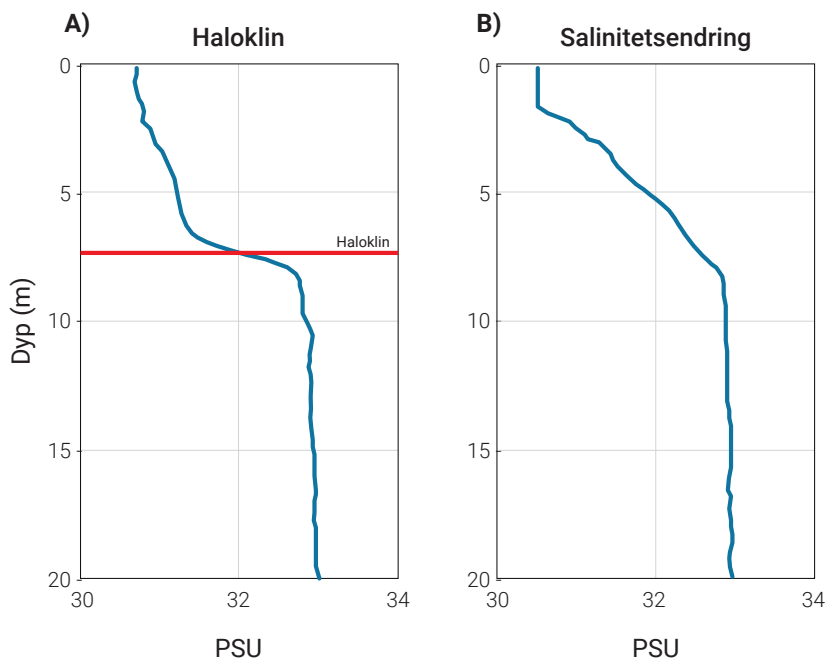


Påvirker tetthetsgradient strømmen og oksygenivået i en fiskemerde med luseskjørt?

Mange har tatt i bruk ulike avarter av skjermende luseskjørt, men effekten av dem er varierende. Kunnskapen rundt god bruk med hensyn til lokale forhold er lav, og det er uklart hvilke faktorer som er årsaken til den varierende effekten. I denne artikkelen vil vi belyse effekten av relevante variabler på vannmiljøet inne i en merde med spissnot og 10 m dypt permeabelt luseskjørt ved hjelp av fullskala målinger og matematisk simulering.

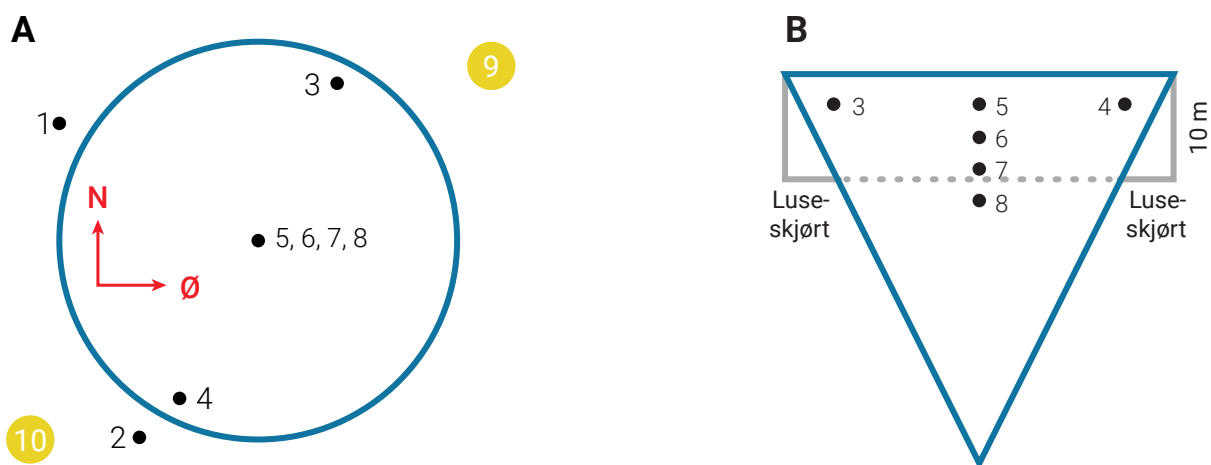
Kristbjörg Edda Jónsdóttir (NTNU), Zsolt Volent (SINTEF Ocean), Pascal Klebert (SINTEF Ocean), Remi Mathisen (Nordlaks Oppdrett AS), Svein Andorsen (Ellingsen Seafood AS), Ragnar Sæternes (Sinkaberg-Hansen AS) og Leif Magne Sunde (SINTEF Ocean)
kristbjorg.jonsdottir@ntnu.no



Figur 1. A) Viser det som menes med haloklin og B) viser det som menes med salinitetsendring.

Skjerming med luseskjørt er et tiltak som skal bidra til å redusere lusenivå uten håndtering av laksen, og mange har tatt i bruk ulike avarter av skjermende luseskjørt i kampen mot lusa (Volent & Bekkevoll, 2017). Effekten av luseskjørt har allikevel vært varierende (Lien et al., 2015). Kunnskapen rundt god bruk med hensyn til lokale forhold er lav, og det er uklart hvilke faktorer som er årsaken til den varierende effekten.

En mulig faktor er vannstrømmens hastighet og retning. Resultater fra prosjektet "Permanent luseskjørt for reduksjon av lusepåslag på laks" (Lien et al., 2015), viste at vannet som treffer luseskjørtet strømmer både rundt luseskjørtet og ned under luseskjørtet (www.sintef.no/permaskjort). Denne horisontale og vertikale omdirigering av vannmassene kan medføre en redusert vannsirkulasjon innenfor luseskjørtet, og videre redusert oksygenivå (Stien et al. 2012).



Figur 2. A) Instrumentenes posisjon i merden sett ovenfra. **B)** Instrumentenes plassering i tverrsnittet av merden med 10 m dypt permeabelt luseskjørt i instrumentplanet.

Strømforholdene alene kan ikke forklare de varierende resultatene ved bruk av luseskjørt. På fullskala anlegg er det observert forskjell i transport av vannmassene til tross for relativt like strømningsforhold i samme merd (Frank et al., 2015). En annen faktor som kan forklare variasjonene i transport er om det er sjiktning i vannet der tetthetsgradienten er høy. Tetthetsgradienten er påvirket av salinitetsnivået og temperaturen i vannet. Vann med lavere tetthet vil legge seg over vann med høyere tetthet, og man får en tetthetsgradient. Hvis posisjonen til tetthetsgradienten befinner seg på grunnere vann enn skjørtekanten, kan dette medføre at strømmen over tetthetsgradienten blir ledet rundt luseskjørtet, og ikke inn i merden.

I denne artikkelen vil vi belyse effekten av relevante variabler på vannmiljøet inne i en merd med spissnot og 10 m dypt permeabelt luseskjørt ved hjelp av fullskala målinger og matematisk simulering.

Resultatene i artikkelen er fra målinger i prosjektet "Strategi lakselus 2017: Luseskjørt som ikke-medikamentell metode for forebygging og kontroll av lakselus – Utvikling av kunnskap om miljøforhold for økt effekt og redusert risiko (SKJERM-TEK)" finansiert av FHF (prosjektnummer: 901396) (<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901396/>).

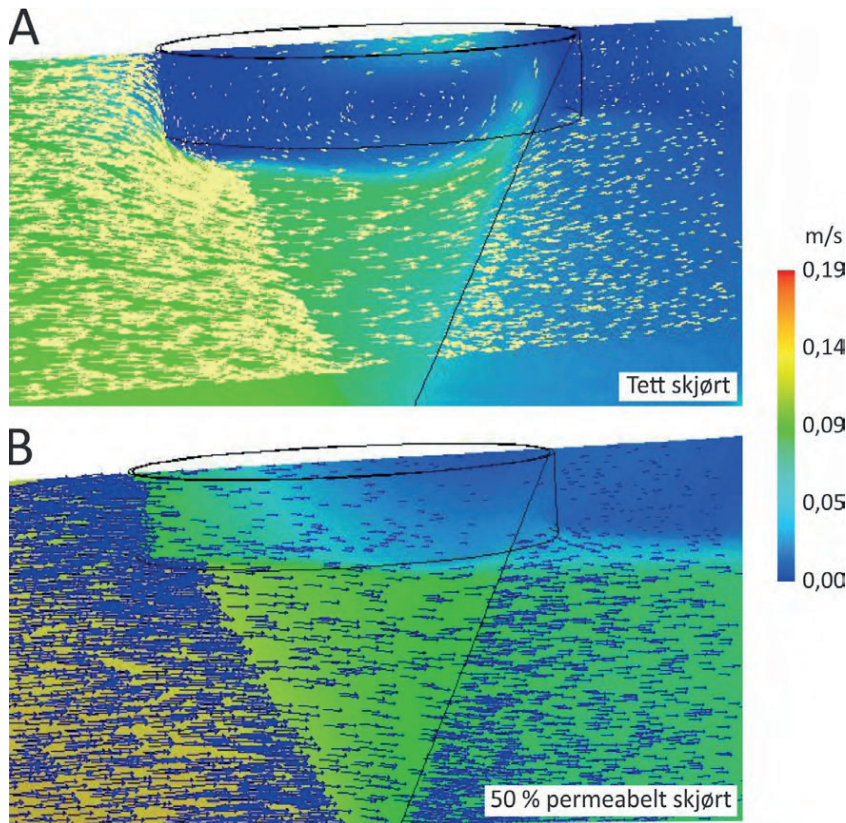
Material og metode

Målingene ble foretatt på Nordlaks Oppdrett AS sitt anlegg på Fornes i Øksfjor-

den, Lofoten den 2. – 5. juli 2019. Typisk for Fornes og nærliggende områder er at strømmen skifter retning midt mellom flo og fjære. I tillegg blir strømmen på Fornes påvirket av at nord i Øksfjorden er det et indre basseng og ferskvannstilsig.

Merden var en 160 metring, spissnot med et dyp på 55 m, og et 10 m dypt permeabelt luseskjørt med 50 % soliditet. Biomassen den 2.7.2019 i den merden det ble målt i, var på ca. 686 tonn med ca. antall på 191310 stk. fisk á 3775 g. Fiskens posisjon ble ikke registret med instrumenter. Under målingene ble det observert at fisken dannet en stim som beveget seg med klokka, relativt høyt oppe i vannmassene. For å simulere vannstrømmen ble "Computational Fluid Dynamics" (CFD) (Kincaid & Cheney, 2002) analyse gjennomført. Simulering av forventet strøm ble utført for en tilstand hvor det er konstant strøm inn på denne merden og uten tetthetssjikt.

Målingene ble gjennomført over natten i en periode på 3 dager, 2. – 3., 3. – 4. og 4. – 5. juli. Det ble målt vannstrøm og innløst oksygen (DO). I tillegg ble det gjennomført målinger av konduktivitet, temperatur og dyp (CTD) for å undersøke tetthetsvariasjonene i dypet utenfor og inne i merden. Siden temperaturen var lik innenfor og utenfor luseskjørtet ned til ca. 20 m, er det salinitetsgradienten som påvirker tetthetsvariasjonene til vannet, og derfor presenteres kun salinitet her. Saliniteten i vannet beregnes ut ifra konduktiviteten. I **figur 1** vises det som menes med en sa-



Figur 3. CFD analyse av tverrsnittet i strømrretningen av en merd med 10 m luseskjørt og homogene vannmasser. Strømmen i figurene kommer inn fra venstre. Figur A viser CFD analyse på tett 10 m luseskjørt, mens figur B viser 10 m permeabelt luseskjørt med 50 % soliditet.

linetetsgradient (haloklin) og salinitetsendring.

Figur 2 viser posisjonene til de forskjellige instrumentene. Sensorene i posisjon 1, 2, 3, 4 og 5 var plassert på 3 m dyp, mens instrumentposisjon 6 var på 6 m dyp, 7 var på 9 m dyp og 8 var på 12 m dyp. Sensorene i posisjon 1 og 2 ble hengt over flytekragen på utsiden av merden, mens sensorene i posisjon 3 og 4 ble plassert på innsiden, hengende fra en flytebøye 4 m fra notposen. Sensorene i midten ble også hengt under en flytebøye.

I posisjon 1, 5, 6, 7 og 8 ble det benyttet MiniDO₂T DO sensorer fra PME, mens det i posisjonene 2, 3 og 4 ble benyttet Aanderaa Oksygen Optoder. I posisjon 9 ble det benyttet en Nortek Aquadopp profiler 400MHz (ADCP) og i posisjon 10 en Aan-

deraa SeaGuard II (DCP) montert i forankringsbøyene. Begge strømmålerne var montert pekende nedover. Posisjon 9 var ca. 25 m fra merdkanten, mens posisjon 10 var ca. 23 m fra merdkanten. CTD målingene ble tatt i nærheten av posisjon 1 på innsiden og utsiden av merden med en CastAway SonTek.

Resultater

Figur 3 viser et tverrsnitt av CFD analysen av spissnoten med 10 m luseskjørt, og viser den simulerte strømmen i og utenfor merden. Den første figuren (**figur 3A**) viser en forenklet modell av merden med et rigid tett luseskjørt som ikke kan bevege seg. Den andre figuren (**figur 3B**) viser derimot gjennomstrømning der det permeable luseskjørtet har ~50% soliditet, og man kan se hvordan vannet beveger seg igjennom luseskjørtet. Denne simuleringen er kun gjeldene når vannstrømmen, som kommer inn, er konstant med dypet og vannmassene er homogene. Simuleringen tar ikke hensyn til at luseskjørtet beveger seg inntil nota ved høyere strømhastigheter og får redusert soliditet. I tilfellet hvor man har tett luseskjørt, kommer strømmen inn fra venstre side og blir tvunget ned langs skjørtekanten og under. Noe av strømmen treffer så skjørtekanten i bakkant av merden, og blir presset oppover. Det oppstår en sirkulasjon inne i merden, og man får utskifting av vannet.

Resultatene fra målingene den 2.–3. juli 2019 er vist i **figur 4**, 3.–4. juli 2019 i **figur 5** og 4.–5. juli 2019 vises i **figur 6**. Tidspunktene for CTD målingene, vist øverst i figurene, er indikert med en strek i figurene for vannstand. I figuren med vannstand vises også strøm i 5 m dybde, som er indikert med piler, der de røde pilene viser strømmen målt i posisjon 9, og de blå pilene viser strømmen målt i posisjon 10. Pilens lengde angir hastighet, mens pilens retning angir retningen på strømmen.

Diskusjon

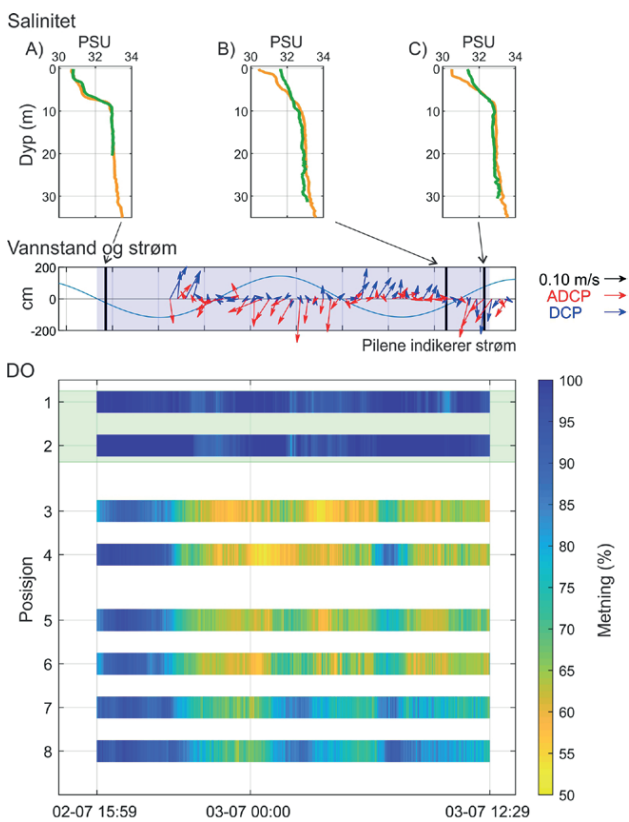
Gjennomsnittlig oksygennivå på utsiden av merden var på over 90%. Sensorene på 9 og 12 meters dyp hadde et gjennomsnitt på over 80%. Sensorene på 3 og 6 meters dyp varierte mer, og den laveste målingen var på 51% i posisjon 3 og 4.

Det forventede strømningsbildet vist i **figur 3** antar enten helt tett eller permeabelt luseskjørt med 50 % soliditet. Permeable luseskjørt slipper igjennom noe vann, men ved strømhastigheter over 3-6 cm/s vil luseskjørtet ligge inntil nota, som medfører en reduksjon i soliditeten på ca. 4 %. Målt variasjon i strømstyrke medfører at den nøyaktige plasseringen til luseskjørtet er usikker, og dermed også den reelle soliditeten til luseskjørtet. Det er dermed en mulighet for at man har en kombinasjon av de forventede strømningsbildene presentert i **figur 3**, hvor noe av vannet beveger seg inn i merden, og noe rundt. Differansen i salinitet på innsiden og utsiden, samt forskjellen i oksygennivå over og under skjørtdybden, tyder på at luseskjørtet har en direkte effekt på merdmiljøet.

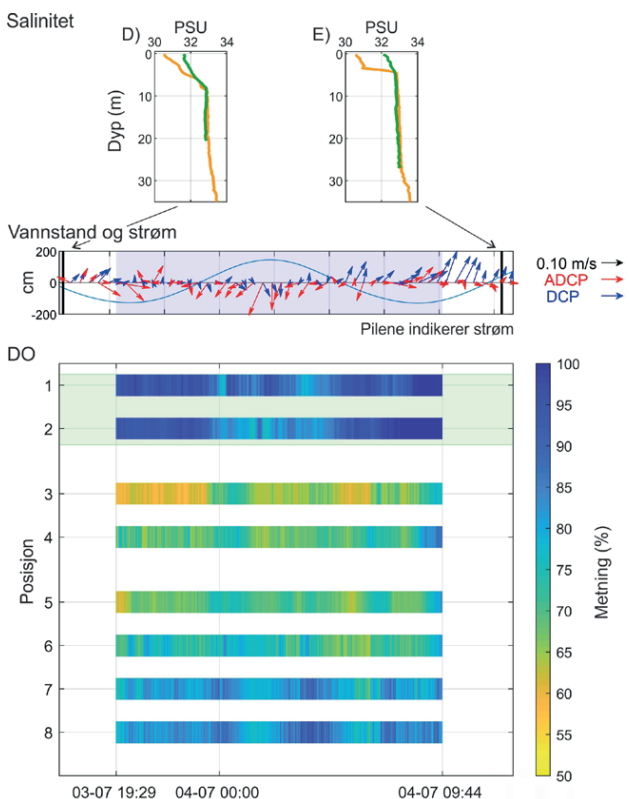
Den 2. juli var vannet innenfor luseskjørtet likt vannet utenfor (**figur 4A**), og haloklinen lå i skjortekanten. Noe av vannet med lav salinitet har da sannsynligvis kunnet bevege seg gjennom det permeable luseskjørtet mens noe har blitt presset under skjortekanten og opp i merden. Dette gjenspeiles i at oksygenivået innenfor luseskjørtet var bra.

Mellom første og andre CTD måling (**figur 4A** og **4B**) ble vannet inne i luseskjørtet byttet ut med saltere vann. På slutten av perioden (**figur 4B** og **4C**) var saliniteten økende med dypet uten en klar haloklin. Saliniteten på innsiden og utsiden sammenfalt til ca. 7 m dyp i **figur 4B** og ca. 5 m i **figur 4C**. Dette kan tyde på at vannet over disse dypene har gått rundt luseskjørtet, som har gitt en forverring av oksygenforholdene.

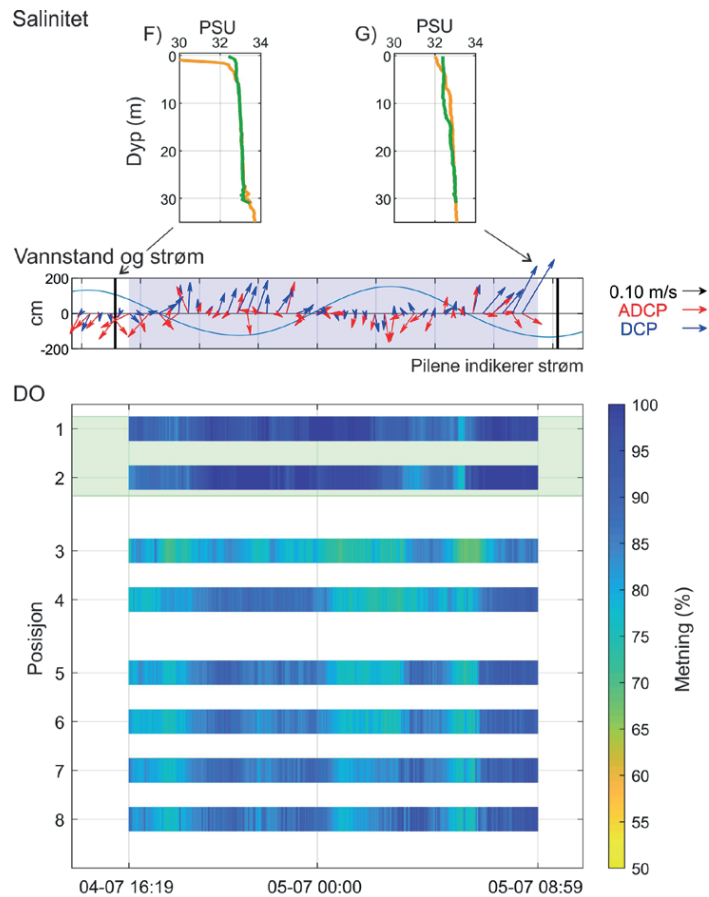
Tilsvarende dårlig vannutskiftning var det den 3.-4. juli (**figur 5**), med bedring på slutten av perioden når haloklinen utenfor var grunnere, ca. 3.5 m dyp (**figur 5E**). Vannet under haloklinen kan da ha presset seg under skjortekanten slik at vannet innenfor duken ble skiftet ut. Dette ser man også i **figur 6F** hvor haloklinen har flyttet seg enda lengre opp. Denne utskiftningen resulterer i en tydelig forbedring av oksygenivået inne i merden også på 3 m dyp. I den siste målingen (**figur 6G**) var vannet gjennombladet fra overflaten til 30 m dyp, og med en god utskiftning av vannmassen innenfor duken.



Figur 4. Resultatene fra perioden 02.07. – 03.07.2019. De tre øverste figurene viser salinitet utenfor merden (oransje strek) og inne i merden (grønn strek) tatt kl. 16:29 den 2.7. 2019 (plot A), kl. 10:16 (plot B) og kl. 12:14 (plot C) den 3.7.2019. Disse tidspunktene er markert med vertikale linjer i figuren "Vannstand og strøm". Figuren "Vannstand og strøm" viser variasjonen i vannstand rundt middelvannstanden, og strømmen målt på utsiden av merden. Rød piler viser strøm i posisjon 9 og blå piler i posisjon 10, der lengden av pilene angir strømfarten, mens retningen på pilene indikerer strømrretningen (Nord er opp). Innløst oksygen (DO) for posisjon 1 – 8 er vist i det nederste plottet.



Figur 5. Resultatene fra perioden 03.07. – 04.07.2019. De to øverste figurene viser salinitet (PSU) utenfor merden (oransje strek) og inne i merden (grønn strek) tatt kl. 17:13 den 3.7. (plot D) og kl. 12:23 (plot E) den 4.7.. Disse tidspunktene er markert med vertikale linjer i figuren "Vannstand og strøm". Figuren "Vannstand og strøm" viser variasjonen i vannstand rundt middelvannstanden, og strømmen målt på utsiden av merden. Rød piler viser strøm i posisjon 9 og blå piler i posisjon 10, der lengden av pilene angir strømfarten, mens retningen på pilene indikerer strømrretningen (Nord er opp). Innløst oksygen (DO) for posisjon 1 – 8 er vist i det nederste plottet.



Figur 6. Resultatene fra perioden 04.07. – 05.07.2019. De to øverste figurene viser salinitet (PSU) utenfor merden (oransje strek) og inne i merden (grønn strek) tatt kl. 15.48 den 4.7. (plot F) og kl. 09:50 (plot G) den 5.7.. Disse tidspunktene er markert med vertikale linjer i figuren "Vannstand og strøm". Figuren vannstand og strøm viser variasjonen i vannstand rundt middelvannstanden, og strømmen målt på utsiden av merden. Røde piler viser strøm i posisjon 9 og blå piler i posisjon 10, der lengden av pilene angir strømfarten, mens retningen på pilene indikerer strømrretningen (Nord er opp). Innløst oksygen (DO) for posisjon 1 – 8 er vist i det nederste plottet.

Målingene viser at salinitetsendringen og haloklinens plassering i dypet påvirker vannutskiftning og dermed oksygenivået inne i merden. Resultatene viser derfor at det er viktig å ha kjennskap til miljøvariabler som salinitet, temperatur og oksygen for å forstå hvordan luseskjørtet presterer på den enkelte lokalitet •

Referanser

Frank, K., Gansel, L. C., Lien, A. M., & Birkevold, J. (2015). Effects of a shielding skirt for prevention of sea lice on the flow past stocked salmon fish cages. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 137(1), 011201.

Kincaid, D., and Cheney, W., "Numerical Analysis: Mathematics of Scientific Computing", 3rd edition, American Mathematical Society, 2002.

Lien, A. M., Stien, L. H., Grøntvedt, R. N., Frank, K., (2015), *Permanent luseskjørt for redusering av lusepåslag på laks*. FHF prosjekt 900711. Rapport nr.: SINTEF rapport nr.: A26790.

Stien, L. H., Nilsson, J., Hevrøy, E. M., 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*, 51, 21-25.

Volent, Z. og Bekkevold, A., (2017), Rapport: *Erfaringsdelingsseminar med demoforsøk*. FHF prosjekt 901405. SINTEF rapport nr.: OC2017 A-155.