi litt dypere innlagring. Slike nye beregninger kan gjøres raskt og enkelt ved behov.

I beregningene er egenvekten på slamvannet antatt lik ferskvannets egenvekt og er en usikkerhetsskilde ettersom vi ikke har gode data på dette. Muligens er slamvannets egenvekt noe større enn antatt og i så fall skjer innlagringen litt dypere og fortykningen blir litt mindre enn det som beregningene viser. Videre er det usikkert hvor stor del av slammet som vil sedimentere, og hvor fort dette skjer. Erfaringer med slamvann tilsier imidlertid at slammet kun i liten grad synker ut og sedimenterer. Under utpumping av vann vil fnokkdannelser knuses og ytterligere bidra til at slammet sedimenterer relativt seint.

## 4.2 Resultater

Innlagringsdypet for avløpsvannet er beregnet for 10.10.06 og 21.11.06 og vist i **Figur 11**. Avløpsvannet er lettere enn sjøvann og stiger noe oppover før det finner et likevektsdyp og hovedsaklig innlagres i ca. 14-18 m dyp (jfr. også **Figur 8**).

Selv med konstant utslippsdyp og konstant vannmengde vil innlagringsdypet variere fordi den vertikale sjiktningen i fjorden vil variere. Vi kjenner ikke variasjonsintervallet, men det er overveiende sannsynlig at avløpsvannet normalt innlagres et sted i intervallet 10-20 m dyp. I forhold til påvirkning av oksygenforholdene i fjorden er dette gunstig fordi dette vannlaget har fri forbindelse med kystvannet (terskeldypet ved Frøyna er 21 m) og blir tilført oksygen gjennom utskiftning med vannmassene utenfor terskelen.



**Figur 11.** Beregnet innlagringsdyp ved utslipp i 25 m dyp i oktober (rød kurve) og november (blå kurve). De heltrukne linjene viser senterlinjen og de stiplede linjene antyder yttergrensene for skyen med avløpsvann.

## 5. Beregning av slammets oksygenforbruk

For å beregne slammets oksygenforbruk var det nødvendig å gjøre noen enkle forsøk. Det ble gjort forsøk for å bestemme biologisk oksygenforbruk, BOF, for konsentrert slamvann fra Grimstad vannverk fortynt 3-6-12-30x med sjøvann fra det tiltenkte utslippspunktet på 25 m dyp i Sørfjorden. Grimstad vannverk benytter samme jernfelling som er tiltenkt for Risør. Forsøkene ble gjort i tette glassflasker hvor oksygenkonsentrasjonen ble målt daglig over en 3 ukers periode.

Størst fortykning gav høyest oksygenforbruk pr. mg suspendert stoff (SS) og vi velger derfor å benytte verdien for 30x fortykning: 350 mg O<sub>2</sub>/gSS. Tatt i betraktning av at typisk oppholdstid for vannmassen over terskeldypet ble beregnet til 7 døgn ville kanskje BOF etter 1-2 uker gi en mer korrekt størrelse for oksygenforbruket, og i vår verdi ligger derfor en ganske stor sikkerhetsmargin.

Tveiten AS oppgir at det beregnes 18 tonn tørrstoff/år i slamvannsavløpet som gir et oksygenforbruk på 6300 kg O<sub>2</sub>/år. Som gjennomsnitt 525 kg O<sub>2</sub>/måned eller 130 kg O<sub>2</sub>/uke.

Vannvolumet mellom overflaten og terskeldypet er ca. 0,1 km<sup>3</sup>. Som vist ovenfor vil ikke slamvannet fordele seg jevnt over hele denne vannsøylen, og resultatene fra beregningen av innlagingsdyp tyder på at det er realistisk å anta at det gjennom året vil fordele seg i omkring halvparten av volumet: 0,05 km<sup>3</sup>. Oksygenkonsentrasjonene i **Tabell 3** tyder på at oksygenkonsentrasjonen i vannmassen vil være 4-4,5 mlO<sub>2</sub>/l, som tilsvarer ca. 5,5-6,5 mg O<sub>2</sub>/l. Vannmassen som vi antar at det fortyntede slamvannet vil fordeles i vil da inneholde ca. 270.000-330.000 kg O<sub>2</sub>.

Denne vannmassen skiftes kontinuerlig ut med nytt sjøvann og selv om oppholdstiden settes så lang som 4-8 uker, så er det klart at et forbruk av 500-1200 kg O<sub>2</sub> ikke vil ha noen betydning for oksygenforholdene over terskeldypet i Sørfjorden. Imidlertid kan man ikke helt utelukke at det ved kombinasjon av

- Sterk sjiktning i 20-25 m dyp (fører til dyp innlagring og lav fortykning)
- Liten vannutskiftingning

kan forekomme perioder da det omkring utslippspunktet ved Garte vil være noe redusert oksygenkonsentrasjon i det dypintervallet der avløpsvannet innlagres.

Det er uvisst hvor stor andel av slammets som sedimenterer til dypområdene under terskeldyp, men det antas å gjelde en relativt liten del. Man kan likevel ikke utelukke at slamvann i perioder kan medføre økt sedimentering til bunnområdene og medføre økt oksygenforbruk i bunnvannet og tilslamming av habitater. Dersom man antar at

- 50 % av slammets består av relativt tunge partikler som etter innlagring (jfr. **Figur 11**) synker 10-20 m og sedimenterer i løpet av en time (som et verst tenkt tilfelle)
- Typisk strømhastighet i vannmassen der partiklene synker er 1-5 cm/s

vil slammets sedimentere innenfor 50-200 meter fra utslippet. Dybden i dette området går ned til 30-40 meters dyp, hvor det fremdeles er relativt gode oksygenforhold. Dersom man tenker seg at slamvannet kun fordeler seg i en radius på ca. 100 m fra utslippet og har litt langstrukken form (ellipse), vil sedimenteringen skje over en bunnflate på ca. 0,02-0,03 km<sup>2</sup>. Omfanget av vannmassen som blir berørt er vanskelig å anslå, men kan bli i størrelsesorden 250-400.000 m<sup>3</sup> som i utgangspunktet inneholder 1300-2600 kg oksygen (antatt ca. 5.2 mg O<sub>2</sub>/l).

Overslagsberegningene tyder på at til vanlig vil vannutskiftingningen være så stor at et ekstra oksygenforbruk på ca. 500 kg O<sub>2</sub>/mnd ikke vil ha noen betydning, men i perioder med uvanlig dårlig vannutskiftingning (særlig om høsten) vil det kunne medføre reduserte oksygenforhold i denne vannmassen.

## **6. Vurdering av dyputslippets bidrag til økt vannutskiftning og dermed økt tilførsel av oksygen til fjordbassenget**

Utslipet av avløpsvann fører til at sjøvann rives med og forflyttes fra utslippsdypet og opp til innlagingsdypet. Dermed øker vannutskiftningen i vannlaget som dette omfatter – og tilførselen av oksygenrikt vann øker. Vi har vurdert størrelsen av denne oksygentilførselen opp mot tilstanden i fjordbassenget.

Beregningene viser at for et døgkontinuerlig utslipp ville avløpsvannet i oktober og november 2006 innlagres i ca. 14-18 m dyp, med gjennomsnittlig fortykning på 400-600x. Dette betyr at avløpsvannet "drar med seg" 3-4 m<sup>3</sup>/s (ca. 250.000-350.000 m<sup>3</sup>/d) ned fra og opp til innlagingsdypet. Dette er et markert bidrag til vannutskiftning og dermed oksygentilførsel i det vannlaget som fortykningsvannet hentes fra. For vannmassen mellom 25 m dyp og innlagingsdypet kan det imidlertid se ut som om betydningen blir forholdsvis liten fordi oksygenforholdene der er *Gode - Meget Gode* både i oktober og i november. Til andre tider kan imidlertid oksygenforholdene være dårligere og betydningen av økt vannutskiftning større.

## **7. Vurdering av konsekvensene for bunnforhold og dyreliv**

Tidligere undersøkelser (Kroglund m. fl. 1998) har vist at bløtbunnområdene i 31 meters dyp ved Røed er artsrike, men faunaen hadde dominans av arter som preger organisk anrikede sedimenter. Dette tyder på at det inntreffer perioder med dårlige oksygenforhold eller betydelig avsetning av organisk materiale i området. Dette gjelder mest sannsynlig også for samme dybdeområde rundt Garte. I dypområdene fra 50 meter og dypere vil det være ytterligere redusert dyreliv som følge av høyst varierende oksygenforhold og periodevis oksygenfrie vannmasser.

Utslipp av slamvann til Garte kan medføre sedimentering av slam til bunnområdene, men det er uvisst hvor langt slammet vil bli transportert før det eventuelt sedimenterer. Mest sannsynlig er det liten grad av sedimentering (se ovenfor) og dermed kun mindre konsekvenser for bunnforhold og dyreliv i nærområdet til utslippet.

Dersom det i motsatt fall viser seg at slammet sedimenterer raskt, vil det havne i nærområdet på vanddyb ned til 30-40 meter hvor oksygenkonsentrasjonen i perioder er noe redusert. Slammets oksygenforbruk vil da kunne ha betydning for bunnvannets kvalitet og ytterligere forverre levekårene for dyreliv på bunnen. I tillegg til økt oksygenforbruk i bunnvannet, vil sedimentering av slampartikler føre til dekking av bunnhabitater og organismer.



## 8. Litteratur

- 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, 4<sup>th</sup> Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia, USA.
- Jacobsen, T., E. Dahl, E. Oug, 1994. Miljøstatus i vannforekomster i Aust-Agder. Del II. Marine resipienter. NIVA-rapport 3154, 115 s + vedlegg.
- Kroglund, T., E. Dahl, E. Oug, 1998. Miljøtilstanden i Risørs kystområder før igangsetting av nytt rensanlegg. Oksygenforhold, hardbunnsorganismer og bløtbunnsfauna. NIVA-rapport 3908-98. 58s.
- 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.
- Stigebrandt, A., 2001. FjordEnv – A water quality model for fjords and other inshore waters. Report C40 2001. Earth Sciences Centre, Gøteborg University, Gøteborg.
- Johannessen, T., E.Dahl, 1996. Declines in oxygen concentration along the Norwegian Skagerrak coast, 1927-1993.: a signal of ecosystem changes due to eutrophication? *Limnol.Oceanogr.* 41 (4), 1996.

## Vedlegg A. Rådata

### Data fra selvregistrerende sonde (SAIV204) og oksygenanalyser (Winkler)

#### H5 Røed OKTOBER

Started : 10.okt-2006 - 08:31:46									Oksygen Analyse ml/l*
Dyp, m	Saltholdighe		Temperatur	Oksygen	Oksygen	Fluoresce	Turbiditet	Tetthet	
	Sal.	Temp	Ox %	ml/l*	F (µg/l)	T (FTU)	Density		
1	12,04	13,372	100,5	6,76	2,14	0,42	8,623		
2	27,42	16,525	98,23	5,63	0,64	0,16	19,82		
3	28,71	16,98	94,46	5,32	0,42	0,14	20,714		
5	29,4	16,723	93,13	5,25	0,44	0,13	21,309	5,14	
7	30,49	16,106	84,57	4,80	0,17	0,13	22,29		
10	31,06	15,717	82,55	4,70	0,14	0,15	22,828	4,44	
15	31,43	14,654	83,12	4,83	0,11	0,19	23,366		
20	31,79	14,537	87,38	5,08	0,11	0,23	23,684	4,37	
25	31,99	14,107	88,48	5,18	0,09	0,25	23,954		
30	32,33	11,771	83,24	5,11	0,08	0,32	24,697	3,73	
40	33,21	6,795	46,21	3,16	0,07	0,19	26,221		
50	33,2	6,615	46,8	3,22	0,06	0,3	26,283	2,75	
60	33,2	6,571	41,73	2,87	0,06	0,41	26,335	4,30	
70	33,21	6,552	25,04	1,73	0,06	1,99	26,394	1,62	
75	33,22	6,551	11,02	0,76	0,07	3,41	26,422	1,20	

\*=omregnet fra mg/l

#### H6 Garte OKTOBER

Started : 10.okt-2006 - 10:28:34									Oksygen Analyse ml/l*
Dyp, m	Saltholdighe		Temperatur	Oksygen	Oksygen	Fluoresce	Turbiditet	Tetthet	
	Sal.	Temp	Ox %	ml/l*	F (µg/l)	T (FTU)	Density		
1	12,62	13,994	101,22	6,68	2,77	0,65	8,968		
2	22,07	16,468	102,85	6,08	1,15	0,25	15,738		
3	27,94	17,172	97,1	5,46	0,56	0,19	20,076		
5	29,09	16,867	87,41	4,92	0,33	0,22	21,037	5,42	
7	30,33	15,482	77,23	4,44	0,19	0,42	22,303		
10	30,88	14,685	72,19	4,20	0,12	0,19	22,912	4,15	
15	31,09	13,709	71,84	4,26	0,12	0,23	23,294	4,44	
20	31,27	12,937	69,79	4,20	0,11	0,25	23,606	4,01	
25	31,46	11,765	66,26	4,08	0,08	0,34	23,995	3,87	

\*=omregnet fra mg/l

#### H7 Garte ytre OKTOBER

Started : 10.okt-2006 - 11:00:03								
Dyp, m	Saltholdighe		Temperatur	Oksygen	Oksygen	Fluoresce	Turbiditet	Tetthet
	Sal.	Temp	Ox %	ml/l*	F (µg/l)	T (FTU)	Density	
1	14,39	14,394	100,76	6,53	3,08	0,64	10,254	
2	25,52	16,638	101,89	5,89	1,14	0,24	18,341	
3	28,45	17,198	94,07	5,28	0,59	0,16	20,462	
5	29,4	16,824	88,01	4,95	0,33	0,18	21,287	
7	30,59	15,52	79,43	4,56	0,2	0,14	22,493	
10	31,06	14,998	73,32	4,23	0,14	0,16	22,98	
15	31,48	13,672	72,07	4,27	0,11	0,24	23,6	
20	31,55	13,74	71,85	4,25	0,08	0,22	23,665	
25	31,55	12,108	68,56	4,20	0,08	0,24	24,006	
30	31,89	10,184	65,45	4,17	0,06	0,31	24,627	

\*=omregnet fra mg/l

#### H8 Bossvik OKTOBER

Started : 10.okt-2006 - 10:46:37								
Dyp, m	Saltholdighe		Temperatur	Oksygen	Oksygen	Fluoresce	Turbiditet	Tetthet
	Sal.	Temp	Ox %	ml/l*	F (µg/l)	T (FTU)	Density	
1	12,6	13,853	98,62	6,54	2,47	0,69	8,974	
2	24,64	16,029	99,8	5,87	1,44	0,27	17,797	
3	28,01	17,083	96,39	5,44	0,76	0,19	20,15	
5	28,95	16,808	88,2	4,98	0,31	0,17	20,943	
7	30,25	15,374	77,43	4,46	0,25	0,21	22,262	
10	30,58	14,721	68,51	3,99	0,19	0,28	22,673	
14	31,17	11,867	31,66	1,95	0,41	11,92	23,704	

\*=omregnet fra mg/l

**H5 Røed NOVEMBER**

Started : 21.nov-2006 - 09:49:45									Oksygen Analyse ml/l
Dyp, m	Saltholdighe Sal.	Temperatur Temp	Oksygen Ox %	Oksygen ml/l*	Fluoresc F (µg/l)	Turbiditet T (FTU)	Tetthet Density		
1	13,89	8,148	94,44	6,85	1,4	0,37	10,734		
2	23,15	10,841	95,77	6,15	0,63	0,64	17,605		
3	29,72	12,948	90,34	5,32	0,1	0,23	22,329		
5	30,66	13,025	73,95	4,32	0,08	0,26	23,054	4,19	
7	31,15	13,117	70,89	4,12	0,08	0,24	23,422		
10	31,59	13,26	74,67	4,32	0,07	0,24	23,751	4,44	
15	32,18	13,46	79,26	4,54	0,05	0,25	24,188		
20	32,46	13,283	80,17	4,61	0,05	0,27	24,461	4,57	
25	32,62	13,265	79,93	4,59	0,06	0,29	24,611		
30	32,82	13,05	78,72	4,54	0,05	0,32	24,828	4,49	
40	32,91	8,865	50,83	3,21	0,06	0,37	25,689		
50	32,73	6,674	31,82	2,12	0,06	0,28	25,903	2,24	
60	32,81	6,597	24,43	1,63	0,06	0,4	26,024	2,11	
70	32,96	6,56	12,16	0,81	0,07	1,5	26,195	1,45	
75	33,01	6,557	7,1	0,47	0,07	2,42	26,257	0,88	

\* = omregnet fra mg/l

**H6 Garte NOVEMBER**

Started : 21.nov-2006 - 10:13:10									Oksygen Analyse ml/l
Dyp, m	Saltholdighe Sal.	Temperatur Temp	Oksygen Ox %	Oksygen ml/l*	Fluoresc F (µg/l)	Turbiditet T (FTU)	Tetthet Density		
1	22,97	8,855	88,94	5,99	1,45	0,51	17,74		
2	26,08	10,649	87,99	5,57	1,48	0,31	19,904		
3	30,89	12,692	82,98	4,87	0,36	0,22	23,285		
5	32,47	13,072	65,78	3,80	0,12	0,24	24,443	4,07	
7	32,76	12,921	65,07	3,76	0,07	0,26	24,707		
10	32,96	12,822	68,49	3,96	0,07	0,26	24,89	4,17	
15	33,25	12,853	73,91	4,26	0,14	0,28	25,135	4,43	
20	33,24	12,393	73,21	4,27	0,06	0,36	25,234	4,12	
25	33,23	11,862	71,95	4,24	0,06	0,44	25,352	3,9	
30	33,28	11,872	68,87	4,06	0,05	0,52	25,413		

\* = omregnet fra mg/l

**H7 Garte ytre NOVEMBER**

Started : 21.nov-2006 - 10:57:21								
Dyp, m	Saltholdighe Sal.	Temperatur Temp	Oksygen Ox %	Oksygen ml/l*	Fluoresc F (µg/l)	Turbiditet T (FTU)	Tetthet Density	
1	21,68	8,752	89,66	6,09	1,26	0,37	16,746	
2	27,68	11,415	89,92	5,54	1,34	0,38	21,022	
3	30,76	12,882	84,42	4,94	0,3	0,23	23,144	
5	32,53	12,971	67,04	3,87	0,08	0,27	24,512	
7	32,75	12,787	65,16	3,77	0,08	0,25	24,725	
10	32,96	12,739	67,92	3,93	0,06	0,27	24,908	
15	33,34	12,989	76,01	4,37	0,05	0,25	25,178	
20	33,4	12,497	76,81	4,46	0,05	0,32	25,344	
25	33,39	12,32	75,67	4,41	0,06	0,29	25,391	
30	33,32	11,849	70,73	4,16	0,05	0,36	25,448	
40	33,3	7,051	36,95	2,43	0,07	0,6	26,258	

\* = omregnet fra mg/l

**H8 Bossvik NOVEMBER**

Started : 21.nov-2006 - 10:48:16								
Dyp, m	Saltholdighe Sal.	Temperatur Temp	Oksygen Ox %	Oksygen ml/l*	Fluoresc F (µg/l)	Turbiditet T (FTU)	Tetthet Density	
1	20,62	9,211	89,44	6,06	1,52	0,6	15,859	
2	26,14	11,029	85,54	5,37	1,46	0,39	19,891	
3	30,62	12,74	74,98	4,40	0,44	0,25	23,063	
5	31,95	13,094	64,88	3,75	0,13	0,23	24,037	
7	32,24	12,957	66,89	3,87	0,06	0,24	24,299	
10	32,46	12,964	68,88	3,98	0,11	0,28	24,481	
14	32,92	12,893	68,3	3,94	0	0,38	24,865	


\* = omregnet fra mg/l

## Oksygenanalysene vurdert ut fra SFTs klassifiseringssystem

Stasjon	Røedfjorden		Garte	
	H5	H5	H6	H6
Dato	10.10.2006	21.11.2006	10.10.2006	21.11.2006
Dyp, m	ml/l	ml/l	ml/l	ml/l
5	5,1	4,19	5,4	4,07
10	4,4	4,44	4,2	4,17
15			4,4	4,43
20	4,4	4,57	4,0	4,12
25			3,9	3,90
30	3,7	4,49		
50	2,7	2,24		
60	4,3*	2,11		
70	1,6	1,45		
75	1,2	0,88		

\* Feilmåling

## Vedlegg B. Modellberegninger



12.01.  
2007

Reports FjordEnv 3.3

Reports for: Risør 12.01.2007

### Topography

#### Fjord Area for Chosen depths

Depth	Area
0	6,30000019
20	3,4000001
30	3,20000005
40	1,70000005
50	0,80000001
70	0,01
75	0,001

#### Mouth width for Chosen depths

Depth	Width
0	200
10	150
15	80
21	10

### Topographic conditions in the fjord

Maximal depth of the basin (m)	75
Sill depth (m)	21
Mean depth of the sill basin (m)	22,1
Volume of the fjord (km <sup>3</sup> )	0,1751
Volume above sill depth (km <sup>3</sup> )	0,1004
Volume of the sill basin (km <sup>3</sup> )	0,0747
Area at the sea surface (km <sup>2</sup> )	6,30
Area at sill level (km <sup>2</sup> )	6,30
Vertical cross-sectional area of the mouth (m <sup>2</sup> )	2595
Depth of half of the mouth area (m)	7,1
The fjord mouth is channel formed	No
Length of mouth channel (m)	0
Fjord area/Mouth area	2427,7

## Location

Telemark

## Natural conditions

Secchi depth, typical summer value (m)	5
Oxygen conc in 'new' basin water (ml o <sub>2</sub> /l)	6
Tidal amplitude - M2 + S2 (m)	0,13
Semidiurnal contribution (1/fi)	2
Background deepwater mixing (mW/m <sup>2</sup> )	0,014
Deltaro (kg/m <sup>3</sup> )	3,8
Sigmaro (kg/m <sup>3</sup> )	1,4
Interm circulation: forcing (kg/m <sup>2</sup> )	35,9
Freshwater supply (annual mean) (m <sup>3</sup> /s)	6,3
Power supply from interior sills (kW)	0
Flux of organic matter (gC/m <sup>2</sup> /month)	8

## Supplies from land and fish farming

Phosphorus, annual supply (tons)	5
Nitrogen, annual supply (tons)	100
Fish production, over shallow areas (tons/yr)	0
Fish production, over deep areas (tons/yr)	0
Excess feed (%)	1

## General Fjord Diagnosis

Choking Coefficient	1
Tidal Speed in the mouth (m/s)	0,044
Speed of internal waves in the fjord (m/s)	0,627
Intermediary circulation (m <sup>3</sup> /s)	127,3
Tidally forced circulation (m <sup>3</sup> /s)	18,2
Estuarine Circulation	50
Residence time for water above sill level (days)	6,7
Settling time for particular organic matter (days)	14
The Function f1	0,40
The Function f2	0,40

## Conditions in the basin water

The fjord is a	14,2
Filling time for basin water (days)	5
Re-value of the sill basin (kg/m <sup>3</sup> )	1,4
Work against the buoyancy forces (mW/m <sup>2</sup> )	0,044
Background (mW/m <sup>2</sup> )	0,0144
Tidally forced (mW/m <sup>2</sup> )	0,0296
From interior sills (mW/m <sup>2</sup> )	0
Density reduction (kg/m <sup>3</sup> /month)	0,0476
Oxygen consumption (ml/l/month)	0,4316
Time-scale for water exchange (months)	29,3
Time-scale for Oxygen consumption (months)	13,9
Oxygen minimum in the basin water (ml/l)	-3,3

### Fjord improvement

to achieve o <sub>2</sub> min = 2 ml/l add power (kW)	25,4
The function f <sub>3</sub>	0
Power supply to exterior basin (kW)	0,1

### Fluxes of organic matter in to the sill basin

Carbon, natural (tons/year)	158,0
Nitrogen, natural (tons/year)	27,8
Phosphorus, natural (tons/year)	3,8
UOD, natural (tons/year)	553,0

### From fish farming

Carbon from excess food and faeces (tons/year)	0,05
Nitrogen from excess food and faeces (tons/year)	0,009
Phosphorus from excess food and faeces (tons/year)	0,0015
UOD from excess food and faeces (tons/year)	0,175

### Field data, optional input

Oxygen consumption in the basin water (ml o <sub>2</sub> /l/month)	-99
Oxygen minimum (ml o <sub>2</sub> /l)	-99

### Change of Supplies from land

Change of N-supply (%)	20
Change of P-supply (%)	10

### Change of Fish farming, optional

Additional production, shallow areas (tons/year)	10
Additional production, deep areas (tons/year)	10

### Environmental changes

Secchi depth (%)	99
Oxygen consumption, change (%)	0,03
New Oxygen minimum in the basin water (ml/l)	-3,34