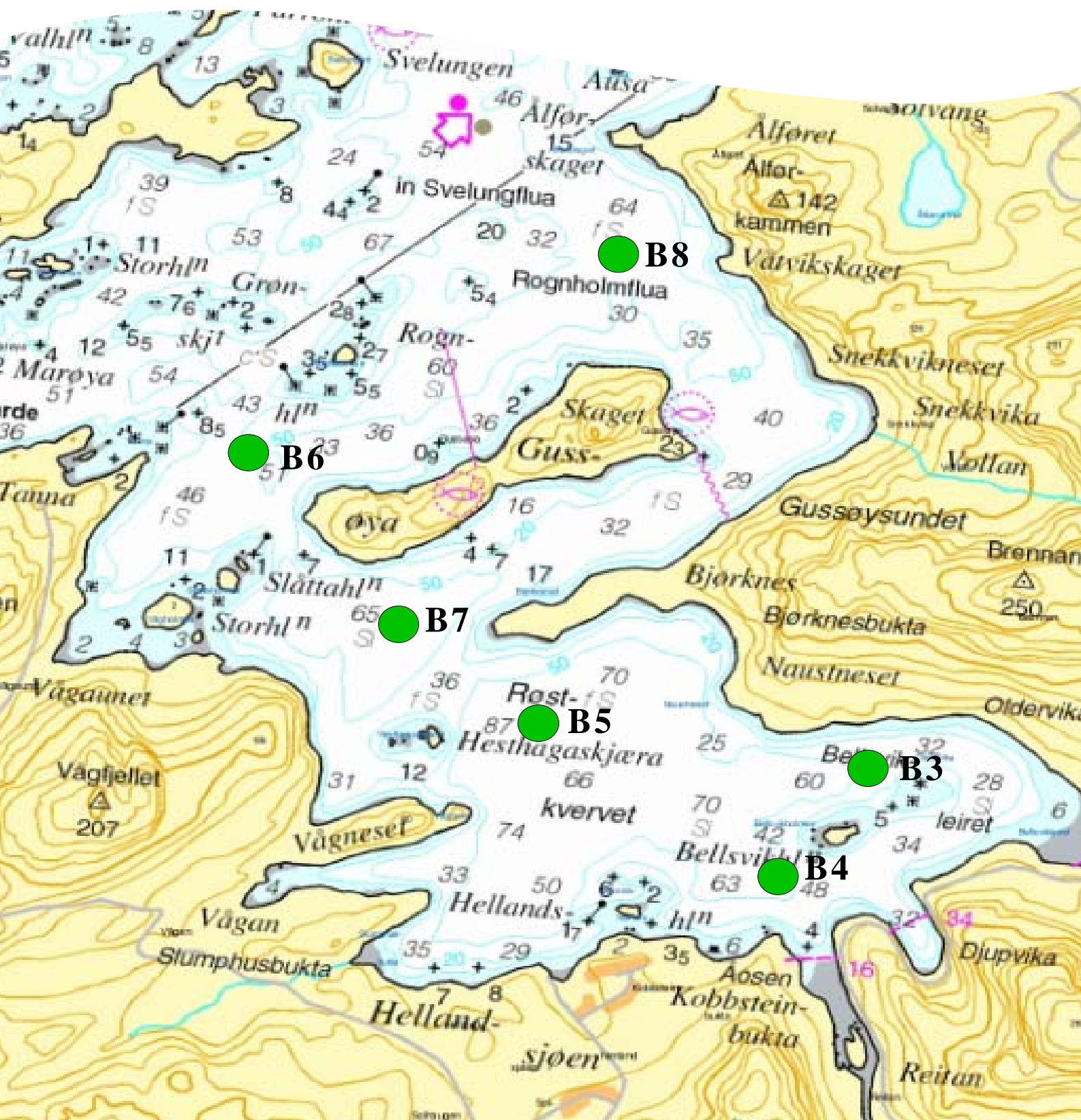


# Lerøy Midnor

## Vurdering av utslipp til Belsvik i Hemne kommune





**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 <b>Lerøy Midnor.</b> Vurdering av utslipp til Belsvik i Hemne kommune	Løpenr. (for bestilling) 5863-2010	Dato 12.5.2010
	Prosjektnr. Undernr. 29251-4	Sider Pris 25
Forfatter(e) Jarle Molvær	Fagområde Akvakultur	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Sør-Trøndelag	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Lerøy Midnor AS	Oppdragsreferanse Klemet Steen
-------------------------------------	-----------------------------------

Sammendrag

Lerøy Midnor søker om konsesjon for nytt utslipp fra settefiskanlegget i Belsvik. Basert på hydrografiske målinger, strømmålinger og oksygenmålinger er det ved hjelp av to matematiske modeller gjort vurderinger av hvordan dagens utslipp fungerer – og alternativer for et framtidig utslipp. Dagens utslipp ligger på altfor grunt vann og avløpsvannet påvirker tilstanden i overflatelaget og kanskje strandsonen i Belsviks indre del. Et framtidig utslipp til Belsvik bør ligge på minst 45 m dyp, med innlagring av avløpsvannet i 30-45 m dyp vår-sommer-høst. Vinterstid kan man neppe unngå situasjoner da avløpsvannet når overflatelaget, men betydningen for algeveksten blir meget liten. Et slikt dyputslipp vil bedre tilstanden i overflatelaget i indre del av Belsvik, redusere algeveksten innenfor terskelen og øke vannutskiftningen i bassenget ned til utslippsdypet. Alternativt bør utslippet plasseres utenfor Belsvik, på 35-45 m dyp og med innlagring på 15-30 m dyp.

Fire norske emneord 1. Lerøy Midnor 2. Belsvik 3. Settefisk 4. Utslippsvurdering	Fire engelske emneord 1. Lerøy Midnor 2. Belsvik 3. Salmon hatchery 4. Recipient study
--	--



*Henning Andre Urke*  
Prosjektleder



*Trond Rosten*  
Forskningsleder



*Bjørn Faafeng*  
Seniorrådgiver



O-29251

**Lerøy Midnor**

Vurdering av utslipp til Belsvik i Hemne kommune



## Forord

Lerøy Midnor AS har søkt om konsesjon til utvidelse av produksjonen ved settefiskanlegget i Belsvik i Hemne kommune. En utvidet produksjon vil medføre endring av utslipp til sjø, der dagens utslipp går til Belsviks indre del. Lerøy Midnor har engasjert NIVA om bistand rundt konsesjonssøknaden og den foreliggende utredningen er en del av dette arbeidet.

Vi takker Jan Frode Snekvik, Lerøy Midnor AS, for effektiv gjennomføring av målinger av hydrografiske profiler i Belsvik og området utenfor. Øvrige ansatte i Lerøy Midnor som har vært behjelpelige med båt og opplysninger takkes også.

Fra NIVA deltok Uta Brandt og Jarle Molvær i utsetting av strømmålere. Brandt hadde ansvar for opptak av målere den 25.9.09 samt vannprøvetaking mht. oksygen.

Seniorforsker Jarle Molvær har stått for utarbeidelse av denne rapporten i sin helhet og vi håper at de vurderingene som er gjort vil ha en stor nytteverdi i forhold til utvidelsen av settefiskanlegget ved Belsvik.

Trondheim, 12.5.2010

*Henning Andre Urke*  
*prosjektleder*

---





# Innhold

<b>Sammendrag</b>	<b>5</b>
<b>1. Bakgrunn og formål</b>	<b>6</b>
<b>2. Topografi</b>	<b>6</b>
<b>3. Metodikk og data</b>	<b>8</b>
3.1 Metodikk	8
3.2 Data	9
<b>4. Resultater og vurderinger</b>	<b>12</b>
4.1 Den vertikale sjiktningen	12
4.2 Oksygenforhold	14
4.3 Strømforhold i utslippsområdet	15
4.4 Bruk av modellen FjordEnvironment	18
4.5 Dagens utslipp og framtidig utslippsdyp for avløpsvannet	18
4.6 Tilførsler av næringssalter til Belsvik	22
<b>5. Vurdering av tiltak som kan øke vannutskiftning og oksygentilførsel</b>	<b>23</b>
<b>6. Sammenfatning og anbefalinger</b>	<b>24</b>
<b>7. Litteratur</b>	<b>25</b>

---



## Sammendrag

Lerøy Midnor AS har inne søknad om utvidelse av produksjonen ved settefiskanlegget i Belsvik. En utvidet produksjon vil medføre endring av utslipp til sjø. Dagens utslipp går til Belsviks indre del og den foreliggende utredningen vurderer hvordan dette utslippet fungerer, hvordan det påvirker miljøet i Belsvik og hvilke alternativer som finnes for et framtidig utslipp.

For å forsterke vurderingsgrunnlaget er det utført målinger av vannmassenes vertikale lagdeling, strømforhold/vannutskiftning i Belsvik og måling av oksygenforhold. For å beskrive vannutskiftningen og vurdere utslippet er brukt to matematiske modeller. Resultatene kan sammenfattes i følgende fem punkter:

1. Ved innløpet til Belsvik ligger en terskel på 36 m dyp. Mellom overflaten og terskeldypet er vannutskiftningen god. Vannmassen (bassengvannet) fra ca. 36-40 m dyp og ned til maksimalt dyp på 87 m har imidlertid naturlig dårlig vannfornyelse og dermed liten og sporadisk tilførsel av oksygenrikt vann. Bassengvannet er følgelig sårbart for tilførsel av organisk stoff, og målinger i september 2008 og september 2009 viste dårlige oksygenforhold i den dypeste delen av bassengvannet (omkring 20 % av vannmassen). For hele Belsvik utgjorde imidlertid vannmassen med oksygenproblem bare 6-7 %. Det er sannsynlig at forholdene iblant er dårligere enn det som har blitt registrert.
2. Det er satt opp et grovt stoffbudsjett for tilførselen av fosfor og nitrogen til Belsvik i sommerhalvåret. Dette viser klart at den dominerende tilførselen skjer gjennom vannutvekslingen med fjordområdet utenfor Belsvik og kystvannet. Det framtidige utslippet fra settefiskanlegget vil utgjøre en meget liten del av den totale tilførselen.
3. Dagens utslipp ligger på altfor grunt vann og avløpsvannet innblandes direkte i overflatelaget i Belsviks indre del. Utslipet bør flyttes til vesentlig større dyp for å sikre at avløpsvannet ikke når overflatelaget og der påvirker algeveksten både i vannmassene og i strandsonen. Beregninger viser at et utslipp i 45-60 m dyp vil sikre dette for vår-sommerhalvår-høst, samtidig som vannfornyelsen mellom utslippsdypet og terskeldypet øker. I kalde perioder vinterstid kan imidlertid den vertikale sjiktningen i Belsvik være så svak at avløpsvannet ikke innlagres, men innblandes i overflatelaget selv ved utslipp i 60-70 m dyp. Vinterstid vil dette imidlertid ha minimal betydning for algeveksten i Belsvika. Fortynninga vil være så stor (400-1000x) at slike situasjoner neppe vil merkes på overflatelaget.
4. Hvis man aksepterer et utslipp der avløpsvannet vinterstid iblant innblandes i overflatelaget, synes utslipp i 45-50 m dyp å være en god løsning. Eventuelt et litt grunnere utslipp med diffusor.
5. Alternativt bør utslippet flyttes ut av Belsvik, der vannutskiftningen er større og oksygenforholdene er bedre. Utslippsdypet vil være 35-45 m og med innlagring av avløpsvannet i 15-30 m dyp, men i forhold til et dyputslipp i Belsvik synes nyttevirkningen å være liten.

# 1. Bakgrunn og formål

Lerøy Midnor AS har inne søknad om utvidelse av produksjonen ved settefiskanlegget i Belsvik i Hemne kommune. En utvidet produksjon vil medføre endring av utslipp til sjø. Dagens utslipp går til Belsviks indre del.

*Formålet med denne utredningen er å gi anbefaling mht. utslippssted og utslippsdyp for avløpsvannet, sett i forhold til miljøtilstanden i Belsvik.*

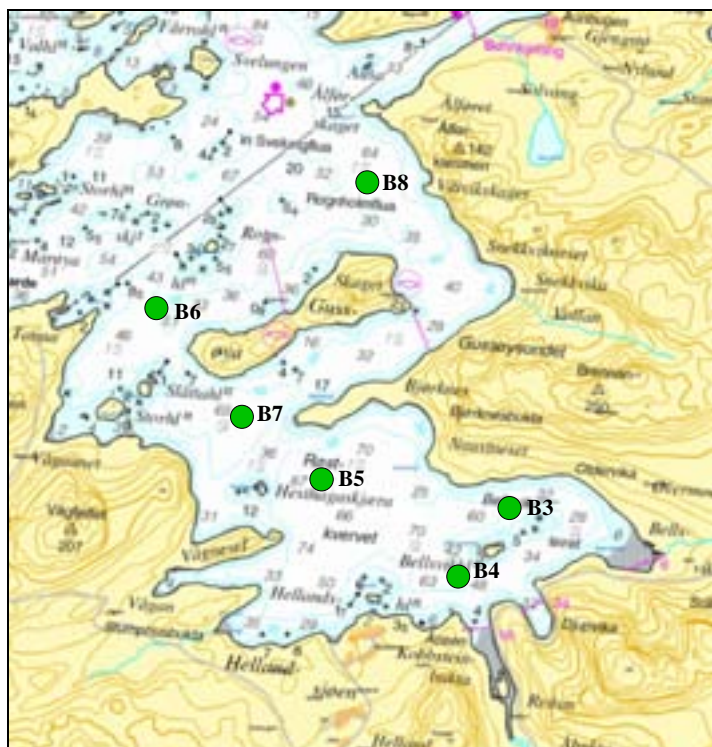
Dette gjøres på grunnlag av

- Målinger og beregninger av nåværende tilstand i Belsvik, med vekt på oksygenforholdene i bassengvannet
- Beregninger av avløpsvannets innlagring i vannmassene ved ulike dyp og utslippssted
- Beregninger av mengde tilført nitrogen og fosfor fra ulike kilder til Belsvik
- Vurderinger av hvordan ulike plasseringer av utslippet kan øke utskiftning av bassengvannet og dermed øke oksygentilførselen til denne vannmassen.

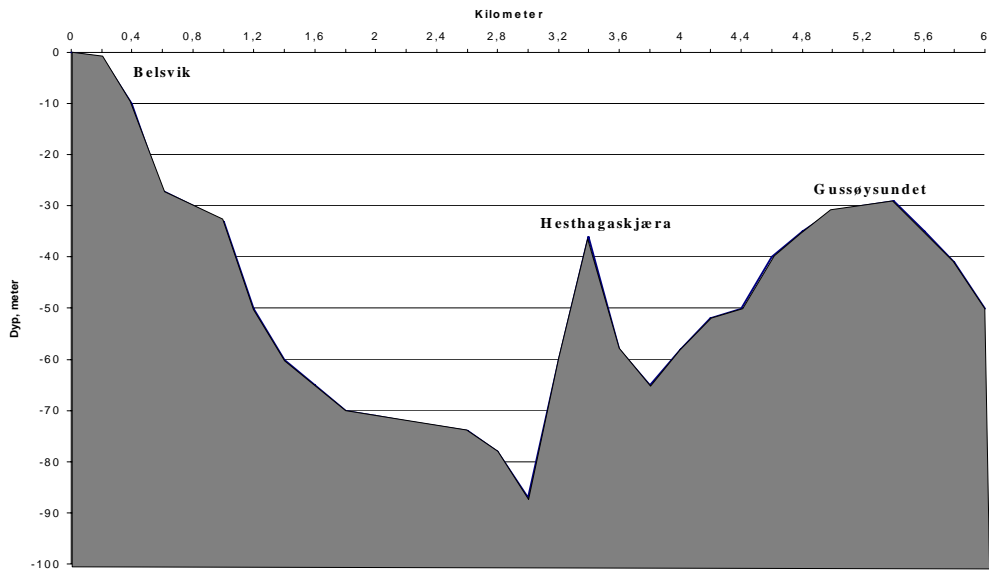
I det etterfølgende redegjøres for topografi og vannmasser, metodikk og data, samt resultater og vurderinger.

## 2. Topografi

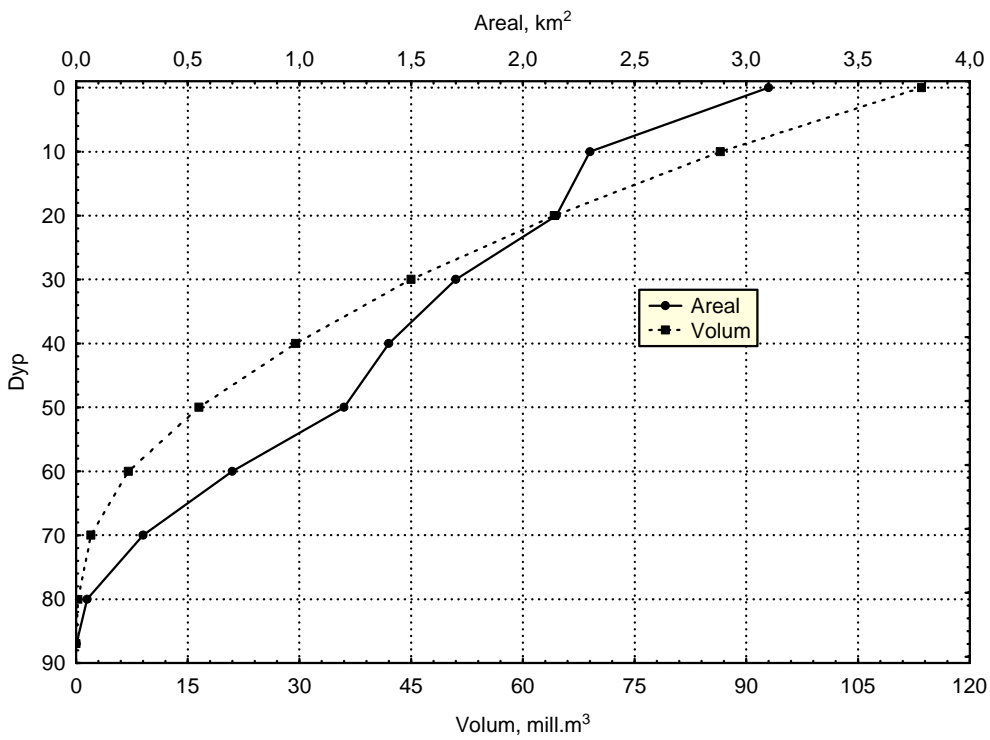
Belsvik er et basseng der største dyp er 87 m og terskeldypet mellom stasjon B5 og B7 er 36 m (*Figur 1* og *Figur 2*). Arealet innenfor terskelen er ca. 3,1 km<sup>2</sup> og vannvolumet ca. 112 mill. m<sup>3</sup> (*Figur 3*).



*Figur 1. Oversiktskart over Belsvika i Hemne kommune. Vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet ble målt i posisjonene B3–B8.*



Figur 2. Langsgående bunnprofil gjennom Belsvik og til Gussøysundet (jfr. Figur 1).



Figur 3. Arealer og vannvolumer i Belsvik.

## 3. Metodikk og data

### 3.1 Metodikk

For å vurdere vannutskiftningen i Belsvik og hvordan dagens - og framtidige utslipp - kan påvirke vannutskiftning og -kvalitet, er det brukt to matematiske modeller som nedenfor beskrives kort.

#### Modellen FjordEnvironment

*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. Det faglige grunnlaget ble utarbeidet med data fra Møre og Romsdal, men er også funnet å passe for forholdene langs øvrige deler av norskekysten (Stigebrandt et al., 1992).

#### 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 (se **Figur 4**). 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.

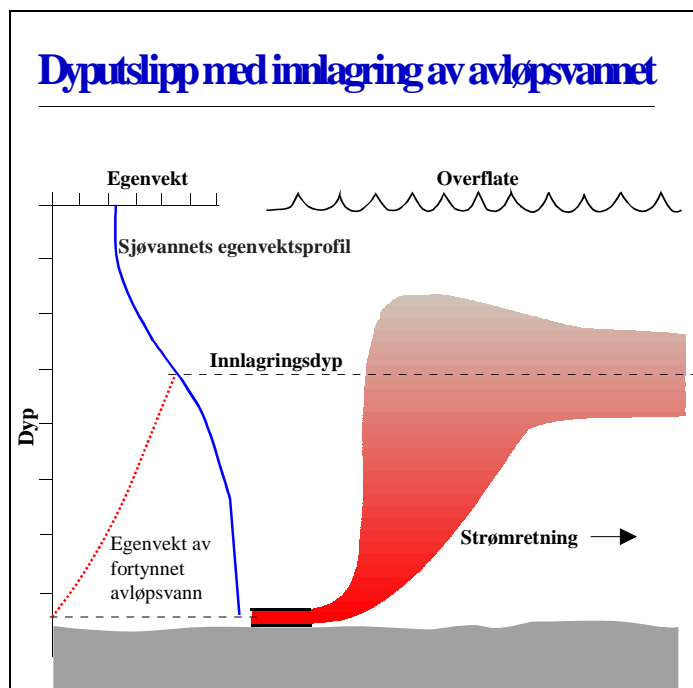
Innlagringsdypet beregner vi med den numeriske modellen *Visual PLUMES* utviklet av U.S. EPA (Frick et al., 2001). Nødvendige opplysninger er vannmengde, utslippsdyp, diameter for utslippsrøret samt strømhastigheten i resipienten. For tilfeller der man står rimelig fritt i valg av utslippsdyp, blir beregningene utført for de dypene som er aktuelle.

#### Stoffbudsjett

For vurderingen av hvordan utslipp av næringssalter fra smoltanlegget påvirker tilstanden i Belsvik er bedriftens andel av totaltilførselen av næringssalter av interesse. Et stoffbudsjett for Belsvik vil bestå av bidragene fra:

- Kommunalt avløpsvann (i alt vesentlig fra husholdninger)
- Industri (i dette tilfellet fra settefiskanlegget)
- Avrenning fra jordbruksarealer
- Avrenning fra utmark
- Vannutskiftningen med fjordområdene utenfor Belsvik

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



**Figur 4.** 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. Utslippet: ledningsdiameter og vannmengder
2. vertikale profiler av temperatur og saltholdighet
3. strømforhold i innlagringsdypet

### Utslippet

Lerøy Midnor har gitt opplysninger om dagens utslipp og om framtidige vannmengder. I tillegg er gjort noen antakelser om utslippsdyp og ledningsdiameter som blir brukt i utslippsberegningene. Dette er sammenfattet i **Tabell 1**. I tillegg er det i utslippsberegningene tatt hensyn til at avløpsvannet vil ha en saltholdighet på 5 ved normal drift av anlegget, og opp mot 15 i siste del av smoltfasen.

**Tabell 1.** Karakteristiske tall for nåværende og framtidig utslipp (kilde: Lerøy Midnor)

	Utslippsdyp	Avløpsledning, indre diameter	Vannmengde, m <sup>3</sup> /minutt
Nåværende	20 m	630 mm	9,8
Framtidig	45 m <sup>1</sup>	400 mm <sup>2</sup>	1,7 – 3,5 - 6
	50 m <sup>1</sup>	400 mm <sup>2</sup>	1,7 – 3,5 - 6
	55 m <sup>1</sup>	400 mm <sup>2</sup>	1,7 – 3,5 - 6
	60 m <sup>1</sup>	400 mm <sup>2</sup>	1,7 – 3,5 - 6

<sup>1</sup>: Tentative dyp som er brukt av NIVA i utslippsberegningene

<sup>2</sup>: Diameter som er brukt av NIVA i utslippsberegningene. Mindre vannmengde tilsier mindre diameter på avløpsledning.

### Vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet

For beregningene med modellen Plumes behøves flest mulig vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet. Slike data var ikke tilgjengelig. I tidsrommet 18.8.2009-21.4.2010 ble det derfor 14 ganger utført målinger av temperatur og saltholdighet med en selvregistrerende sonde av typen SensorData 204 (jfr. beskrivelse i **Tabell 2**). Målingene ble utført på stasjonene som vist i Figur 1 og datoene for profilene som er brukt vises i **Tabell 3**. Etter hvert ble målingene fokusert om stasjonene B3, B5, B6 og B7.

**Tabell 2.** 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	$<2 \text{ ‰ FTU}$

Sonden 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.** Datoer med måling av profiler for temperatur og saltholdighet.

Dato	Dato	Dato
18.8.2009	19.10.2009	19.1.2010
1.9.2009	22.10.2009	15.2.2010
25.9.2009	3.11.2009	31.3.2010
9.10.2009	6.11.2009	21.4.2010
12.10.2009	9.11.2009	

### Undersøkelse av strømforhold

For beregningene av innlagingsdyp og spredning behøves opplysninger om strømforhold i innlagingsdypet for avløpsvannet.

Hastigheten av strømmen mellom utslippsdyp og innlagingsdypet har betydning både for innlagingsdypet og for spredningen av det fortyndede avløpsvannet. I Belsvik 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.

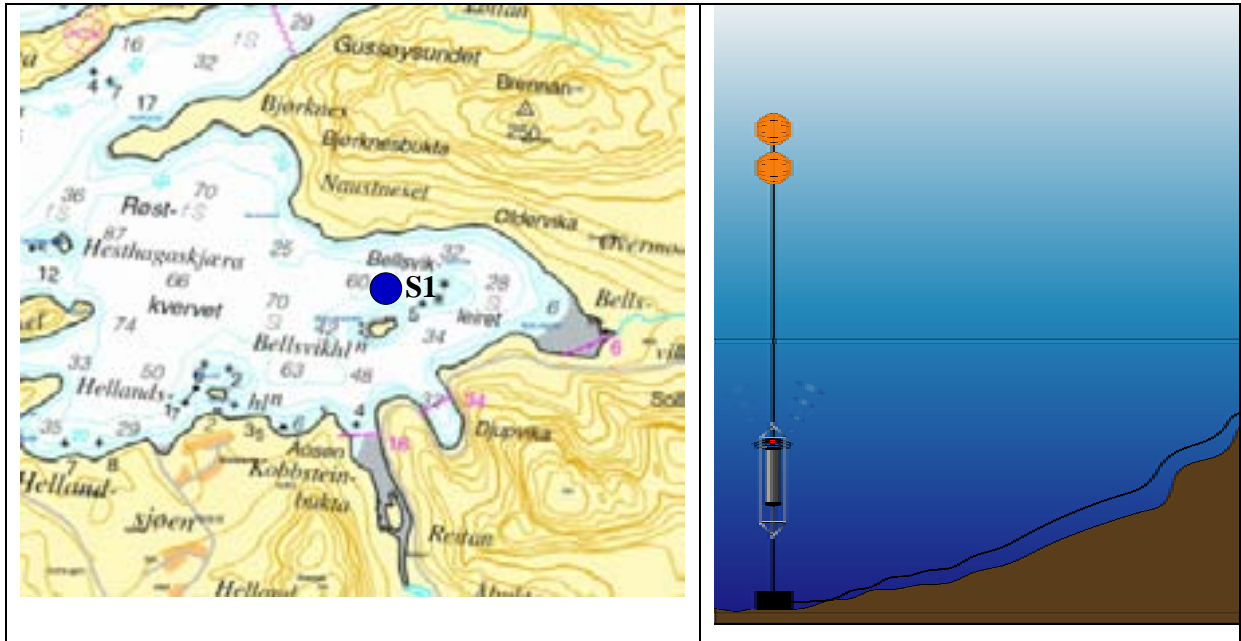
Siden der ikke fantes opplysninger om strømhastighet og –retning i Belsvik ble det iverksatt måleprogram. Den 17.8.2009 ble to strømmålere av type Aanderaa RCM9 og Aanderaa RCM10 plassert i hhv. 18 m og 28 m dyp som vist i **Figur 5**. Bunn-dypet var 52 m. Instrumentene registrerte hvert 10 minutt.

**Tabell 4.** Strømmålerne. Parametre og presisjon.

Instrument dyp (m)	Strømhastighet	Strømretning	Temperatur	Konduktivitet	Turbiditet
16m	$\pm 0,15\text{cm/s}$	$5^{\circ}$	$\pm 0,05^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,005\text{S/m}$	$<2 \text{ ‰ FTU}$
26 m	$\pm 0,15\text{cm/s}$	$5^{\circ}$	$\pm 0,05^{\circ}\text{C}$	$\pm 0,005\text{S/m}$	$<2 \text{ ‰ FTU}$

Målerne ble tatt opp den 25.9.2009, dvs. 39 dager etter utsettingen. I forbindelse med opptak av måleren ble det målt en vertikalprofil for temperatur og saltholdighet, med samme metodikk som beskrevet ovenfor. I tillegg ble det gjort målinger av oksygen på stasjonene B6 og B7.





**Figur 5.** Posisjon for strømmåler (S1) og skisse av måler med forankring langs bunnen til Belsvikholmen.

### Tilførsler av nitrogen, fosfor og organisk stoff til Belsvik

For beregninger av tilførsler av næringssalter til Belsvik er brukt NIVAs data, som en kombinasjon av beregningsmodellene RID (for beskrivelse se Skarbøvik *et al.* 2009) og TEOTIL (for beskrivelse se Tjomsland *et al.* 2010). Vi har brukt data for 2007, fordelt på følgende kilder:

- Befolkning
- Industri (settefiskanlegg): her er det brukt framtidige data beregnet av NIVA. Konsentrasjoner i avløpsvannet som total nitrogen: 0,5-0,7 mgN/l, og total fosfor: 0,07-0,13 mgP/l.
- Avrenning fra jordbruksarealer
- Bakgrunnsavrenning fra utmark

I tillegg beregnes bidraget gjennom vannutskiftningen mellom Belsvik og områdene utenfor ved bruk av modellen FjordEnvironment (Stigebrandt, 2001). I forhold til algevekst er sommerhalvåret viktigst og vi antar at nivåene av næringssalter utenfor selve Belsvik i sommerhalvåret ligger i øvre del av vannkvalitetsklasse I (Meget God), og velger konsentrasjonene

- 10 mgP/m<sup>3</sup> for total fosfor
- 150 mgN/m<sup>3</sup> for total nitrogen

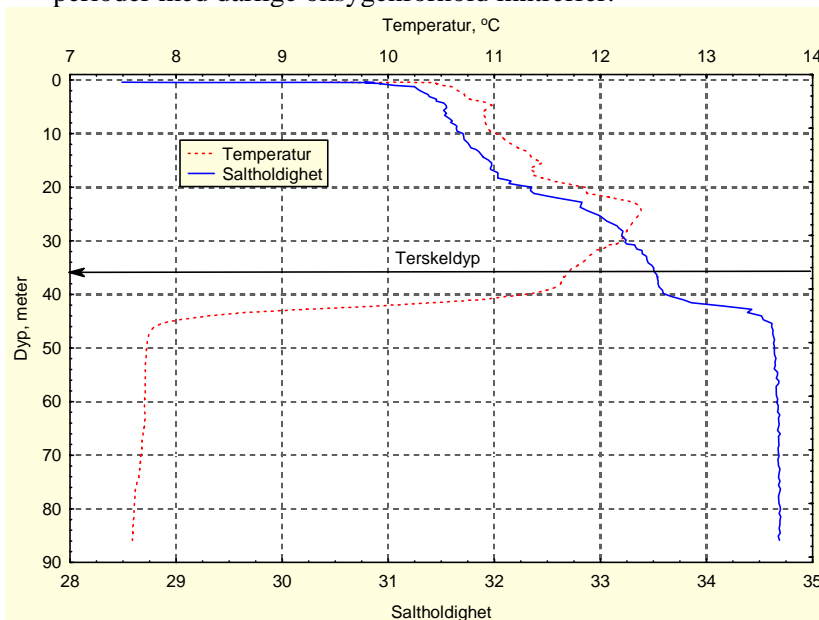
som grunnlag for beregningene. Resultatene gjengis i etterfølgende kapittel.

## 4. Resultater og vurderinger

### 4.1 Den vertikale sjiktningen

På grunn av ferskvannsavrenning til Belsvik og nærliggende fjordområder, samt terskelen på 36 m dyp kan vannmassene i Belsvik inndeles i 3 vannlag. Karakteristikken av disse vannlagene vil variere over året, men **Figur 6** viser en situasjon som trolig er nokså typisk (se også **Figur 2**):

- Helt øverst et tynt brakkvannslag som er skapt av den lokale ferskvannsavrenningen til Belsvik. Ved minimal avrenning og/eller sterk vind kan dette laget forsvinne pga. blanding med det underliggende laget.
- Mellomlaget: består av sjøvann som befinner seg mellom brakkvannslaget og terskeldypet. Dette har åpen forbindelse utover mot kystvannet og god vannutskiftning
- Bassengvannet: består av sjøvann fra terskeldyp og til største dyp på 87 m. Dette laget har ikke fri forbindelse med kystvannet og vannfornyelsen blir sporadisk og liten et kort stykke under terskeldypet. Det er i denne vannmassen tilførselen av oksygenrikt vann kan være så liten at perioder med dårlige oksygenforhold inntreffer.

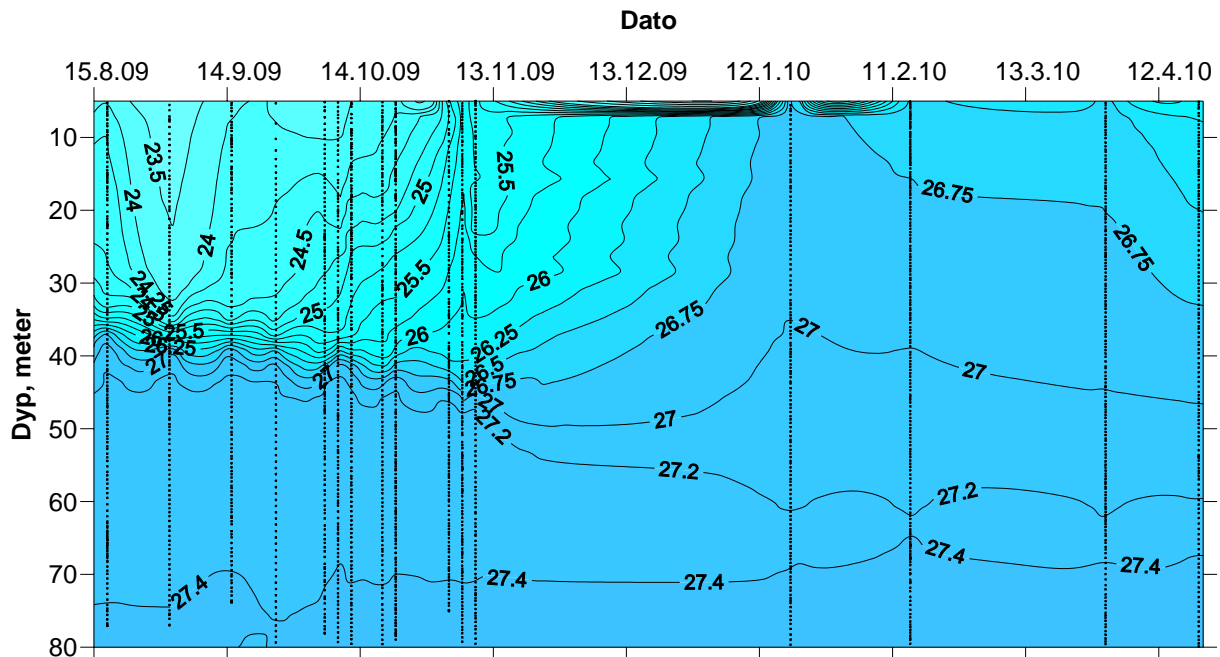


**Figur 6.** Vertikalprofil av temperatur og saltholdighet målt på stasjon B5 den 19.10.2009.

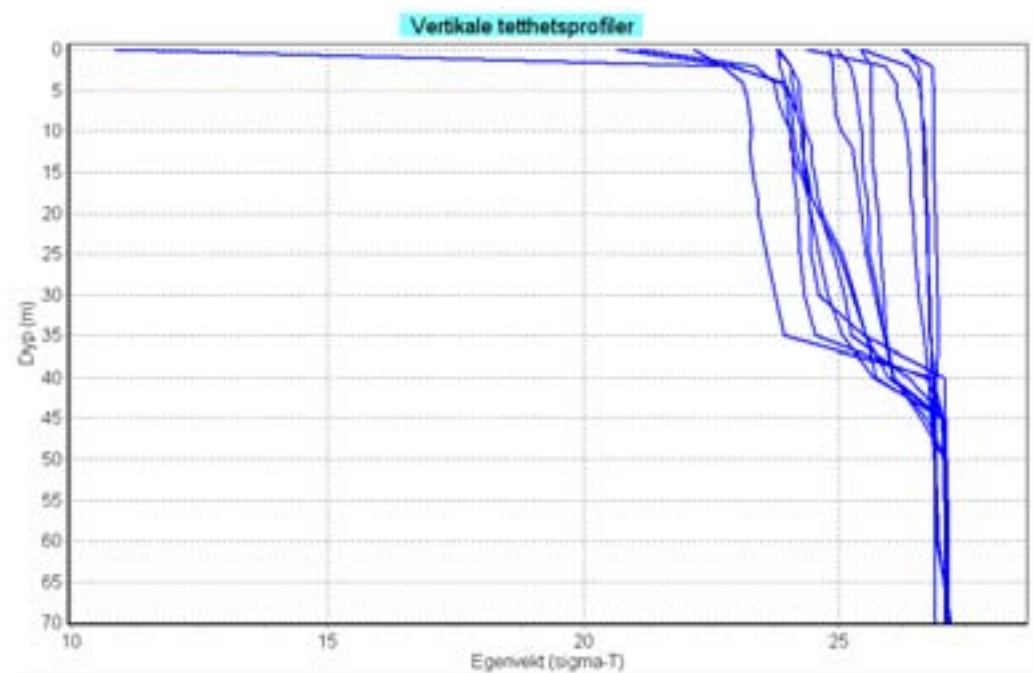
Det ble tatt 14 målinger på stasjon B5 og **Figur 7** viser hvordan egenvekten varierte fra august 2009 til april 2010. Man ser to hovedtrekk:

1. hele høsten 2009 lå et skarpt sprangsjikt mellom mellomlaget og dypvannet i ca. 35-45 m dyp.
2. Egenvekten i mellomlaget økte gradvis utover høsten (gjennomgående økt saltholdighet og lavere temperatur) og da målingene ble gjenoptatt i januar 2010 var i praksis hele sprangsjiktet forsvunnet. Men utover februar-april ser man tendensen til at egenvekten i mellomlaget avtar og sjiktningen så smått begynner å bygge seg opp igjen.

**Figur 8** viser alle tetthetsprofilene på stasjon B5. Som ventet er variasjonene størst i overflatelaget og i mellomlaget – og vi ser samme hovedtrekk som nettopp omtalt for **Figur 7**. Ved datoene 19.1.10, 15.2.10, 31.3.10 og 21.4.10 var det meget svak - praktisk talt ingen vertikal sjiktning i Belsvik (utenom et tynt overflatelag). Årsaken var sannsynligvis den uvanlig kalde vinteren, med liten avrenning av ferskvann til kystvannet og til Belsvik. Dette viser at selv for utslipp av en konstant mengde avløpsvann vil innlagingsdypet variere gjennom året – og at det vinterstid kan være perioder da det er vanskelig å oppnå innlagring av avløpsvannet.



**Figur 7.** Isopletdiagram som viser vannets egenvekt<sup>1</sup> i det tidsrommet da målingene foregikk. Hver profil er markert med en vertikal serie av små prikker. Merk at med lange intervall (som pga. isdekke i Belsvik vinteren 2009-2010) er framstillinga mindre nøyaktig enn høsten 2009.



**Figur 8.** Beregning av vannets egenvekt på stasjon B5 (og ved utslippet), som beskrivelse av den vertikale sjiktningen. Merk de store variasjonene ned til ca. 45 m dyp. For fire profiler: 19.1.10, 15.2.10, 31.3.10 og 21.4.10, var det meget svak - praktisk talt ingen vertikal sjiktning.

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

## 4.2 Oksygenforhold

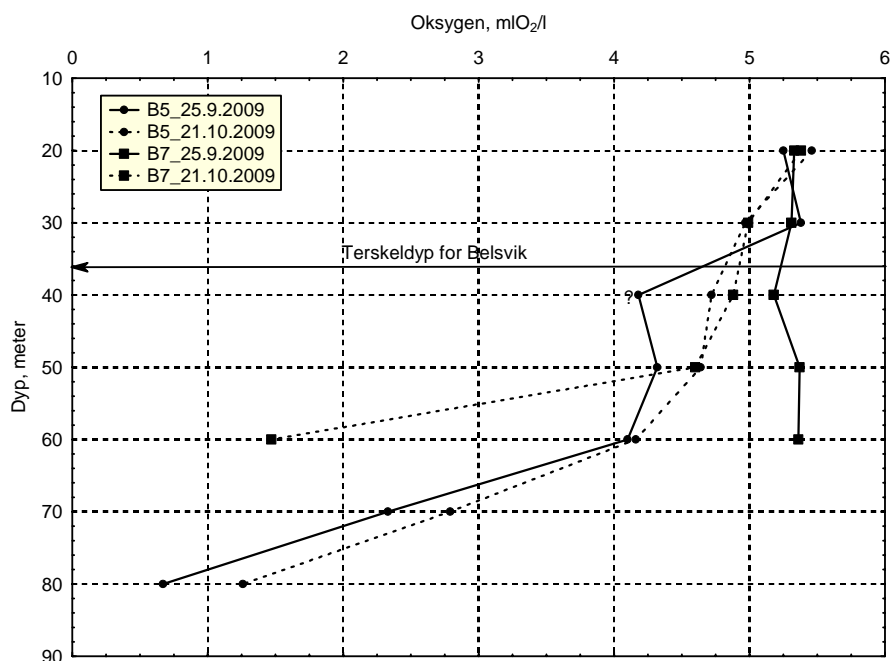
I forbindelse med opptak av strømmålerne 25.9.09 ble det tatt oksygenprøver på stasjonene B5 og B7, og dette ble gjentatt 21.10.09 (jfr. **Figur 9**). Bedømt etter det norske klassifiseringssystemet (**Tabell 5**) må forholdene i Belsvik fra ca. 65 m dyp karakteriseres som Mindre Gode, fra ca. 70 m er bedømmelsen Dårlig, og fra ca. 75 m dyp er bedømmelsen Meget Dårlig. Dette stemmer godt med det som ble målt 25.9.08 (Olsen et al., 2009).

Under ca. 40 m dyp har oksygenforholdene bedret seg litt mellom de to prøveseriene, og målingene av temperatur og saltholdighet viser endringer som tyder på at forbedringen skyldes en viss tilførsel av nytt oksygenrikt vann.

I bassenget utenfor terskelen endret forholdene seg til det verre mellom de to prøveseriene. Det er terskelen i Gussøysundet som skaper problem for vannutskiftningen. At konsentrasjonen i 60 m dyp skulle avta fra 5,36 mlO<sub>2</sub>/l helt ned til 1,47 mlO<sub>2</sub>/l var uventet.

Man kan imidlertid vurdere situasjonen og konsekvensene i forhold til størrelsen av bunnarealene og vannvolumene som opplever Dårlige – Meget dårlige forhold. Volumet av Belsvik er ca. 112 mill. m<sup>3</sup> og volumet av vannmassen som i september 2009 hadde Dårlige forhold – eller Meget dårlig – var 6-8 mill. m<sup>3</sup>, eller bare 6-7 % av hele vannvolumet (jfr. **Figur 3** og **Figur 2**). Volumet av bassengvannet er ca. 35 mill. m<sup>3</sup> og i det perspektivet var andelen ca. 20%.

For bassenget utenfor Belsvik gjelder det samme: det var en liten andel av bassengvannet som i oktober hadde oksygenproblem. På den annen side kan det ikke utelukkes at der er perioder da vannmassen med oksygenproblem i begge bassengene når betydelig høyere enn i september 2008 og september – oktober 2009.



**Figur 9.** Måling av oksygen på stasjonene B5 og B7 25.9.2009 og 21.10.2009.

**Tabell 5.** Tilstandsklassifisering for oksygen (fra Molvær et al., 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

### 4.3 Strømforhold i utslippsområdet

For beregninger av avløpsvannets innlagring er det i første rekke strømhastigheten som er utslagsgivende og **Tabell 6** oppsummerer hovedtrekkene. I **Figur 10 - Figur 14** vises resultatene parvis for de to målerne. Venstre figur viser resultater fra 18 m dyp mens høyre figur viser resultater fra 28 m dyp. Vi kommenterer kort:

**Figur 10:** 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. I begge dyp var strømhastigheten uventet lav, med ca. 90% av målingene under 2,6 cm/s.

**Figur 11:** Fordeling av strømrretning i 15 graders sektorer. I begge dyp ser vi en viss overvekt av registreringer omkring 90 grader (vestgående strøm) og tilsvarende mindre langs nord-sør aksen.

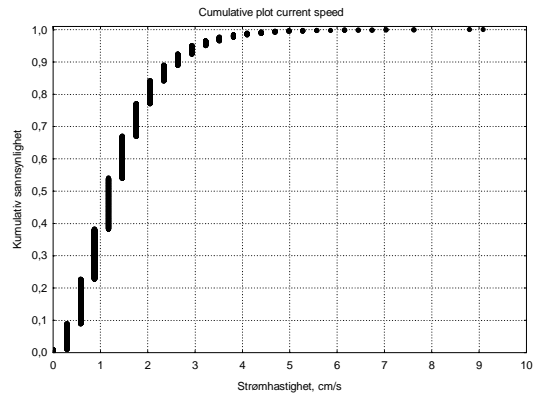
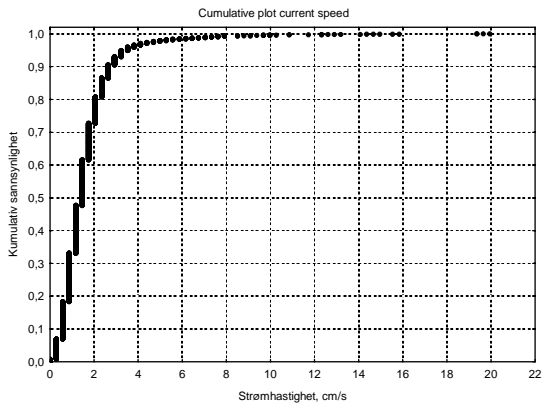
**Figur 12:** Her vises strømkomponenten langs øst-vest aksen. Her er relativt store variasjoner, men som tidligere påpekt ligger de aller fleste av registreringene i intervallet -2,6 - +2,6 cm/s.

**Figur 13:** Periodogram: en analyse for å se hvor sterkt det halvdaglige tidevannet (12,4 timers periode) påvirker strømhastighet og -retning: i venstre figur ser vi tydelig tidevannsperioden. Men dypere nede er signalet mye svakere.

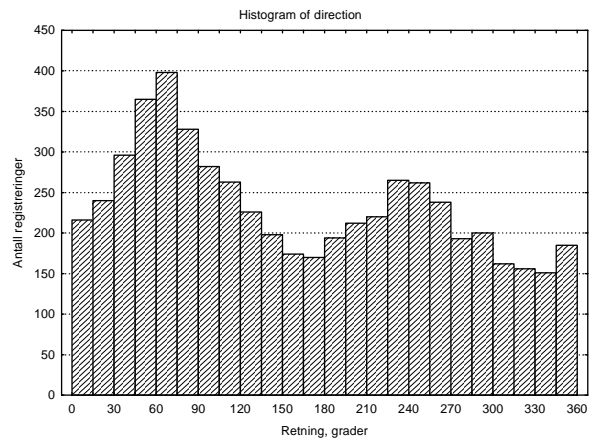
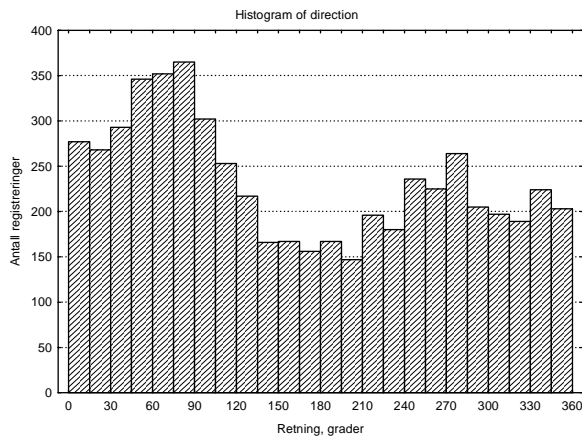
**Figur 14:** Temperatur og saltholdighet (merk at skalaen på y-aksene er forskjellig i de to figurene). Utviklingen i de to vandypene er forholdsvis lik (ikke overraskende). Men det mest interessante er variasjonene i saltholdighet, som viser mer langperiodiske utskiftninger av vannmassene over terskeldypet i Belsvika. Generelt kan en si at raske og store variasjoner viser god vannutskiftning i mellomlaget i Belsvika.

**Tabell 6.** Oppsummering for strømhastighet.

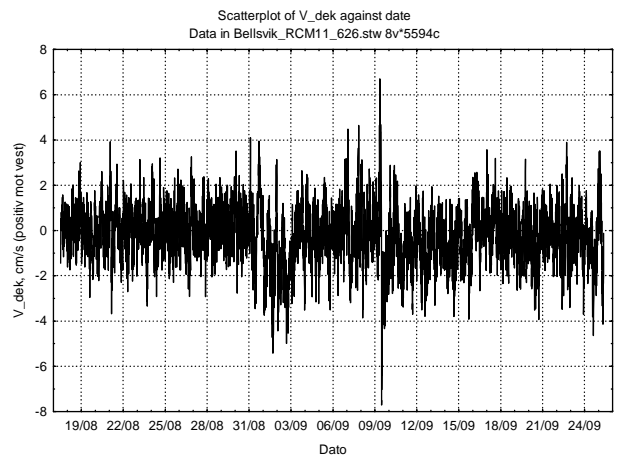
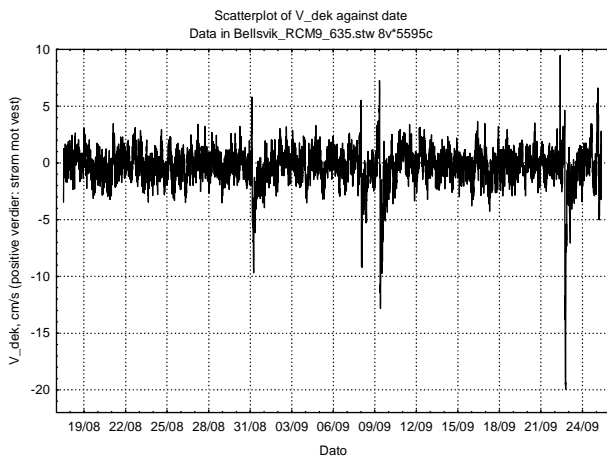
Dyp	Gjennomsnitt	Maksimum
18 m	1,6 cm/s	19,9 cm/s
28 m	1,4 cm/s	9,0 cm/s



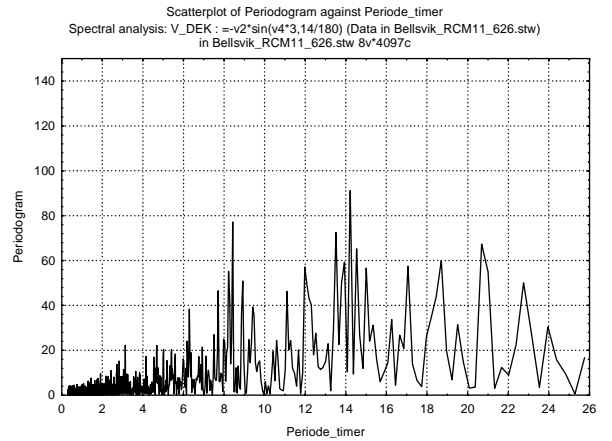
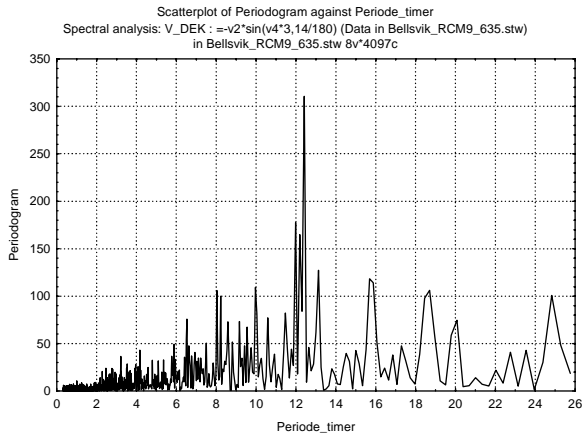
**Figur 10.** Kumulativ fordeling av strømhastighet i 18 m dyp (venstre) og 28 m dyp (høyre).



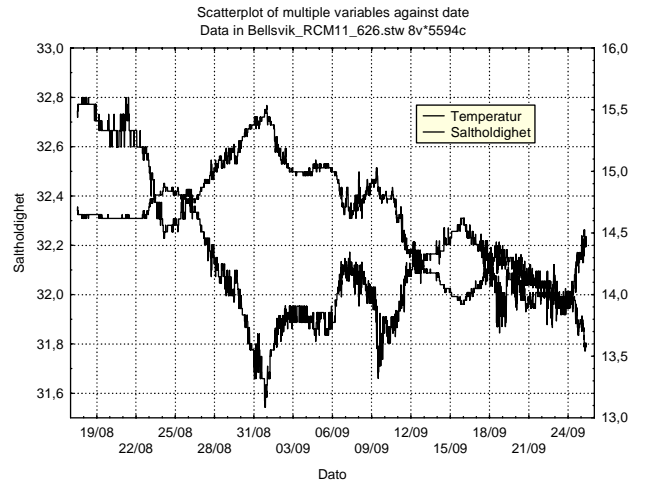
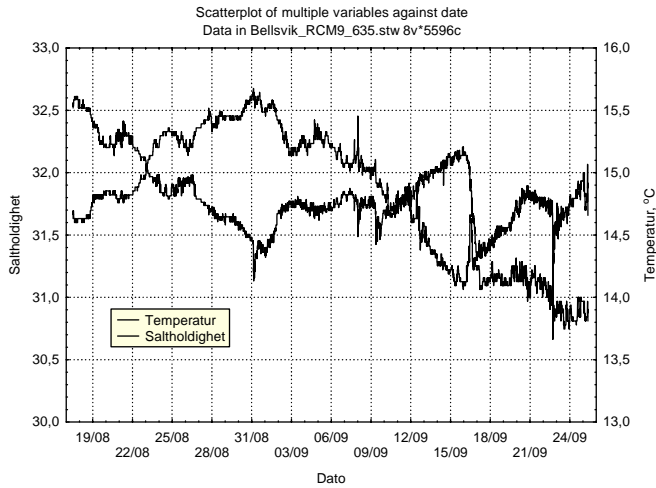
**Figur 11.** Strømmens retning i 18 m dyp (venstre) og 28 m dyp (høyre) fordelt på 15° sektorer.



**Figur 12.** Strømmens hastighet (cm/s) i øst-vest retning i 18 m dyp (venstre) og 28 m dyp (høyre)



**Figur 13.** Periodogram. En analyse som viser hvilke perioder som dominerer i 18 m dyp (venstre) og 28 m dyp (høyre).



**Figur 14.** Saltholdighet og temperatur i 18 m dyp (venstre) og 28 m dyp (høyre)



#### 4.4 Bruk av modellen FjordEnvironment

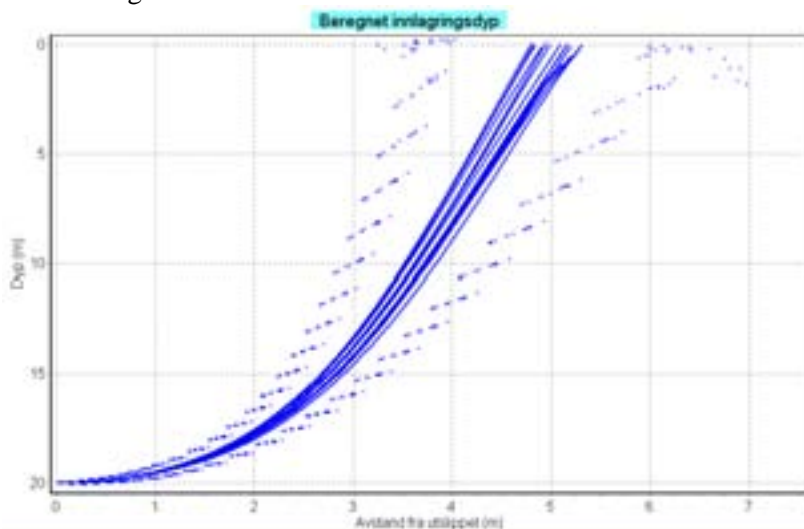
I dette prosjektet er det gjort beregninger med FjordEnvironment for å framskaffe typiske tall for vannutskiftningen i mellomlaget og bassengvannet. Modellen finner at oppholdstiden for vannet i

- mellomlaget er 3-4 døgn
- bassengvannet er 10-11 måneder.

Dette illustrerer tydelig at bassengvannet i lange perioder har svært liten tilførsel av nytt oksygenrikt vann. Sannsynligvis skjer vannutskiftninger på slutten av vinteren eller i løpet av våren. Utover høsten forbrukes det meste av oksygenet som da har blitt tilført – i de aller dypeste vannlagene, noe som samsvarer med målingene i september 2008 og 2009.

#### 4.5 Dagens utslipp og framtidig utslippsdyp for avløpsvannet

Beregningene tar utgangspunkt i **Tabell 1**. Først er det gjort beregninger for dagens utslipp som viser at det oftest innblandes i overflatelaget i Belsvik (**Figur 15**). Situasjoner med stor ferskvannsavrenning til Belsvik, sterk strøm og relativ høy saltholdighet i avløpsvannet gir mindre risiko for slik innblanding.



**Figur 15.** Beregnet strålebane og innlagring ved dagens utslipp (ca. 160 l/s) i ca. 20 m dyp. De stiplede linjene antyder yttergrensene for skyen med fortynt avløpsvann. Avløpsvannet innblandes i overflatelaget.

Deretter ble det gjort beregninger for en tenkt plassering av et framtidig utslipp 45 m, 50 m, 55 m og 60 m dyp, og ved saltholdigheter 5 og 15 i avløpsvannet. Hensikten med en slik forflytning vil være:

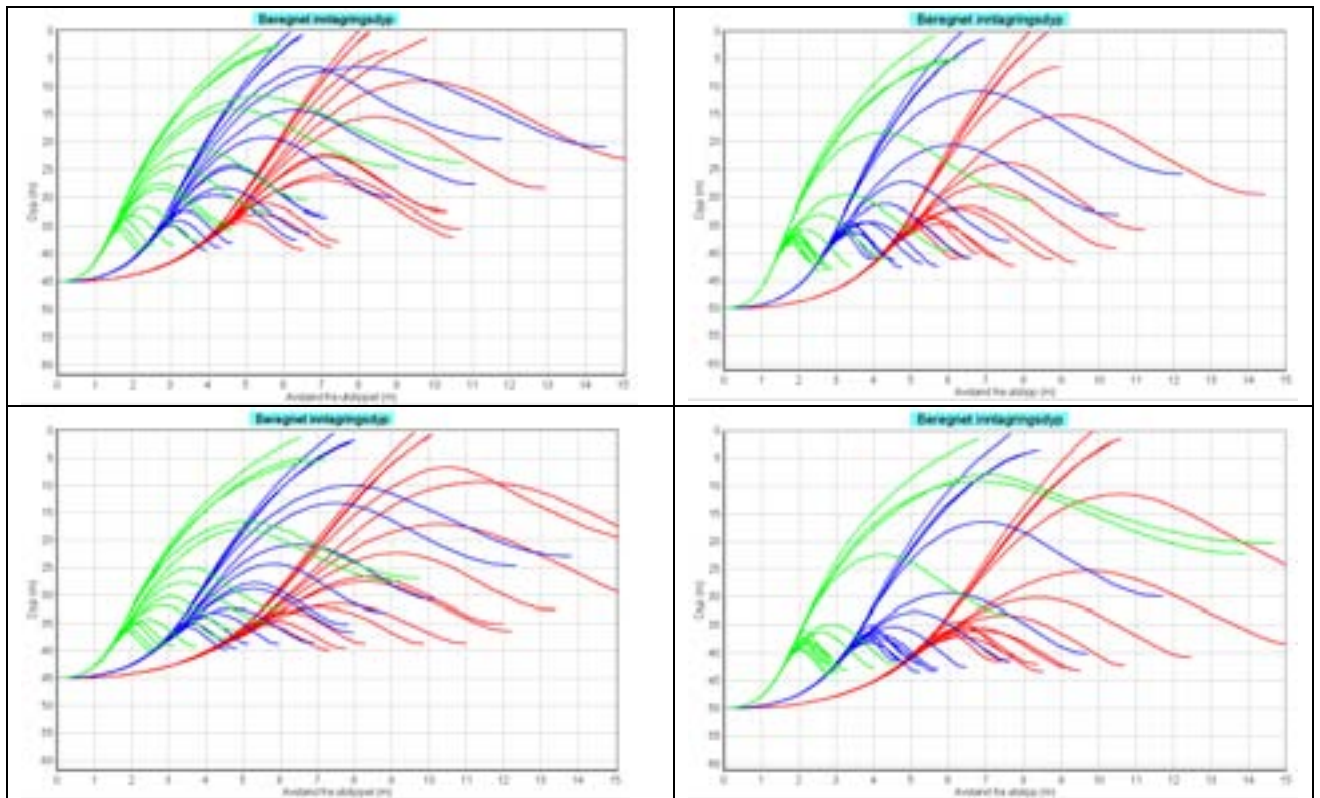
1. forhindre at avløpsvannet når overflata. I den grad avløpsvannet inneholder næringssalter vil man dermed redusere algevekst og begroing i strandsone og i vannmassene. Og man unngår at næringssaltene i sjøvannet som innblandes i den oppadstigende strålen med avløpsvann også bringes opp i overflatelaget.
2. redusere tilførselen av marint organisk materiale (fra plankton som synker ned) til bassengvannet: en reduksjon av algeveksten i vannmassene vil bidra til dette – og dermed en reduksjon av oksygenforbruk og oksygenvinn i bassengvannet.
3. Medrivning av sjøvann fra utslippsdyp og til innlagingsdypet vil bidra til økt vannutskiftning i bassengvannet - og sannsynligvis også noe dypere enn dette. Som nevnt ovenfor i pkt. 2: økt vannutskiftning betyr også økt tilførsel av oksygen til bassengvannet.



Vertikalprofilene som er benyttet dekker storparten av året, og det er sannsynlig at man også i mai-juli har en markert sjiktning i 35-40 m dyp pga. lavere saltholdighet i kystvannet som har forbindelse med Belsvik over terskelen.

Resultatene av beregningene for et framtidig utslipp i 45 m dyp er vist i **Figur 16**. I situasjoner med markert sjiktning omkring terskeldypet blir avløpsvannet innlagret ca. 20-35 m dyp, som er optimalt både i forhold til å unngå påvirkning av algevekst i vannmassen og for å unngå at avløpsvannet "samles opp" i Belsvik. Som vist ovenfor var det minimal sjiktning i januar-april, og med innblanding av sjøvann som gir saltholdighet på 5 kunne da avløpsvannet (fortynnet 400-1000x) nå helt opp mot overflatelaget ved målingene i januar-februar-mars og vannmengder 1,7-3,5 m<sup>3</sup>/s. Med utslipp av 6 m<sup>3</sup>/s vil avløpsvannet nå overflatelaget også i april. På den annen side: med så stor fortykning vil ikke avløpsvannet være synlig fra overflata – evt. unntatt hvis det kan dannes en fettholdig hinne på overflata i helt stille vær – eller avløpsvannet inneholder partikler som får fugl til å samle seg over utslippet.

Ved saltholdighet 15 i avløpsvannet er egenvekten større, oppdriften noe mindre og innlagringen litt dypere, men bildet er i hovedsak det samme som beskrevet ovenfor.



**Figur 16.** Beregnet strålebane og innlagring ved et framtidig utslipp av 1,7 m<sup>3</sup>/min (grønne kurver), 3,5 m<sup>3</sup>/min (blå kurver) og 6 m<sup>3</sup>/min (røde kurver). Det venstre figurparet viser utslipp i 45 m dyp ved saltholdighet 5 i avløpsvannet (øverst) og for saltholdighet 15 i avløpsvannet (nederst). Figurene til venstre viser selve innlagringen. Figurene til høyre tilsvarende resultater for utslipp i 50 m dyp. Ved de fleste av de fire situasjonene (januar-april) med minimal vertikal sjiktning (jfr. **Figur 8**) når avløpsvannet overflatelaget. Høy innblanding av sjøvann bidrar noe for å unngå at overflatelaget påvirkes.

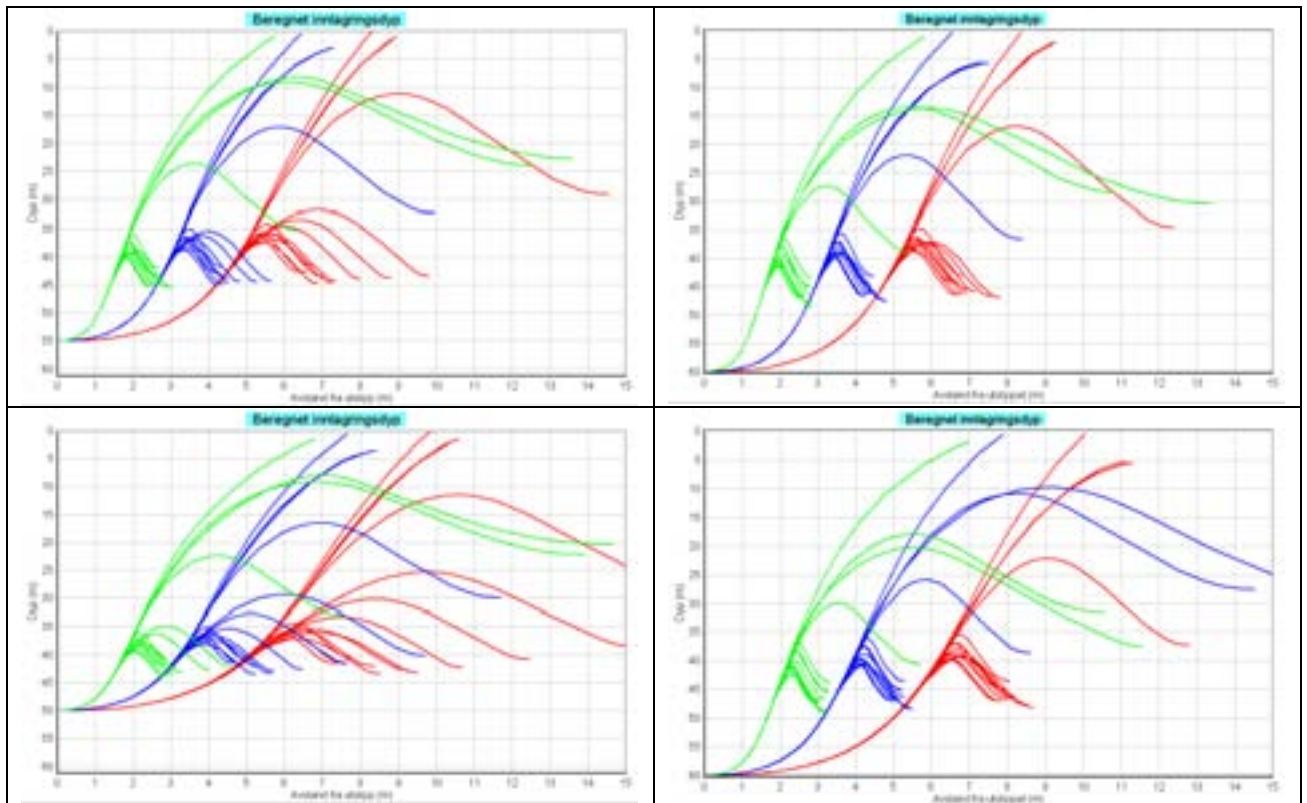
For utslipp i 60 m dyp er resultatene vist i

**Figur 17** og man ser tydelig forskjellen mellom situasjoner med sjiktning mellom bassengvann og mellomlag høsten 2009 – med innlagring omkring 45 m dyp – og vintersituasjonene da avløpsvannet kan stige opp mot overflatelaget.

Sammenlignet med utslipp i 45 m dyp er imidlertid påvirkningen av overflatelaget betydelig mindre:

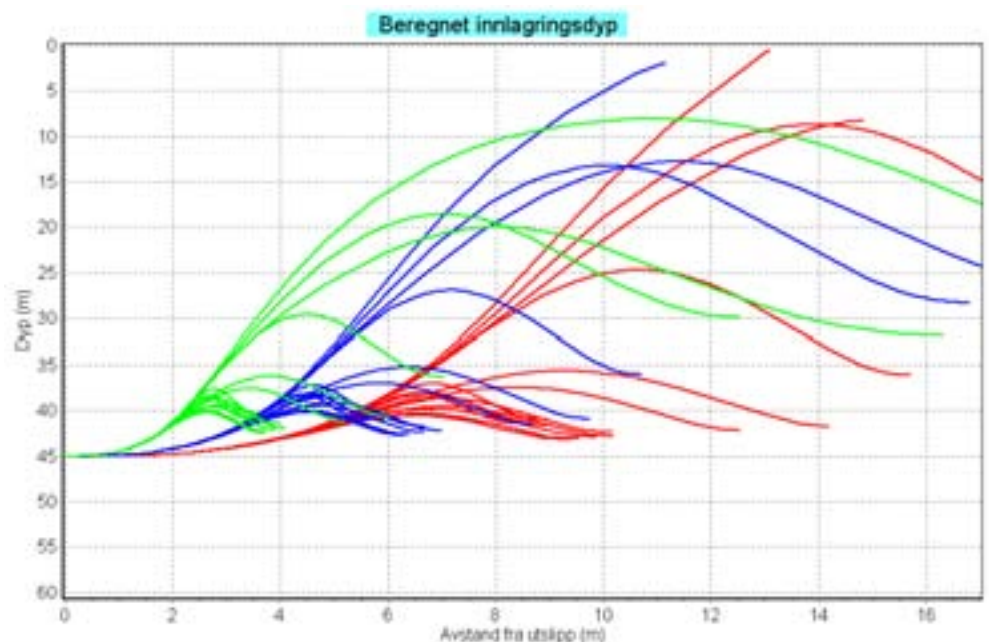
- antall situasjoner er redusert
- det skjedde i januar-mars, dvs. i et tidsrom da algeveksten er liten
- og i de tilfellene da avløpsvannet når overflata er fortynningen er større: 400-1600x

Selv om utslippet legges til 70 m vil det – ved situasjoner som 19.1.10 - kunne nå overflata når vannmengden blir stor.



**Figur 17.** Beregnet strålebane og innlagring ved et framtidig utslipp av  $1,7 \text{ m}^3/\text{min}$  (grønne kurver),  $3,5 \text{ m}^3/\text{min}$  (blå kurver) og  $6 \text{ m}^3/\text{min}$  (røde kurver). Det venstre figurparet viser utslipp i 55 m dyp ved saltholdighet 5 i avløpsvannet (øverst) og for saltholdighet 15 i avløpsvannet (nederst). Figurene til venstre viser selve innlagringen. Figurene til høyre tilsvarende resultater for utslipp i 60 m dyp. Ved 1-3 av de fire situasjonene (januar-april) med minimal vertikal sjiktning (jfr. **Figur 8**) når avløpsvannet overflatelaget. Høy innblanding av sjøvann bidrar noe for å unngå at overflatelaget påvirkes.

Til slutt gjør vi beregninger for utslipp gjennom en diffusor (spreader) i 45 m dyp. Diffusoren her har 12 hull med diameter 6 cm og innbyrdes avstand 3 m (**Figur 18**). Igjen ser vi imidlertid at når den vertikale sjiktningen i praksis er fraværende – som den uvanlig kalde vinteren 2010 – er det nærmest umulig å unngå at avløpsvannet når overflata (januar-februar).



**Figur 18.** Beregnet strålebane og innlagring ved et framtidig utslipp av  $1,7 \text{ m}^3/\text{min}$  (grønne kurver),  $3,5 \text{ m}^3/\text{min}$  (blå kurver) og  $6 \text{ m}^3/\text{min}$  (røde kurver) gjennom en diffusor i 45 m dyp. Diffusoren består her av 12 hull med diameter 6 cm og innbyrdes avstand 3 m. Saltholdighet 5 i avløpsvannet.

#### Oppsummert:

- vår-sommer-høst bør avløpsvannet kunne innlagres ved utslipp i 45-50 m dyp.
- vinterstid – i kalde perioder da vannet i Belsvika i praksis kan være uten vertikal sjiktning – vil det være ytterst vanskelig å unngå situasjoner da avløpsvannet når overflatelaget.
- avløpsvannet vil imidlertid da være maksimalt fortynnet: 400-1000x, og neppe kunne sees på overflata.
- Fordi dette er situasjoner som opptrer vinterstid vil dette neppe ha betydning for algeveksten (planteplankton, fastsittende alger i strandsonen) i Belsvika.

## 4.6 Tilførsler av næringsalter til Belsvik

For beskrivelse av metodikken vises det til kapittel 3.2.

For vannutskiftningen mellom overflata og terskeldypet (36 m) fant modellen FjordEnvironment en typisk utskiftning av 177 m<sup>3</sup>/s. Betrakter vi vannlaget 0-30 m (laget der det er tilstrekkelig lys til at algevekst kan foregå) kan utskiftningen anslås til 150 m<sup>3</sup>/s. I forhold til algevekst er sommerhalvåret viktigst og vi vil anta at 150 m<sup>3</sup>/s er rimelig representativ også for dette tidsrommet. Dermed har vi grunnlag for å sette opp et stoffbudsjett for Belsvik (**Tabell 7**). *Selv om dette er ganske grove estimat er det utvilsomt næringssalttilførslene gjennom vannutskiftningen og avrenning fra utmark som vil dominere i framtiden.* Dette gjelder selv om man for eksempel skulle velge å betrakte vannmassen i 0-20 m dyp.

**Tabell 7.** Beregnede tilførsler av fosfor og nitrogen til Belsvik i sommerhalvåret (kg/døgn)

Stoff	Befolkning	Jordbruk	Avrenning fra utmark	Settefisk-anlegg	Vannutskiftning
Total nitrogen	1,3	5	104	1,2-1,7	2200
Total fosfor	0,02	0,2	2	0,2-0,3	128

I vurderingen av stoffbudsjettet er det de forskjellige kildene sine bidrag til algeveksten som egentlig må vurderes. Hvis et framtidig utslipp fra settefiskanlegget blir plassert så dypt at avløpsvannet innlagres i 30-40 m dyp (jfr. **Figur 16** og

**Figur 17**) vil avløpsvannets andel bli ytterligere redusert. *I særlig grad gjelder dette en eventuell påvirkning fra avløpsvannet på tilstanden i Belsviks indre del, fordi at en slik flytting av utslippet både eliminerer påvirkning på overflatelaget og på strandsonen.*

## 5. Vurdering av tiltak som kan øke vannutskiftning og oksygentilførsel

Den oppadstigende strålen med avløpsvann fortynnes raskt ved innblanding av sjøvann. Dermed fører et utslipp til en oppadrettet transport av sjøvann fra utslippsdypet og til innlagingsdypet. Beregningene for utslipp av 28 l/s i 45 m dyp viser at omkring terskeldypet er avløpsvannet fortynnet ca. 25-60 x, som betyr at den "river" med seg ca. 60.000 – 145.000 m<sup>3</sup>/døgn. Ved utslipp av 100 l/s blir fortynning 20-40x, dvs. en medrivning av 170.000 - 340.000 m<sup>3</sup>/døgn. Volumet av vannlaget i 35-45 m dyp er ca. 15 mill. m<sup>3</sup> og oppholdstiden er trolig flere uker. Et slikt utslipp kan altså gi en merkbar økning i vannutskiftningen under terskeldypet – økt oksygentilførsel og redusert sannsynlighet for perioder med lave oksygenkonsentrasjoner. Derimot kan en ikke regne med at dette i merkbar grad øker vannutskiftningen og bedrer oksygenforholdene fra ca. 50 m dyp og ned til største dyp på 87 m. Denne vannmassen utgjør imidlertid bare ca. 15% av vannvolumet i Belsvika.

Ved utslipp i 60 m dyp blir avløpsvannet oftest innlagret dypere enn terskeldypet (40-45m dyp – med unntak for tidligere omtalte vintersituasjoner) og ikke direkte kunne forlate Belsvik ved vannutvekslingen over terskelen. Imidlertid vil dette føre til at egenvekten for vannmassen mellom 60 m og innlagingsdypet avtar raskere enn "normalt", og hyppigheten av vannutskiftning ved innstrømming over terskelen vil dermed øke. Kvantifisering av denne forbedringen vil imidlertid kreve data og bruk av modeller som ligger langt utenfor dette prosjektet.

Alternativet er å flytte utslippet ut av Belsvik til et område der avløpet kan legges på 35-45 m dyp og avløpsvannet kan innlagres i 15-30 m dyp. De foranstående beregningene tyder imidlertid på at virkningen bare blir marginalt bedre enn ved et framtidig dyputslipp i Belsvik.

## 6. Sammenfatning og anbefalinger

Det foranstående kan sammenfattes i følgende 6 punkter:

1. Ved innløpet til Belsvik ligger en terskel på 36 m dyp. Mellom overflaten og terskeldypet er vannutskiftningen god. På grunn av terskelen har vannmassen (bassengvannet) fra ca. 36-40 m dyp og ned til max. dyp på 87 m naturlig dårlig vannfornyelse og dermed liten og ujevn tilførsel av oksygenrikt vann. Bassengvannet er følgelig sårbart for tilførsel av organisk stoff og målinger i september 2008 og september 2009 viste dårlige oksygenforhold i den dypeste delen av bassengvannet (omkring 20% av vannmassen). For hele Belsvik utgjorde imidlertid vannmassen med oksygenproblem bare 6-7%. Det er sannsynlig at forholdene iblant er dårligere enn det som ble registrert i 2008 og 2009.
2. Det er satt opp et grovt stoffbudsjett for tilførselen av fosfor og nitrogen til Belsvik i sommerhalvåret. Dette viser imidlertid klart at den helt dominerende tilførselen skjer gjennom vannutvekslingen med fjordområdet utenfor Belsvik og med kystvannet. Det framtidige utslippet fra settefiskanlegget vil utgjøre en liten del av næringsalttilførselen.
3. Dagens utslipp ligger på altfor grunt vann og avløpsvannet innblandes direkte i overflatelaget i Belsviks indre del. Hvis man i dag frykter – eller opplever - negative effekter av utslippet vil flytting til dypere vann være et effektivt tiltak.
4. Utslippet bør flyttes til vesentlig større dyp for å sikre at avløpsvannet ikke når overflatelaget og der påvirker algeveksten både i vannmassene og i strandsonen. Samtidig øker avstanden til strandsonen. Beregninger viser at et utslipp i 45-60 m dyp vil sikre dette for vår-sommerhalvår-høst, samtidig som det øker vannfornyelsen mellom utslippsdypet og terskeldypet. I kalde perioder vinterstid kan imidlertid den vertikale sjiktningen i Belsvik være så svak at avløpsvannet ikke innlagres, men innblandes i overflatelaget selv ved utslipp i 60-70 m dyp. Vinterstid vil dette imidlertid ha minimal betydning for algeveksten i Belsvika. Fortynninga vil også være så stor (400-1000x) at slike situasjoner neppe vil merkes på overflatelaget.
5. Hvis man aksepterer et utslipp der avløpsvannet vinterstid iblant innblandes i overflatelaget, synes utslipp i 45-50 m dyp å være en god løsning. Eventuelt et litt grunnere utslipp med diffusor.
6. Alternativt bør utslippet flyttes helt ut av Belsvik, der vannutskiftningen er større og oksygenforholdene er bedre. Utslippsdypet kan være 35-45 m og med innlagring av avløpsvannet i 15-30 m dyp.

## 7. 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.

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.

Olsen, A.O., Arnkværn, G. og Johansen, P.-O., 2009. Marin miljøundersøkelse i Belsvik, Hemne kommune i 2008. Rapport fra UNIFOB og Aquakompetanse. Prosjektnr. 83-9-8c. 31 sider.

Skarbøvik, E., Stålnacke, P.G., Kaste, Ø., Selvik, J., Tjomsland, T., Høgåsen, T., Pengerud, A., Aakerøy, P.A., Haaland, S., Beldring, S. 2009. Riverine inputs and direct discharges to Norwegian coastal waters - 2008. SFT-report TA 2869/2009, NIVA-sno 8869, 78 pp. + Annexes.

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

Stigebrandt, A., Aure, J. og Molvær, J., 1992. Utprøving og kalibrering av terskelfjordmodellen. NIVA-rapport nr. 2701-1992. 66 sider.

Tjomsland, T., Selvik, J.R. og Brænden, R., 2010. Teofil. Model for calculation of source dependent loads in river basins. NIVA-rapport nr. 5914-2010. 58 sider.