

A26686 - Åpen

# Rapport

## Permaskjørt og merdmiljø

Permaskjørt A4

**Forfatter(e)**

Kevin Frank

Andreas M. Lien



# Rapport

## Permaskjørt og merdmiljø

Permaskjørt A4

EMNEORD:  
Havbruksteknologi  
Lakselus  
Presenning  
Oksygen  
Fullskala forsøk  
Simulering

**VERSJON**

1.0

**DATO**

2015-01-31

**FORFATTER(E)**Kevin Frank  
Andreas M. Lien**OPPDRAGSGIVER(E)**

Fiskeri- og Havbruksnæringsfond (FHF)

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Kjell Maroni

**PROSJEKTNR**

6020243

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

23

**SAMMENDRAG****Overskrift sammendrag**

Denne rapporten er en leveranse for aktivitet A4 i prosjektet Permaskjørt. Aktivitet 4 har fokusert på påvirkning på merdmiljø ved bruk av Permaskjørt som et tiltak for reduksjon av luspåslag. Spesielt hensyn er gitt til å dokumentere oksygentilsand i det skjermede merdvolumet. Data viser delvis lave oksygenverdier, noe som kan potensielt påvirke tilveksten og fiskens velferd.

Denne rapporten tar ikke hensyn til fiskeadferdsaspekter. For å få helhetsbildet, må en også se på resultater fra aktivitet A6 i Permaskjørt-prosjektet. Disse resultatene er dokumentert i en egen delrapport, samt i prosjektets sluttrapport.

I tillegg til dokumentasjon av miljøforholdene på ulike lokaliteter diskuteres det i rapporten tiltak for å øke oksygenmetningen i merder med skjørt. Det diskuteres modellforsøk, numeriske simuleringer, og en fullskala test med et kommersielt tilgjengelig produkt. Arbeidet viser at allerede kommersielt tilgjengelige produkter har potensiale til å bedre eventuelle dårlige oksygenforhold i merder med skjørt.

**UTARBEIDET AV**

Kevin Frank

**SIGNATUR****KONTROLLERT AV**

Zsolt Volent

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Arne Fredheim

**SIGNATUR****RAPPORTNR**

A26686

**ISBN**

978-82-14-05867-3

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2015-01-28	Versjon til intern kvalitetssikring

---

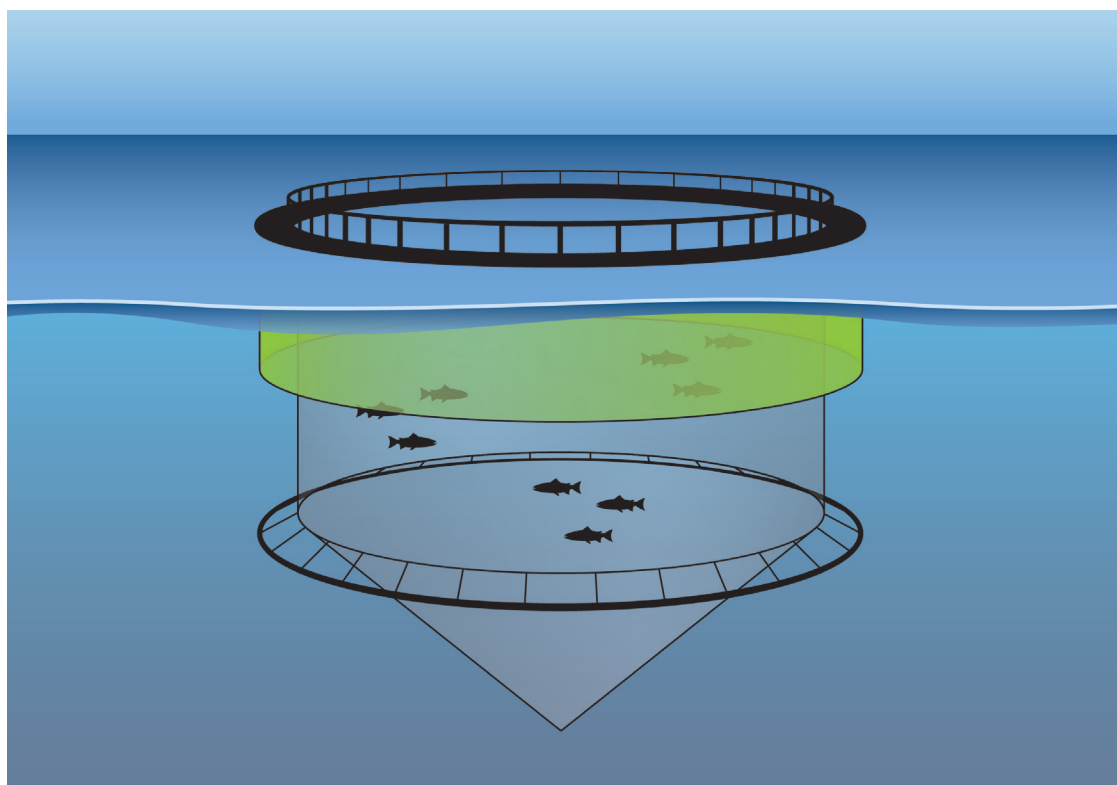
1.0	2015-01-31	Endelig versjon
-----	------------	-----------------

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Oksygen forhold ved bruk av Permaskjørt</b> .....	<b>5</b>
2.1	Bakgrunnskunnskap .....	5
2.2	Målinger ved ulike produksjonsforhold .....	6
2.2.1	Sinkaberg-Hansen .....	7
2.2.2	Ellingsen .....	10
2.2.3	Lingalaks.....	14
<b>3</b>	<b>Tiltak for å øke oksygenmetningen</b> .....	<b>17</b>
3.1	Modellforsøk med pumperør .....	17
3.2	Simuleringer .....	18
3.3	Fullskala forsøk.....	19
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>23</b>

## 1 Innledning

Lakselus er, sammen med rømming, regnet som en av de største utfordringene for havbruksnæringen. Innledende studier har indikert at et 5 m dypt permanent montert presenning-skjørt omkring den øvre delen av en oppdrettsmerd (figur 1) kan redusere luspåslaget på laksen. Målinger har vist at skjørtet påvirker vannmiljøet inne i merden, og det har vært nødvendig å studere disse påvirkningene ved ulike produksjonsforhold, slik at en med økt forståelse kan sørge for god og sikker produksjon når skjørt tas i bruk.



*Figur 1: Merd med påmontert skjørt (illustrasjon: SINTEF).*

Denne studien er en del av prosjektet "Permanent skjørt for reduisering av luspåslag på laks" (Permaskjørt) (#900711), som er finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) og norske industripartnere. Prosjektets styringsgruppe består av Kjell Braa, Botngaard AS, Finn Wilhelm Sinkaberg, Sinkaberg-Hansen AS, og Noralf Rønningen, Aqualine AS.

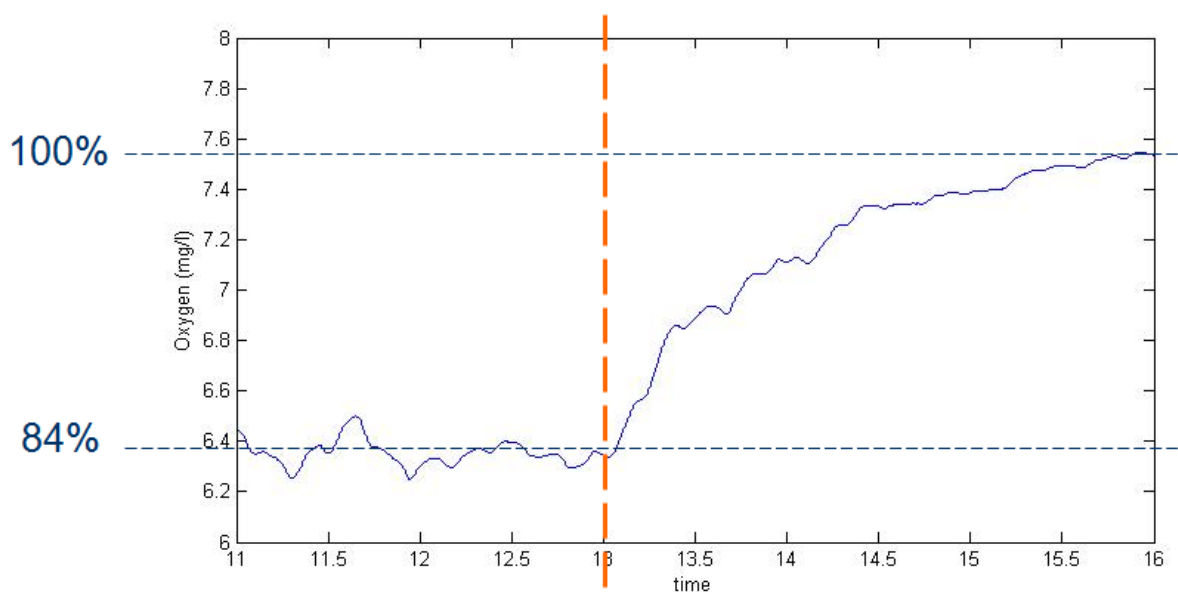
Takk rettes til ansatte i Sinkaberg-Hansen AS, Ellingsen Seafood AS, Lingalaks AS og Storvik Aqua AS for bistand i forsøksarbeidet.

## 2 Oksygen forhold ved bruk av Permaskjørt

### 2.1 Bakgrunnskunnskap

Tidligere forsøk med bruk av skjermende skjørt, slik som Permaskjørt, har vist at strøm, og dermed vannutskiftingsraten, inne i det skjermede volumet i merden blir redusert. Dette kan føre til et redusert oksygennivå i dette volumet sammenlignet med omgivelsene [FRA13]; [STI12]. I [FRA13] ble det brukt samme type skjørt som i forsøkene som omtales i denne rapporten; 5 m dype skjørt i et permeabelt tekstil, satt sammen av to overlappende deler. I [FRA13] ble det påvist omtrent 16 % lavere oksygennivå i det avskjermede volumet når skjørt var montert på merden, kontra uten (figur 2).

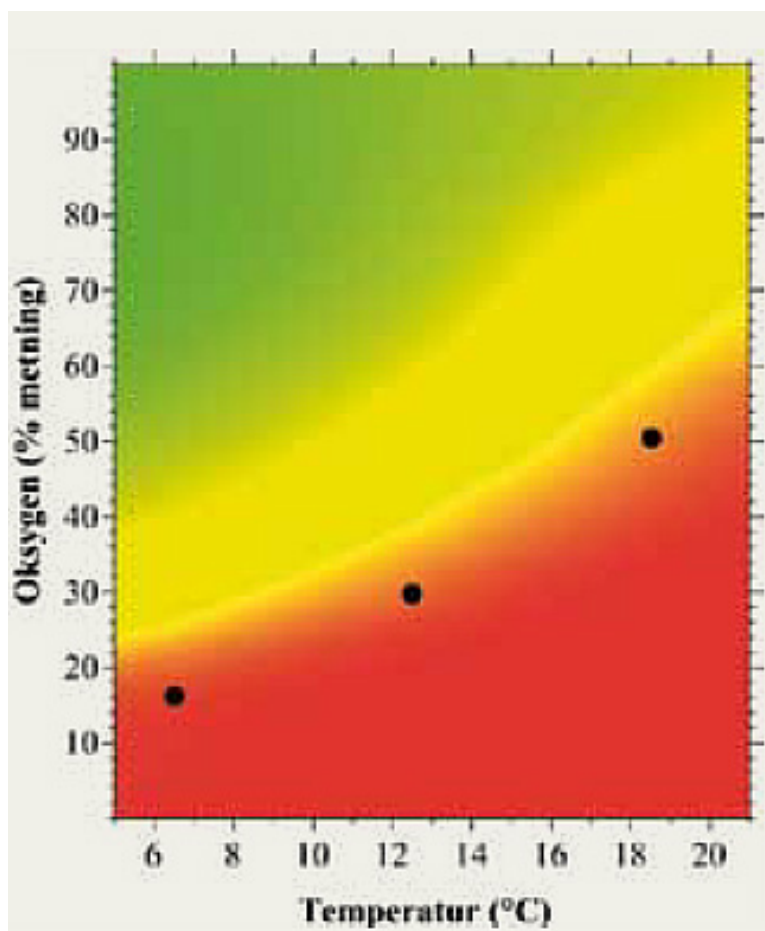
Oksygenforskjellen innfor og utenfor skjørtet er avhengig av flere faktorer. I stor grad er den avhengig av fiskens oksygenforbruk, som igjen er avhengig av fiskens adferd og fôring. I tillegg er vannutskiftingsraten en viktig faktor, som bestemmer transport av oksygenrikt vann inn i det skjermede merdvolumet. I store merder er det ikke en selvfølge at fisken er jevnt fordelt eller at strømmen er lik i alle delvolumene. Konsekvensen av dette er at oksygenivået kan variere betydelig i merdvolumet. Det er derfor viktig å måle på ulike steder i det skjermede merdvolumet for å få et mer detaljert bilde.



Figur 2: Gjennomsnittlig oksygennivå målt med 4 CTD med oksygensensorer i merd [FRA13]. Den oransje linjen viser tidspunkt da demontering av skjørtet begynte. Hvis man går ut fra at merdens normale oksygennivå var blitt oppnådd på slutten av måleperioden (16 h), kan man si at 84 % av mulig oksygenforhold ble observert da skjørtet var montert.

Ulike referanser, som nevnt i [OP1 1a], rapporterer ulike grenser på oksygenivå for når laksen begynner å stresse. Oksygenivå blir i den sammenheng angitt i to ulike måleenheter; oksygenkonsentrasjon [mg/l] og oksygenmetning [% metning]. Oksygenmetning er prosentvis tilgjengelig oksygen i forhold til maksimal oksygenkonsentrasjon som er mulig å løse inn i vannet ved en gitt temperatur. For eksempel krever fisken > 40 % metning ved 6 °C og > 70 % metning ved 19 °C for at den skal ha optimale forhold (figur 3). Oksygenkonsentrasjonen bør ikke være lavere enn henholdsvis 4 eller 5.3 mg/l ved disse temperaturene for at man skal være sikker på at fiskens helse ikke påvirkes. Ved en temperatur på 11 °C (som ved forsøk diskutert i denne rapporten) vil det kreves minst 50 % metning og 4.4 mg/l for at fisken skal ha det bra. En

skal også i denne sammenhengen ta hensyn til at signifikant reduksjon i fôrinntak på grunn av for lavt oksygennivå også gir redusert vekst. Dette har blitt påvist ved høyre oksygenkonsentrasjoner [REM12].



Figur 3: Vurdering av temperatur- og oksygenforholdenes betydning for velferd og ytelse hos laks, der punktene indikerer nedre grenser for kritisk oksygenmetning for fullfôret laks på omtrent 400 g. Fargene viser optimale (grønn), suboptimale (gul), toleransegrense (oransje) og kritiske (rød) forhold. Merk at grensen mellom gul og grønn sone er usikker [OP11b].

## 2.2 Målinger ved ulike produksjonsforhold

For å få oversikt over oksygentilstand i merder som bruker skjørt har det blitt gjennomført målinger på tre ulike anlegg. Anleggene representerer et utvalg av forskjellige merdstørrelser, biomasser og lokalitetsforhold som finnes i næringen. Måleoppsettet ble flyttet rundt mellom anleggene, slik at det ble foretatt målinger i ulike årspersioder ved de tre anleggene. Hensikten med å gjennomføre målinger i fullskala, mens det foregår lakseproduksjon, er å dokumentere oksygenforholdene under realistiske forhold.

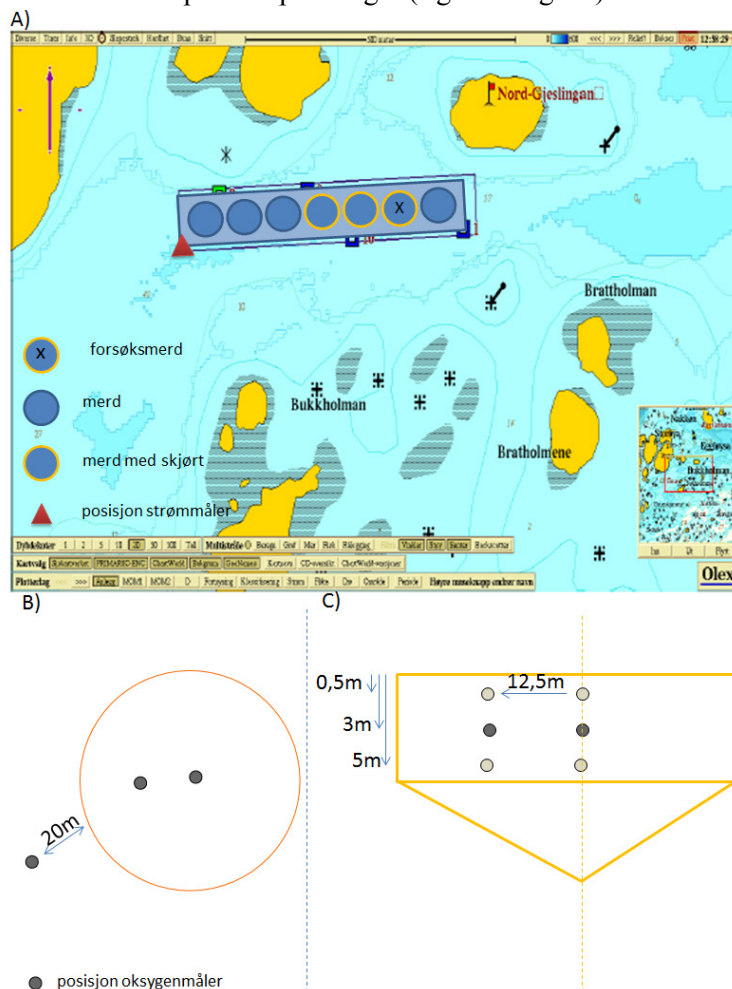
Oksygen og strømforhold ble målt i hele forsøksperioden, og CTD-profiler (Salinitet/Temperatur/Dybdeprofil) ved forsøkets start fra forsøksmerdens gangbane. Til måling av oksygen ble enten 5 eller 6 oksygenoptoder fra Aanderaa benyttet med en AADI Datalogger 3660 for å lagre dataene. Optodene har en nøyaktighet på 5.2 % av målerverdien, men ikke mindre enn 0.28 mg/l. Strømforhold ble målt enten med en Aquadopp strømmåler (2 MHz) eller med en Aquadopp ADCP (1 MHz) fra Nortek, som begge også måler temperatur. CTD-profilene ble målt med en CAST-AWAY fra YSI, som har en nøyaktighet i salinitet på  $\pm 0.1$  PSU (Practical Salinity Unit), temperatur på  $\pm 0.05$  °C og dybdenøyaktighet på  $\pm 0.25$  m.

## 2.2.1 Sinkaberg-Hansen

### a) Forsøksoppsett

Det ble gjort forsøk hos Sinkaberg-Hansen på lokaliteten Nordgjæslingan i perioden 25.06.13 – 02.07.13. Lokaliteten hadde skjørt på 3 av 6 merder. Merdene på lokaliteten hadde 157 m omkrets, 5 m sidevegg og en total dybde på 20 m. I forsøksmerden var det 176 282 laks med en total biomasse på 47 674 kg (snittvekt = 270 g) i følge produksjonsstyringssystemet.

Strømforhold ble målt med Aquadopp strømmåler i 5 m dybde ved det sørvestlige hjørnet av fortøyningsrammen (figur 4A). Til måling av oksygen ble det benyttet 5 optoder. En optode ble plassert 20 m sørvest for forsøksmerden på 5 m dybde som en referanse og indikator på omgivelsenes oksygeninnhold. De øvrige fire optodene ble plassert i merden i to forskjellige målekonfigurasjoner. I første omgang ble to av optodene plassert på 5 m og de andre to på 3 m i en måleperiode på 3 dager. Fra 28.06 kl. 13:00 ble optodene på 5 m flyttet opp til 0.5 m for en måleperiode på 4 dager (figur 4B og 4C).



Figur 4: Forsøksoppsett. A) plassering av anlegget merdene med skjørt markert med gult, forsøksmerd merket med X og strømmåler markert med en trekant. B) viser forsøksmerd sett ovenfra (samme orientering som i A) med indikasjon av posisjonene til oksygensensorene. C) viser tverrsnitt av merden langs plasseringsaksen av de fire oksygensensorene, optodene på 3 m stod i hele måleperioden mens optodene på 5 m ble flyttet opp til 0.5 m den 26.06.13 kl. 13:00.



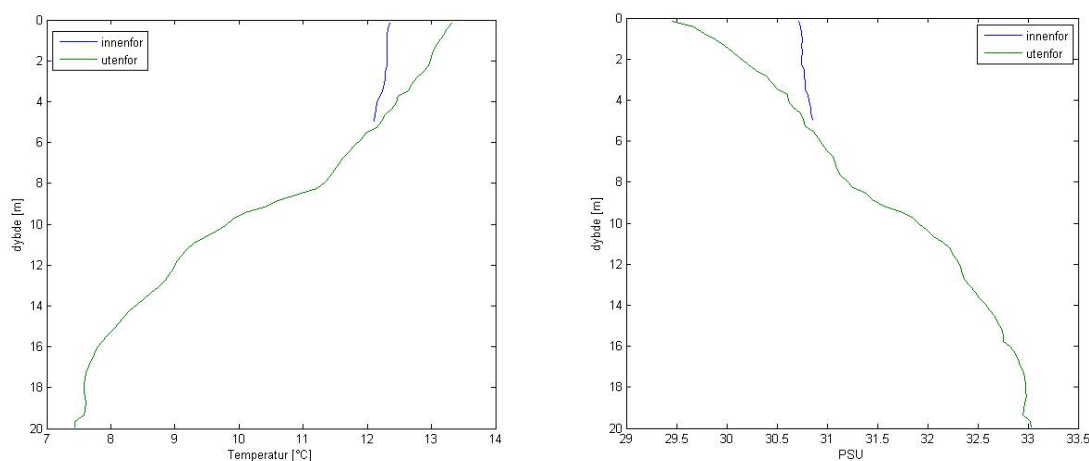
### b) Resultater og diskusjon

Det ble ikke observert et tydelig sprangsjikt på Nordgjæslingan. Allikevel indikerer forskjellen i salinitet og temperatur innenfor og utenfor skjørtet at disse miljøvariablene varierer med tiden (figur 5 og 6). Det skjermede volumet virker i denne sammenheng som et reservoar med lav vannutskiftingsrate.

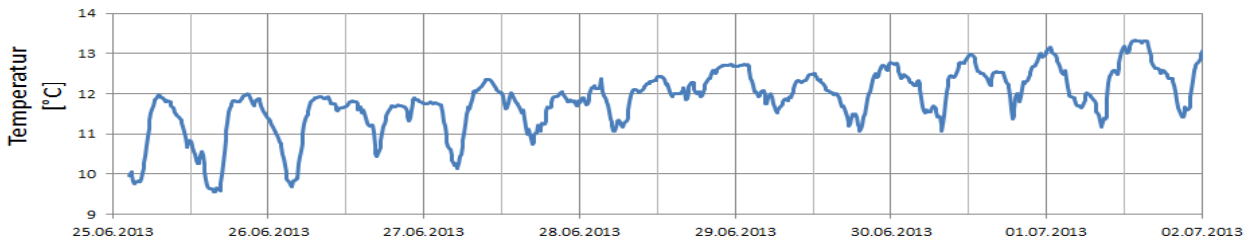
Lokale minima i temperaturseriene fra strømmålingene oppstår omtrent hvert 12.5 time som gjenspeiler tidevannssyklusen. Dette vises også i dataserien fra strømmåleren, for eksempel 26.06 da en finner omtrent 4 maksima i hastigheten og 4 strømrørninger i løpet av 25 timer (figur 7). I denne perioden ser det ut til at kyststrømmen hadde lav hastighet slik at tidevannsstrømmen ser ut til å ha dominert. I andre perioder var kyststrømmen sterkere, for eksempel 30.06-01.07, da en kun kan se to hastighetsmaksima i samme retning i løpet av 25 timer.

Det er vanskelig å forklare oksygenvariasjonene i merden fordi den er sterkt avhengig av strømsituasjonen, oksygenproduksjon fra planteplankton og av fiskens forbruk, som igjen er avhengig av mange faktorer, som føring og svømmeaktivitet. Selv om det er en del ukjente parametere som er nødvendig for å forklare detaljene, kan en gjøre følgende tolkninger av oksygendata: Oksygenkonsentrasjon fluktuerer i det skjermede volumet i løpet av døgnet. En årsak til dette kan være at fisken samler seg ved overflaten på natten [JOH06]. Reduksjonen i oksygenverdiene ble målt rundt kl. 00:00 hver dag som kan skyldes fiskens migrasjon til overflaten. I tillegg kan en se effekten av føring [KLE14] rundt kl. 12:00 (figur 8).

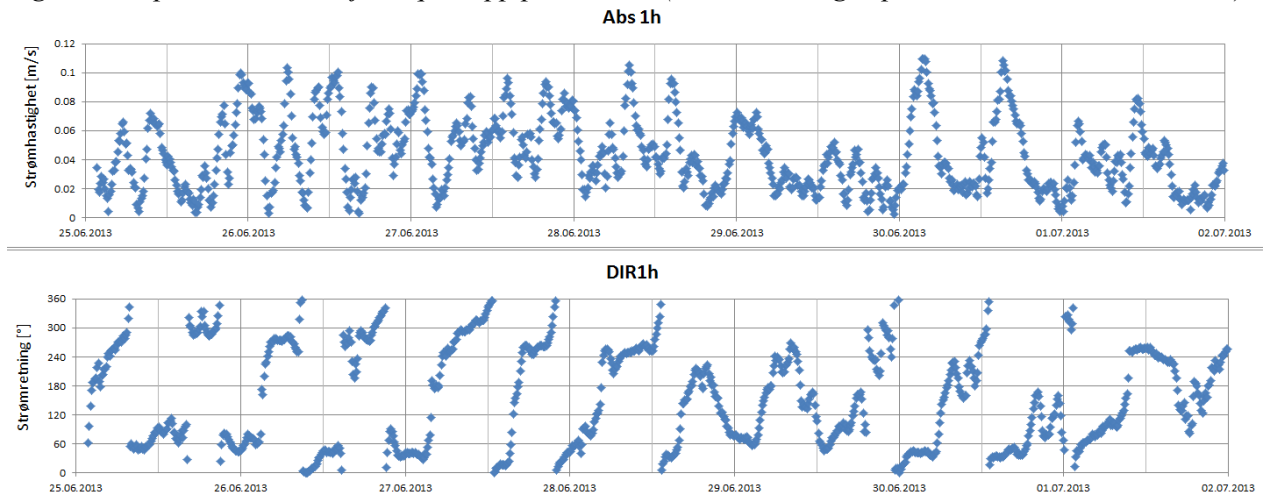
Strømmen gir ulik vannutskiftingsrate i merden, også i det skjermede volumet, der høyere strøm gir høyere vannutskiftingsgrad. Slik det er beskrevet ovenfor, er oksygenkonsentrasjonen avhengig av vannutskiften. Derfor oppstår mange strøm- og oksygenmaksima i merden samtidig, for eksempel i tiden 30.06-01.07. På samme måte oppstår mange minima i oksygenkonsentrasjonen ved lav strømhastighet.



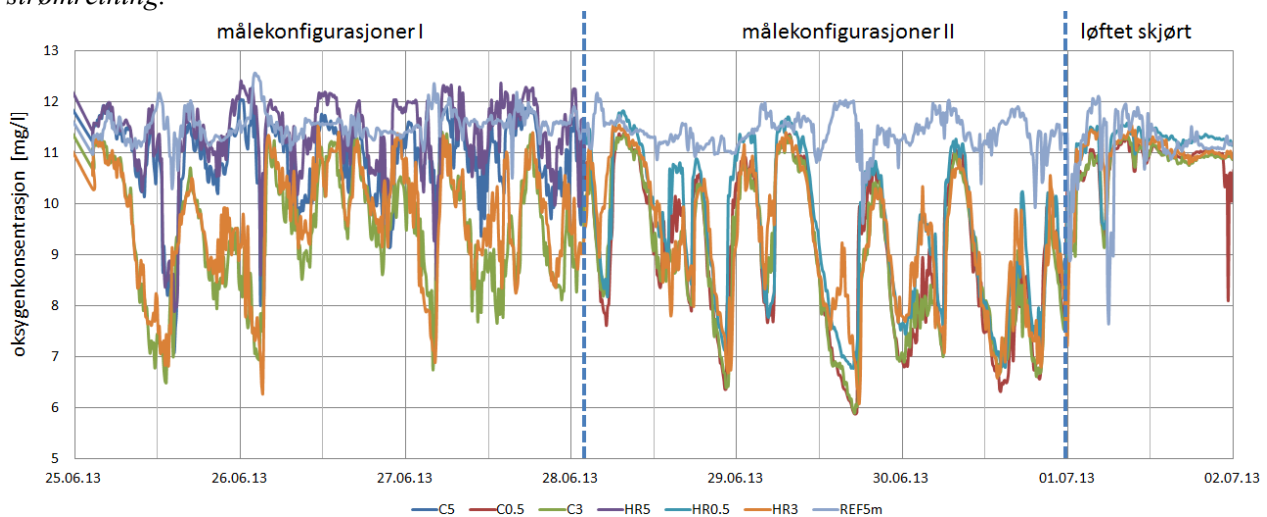
Figur 5: Temperatur-dybde- (venstre) og Salinitet-dybde-profil (høyre) målt innenfor og utenfor skjørtet.



Figur 6: Temperaturtidserien fra Aquadopp punktmåler (datomarkeringen på x-aksen indikerer kl. 12:00).



Figur 7: Strømsituasjonen ved Nordgjæslingen i måleperioden (datomarkeringen på x-aksen indikerer kl. 12:00) - Abs1h: timesgjennomsnitt av strømhastigheten i 5m dybde på målested; DIR1h: timesgjennomsnitt i strømretning.



Figur 8: Oksygen [mg/l] målet med to ulike målekonfigurasjoner (28.06 kl. 13:00 ble optodene på 5 m flyttet opp til 0.5 m) og periode med løftet skjørt (fra 01.07 omtrent kl. 12:00, at C0.5 data droppet helt på slutten er en måleartefakt). Betegnelser: C=sentrum, H= halv-radius, tallene bak er sensorens dybde i meter, REF=referansemåling på utsiden av merden.

Når man tar oksygendataene fra utsiden av skjørtet med i diskusjonen blir det klart at dersom strømmen er høy blir forskjellen i oksygenkonsentrasjonen redusert mellom utsiden og innsiden av skjørtet.

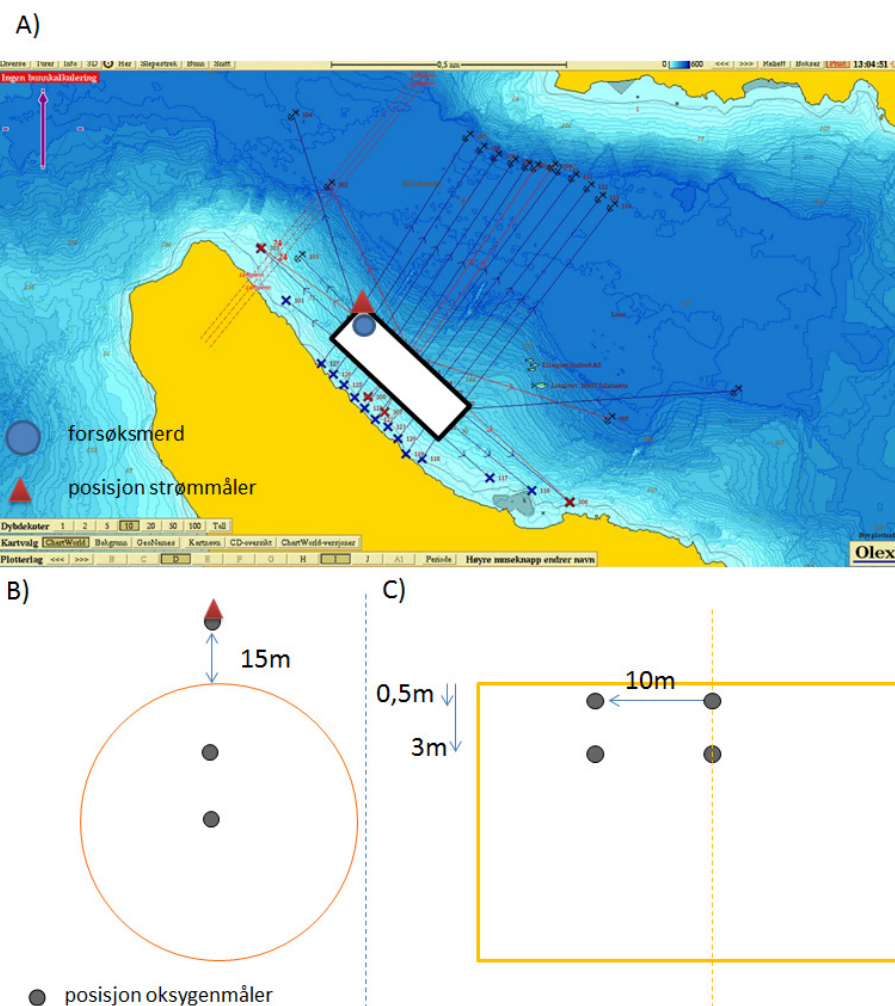
Differansen mellom referansen og målinger på 5 m dyp er mindre sammenlignet med differansen mellom referansen og målingene på 0.5 m og 3 m. Dette viser at oksygenforholdene i merd med skjørt varierer. I forsøket ble det målt 40 % lavere oksygenkonsentrasjon i det skjermede merdvolumet på 3 m dybde sammenlignede med oksygenverdier i skjørtekantens dybde på 5 m i sentrum av merden på samme tidspunkt.

Den laveste målte oksygenkonsentrasjonen var 5.9 mg/l i sentrum av merden, som tilsvarer 67 % metning ved 11 grader. Dette er forhold som kan vurderes til ikke å være helsefarlig for fisken, men som kan ha en effekt på tilvekst. Samtidig ble det målt 12 mg/l ved referansen utenfor merden, noe som vil si at det skjermede volumet i merden med skjørt hadde 49 % lavere oksygenkonsentrasjon enn omgivelsene. At forskjellen mellom referansemålingene og målingene inne i merden er en konsekvensen av skjørtet ble verifisert da skjørtet kl. 12:00 01.07 ble hevet opp, og oksygennivået inne i merden økte etter kort tid til å tilsvare oksygennivået utenfor.

## 2.2.2 Ellingsen

### a) Forsøksoppsett

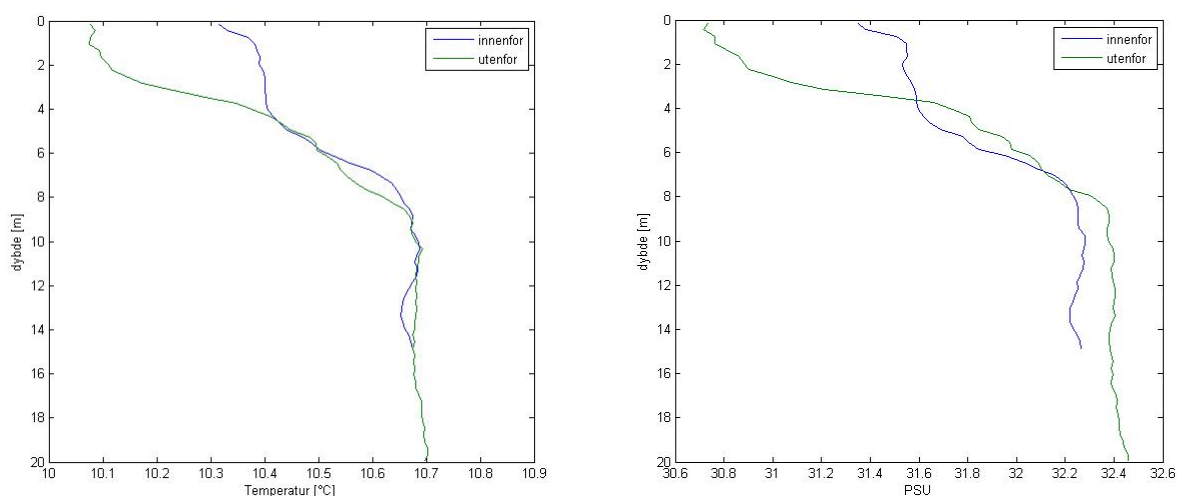
Det ble gjennomført målinger ved Ellingsen sitt anlegg på Salaluokta i perioden 01.10.14 – 16.10.14. I produksjonsstyringssystemet var det på det tidspunktet registrert 55 635 fisk med en total biomasse på 72 331 kg (snittvekt = 1.3 kg) i forsøksmerden. Merden hadde en omkrets på 102 m og en dybde på 15 m. Alle merdene i anlegget hadde skjørt. Den nordligste merden ble valgt som forsøksmerd. Strøm ble målt med Aquadopp ADCP plassert på 20 m dyp omtrent 15 m nord for forsøksmerden. En oksygenmåler ble plassert som referanse på 5 m dybde ved strømmåleren. Fire oksygenmålere ble plassert inne i merden der to ble plassert på 0.5 m dyp i henholdsvis senter og ved halve radiusen av merden, og to ved 3 m dyp under målerne på 0.5 m dybde (figur 9).



Figur 9: Forsøksoppsett på lokalitet Salaluokta. A) plassering av anlegget og forsøksmerd, samt strømmålerposisjonen. B) posisjonen til oksygensensorer sett ovenfra (samme orientering som i A). C) tverrsnitt av merd langs sensorutplasseringsaksen.

b) Resultater og diskusjon

Målingene av temperatur og salinitet viser en klar forskjell mellom målingene inne i og utenfor merden med skjørt (figur 10). Forskjellen skyldes at vannutskiftingen inne i merden er liten, mens utenfor vil den variere med tidevannet.



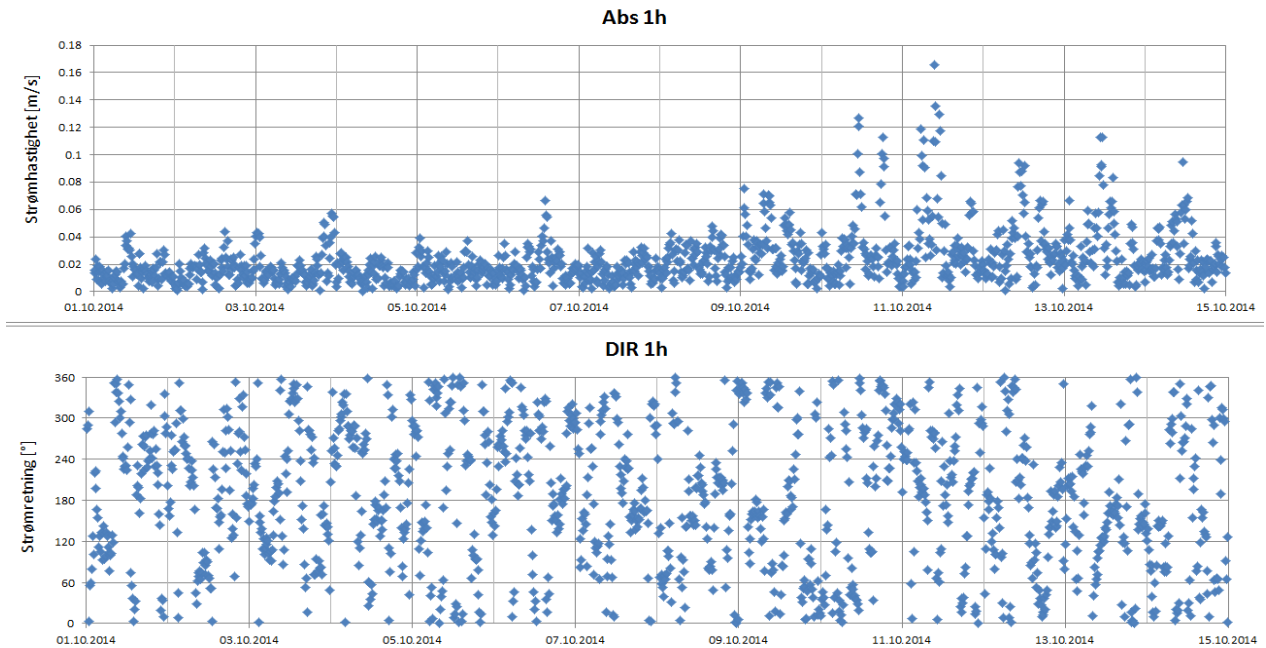
Figur 10: Dybdeprofiler tatt utenfor og innenfor skjørtet, temperatur (venstre) og salinitet (høyre).

Profilene viser et klart utpreget sprangsjikt mellom 4 og 8 m, der temperaturen minker og saliniteten øker raskt. Dette sprangsjiktet forventes å variere med tidevannet siden lokaliteten er i en fjord. Sprangsjiktet vil være mindre tydelig ved fløende sjø.

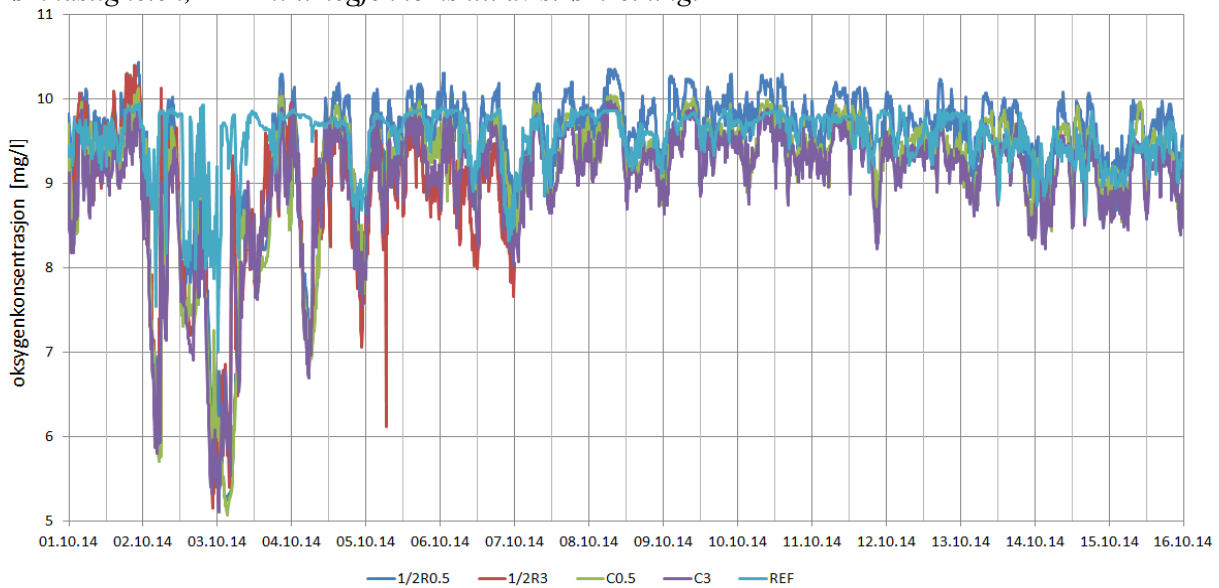
Strømhastigheten målt i perioden viser stor variasjon (figur 11). Frem til 04.10 er det lave hastigheter, da tidevannsforskjellen er på det laveste (nipp) (se også data på <http://www.sehavniva.no>). Etter denne datoen er det økende strømhastigheter. Lavere strømhastighet betyr vanligvis mindre vannutskifting i det skjermede volumet, og konsekvensen av dette blir da lavere oksygenkonsentrasjon ved samme biomasse og biomassefordeling. Derfor kan en finne igjen de periodene med lave eller økende strømhastigheter i oksygenmålingene. Lave oksygennivå er målt i begynnelsen av måleperioden og høyere oksygenverdier er blitt målt etter 04.10. Tidspunktene for lokale minima i oksygenverdiene i hele måleperioden kan, som diskutert tidligere, begrunnes med effekten av høy fisketetthet om natten og føring.

Den laveste oksygenkonsentrasjonen i måleperioden var på 5.2 mg/l, som tilsvarer 59 % metning ved 11 °C (figur 12). På dette tidspunktet viste referansemålingene 9.9 mg/l. Det vil si at oksygenkonsentrasjonen innenfor merdvolumet var 53 % av oksygennivået utenfor. Dette viser at i noen perioder med lave strømhastighet, kan skjørtet ha en stor påvirkning på fiskens vannmiljø.

Sammenlignet med data fra Nordgjæslingan er forskjellen i oksygenivå mellom innenfor og utenfor merden liten ved tilsvarende strømhastigheter. Dette er overraskende siden fisken var større og biomassen høyere ved Salaluokta. Det må for øvrig legges til at fisken på Salaluokta hadde omtrent 22 % mer merdvolum tilgjengelig under skjørtekanten, og antall fisk var kun en tredel av de på Nordgjæslingan.



Figur 11: Strømforhold i forsøksperioden målt i 7 m dybde - Abs 1h: timesgjennomsnittet av strømhastigheten; DIR 1h: timesgjennomsnitt av strømretning.

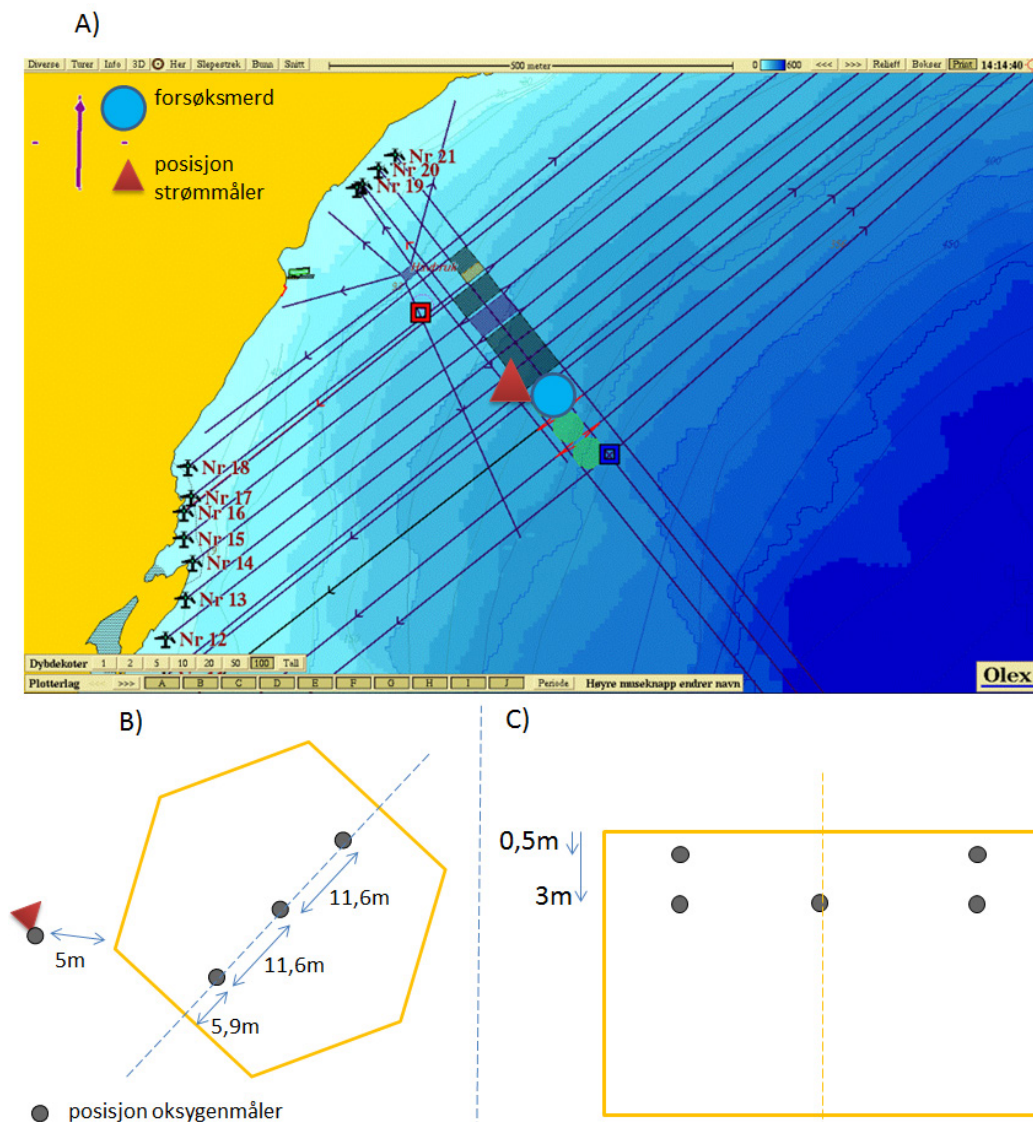


Figur 12: Oksygendata [mg/l] målt i en to ukers periode på Salaluokta. Betegnelser: C=sentrum, 1/2R= på halv-radius, tallene bak indikerer dybden til sensorene i meter, REF=målingen tatt utenfor merden (se også figur 9B og 9C) (1/2R3 ble ødelagt under forsøket).

## 2.2.3 Lingalaks

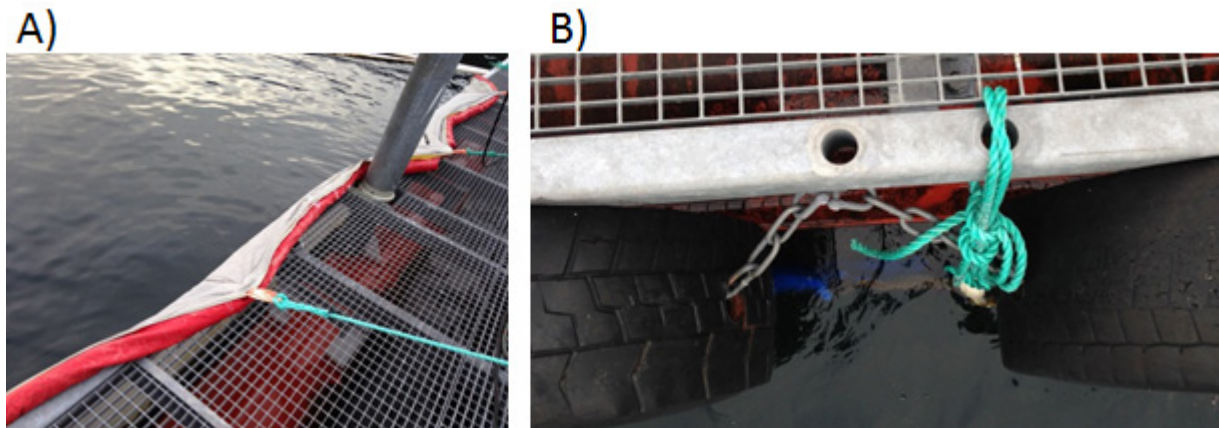
### a) Forsøksoppsett

Det ble gjennomført forsøk ved Lingalaks sitt anlegg på lokaliteten Saltkjelen. Anlegget bestod av 10 firkantede stålmerder og to 8-kantede stålmerder. Det var montert skjørt på en av de to 8-kantede stålmerdene. Denne merden hadde en notpose med 35 m diameter, 20 m sidevegg og med en spiss ned til 36 m dyp. Forsøksperioden var 23.11.14 – 09.12.14. I forsøksmerden var det 76 650 laks med en total biomasse på 186 259 kg (snittvekt = 2.43 kg) i følge produksjonsstyringssystemet. Strømforholdene ble målt med Aquadopp ADCP plassert på vannoverflaten omtrent 5 m vest for forsøksmerden. fem optoder ble plassert inne i merden; tre på 3 m dyp og to på 0.5 m dyp. En optode ble plassert sammen med strømmåleren utenfor merden på 5 m dyp som referanse (figur 13).



Figur 13: Instrumentering på Saltkjelen hos Lingalaks. A) plassering av anlegget med topografi, samt forsøksmerd og posisjon til strømmåleren. B) plassering av oksygensensorer i forsøksmerden (lik orientering som A). C) tverrsnitt av merd langs akse av sensorenes utplassering.

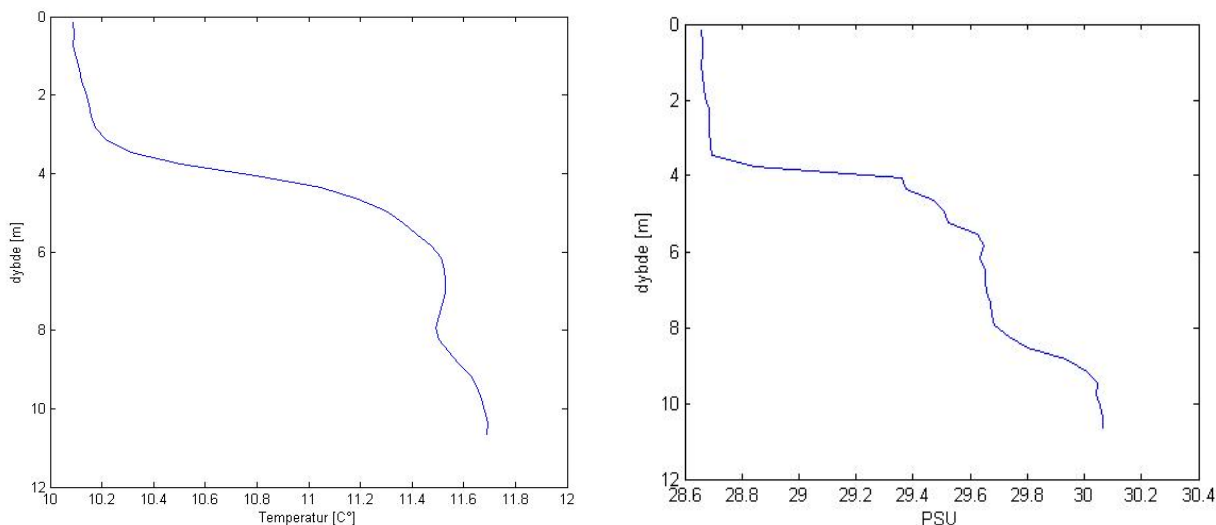
Skjørtet på denne lokaliteten var ikke montert som beskrevet i brukerhåndbok. Noen steder var skjørtet heist høyere, slik at det ikke hadde en enhetlig dybde. Andre steder var skjørtet senket under overflaten slik at vannet kunne strømme over (figur 14).



Figur 14: Eksempler på skjørtets montering på to steder på forsøksmerden. A) skjørtet dratt for høyt opp. B) skjørtet montert under vannoverflaten.

#### a) Resultater og diskusjon

På Saltkjelen ble det målt CTD-profiler flere ganger over en halv tidevannssyklus (figur 15). Se Kapittel 3.3.b for mer detaljerte diskusjon av CTD-profiler og tidevann ved lokaliteten Saltkjelen.

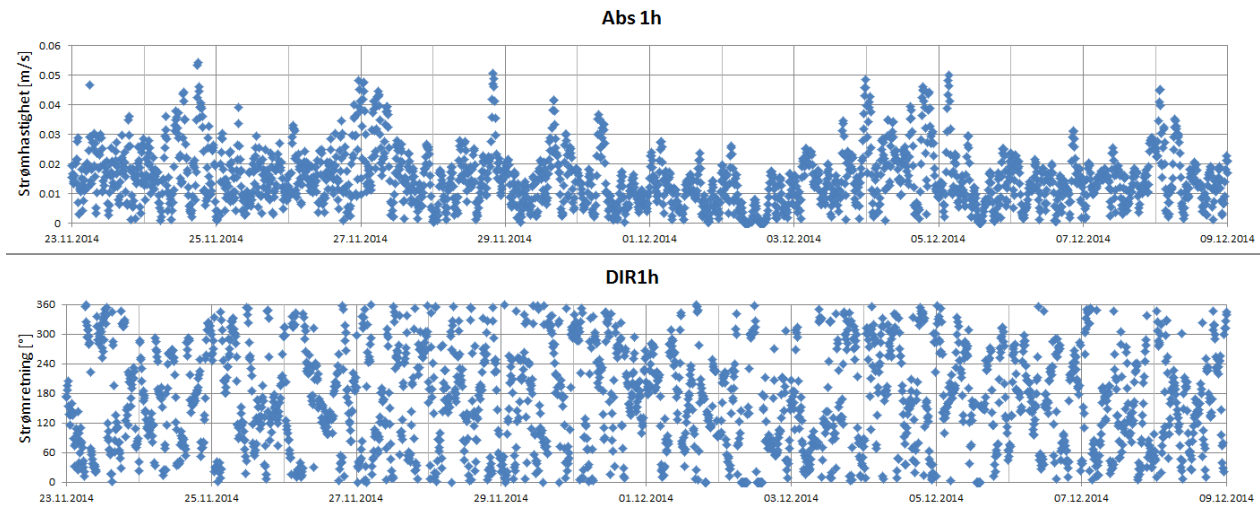


Figur 15: Temperatur-dybde- (venstre) og Salinitet-dybde-profil (høyre) tatt på utsiden av skjørtet.

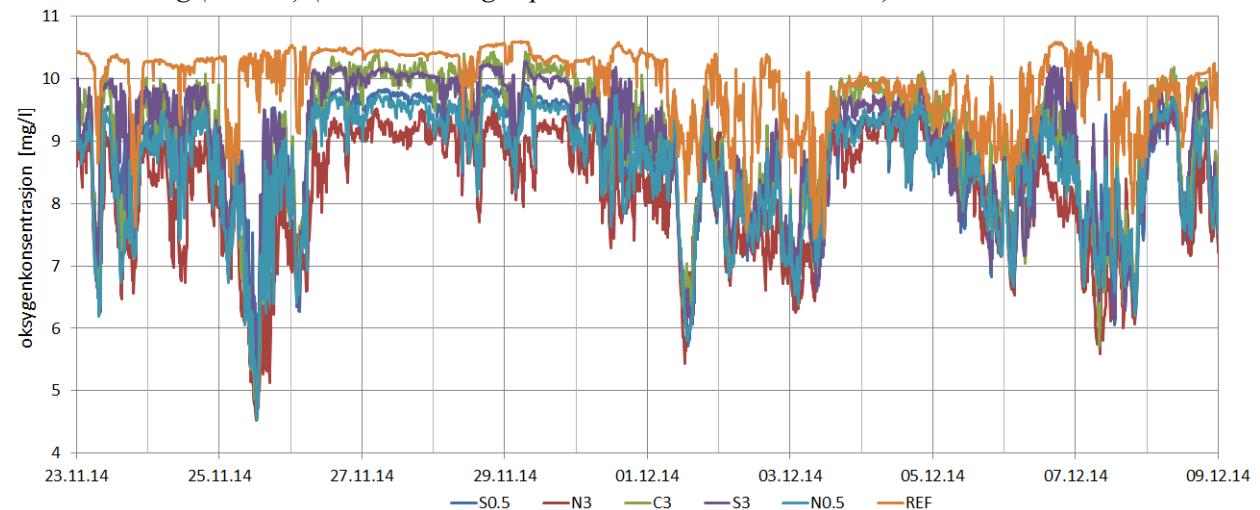
Strømhastighetene som ble målt på Saltkjelen var lave (figur 16) og retningsdata til disse har dermed mindre nøyaktighet. I tillegg ble det observert store virvler i vannet som sannsynligvis dominerte strømbildet på grunn av mangel på tydelig strøm. Dataene gir uansett mulighet for å skille mellom perioder med lave eller økende strømhastigheter som kan korreleres med vannutskiftingen i det skjermede volumet. Som en konsekvens finnes det ingen lave oksygenverdier sent 27.11 og tidlig 05.12 da strømmen var noe økende (figur 16 og 17).



De laveste oksygenverdiene ble målt til 4.7 mg/l (53 % metning ved 11 °C) på samme tidspunkt som referansemålingen viste 10.4 mg/l. Oksygenkonsentrasjonen i merden tilsvarte dermed 45 % av den utenfor merden. Skjørtet på denne lokaliteten hadde den største påvirkningen på merdmiljøet av forsøksmerdene. Merden var dyppest av alle forsøksmerdene og hadde den høyeste biomassen. Her var også den laveste strømhastigheten.



Figur 16: Strømdata fra 3m dypde. Timesgjennomsnittet av strømhastighet i m/s (øverst). Timesgjennomsnitt av strømretning (nederst) (datomarkeringen på x-aksen indikerer kl. 12:00).



Figur 17: Oksygenforhold i merd (C = sentrum, N = nordlig del, S = sørlig del, av forsøksmerd der tallene indikerer dybden til oksygensensorene i meter, og ved REF er referanse (se også figur 13B og 13C)).

Effekt fra natt og fôring var ikke tydelig i denne dataserien.

En stor del av tiden var forskjellene mellom resultatene fra optodene i merden relativt konstant. Dette kan skyldes en teknisk feil. Det ble benyttet en annen Datalogger 3360 ved dette forsøket enn ved de andre som kan ha påvirket dataserien.

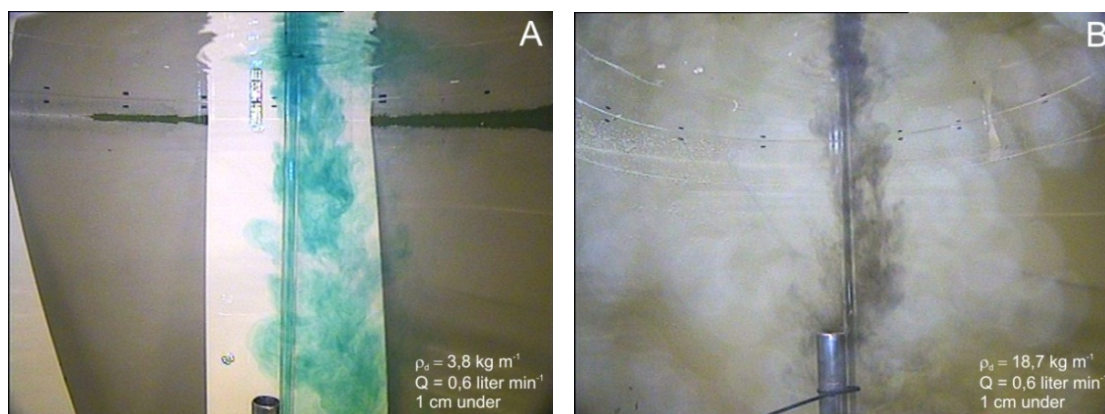
### 3 Tiltak for å øke oksygenmetningen

Hvis det ved bruk av et skjermende skjørt oppstår oksygenivåer som er farlig for fisken, må en ha mulighet til forbedrende tiltak. Det er alltid mulig å fjerne skjørtet, men konsekvensen kan da være at en får ekstra luspåslag. Alternativt kan en bruke andre løsninger for å øke oksygenivået i det skjermede vannet. To kriterier må oppnås med nye løsninger. For det første må det tilføres oksygen dit det trengs. Basert på forsøkene kan man anta at behovet for oksygen først og fremst er i de øverste vannlag i merden ([FRA13],[LIE12]). Videre må en tilføre nok oksygen inn i dette vannvolumet. Hvor mye som er nok, er avhengig av fiskens forbruk, oksygenivå i vannet i utenfor merden og gjennomstrømningen i merden. I tillegg kan vannstrømmene ved uheldig valg av tilsetningssted, potensielt transportere oksygen ut av det skjermede volumet, i motsetning til helt lukkede systemer som avlusingspresenninger.

#### 3.1 Modellforsøk med pumperør

Som et tiltak for å øke vannutskiftingen i merder med påmontert skjørt ble det tidlig vurdert å pumpe vann gjennom et vertikalt, midtstilt rør, fra dypere vannlag og opp til overflaten [LIE11]. Ettersom vann fra dypere vannlag kan ha annen temperatur, saltholdighet, og dermed tetthet, er spørsmålet hvorvidt vannet fordeler seg i overflaten eller synker ned langs røret. Et forsøk i skala 1:100 har blitt gjennomført der vann med ulik temperatur og saltholdighet ble pumpet opp i midten av en modellmerd. Konditorfarge ble benyttet for å visualisere fordelingen av vannet som ble pumpet opp (figur 18). Forsøket tok ikke hensyn til fullskalaeffekter som bølger, vannstrømmer og fiskens svømmeaktivitet. Vannet benyttet i forsøket hadde ulike tetthetsgrader innenfor de relevante yttergrensene.

Resultatene fra forsøket indikerer at vann pumpet fra dypere vannlag, som har høyere tetthet enn vannet i overflaten, raskt vil synke ned langs røret uten å fordele seg i den øverste delen av merden. Til tross for at fullskalaeffekter som bølger og strøm ikke er inkludert i forsøket, antas det at disse effektene ikke vil være tilstrekkelige til at vannet vil blandes ut i hele det avskjermede volumet. Det ble derfor valgt å ikke gå videre med denne løsningen i prosjektet.

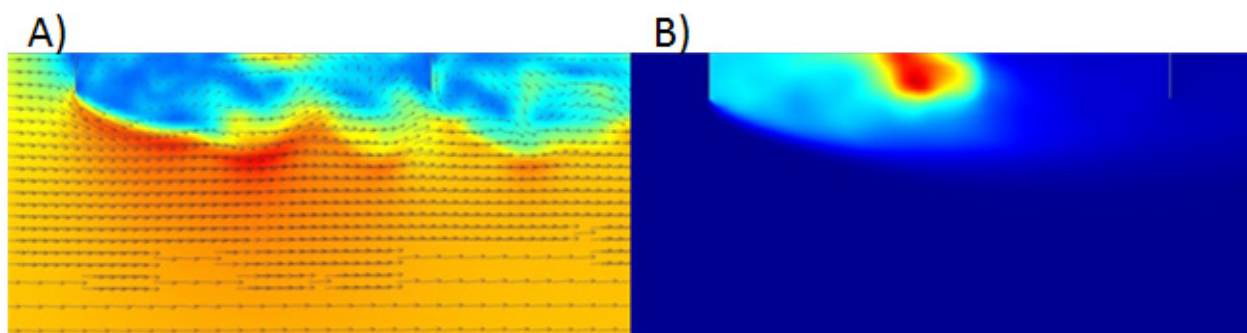


Figur 18: A) forsøk med  $\rho_d = 3,8 \text{ kg m}^{-3}$ , volumstrøm på  $Q = 0,6 \text{ liter min}^{-1}$ . B) forsøk med  $\rho_d = 18,7 \text{ kg m}^{-3}$ , volumstrøm på  $Q = 0,6 \text{ liter min}^{-1}$ .

### 3.2 Simuleringer

For å undersøke hvordan skjørtet påvirker oksygenforholdene i merden sammen med fiskens oksygenforbruk, og hvordan man best kan tilsette oksygen for å øke oksygenkonsentrasjonen i problemområdene ved ulike fiskeadferd, har det blitt utført "Computational Fluid Dynamics" (CFD)-simuleringer i Open-Source programmet Gerris Flow (figur 19).

I simuleringene ble det benyttet en merd med diameter 50 m og et skjørt ned til 5 m dybde. Det ble undersøkt tre ulike scenarier for hvordan fisken oppfører seg; ett scenario der fisken er helt jevnt fordelt i hele merden fra 0 til 10 m dybde, ett scenario der halvparten av fisken oppholder seg i den indre tredjedelen av diameteren (for å simulere fôring), og ett scenario der det ikke er noe fisk i den innerste tredjedelen av diameteren (for å simulere at fisken svømmer i stim). Videre ble det også undersøkt tre ulike scenarier for tilsetning av oksygen i merden; fra en diffusor i senter av merden på 10x10 m, langs et to m bredt belte rundt hele merdens kant og fra en 2 m bred linje tvers over merden på tvers av strømmen. All oksygentilsetning skjedde fra 5 m dyp og oppover for å simulere oksygenbobler fra en diffusor på 5 m dyp.



Figur 19: A) Bildet viser hvordan strømbildet er rundt skjørtet. Blått indikerer lavere strømhastighet. B) Bildet viser hvordan oksygen, fra en diffusor i midten av merden på 10x10 m på 5 m dyp, fordeler seg i merden.

Mengden tilsatt oksygen for å holde oksygenkonsentrasjonen over 6.5 mg/l, når det omliggende nivået er på 7.5 mg/l, ble beregnet ut fra at det var 140 000 fisk i merden. To ulike strømhastigheter og to ulike fiskestørrelser (og dermed også oksygenbehov) ble testet. Resultatene viste at det er størst behov for oksygen med stor fisk og svak strøm, og at i alle tilfeller vil det være best med en 10x10 m oksygendiffusor på 5 m dybde i senter av merden ut av de konfigurasjonene som ble testet. For en strøm på 0.3 m/s og fisk som forbruker 4.0 mg oksygen per kg fisk per minutt er det nødvendig å tilsette hele 57 kg oksygen per time for opprettholde en oksygenkonsentrasjon på 6.5 mg/l. En diffusor i senter fungerer omtrent like bra for alle de tre scenariene for fordeling av fisken i merden.

### 3.3 Fullskala forsøk

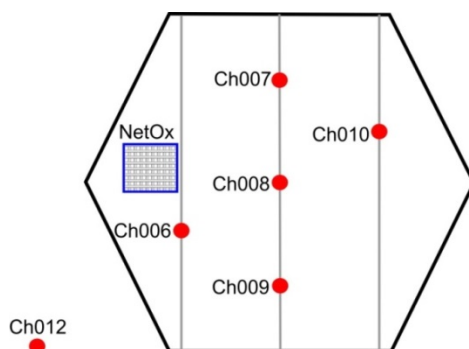
#### a) Forsøksoppsett

Forsøk med oksygentilsetting i merd med montert Permaskjørt (figur 20) har blitt gjennomført ved lokalitet Saltkjelen i samme forsøksmerd som tidligere beskrevet (kapitel 2.2.3).



Figur 20: Forsøksoppsett. A) oksygenpakke på merdkanten. B) merd med blåser som indikerer optodeposisjonene.

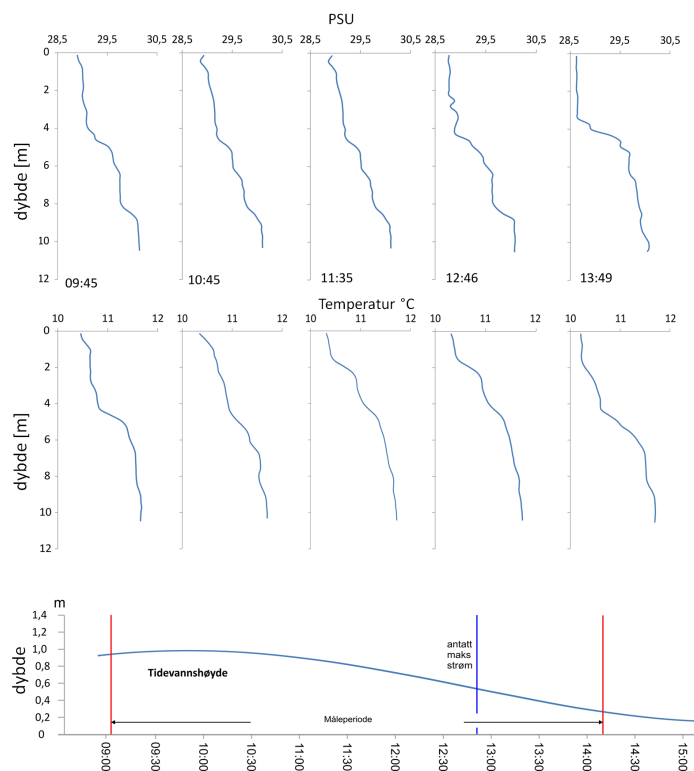
Optodene ble fordelt slik som vist i figur 21. For tilsetting av oksygen ble det brukt en 10x10 m NetOx fra Storvik Aqua AS. Systemet ble brukt uten regulator, og oksygenstrøm ble satt konstant til 42 kg/h. NetOx-systemet ble plassert omtrent i 5 m dybde i 5 m avstand fra gangbanen (figur 20). Oksygenstrømmen ble til sammen slått på og av 4 ganger i forsøksperioden. Under forsøket ble det også tatt diverse CTD-profiler. Føring ble gjennomført som normalt i forsøksmerden under forsøket.



Figur 21: Forsøksmerden sett ovenfra med posisjonen til NetOx ved 5 m dybde og oksygensensorene ved 3 m dybde. Posisjonene til oksygensensorene tilsvarer de samme posisjonene som i kapitel 2.3.3 (der Ch007=N3, Ch008=C3, Ch009=S3, Ch012=REF)

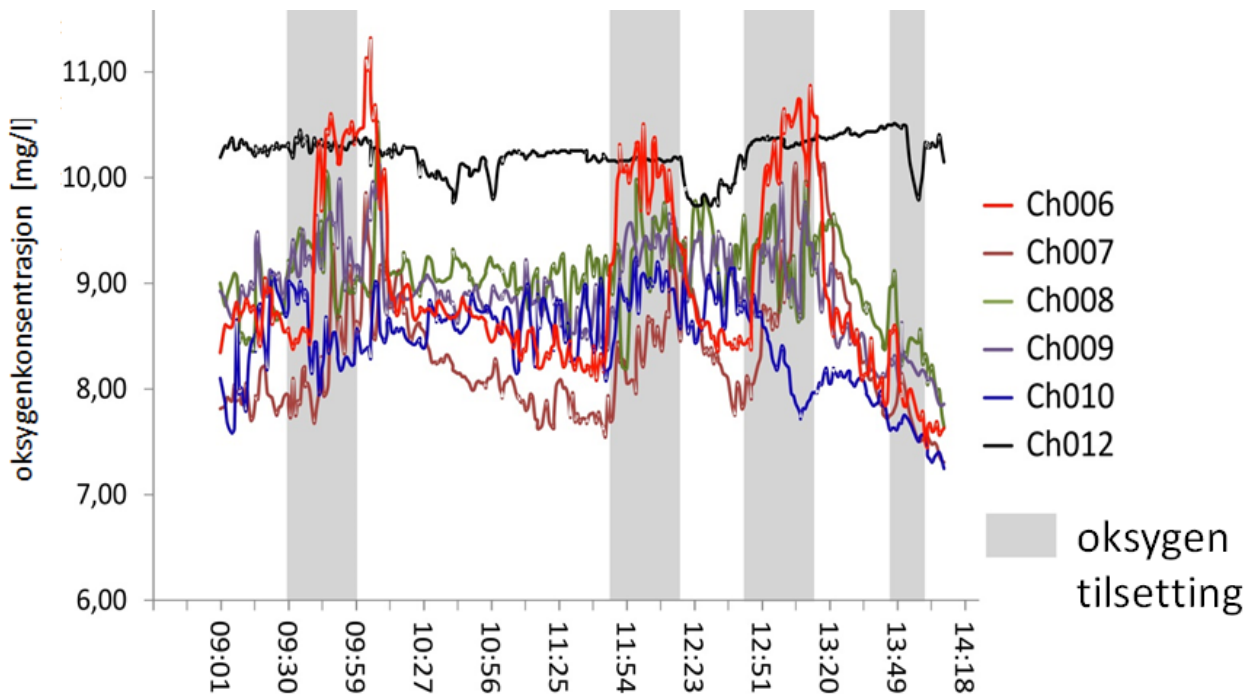
### b) Resultater og diskusjon

Som diskutert i kapittel 2.3.3, er det vanskelig å si noe om strømforholdene, spesielt strømretning, ved Saltkjelen i måleperioden. CTD-profilene, sammen med kartverkets tidevannsvarsling (<http://www.sehavniva.no/>), gir en indikasjon på vannutskifting på lokaliteten (figur 22). Ved fallende sjø blir det etablert et sprangsjikt mens vannet "renner ut av fjorden". Dette fordi tidevannet fører med seg brakkvann fra vannmasser lengre inne i fjorden, mens ved fløende sjø fører tidevannet med seg saltere vann fra utsiden av fjorden. Dette gir en indikasjon på at strømmen må ha vært "høyest" kl. 12:50.



Figur 22: Utviklingen av salinitet (øverst) og temperatur (midten) ved ulike dyp i en halv tidevannssyklus (fallende sjø) (nederst).

I samme tidsrom ble det tilsatt oksygen i tre perioder på 30 min og en kortere periode til slutt. Den siste gangen oksygen ble tilsatt var oksygen-pakkene tilnærmet tomme og de ble helt tømt etter 5 min. Da var trykket i flaskene så lavt at gasstrømmen ikke var tilfredsstillende. Tilsettingsperiodene og målerverdiene fra optodene er gitt i figur 23.



Figur 23: Oksygenkonsentrasjon i forsøksmerd (se også figur 21) og på referansested (Ch012) i perioder med og uten oksygeneringstiltak. Perioden dekker 5 timer under fallende sjø i Hardangerfjorden.

En kan se at Ch006, som er nærmest NetOx, responderer tydelig på tilsetting på de 3 første forsøkene mens den ved siste 5 min tilsetting ikke reagerte tilsvarende. Ch007 viser også en respons, slik som Ch006, men økningen er mindre og noe tregere.

CH008 og CH009 viste ingen tydelig respons. Ch008 var plassert i sentrum av merden ved fôrsprederen og målingene her var i større grad avhengig av fiskens fôringsrespons. CH010 har delvis motsatt respons i oksygenkonsentrasjon enn forventet ved tredje oksygentilsetting. Som diskutert før, er oksygenkonsentrasjonen en funksjon av fiskens forbruk. For å forklare motsatt trend i signal fra Ch010 i tredje tilsetningsperiode, kan en kun spekulere, men en forklaring kan være at fisken svømte vekk fra boblesonen slik at det ble økt fisketetthet ved Ch010, og derav høyere oksygenforbruk der.

## 4 Konklusjon

### a) Oksygenforhold ved bruk av skjørt

Skjørtet har en stor betydning for oksygenforhold i merder. I alle forsøkene var det målt tilfeller der vannet i det skjermede volumet i merden hadde 50 % av oksygenkonsentrasjon til vannet utenfor skjørtet. Det har ikke vært dokumentert så store reduksjoner av oksygen i store merder under vanlig produksjonsforhold til nå.

Målingene viste at oksygenmetningen sank til 53 %. Dette kan føre til tap av tilvekst, og i verste fall være en fare for fiskehelsen dersom den synker enda mer. Dette kan skje dersom biomassen er større, oksygenivå i omgivelsene er lavere, eller strømmen er lavere, enn under forsøkene som er beskrevet her.

Under ett av forsøkene ble skjørtet hevet. Da steg oksygenivået raskt til verdien målt utenfor, også ved lav strømhastighet. Dette viser at skjørtet var årsaken til de reduserte oksygenivåene.

Med hensyn til oksygenivå er det viktig å vurdere fiskens plassering i forhold til hvor målingene er gjort. Ekkoloddmålinger og visuelle observasjoner har vist at fisken noen ganger står dypere i merder med skjørt, og derfor utenfor området med lave oksygenivåer. Argumentasjonen om at fisken står under området med mindre oksygen kan allikevel ikke være gyldig for hele fiskepopulasjonen i merden, da store reduksjoner av oksygen i vannmassene innenfor skjørtet må være en konsekvens av hovedsakelig fiskens sitt forbruk.

Variasjon i oksygenivå i det skjermede volumet var liten ved lav strøm, så man kan anta at sentrum av merden i 3 m dybde er et godt representativt punkt for å gjennomføre oksygenmålinger innenfor skjørtet i merder med 5 m dype skjørt.

### b) Oksygeneringstiltak ved bruk av skjørt

Modellforsøkene gjennomført her antyder at å pumpe vann gjennom et vertikalt midtstilt rør som et tiltak for å øke vannutskiftingen, og dermed oksygenmetningen, i det skjermede volumet i merder med skjørt, ikke er en tilfredsstillende løsning uten videre. Vannet fra dypere nede med høyere tetthet strømmer ned like på utsiden av røret. For å ta i bruk en slik løsning må man utvide løsningen til å få bedre spredning i det pumpede vannet.

Simuleringer av tilføring av oksygen med oksygendiffusor viste at en diffusor på 10x10 m på 5 m dyp i senter av merden kan være en egnet løsning.

Fullskala forsøk med oksygentilsetting viste at konseptet med oksygenering gjennom et diffusornett virker, men med begrenset effekt. Det var måleforskjeller i effekten i horisontalplanet, noe som indikerer at fordelingen av det tilsatte oksygenet ikke var optimal. Den begrensede effekten av oksygeneringen kan skyldes at forsøket ble gjennomført med et lite diffusornett. Plasseringen av oksygeneringsnettet var heller ikke optimal. Strømmen på lokaliteten var lav med den konsekvens at dynamikken og innblandingen av oksygenet var begrenset. I forsøket ble det testet en nedsenket diffusorløsning. Ved for eksempel slaktemerder benyttes andre løsninger som kan ha potensiale, og som det kan være relevant å prøve ut til dette formålet.

## 5 Referanser

[FRA13] Frank, K., Gansel, L., Lien, A.M, 2013. Permaskjørt A3 – fullskala feltforsøk. SINTEF rapport A24440. ISBN 978-82-14-05634-1.

[JOH06] Johansson D. et al., 2006. Effect of environmental factors on swimming depth preferences of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and temporal and spatial variations in oxygen levels in sea cages at a fjord site. *Aquaculture*. Volume 254. Issues 1–4. Pages 594–605.

[KLE14] Klebert, P., 2014. Hva påvirker vannstrømmen gjennom merdene?, Industriseminar CREATEday 2014, <http://www.sintef.no/Projectweb/CREATE/>.

[LIE11] Lien, A.M., Høy, E., 2011. Report: Skjørt for skjerming mot lus i laksemerd. SINTEF rapport A19396. ISBN: 978-82-14-05120-9 (in Norwegian).

[LIE12] Lien, A. M., Volent, Z., 2012. Report: Deformasjon av not og Permaskjørt og krefter på fortøyning. SINTEF rapport A23184. ISBN: 978-82-14-05445-3 (in Norwegian).

[OP11a] Oppedal et al., 2011. Environmental drivers of Atlantic salmon behavior in sea cages: A review. *Aquaculture*. Volume 311. Issues 1–4.

[OP11b] Oppedal F., 2011. Merdmiljø, Havforskningsnytt Nr.5-11.

[REM12 ] Remen et al., 2012. Effects of cyclic environmental hypoxia on physiology and feed intake of post-smolt Atlantic salmon: Initial responses and acclimation , 2012, *Aquaculture*, Volumes 326–329, 25 January 2012, Pages 148–155.

[STI12] Stien, L. H., Nilsson, J., Oppedal, F., Kristiansen, T. S., Lien, A. M., Folkedal, O., 2012. Skirt around a salmon sea cage to reduce infestation of salmon lice resulted in low oxygen levels. *Aquacultural Engineering*.





Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)