

Sluttrapport

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 (SKJERMTEK)

Forfattere

Zsolt Volent, Kristbjörg Edda Jónsdóttir, Andreas Misund, Kristine Braaten Steinhovden og Matilde Skogen Chauton



Rapport

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 (SKJERMTEK)

[Sub Title]

| RAPPORTNR | PROSJEKTNR | VERSJON | DATO |
|------------|------------|---------|------------|
| 2020:00464 | 302002409 | 3.3 | 2020-05-21 |

EMNEORD:
Luseskjørt
Strøm
Hydrografi
Alger

FORFATTERE
Zsolt Volent, Kristbjörg Edda Jónsdóttir, Andreas Misund, Kristine Braaten
Steinhovden og Matilde Skogen Chauton

OPPDRAGSGIVER(E)
FHF (901396)

OPPDRAGSGIVERS REF.
Kjell Maroni

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:
49 + vedlegg (side 50 – 74)

| GRADERING | GRADERING DENNE SIDE | ISBN |
|-----------|----------------------|-------------------|
| Åpen | Åpen | 978-82-14-06533-6 |

SAMMENDRAG

Luseskjørt er en ikke-medikamentell metode for forebygging og kontroll av lakselus, men ulike lokaliteter har oppnådd varierende resultater ved bruk av luseskjørt. Skjermtek-prosjektet med oppstart våren 2017 hadde derfor hovedmål om å frembringe kunnskap om lokalitetsavhengige forhold for å øke effekten av luseskjørt samt redusere risiko knyttet til fiskehelse og anleggsintegritet. I løpet av prosjektet ble det gjennomført både modellforsøk og fullskala målekampanjer.

Det er to hovedresultater fra prosjektet. Det første at resultatene fra modellskala forsøket og fullskalaforsøk stemte godt overens. Det andre at blant lokalitetsavhengige variabler, så var det hydrografien som hadde mest å si for miljøet inne i merden og bevegelsene av vannmassene utenfor og innenfor skjørtet. På lokaliteten Soløya, med homogene vannmasser, var det liten forskjell fra innsiden til utsiden av merden med tanke på innløst oksygen og tetthet med dypet, mens på Fornes, hvor det var sjiktning i vannsøylen, så man at det innløste oksygenet inne i merden ble bedre når sjiktningen forsvant. Dette indikerer at i homogene vannmasser er det enklere for vannet på utsiden av merden å skifte ut vannet på innsiden av skjørtet. Det er derfor usikkert hvor gode resultater man kan oppnå med skjørt m.h.p. lusepåslag på lokaliteter med homogene vannmasser.



UTARBEIDET AV
Zsolt Volent

KONTROLLERT AV
Birger Venås

GODKJENT AV
Hanne Digre

Historikk

| VERSJON | DATO | VERSJONSBEKRIVELSE |
|---------|------------|--|
| 1.0 | 2020-02-17 | Første versjon |
| 1.1 | 2020-02-17 | Utkast sendt til styringsgruppa |
| 2.0 | 2020-05-14 | Revidert utkast til kvalitetssikring |
| 2.1 | 2020-05-14 | Rapport ferdig rettet opp etter kvalitetssikring |
| 2.2 | 2020-02-17 | Rapport sendes ut til ny høringsrunde hos styringsgruppa |
| 3.1 | 2020-02-17 | Rapport justert etter styringsgruppas ønske |
| 3.2 | 2020-05-21 | Rapport til signering i SINTEF Ocean |
| 3.3 | 2020-05-21 | Rapport ferdig til utsending |

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|-----------|
| Sammendrag | 5 |
| 1 Innledning..... | 6 |
| 2 Prosjektgjennomføring og resultater..... | 7 |
| 2.1 Erfaringsdelingsseminar..... | 7 |
| 2.2 Målekampanjer, material og metoder..... | 8 |
| 2.2.1 Generelt..... | 8 |
| 2.2.2 Korsnes og Finnkjerka 2018..... | 9 |
| 2.2.3 Korsneset 2018 - 2019 | 10 |
| 2.2.4 Fornes 2018 | 12 |
| 2.2.5 Josommarset 2018..... | 14 |
| 2.2.6 Hosnaøyen 2018..... | 16 |
| 2.2.7 Fornes 2019 | 18 |
| 2.2.8 Soløya 2019..... | 20 |
| 2.3 Resultater 2018..... | 22 |
| 2.3.1 Strømmens innvirkning på luseskjørtet – langtidsmålinger 2018 | 22 |
| Fornes 2018..... | 23 |
| Josommarset 2018..... | 26 |
| Korsneset | 28 |
| 2.3.2 Korttidsmålinger 2018 | 29 |
| 2.4 Resultater 2019..... | 32 |
| 2.4.1 Algesituasjonen innenfor og utenfor merden – langtidsmålinger 2019 | 32 |
| 2.5 Dagens situasjon i næringa (Spørreundersøkelse 2020) | 36 |
| 3 Diskusjon og konklusjon | 39 |
| 4 Hovedfunn | 40 |
| 5 Videre studier..... | 40 |
| 6 Leveranser | 41 |
| 6.1 Korttidsmålinger 2019 | 41 |
| 6.1.1 Rapport: Målinger av strøm rett utenfor og rett innenfor luseskjørtet | 41 |
| 6.2 Vitenskapelige publikasjoner med fagfelleevaluering | 41 |
| 6.2.1 Artikkel i "Aquaculture Environment Interactions" – under fagfelleevaluering..... | 41 |
| 6.2.2 Artikkel i "Aquaculture Engineering (e.l.)" – under skrivning..... | 42 |
| 6.2.3 Artikkel i "Aquaculture Engineering (e.l.)" – under skrivning..... | 43 |
| 6.3 populærvitenskapelige publikasjoner..... | 43 |
| 6.4 Konferanse presentasjoner..... | 43 |
| 6.4.1 EAS 2017, Dubrovnik, 29.8 2018, Sammendrag | 43 |
| 6.4.2 EAS 2018, Montpellier, 29.8 2018, Sammendrag..... | 45 |

| | | |
|------------------|---|-----------|
| 6.4.3 | TEKMAR 2019, Trondheim, 04.12.2019, Sammendrag | 46 |
| 6.4.4 | Lusekonferansen 2020 (FHF), Trondheim, 22.01.2020, Sammendrag | 47 |
| Vedlegg 1 | | 49 |
| A.1 | Populærvitenskapelige publikasjoner | 49 |
| A.1.1 | Norsk Fiskeoppdrett nr. 8, 2017 | 50 |
| A.1.2 | Norsk Fiskeoppdrett nr. 1, 2020 | 52 |
| Vedlegg 2 | | 57 |
| A.2 | Konferansepresentasjoner | 57 |
| A.2.1 | EAS 2017 - Dubrovnik | 58 |
| A.2.2 | EAS 2018 - Montpellier | 65 |
| A.2.3 | TEKMAR 2019 - Trondheim | 70 |
| A.2.4 | Lusekonferansen 2020 (FHF) – Trondheim | 72 |

Sammendrag

Norsk

Luseskjørt er en ikke-medikamentell metode for forebygging og kontroll av lakselus, men ulike lokaliteter har oppnådd varierende resultater ved bruk av luseskjørt. Skjermtek-prosjektet med oppstart våren 2017 hadde derfor hovedmål om å frembringe kunnskap om lokalitetsavhengige forhold for å øke effekten av luseskjørt samt redusere risiko knyttet til fiskehelse og anleggsintegritet. I løpet av prosjektet ble det gjennomført både modellforsøk og fullskala målekampanjer.

Modellforsøkene ble gjennomført som en del av erfaringsdelingsseminar i Hirtshals. Resultatene viste at det var liten forskjell mellom planktonduk og tett duk med hensyn på vertikal forflytning i forhold til vannstrøm, og heller ikke noe store variasjoner av kreftene på konstruksjonen med hensyn på duk-kvalitet.

Fra høst 2018 til sommer 2019 ble det gjennomført målekampanjer ved syv forskjellige lokaliteter. Noen av målingene var langtidsmålinger som gikk over ca. en måned, mens andre var kortere og varte bare noen timer. Forskjellige type målekampanjer ble også utført på visse lokaliteter, f.eks. ble det gjennomført algetelling på to av lokalitetene.

Det er to hovedresultater fra prosjektet. Det første at resultatene fra modellskala forsøket og fullskalaforsøk stemte godt overens. Det andre at blant lokalitetsavhengige variabler, så var hydrografien som hadde mest å si for miljøet inne i merden og bevegelsene av vannmassene utenfor og innenfor skjørtet. På lokaliteten Soløya, med homogene vannmasser, var det liten forskjell fra innsiden til utsiden av merden med tanke på innløst oksygen og tetthet med dypet, mens på Fornes, hvor det var sjiktning i vannsøylen, så man at det innløste oksygenet inne i merden ble bedre når sjiktningen forsvant. Dette indikerer at i homogene vannmasser er det enklere for vannet på utsiden av merden å skifte ut vannet på innsiden av skjørtet. Det er derfor usikkert hvor gode resultater man kan oppnå med skjørt m.h.p. lusepåslag på lokaliteter med homogene vannmasser.

Det gode samsvaret mellom resultater fra modellskala og fullskala åpner opp for innhenting av mer kunnskap om interaksjoner mellom skjørt, bølger og strøm ved bruk av modellforsøk. Den sterke indikasjonen på at hydrografi har påvirkning på luseskjørtets effekt, viser at hydrografi er en variabel, som bør undersøkes og overvåkes på lokalitetene for å få en bedre forståelse av når, og evt. om, det er hensiktsmessig å benytte luseskjørt.

Engelsk

Shielding skirts are a non-medicinal method for preventing and controlling salmon lice, however the effect of this method has been varying at different locations. The main goal of the Skjermtek-project was therefore to acquire knowledge regarding location dependent conditions to enhance the efficiency of the shielding skirt on preventing lice infestations, without jeopardizing the fish welfare and structural integrity of the site. During the project both model scale testing and full-scale measurement campaigns were carried out.

The model testing was completed as a part of a seminar in Hirtshals to share different experiences with the use of shielding skirts. The results from the model testing showed that there was little difference between the permeable and non-permeable skirt with regards to vertical displacement as a result of increased current flow, and there were no large differences with regards to forces on the construction.

From the autumn of 2018 to the summer 2019, measurement campaigns were carried out at a total of seven different sites. Some of the measurements were considered long-term, as they spanned a whole month or more, while others were much shorter, ranging in only a few hours. The measurement campaigns varied somewhat between locations, for instance, counting of algae was only carried out at two of the sites.

There were two main results from this project. The first that the scale model tests results corresponded well with the results obtained from full-scale campaigns. The second, that the hydrography of the location had a direct impact on the environment inside the fish cage and the waterflow. On the location Soløya, the water was homogenous, and there was little difference from inside to outside of the cage with regards to dissolved oxygen and density with depth. Fornes, another location North of Soløya, had a pycnocline (a layer where water density increases rapidly with depth) present resulting in layering of the water column, and the dissolved oxygen levels inside the fish cage improved as this layering dissolved. This indicates that it is easier to replace the water inside the skirt with water from outside, when the water column is homogenous. It is therefore uncertain whether locations with a homogenous water column will obtain good results with skirts with regards to lice infestations.

The results obtained when comparing model scale with full-scale data imply that there is more information to be gathered regarding the interaction between skirt, waves and current, using model scale testing. The strong indication that hydrography, specifically pycnoclines, have an impact on the efficiency of the lice shielding skirt suggests that hydrography should be monitored on all sites to enhance the knowledge and understanding of when, and if, it is sustainable and advantageous to use shielding skirts.

1 Innledning

Grunnlaget for prosjektet var prosjektidé datert 2017-03-08 oversendt til Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF), e-post datert 2017-04-04 der FHF ønsker å gå videre med sikte på etablering av et prosjekt, samt møte mellom SINTEF Ocean AS (SINTEF), ved Andreas Myskja Lien, Zsolt Volent og Leif Magne Sunde, og FHF ved Kjell Maroni og Eirik Sigstadstø 2017-04-06 med konklusjon om at FHF ønsker videre detaljering av prosjektidéen i et prosjektforslag.

Dette prosjektforslaget var basert på tidligere FHF-finansierte prosjekter innen tema luseskjørt som ble gjennomført av SINTEF; "Permanent skjørt for redusering av luspåslag på laks" (prosjektnummer: 900711) og "Kunnskap, teknologi og metoder for best mulig utnyttelse av skjørt og snorkel for skjerming av oppdrettslaks mot lakselus: Seminar" (prosjektnummer: 901211), samt andre relevante prosjekter, som "Luseskjørt: Dokumentasjon av praktisk bruk og nytteverdi" (prosjektnummer: 900834), "Snorkelmerd: Produksjonseffektivitet, adferd og velferd" (prosjektnummer: 900884) og "Beste praksis for medikamentfri lusekontroll (MEDFRI)" (prosjektnummer: 901296). Prosjektforslaget er også koordinert med aktivitetene til Taskforce Lakselus ved NTNU, i møte 2017-04-20 mellom SINTEF, ved Andreas Myskja Lien og Leif Magne Sunde, og NTNU, ved Yngvar Olsen, Anna Solvang Båtnes og Maria Guttu.

Hovedmålet for prosjektet var å frembringe ny kunnskap om lokalitetsavhengige forhold for å øke effekt av luseskjørt som ikke-medikamentell metode for forebygging og kontroll av lakselus, og samtidig redusere risiko knyttet til fiskehelse og anleggsintegritet.

Delmål:

1. Undersøke hvordan anleggets omgivelser og oseanografiske forhold, spesielt vannstrøm, bølger og hydrografi, samt topografi påvirker effekten av skjørtet med hensyn til å skjerme mot lakselus.
2. Undersøke hvordan krefter i anlegget blir påvirket av skjørt i ulike materialer og dybder, samt vannstrøm og bølger.
3. Undersøke om, og i hvor stor grad, alger ansamles innenfor skjørtvolumet i forhold til omgivelsene, og hvordan dette påvirker oksygennivå og gjellehelse hos fisken.
4. Studere oksygenivå i merder med skjørt og se dette i forhold til vannkvalitet i omgivelsene, fiskens posisjon, samt skjørtmateriale og –dybde.

Prosjektets omfang ble utvidet med flere målinger ut over angitt i prosjektbeskrivelsen, fordi man anså at en ny målerunde ville gi signifikant bedre resultater i forhold til målsettingen av prosjektet. Det ble søkt om omdisponering av midlene for en utvidelse av prosjektet. Begrunnelsen for omdisponeringen var: I

arbeidsbeskrivelsen punkt "A1.2 Skjerming og fortøyningskrefter" er det beskrevet at man skal måle belastningen på kritiske punkter i anlegget med lastceller.

Erfaringer fra tidligere målinger med lastceller viser at metoden er tidkrevende og resultatene usikre når dette skal sammenlignes med målinger av sjøtilstand. Modellforsøkene, som er blitt gjennomført i Hirtshals med skjørt, gir gode nok overførbare resultater til fullskala.

Punkt "A3.2 Begroingstilstand" var ansett som utenfor prosjektets egentlige hovedmål og delmål, som kunne tas ut av prosjektet, med fordel for nye strømmålinger i merd.

Punkt "A3.3 Fargestoffforsøk" – Mattilsynet har blokkert denne muligheten siden fluorescein fargestoff ikke har blitt nøye nok dokumentert. Dersom fisken blir utsatt for fluorescein så vil ikke Mattilsynet tillate og bruke den slaktede fisken som mat. Fluorescein målinger uten fisk er blitt dokumentert godt nok i andre FHF prosjekt, slik som "Permaskjørt" prosjektet, og må tas ut av SKJERMTEK prosjektet.

Ved omdisponeringen ville man gjennomføre følgende tilleggsmålinger:

- Måling av strøm (både horisontalt og vertikalt) innenfor luseskjørtet i forskjellige posisjoner og 4 forskjellige dyp, som vil kunne gi kunnskap om sirkulasjon innenfor luseskjørtet.
- Måling av strøm rett utenfor – oppstrøms og rett innenfor luseskjørtet for å kartlegge gjennomstrømmingen av vann gjennom et permeabelt skjørt.
- Målinger av strøm i 2 punkter utenfor skjørtet.
- Hydrografi – saltholdighet og temperatur i dypet både innenfor og utenfor skjørtet under måleperioden.
- Målinger av oksygen i 3 forskjellige posisjoner og 2 dyp, samt måling i 1 posisjon utenfor merden.
- Ekkolodd målinger for å kartlegge hvor fisken står under målingene.

Prosjektorganisasjonen bestod av utførende prosjektgruppe fra SINTEF Ocean og styringsgruppa. Andreas Myskja Lien var prosjektleder frem til 31.01.2018, hvoretter Dr. Zsolt Volent tok over som prosjektleder. PhD studenten Kristbjörg Edda Jónsdóttir ble tilknyttet prosjektet da datamaterialet ville passe i PhD avhandlingen.

Medlemmer av styringsgruppen har vært: Remi Mathisen (Nordlaks Oppdrett AS), Svein Andorsen (Ellingsen Seafood AS), Ragnar Sæternes (SinkabergHansen AS) og Espen Lie Dahl (SalMar ASA).

2 Prosjektgjennomføring og resultater

2.1 Erfaringsdelingsseminar

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF) og SINTEF Ocean AS inviterte til erfaringsdelingsseminar og modellforsøk med luseskjørt den 31. mai til 2. juni, 2017 i SINTEF Ocean sin flumetank i Hirtshals (FHF-prosjekt 901405¹). Det var gjennomsnittlig 53 deltakere på seminaret over de 3 dagene det varte. Under seminaret ble det holdt 8 foredrag. Foredragsholderne var Andreas Myskja Lien, Kristine Braatens Steinhovden og Zsolt Volent (SINTEF Ocean), Svein Andorsen (Ellingsen Seafood AS), Remi Mathisen (Nordlaks Oppdrett AS), Ragnar Sæternes (SinkabergHansen AS) og Jøran Skar (Lerøy AS).

Seminaret var en del av prosjektet SKJERMTEK som er finansiert av FHF (FHF-prosjekt 901396²).

Seminaret og resultatene ble presentert i Norsk Fiskeoppdrett nr. 8, 2017 (Vedlegg: A.1.1) og på EAS konferansen i Dubrovnik 2017 (Kapittel 6.4.1). Presentasjonen er vedlagt i Vedlegg A.2.1.

¹ Rapporten kan lastes ned fra: <https://www.fhPunkf.no/prosjekter/prosjektbasen/901405/>

² SKJERMTEK: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901396/>

Resymé

Målet med seminaret var å belyse hvordan skjørt oppfører seg under vannflaten, samt erfaringer med bruk av luseskjørt. Modellforsøkene satte søkelys på å demonstrere dukens og merdens bevegelser i strøm og bølger, samt kreftene som virker på forankringen. Under forsøkene ble det hensyntatt forskjellige ønsker fra deltakerne på seminaret for å prøve å gjenskape forskjellige situasjoner som er observert i praktisk oppdrett. Seminaret hadde også søkelys på de biologiske aspektene ved bruk av luseskjørt, for eksempel i tilknytning til eventuell reduksjon i vannutskiftning, miljøbetingelser og skadelige alger.

Resultatene fra modellforsøkene viste at det er liten forskjell mellom planktonduk og tett duk med hensyn på vertikal forflytning i forhold til vannstrøm, selv om det kunne se ut som om det var stor forskjell spesielt i figur. 11 ved 42 cm/s (i rapporten fra Erfaringsdelingsseminaret (FHF – prosjekt 901405), som skyldes kalibreringsfeil. Det er heller ikke store variasjoner av kreftene på konstruksjonene med hensyn på duk kvalitetene. Ekstra nedlodning i front hadde ikke noen effekt på vertikalforflytningen eller dragkreftene på konstruksjonene.

Anbefalinger med hensyn til nedlodning er da å beholde de etablerte vektene for skjørt, mellom 5 og 8 kg/m tørrvekt for tette skjørt og 1,5 – 2 kg/m for permeable skjørt, så skjørtet ikke flyter opp på grunn av luftbobler som eventuelt fester seg på duken eller at duken har en tetthet tilsvarende sjøvannet eller lettere.

Overlapp av duken motstrøms, medstrøms eller sydd sammen gav ingen forskjell med hensyn på krefter. Det anbefales likevel å lukke duken sammen i skjøten for å unngå at store mengder vann blir presset inn i merden ved overlapp motstrøms.

2.2 Målekampanjer, material og metoder

2.2.1 Generelt

I løpet av vinter/høst 2018 og vår/sommer 2019 ble det gjennomført målekampanjer ved 7 forskjellige lokaliteter som en del av Skjermtek prosjektet. Noen av målingene var langtidsmålinger som gikk over en måned, mens andre var kortere og varte bare noen timer. En rekke sensorer ble brukt til å samle inn data, med noe ulikt oppsett ved de forskjellige lokalitetene. Pga. diverse utfordringer ble ikke alle sensorene benyttet i hver målekampanje, i tillegg er måleperiodene noe forskjellige.

Målekampanjer i Lofoten-området ble gjennomført på lokalitetene Korsnes og Finnkjerka i Raftsundet, Fornes i Øksfjorden, Josommarset i Hellmofjorden, Soløya ved Mølnerodden (Figur 1). Lokalitetene Korsneset i Korsnesfjorden ved Halså i Nordmøre og Hosnaøyen i Flesafjorden rett nord øst for Dreingskjeret i Trøndelag (Figur 2).



Figur 1. Målekampanjer i Lofoten-området ble gjennomført på lokalitetene Korsnes og Finnkjerka i Raftsundet (A), Fornes i Øksfjorden (B), Josommarset i Hellmofjorden (C), Soløya ved Mølnerodden (D).



Figur 2. Målekampanjer gjennomført på Korsneset i Korsnesfjorden ved Halså i Nordmøre (E), og Hosnaøyen ved Flesåfjorden i Trøndelag (F).

På alle lokalitetene har det vært brukt skjørt, men størrelsen på merdene og lengden på skjørtet har variert. På Fornes og Finnkjerka ble det benyttet 10 m dype permeable skjørt, mens på de andre lokalitetene ble det benyttet tette skjørt. Det har blitt gjennomført langtidsmålinger på Korsneset, Josommarsset og Fornes, hvor man har sett på strøm og høyde på skjørtet målt med trykkceller. På Fornes og Soløya har man gjennomført langtidsmålinger med konduktivitet, temperatur og dyp sensor (CTD), måling av siktdyp med Secchi skive, og innsamling av vannprøver for analyse av planteplankton. På alle lokaliteter, utenom Korsneset, har det blitt gjennomført korttids-strømmålinger med Nortek Vektorer punktstrømmåler (Vektor), Nortek ADCP (ADCP) og Aanderaa DCP (DCP), oksygen sensorer (DO), CTD, i tillegg til temperaturloggere (HOBO) (Tabell 1).

Tabell 1. Liste over instrumenter som ble benyttet under målingene i SKJERMTEK prosjektet.

| Antall | Instrument | Måler | Betegnelse |
|--------|------------|------------------------------|---------------------------|
| 2 | DCP | Strømhastighet | Aanderaa SeaGuard II |
| 2 | ADCP | Strømhastighet | Aquadopp Profiler 400 kHz |
| 7 | DO | Innløst oksygen | Aanderaa Optode 4330 |
| 5 | MinDOT | Innløst oksygen | MiniDO ₂ T PME |
| 3 | CTD | Konduktivitet, Temp. and dyp | Son Tek CastAway CTD |
| 12 | HOBO | Temp. | ONSET |

Alle instrumentene ble ikke brukt samtidig eller på alle lokalitetene.

2.2.2 Korsnes og Finnkjerka 2018

Alle kartutsnitt under, er hentet fra Gulesider.no/sjøkart. Lokalitetene er beskrevet i kronologisk rekkefølge, tidsmessig.

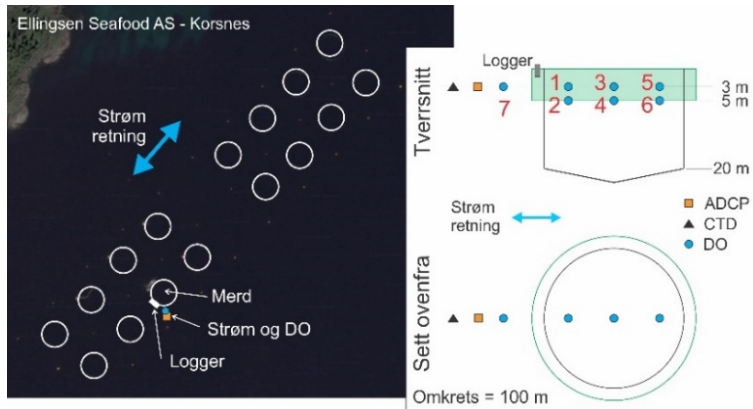
Målingene på Korsnes ble gjennomført mellom 19. – 20.02.2018, mens målingene på Finnkjerka mellom 21. – 22.02.2018.

Målekampanjen som var planlagt senere på året skulle foregå på flere lokaliteter. Formålet med målingene på Korsnes og Finnkjerka var å finne den plassen i merden, hvor oksygenivået var dårligst. Lokalitetene ligger i Raftsundet i Lofoten (Figur 3).



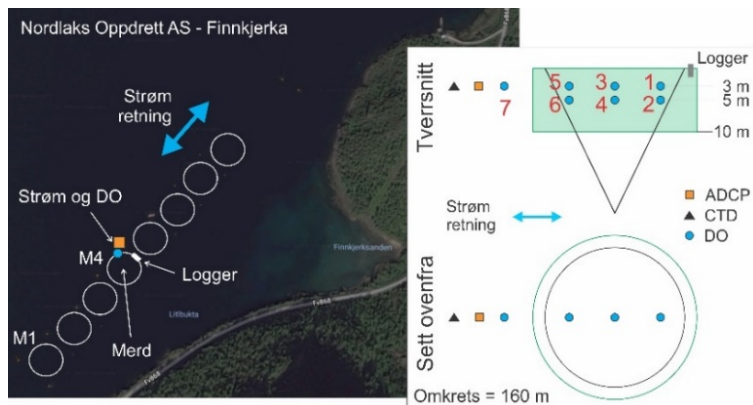
Figur 3. Lokalitetene Korsnes og Finnkjerka Raftsundet, Lofoten.

Korsnes: Anlegget på Korsnes bestod av 16 merder med 100 m i omkrets og 22 m dype med sylindriske sidekanter på 15 m, forankret i en rammefortøyning (Figur 4). Merden som ble valgt til målingene hadde 5 m dypt tett skjørt, produsert av FiiZK (tidligere Botngaard AS). Måleposisjonene for oksygensensorene (DO), ADCP strømmåler og CTD kastene er vist i Figur 4. Målingene ble gjennomført i ca. et døgn. Det var ca. 83 900 stk. fisk med snittvekt 4,1 kg, total biomasse på 344 tonn.



Figur 4. Posisjoner av målinger på Korsnes. Antatt hovedstrømretning ut ifra lokalitetsrapporten er indikert med blå pil.

Finnkjerka: Anlegget på Finnkjerka bestod av 8 koniske merder med 55 m dype koniske nøter, omkrets på 160 m, og 10 m dype permeable skjørt, produsert av Norwegian Weather Protection AS (NWP), forankret i en stige- og ramme- og rammefortøyning (Figur 5). Anlegget var helt i slutfasen av produksjonen med relativt høy biomasse i merdene. M1 (lengst sør) og M4 hadde fremdeles luseskjørt montert. Merden M4 ble valgt for målingene av strøm og DO. Det ble ikke målt CTD på lokaliteten på grunn av problemer med GPS-en til CTD målerne. Merd M4 hadde 184 200 stk. fisk med en estimert snittvekt 3,4 kg, total biomasse på 626 tonn.



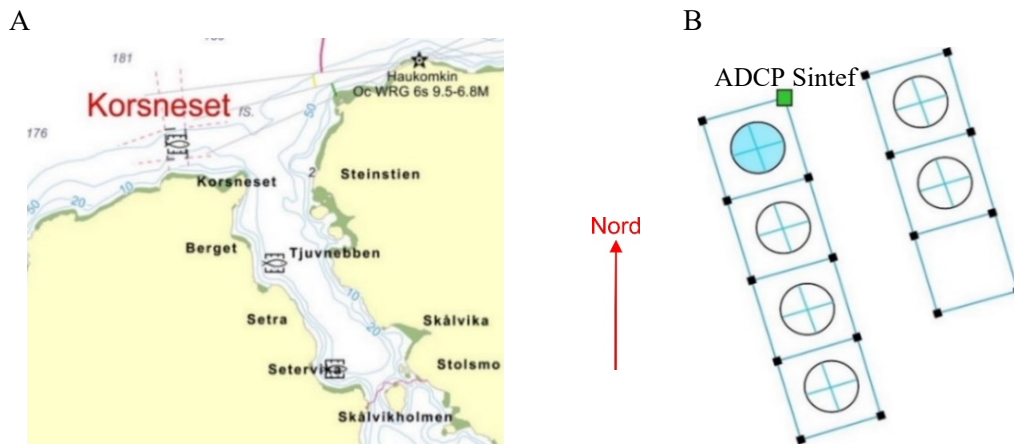
Figur 5. Posisjoner av målinger på Finnkjerka. Antatt hovedstrømretning ut ifra lokalitetsrapporten er indikert med blå pil.

Resultatene fra forsøkene ble presentert på EAS konferansen i Montpellier 2018. Sammendrag fra presentasjonen er gjengitt i Kapittel 7.4.2 of foredraget er vedlagt vedlegg A.2.2.

2.2.3 Korsneset 2018 - 2019

Primært skulle denne lokaliteten benyttes utelukkende for å se på hvor mye duken ble presset opp på grunn av strømmen. På denne lokaliteten ble det derfor bare utført langtidsmålinger i perioden 21.09.2018 – 10.01.2019. Målingene ble foretatt i en ACE-forsøksmerd.

Lokaliteten hadde 2 x 6 merder forankret i 4 stk. rammefortøyninger speilet om fôrflåten (Figur 6).



Figur 6. A viser plassering av anlegget på Korsneset og B viser anleggskonfigurasjonen med markering av ADCP-plasseringen som grønn firkant. Merd i blått er forsøksmerden.

Merdene var 157 metringer med en diameter på 50 m. Nota i merden var totalt 30 – 32 m dyp med bunnring. Skjørtet som var montert på merden var produsert av FiiZK, tett og 6,7 m dyp, fiskestørrelse på 2,5 – 3,0 kg og en biomasse på 495 tonn. I Figur 6, så er det bare den vestlige delen av anlegget som er tegnet opp.

Langtidsmålinger

Instrumenteringen som ble benyttet er listet opp i Tabell 2.

Tabell 2. Sensorene benyttet på Korsneset anlegget.

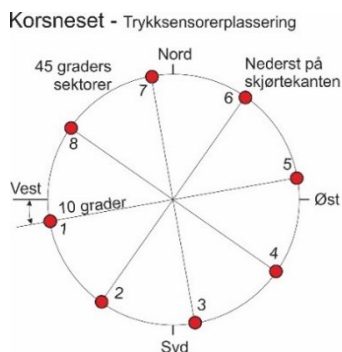
| Langtidsmålinger | SalMar – Korsneset 21.9.2018 – 10.01.2019 | | |
|--------------------|---|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| ADCP | 1 | 1 | Kont. |
| Trykk tag - skjørt | 8 | 8 | Kont. |
| DO | 3 | 3 | Kont. |
| CTD | 1 | 1 | 34 |

ADCP

ADCP-en ble montert på bøyn nord for merden som vist i Figur 6.

Trykktags

Trykkcellene ble plassert i bunnen av luseskjørtet (figur 7).



Figur 7. Plasseringen av trykkceller på Korsneset.

Oksygen

3 Aanderaa optoder ble benyttet til målingene. Plasseringen av sensorene var i 3 m dyp og 3 m inn i merden fra nota i posisjonene 1 og 3 og en sensor på utsiden av merden i posisjon 5 (Figur 7).

CTD

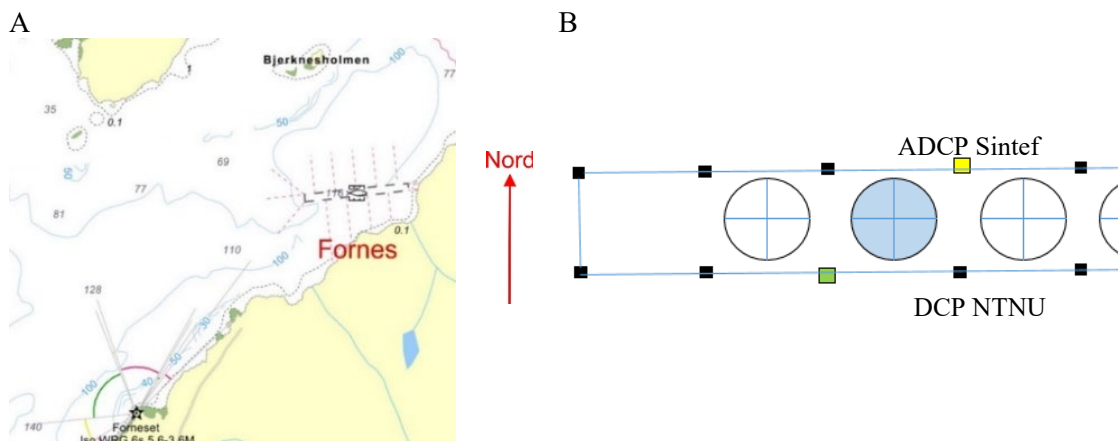
CTD ble målt utenfor merden.

2.2.4 Fornes 2018

Det ble gjennomført både korttidsmålinger og langtidsmålinger i denne perioden. Korttidsmålingene gikk fra 25. – 26.09.2018, mens langtidsmålingene ble gjennomført i periode 24.10. – 13.11.2018.

Lokaliteten hadde en rekke med 8 merder med omkrets på 160 m forankret i en stigefortøyning. Merdene hadde montert spissnot med et dyp på 55 m med nedloddingsvekt i vann på 2,4 tonn, og et 10 m dypt permeabelt luseskjørt med 49 % soliditet. Skjørtet var nedloddet med 1,5 kg m⁻¹ produsert av NWP. Fiskestørrelsen var på ca. 1 kg med en biomasse på 190 tonn.

Da målingene ble gjennomført var det relativt liten fisk i merden (~0.9 kg), og smoltnot ble benyttet. Duken hadde stått ute i 4 uker. Det var noe begroing til stede. Målingene ble gjennomført i den tredje merden fra vest. Det var aktive merder på begge sider av forsøksmerden, men det ble vurdert til å ikke ha noen betydning da strømretningen var NØ - SV mens anlegget var plassert Øst -Vest, slik at merdene ikke skygget for hverandre (Figur 8).



Figur 8. A viser plassering av anlegget på Fornes og B viser anleggskonfigurasjonen med markering av ADCP- og DCP-plasseringen i anlegget. Merd i blått er forsøksmerden.

Korttidsmålinger

Instrumentene benyttet under korttidsmålingene er listet i Tabell 3.

Tabell 3. Sensorene benyttet på Fornes anlegget.

| Korttidsmålinger | Nordlaks – Fornes 25. - 26.09.2018 | | |
|------------------|------------------------------------|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| DCP | 1 | 1 | Kont. |
| ADCP | 1 | 1 | Kont. |
| CTD | 1 | Inne/ute | 12 |
| VEKTOR | 4 | 12 | Kont. |

DCP/ADCP

NTNU sin Aanderaa DCP, og Sintef sin Nortek ADCP ble benyttet. Etersom ADCP-en skulle stå lengre ble det benyttet en annen samplingsperiode enn på DCP-en. DCP-en målte hvert minutt, mens ADCP-en målte hvert 10 minutt. Målerne ble montert i forankringsbøyene (Figur 8).

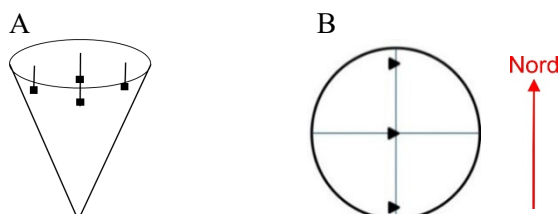
CTD

CTD ble målt 2 ganger innenfor og utenfor merden rett etter hverandre, mens det ble målt 10 ganger utenfor.

Vektorer

En av Vektor-strømmålerne ble flyttet rundt i 8 forskjellige posisjoner. Hver posisjon hadde en avstand på 3 meter fra merdkanten og var på 2 meters dyp. Vektoren stod i hver posisjon i ca. 5 minutter.

Klokka 16:30 ble to av Vektorene satt i midten av merden, som ble stående over natta. Vektorene i midten stod på 2 og 6 m dyp. Klokka 19:20 ble 2 Vektorer plassert i 2 m dyp, på hver sin side av Vektorene i midten, med 4 meters avstand til merdkanten, som vist i Figur 9.



Figur 9. Plasseringen av Vektorene over natten mellom 25. og 26.09.2018. I både A og B er DO-sensorene i midten på 2 og 6 m dyp, de to andre, ut mot kanten er på 2 m dyp. Tverrsnittet vist i A er i retningen Nord-Sør.

Langtidsmålinger

Instrumentene benyttet under langtidsmålingene er listet i Tabell 4.

Tabell 4. Sensorene benyttet på Fornes anlegget.

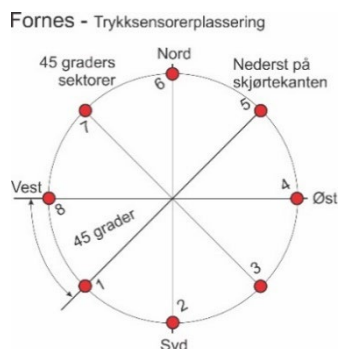
| Langtidsmålinger | Nordlaks – Fornes 24.10 – 13.11.2018 | | |
|--------------------|--------------------------------------|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| ADCP | 1 | 1 | Kont. |
| Trykk tag - skjørt | 8 | 8 | Kont. |
| DO | 3 | 3 | Kont. |

ADCP

ADCP-en ble montert nord for anlegget mens DCP-en ble montert sør i forankringsbøyene som vist i Figur 8.

Trykktags

Trykkcellene ble montert i nedkanten av skjørtet på 8 plasser i en oktagon for å kunne observere hvor mye skjørtet løftet seg i strøm (Figur 10).



Figur 10. Plasseringen av trykkceller på Fornes.

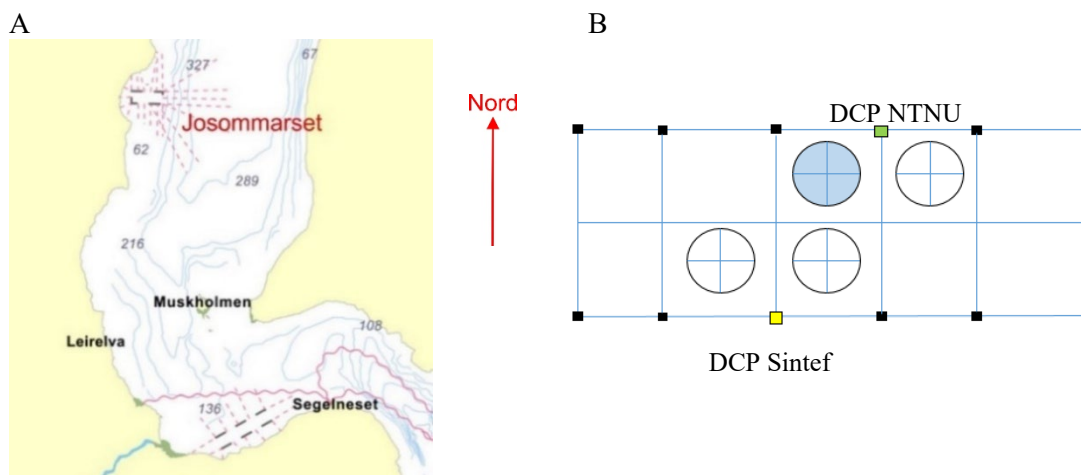
Oksygen

3 Aanderaa optoder ble benyttet til målingene. Plasseringen av sensorene var i 3 m dyp og 4 m inn i merden fra nota på Sør-siden og Nord-siden av merden i posisjonene 2 og 6 og en sensor på utsiden av merden i posisjon 8 (Figur 10).

2.2.5 Josommarset 2018

Det ble gjennomført både korttidsmålinger og langtidsmålinger i denne perioden. Korttidsmålingene gikk fra 27. – 28.09.2018, mens langtidsmålingene ble gjennomført i periode 27.10. – 24.11.2018.

Anlegget befinner seg i Hellmofjorden ved Musken (Figur 11, A). Lokaliteten hadde to rekker med merder, totalt 10 stykk 100 metringer (32 m diameter) forankret i en rammefortøyning, men det var kun 4 som hadde fisk. Merden var 22 m dyp med 15 m sylindriske sidekanter og 5 m dype luseskjørtet. Fiskestørrelsen var på ca. 1,6 kg og med en biomasse på 238 tonn.



Figur 11. A viser plassering av anlegget på Josommarset og B viser anleggskonfigurasjonen med de aktive merdene med markering av ADCP- og DCP-plasseringene. Merd i blått er forsøksmerden.

Da målingene ble utført var fisken ca. ~1.6 kg store. Merd nr. 3 fra land, mot nord ble benyttet. Det var altså en tom merd vest for merden, og aktive merder øst og sør for merden vi målte i (Figur 11, B).

Korttidsmålinger

Instrumentene som ble benyttet er listet i Tabell 5.

Tabell 5. Sensorene benyttet på Josommarset anlegget.

| Korttidsmålinger | Ellingsen – Josommarset 27. - 28.09.2018 | | |
|------------------|--|-------------|-------------------|
| | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| DCP | 1 | 1 | Kont. |
| ADCP | 1 | 1 | Kont. |
| CTD | 1 | 1 | 27 |
| VEKTOR | 4 | 5 | Kont. |
| DO | 3 | 3 | Kont. |

DCP/ADCP

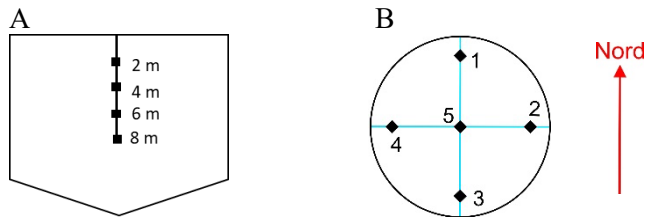
NTNU sin Aanderaa DCP, og SINTEF sin Aanderaa DCP ble benyttet. Etersom DCP-en til, SINTEF skulle stå lengre ble det benyttet en annen samplingsperiode enn på DCP-en. DCP-en målte hvert minutt, mens ADCP-en målte hvert 10 minutt. Målerne ble montert i forankringsbøyene (Figur 11).

CTD

CTD ble målt utenfor merden.

Vektorer

Vektorene ble montert sammen i en rigg med 2 m avstand mellom hver Vektor (Figur 12). På dagtid ble riggen flyttet rundt i merden i 4 forskjellige posisjoner (pos. 1 – 4), mens det på natten ble plassert i midten (pos. 5). Posisjon 1 – 4 var 3 m fra nota inn i merden.



Figur 12. Plassering av vektorene i løpet av målekampanjen. A viser tverrsnittet av merden med målerigg, mens B viser merd sett ovenfra.

DO

To av DO sensorene ble plassert i posisjon 1 og 3, samt en i posisjon 2 utenfor merden (Figur 12). Alle i 3 m dyp.

Langtidsmåling

Instrumentene som ble benyttet er listet i Tabell 6.

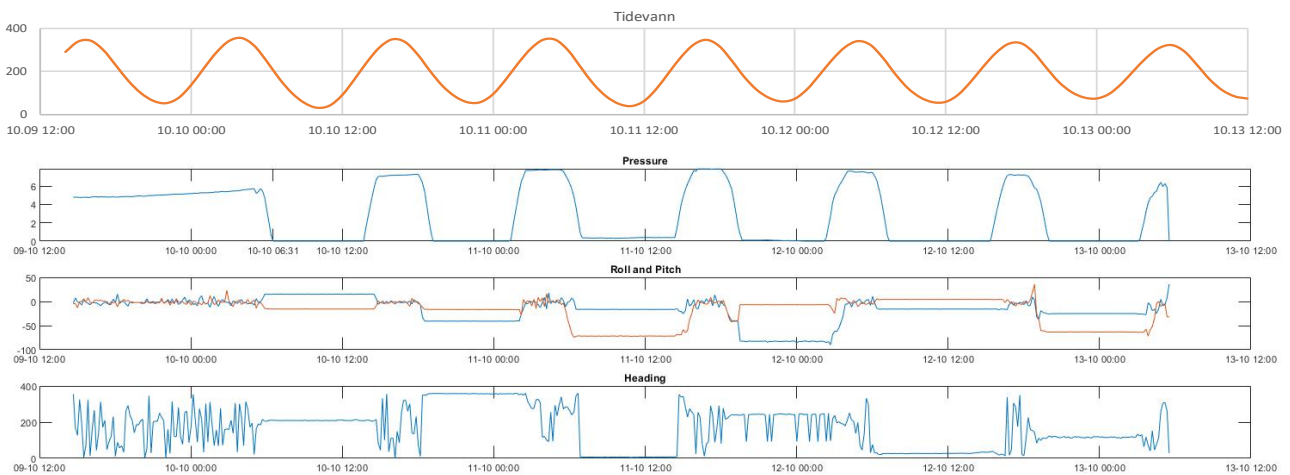
Tabell 6. Sensorene benyttet på Josommarset anlegget.

| Langtidsmålinger | Ellingsen – Josommarset 27. – 24.11.2018 | | |
|--------------------|--|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| DCP | 1 | 1 | Kont. |
| Trykk tag - skjørt | 6 | 6 | Kont. |
| DO | 3 | 3 | Kont. |

DCP/ADCP

Sintef sin DCP ble stående i samme posisjon som for korttidsmålingene (Figur 11). NTNU sin DCP ble fjernet etter korttidsmålingene. Sintef sin DCP slet fortøyningen på ett tidspunkt og ble funnet ødelagt i fjæra. Det er usikkert hvordan dette skal ha skjedd. Siste gode måling var om morgenen 10.10.2018.

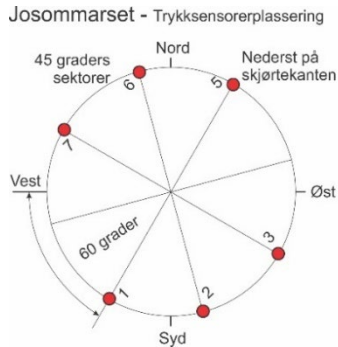
Trykk, roll, pitch, heading og tidevann ble plottet for å kunne finne en årsak til at den slet seg. Man ser tydelig at instrumentet har ligget i vannkanten med tydelig tegn på høy og lavvann. Instrumentet ligger i vannet på høyvann og tørt ved lavvann (Figur 13).



Figur 13. Tidevann, trykk, Roll og Pitch samt heading (Retning på instrumentet) for perioden etter instrumentet slet seg, eller ble fjernet fra lokaliteten.

Trykktags

Ble satt nederst på duken med plassering som indikert på Figur 14.



Figur 14. Plassering av trykksensorene sett ovenfra. Sensorene ble montert helt i bunnen av duken.

DO

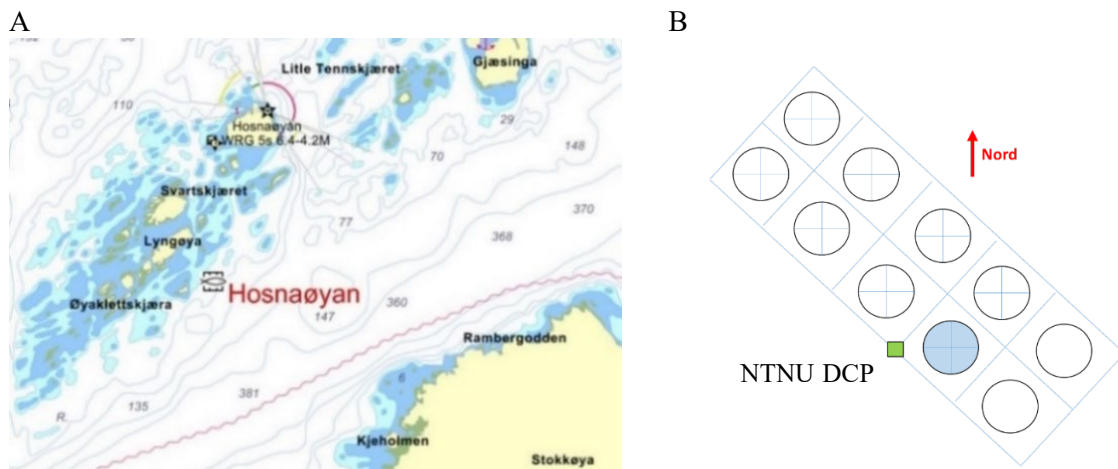
Posisjonene fra korttidsmålingene ble beholdt.

2.2.6 Hosnaøyen 2018

Det ble gjennomført 2 perioder med korttidsmålinger på ACE sin merd på lokaliteten Hosnaøyen. Periodene var fra 15. – 16.10.2018 og 05. – 07.11.2018.

Hosnaøyen 1: 15. – 16.10.2018

Denne lokaliteten er den mest bølgeutsatte. Det var en del bølger sammenlignet med de andre lokalitetene, men fortsatt kun snakk om ~30 – 40 cm observert (Figur 14). Målingene ble foretatt i en ACE-forsøksmerd.



Figur 15. A viser plassering av anlegget på Hosnaøyen og B viser anleggskonfigurasjonen med DCP-plasseringen. Merd i blått er forsøksmerden. Merd med blått kryss er med fisk.

Ekkolodd og oksygensensorer ble satt ut, samt ADCP. Dessverre ble noen av ekkoloddene og noen av oksygensensorene skadet p.g.a. for stram tauline. Vi fikk derfor ingen langtidsmålinger her.

Merden var en 160 metring, med en diameter på 50 meter med en fiskestørrelse på ca. 4,4 kg., antall på 189 200 fisk og biomasse på 830 tonn Det var ikke skjørt på merden.

Instrumentene som ble benyttet er listet i tabell 7.

Tabell 7. Sensorene som ble benyttet på Hosnaøyen anlegget.

| Korttidsmålinger | SalMar ACE – Hosnaøyen 15. - 16.10.2018 | | |
|------------------|---|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| DCP | 1 | 1 | Kont. |
| ADCP | Værbøya | | Kont. |
| VEKTOR | 4 | 7 | 2 |
| HOBO | 9 | 7 | 2 |
| DO | 3 | 3 | Kont. |
| Ekkolodd | 2 | 2 | Kont. |

ADCP/RDCP

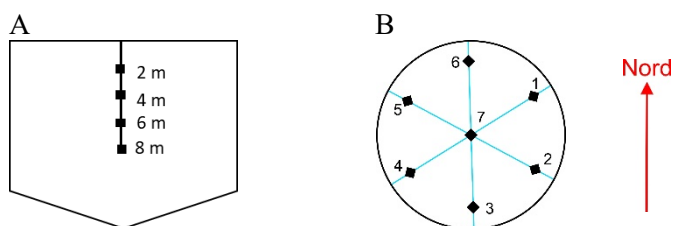
På Hosnaøyen var det kun plassert en ADCP på den vestlige siden av forsøksmerden (Figur 15). Sintef Exposed hadde en værbøye plassert et stykke sør for anlegget ca. 300 m fra forsøksmerden (Figur 16).



Figur 16. Plasseringen av Værbøya i forhold til anlegget.

Vektorer

Vektorene ble plassert på en streng i rekkefølge (Figur 17). Disse ble plassert på 2, 4, 6 og 8 meter dyp.



Figur 17. A viser tverrsnittet av merden med vektorene plassert i midten, mens B viser merden ovenfra med måleposisjonene horisontalt i forhold til merden.

Oksygen

Oksygen ble målt 3 m fra nota i posisjonene 1 og 4, samt rett utenfor på utsiden av merden i posisjon midt mellom 2 og 3 (Figur 17, B).

Hosnaøyen 2: 05. – 07.11.2018

Samme lokalitet og merd ble benyttet som i forsøkene i Hosnaøyen 1. Hovedforskjellen her var at skjørtet hadde blitt satt ut før vi kom. Dessverre falt oksygennivået inne i merden drastisk, så den 06.11 klokka 09:48 begynte de å heise opp skjørtet igjen. Dette tok ca. en time, og skjørtet var helt oppe ca. 10:35.

Denne gangen var Taskforce Lakselus med, og de satte ut en lyskilde og gjennomført håvtrekk i nærheten av denne. Vektorene ble derfor til tider flyttet nærme lyskilden for å kunne si noe om strømmen ved håvtrekket. Dessverre hadde det nettopp blitt avluset på anlegget, og Taskforce Lakselus fant lite lus i prøvene sine.

Instrumentene som ble benyttet er listet i Tabell 8.

Tabell 8. Sensorene som ble benyttet på Hosnaøyen anlegget.

| Korttidsmålinger | SalMar ACE – Hosnaøyen 05. - 07. 11.2018 | | |
|--------------------|--|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| CTD | 1 (NTNU) | 2 | 6 |
| RDCP | 1 | 1 | Kont. |
| ADCP | Værbøya | | Kont. |
| VEKTOR | 4 | 5 | 1 |
| HOBO | 12 | 5 | 1 |
| DO | 3 | 3 | Kont. |
| Ekkolodd | 2 | 2 | Kont. |
| Taskforce Lakselus | Hovtrekk, lusetelling, CTD | | |

Merden var en 160 metring med en diameter på 50 m og luseskjørt 7 m dypt. med en fiskestørrelse på 4 – 5 kg.

Resultatene fra Taskforce lakselus³ – Mekanismer for spredning av lakselus, med hovedmålet å etablere fundamental kunnskap om hvordan lakselus kan spres innen oppdrett, innen ville bestander av laksefisk, og mellom ville og oppdrettede bestander, presenterer resultatene i egne rapporter.

Vektorer

Vektorene ble plassert på en streng i rekkefølge og ble plassert på 2, 4, 6 og 8 meter dyp (Figur 17, A). Det ble bare tid til å ta målingene i posisjon 1 – 4, før skjørtet ble heist opp på grunn av dårlige oksygenforhold (Figur 17, B).

DCP/ADCP

Samme plassering av DCP-en ble benyttet som vist i Figur 15.

Oksygen

Samme posisjonene ble benyttet for sensoren som i målekampanje 1. Dessverre så mistet man sensoren i posisjon 4 (Figur 17, B) på grunn av kabelbrudd.

Ekkolodd

Ekkoloddene ble plassert i samme akse som oksygensensorene med en avstand på 4 m mellom ekkolodd sensorene, med første ekkolodd sensor 4 m inn i merden 1 m fra oksygensensoren i posisjon 1 (Figur 17, B).

Merknader

07.11 var det sterk strøm, og man observerte at all fisk stod og holdt posisjon mot strømmen.

2.2.7 Fornes 2019

Det ble gjennomført både korttidsmålinger og langtidsmålinger i denne perioden. Korttidsmålingene gikk fra 3. – 5.07.2019, mens langtidsmålingene ble gjennomført i periode 12.03. – 19.05.2019.

Samme merd ble benyttet som i 2018 (Figur 8. A viser plassering av anlegget på Fornes og B viser anleggskonfigurasjonen med markering av ADCP- og DCP-plasseringen i anlegget. Merd i blått er forsøksmerden.. Merden var en 160 metring, spissnot med et dyp på 55 m med nedloddingsvekt i vann på

³ Finansiert av FHF, NTNU, og næringspartnerne SalMar, MOWI, Lerøy Midt, SalmoNor, Emilsen Fisk, Måsøval Fiskeoppdrett, Erviks Laks og Ørret, Sinkaberg-Hansen, Midt-Norsk Havbruk, AQS, Refsnes Laks, Skretting, Aqua Kompetanse og Åkerblå. <https://www.ntnu.edu/oceans/taskforce>

2,4 tonn, og et 10 m dypt permeabelt luseskjørt med 50 % soliditet nedloppet med 1,5 kg m⁻¹. Biomassen den 2.7.2019 i den merden det ble målt i, var på ca. 750 tonn med ca. 191 310 stk. fisk ca. 3,92 kg.

Langtidsmålinger

Instrumentene som ble benyttet er listet i Tabell 9.

Tabell 9. Sensorene benyttet på Fornes anlegget.

| Langtidsmålinger | Nordlaks – Fornes 12.3 – 19.05.2019 | | |
|------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| CTD | 1 | Utenfor | 35 |
| Siktedyp | 1 | Utenfor | 64 |
| Planteplankton | 1 | Inne/ute | 74 |

CTD

CTD målingene ble foretas gjennom måleperioden utenfor merden.

Siktedyp

Siktedyp ble loggført av arbeiderne på anlegget en gang om dagen ved bruk av en Secchi skive på utsiden av merden.

Planteplankton

Vannprøver ble tatt i 3m dyp på innsiden av merden og på utsiden med vannhenter. Vannprøvene ble tappet over i 0,5 liter prøveflasker og tilsatt 2 – 5 ml fikseringsmiddel. Vannprøvene ble så sendt til SINTEF Ocean for analyse i mikroskop.

Korttidsmålinger

Instrumentene som ble benyttet er listet i Tabell 10.

Tabell 10. Sensorene benyttet på Fornes anlegget.

| Korttidsmålinger | Nordlaks – Fornes 03.05. – 05.07.2019 | | |
|------------------|---------------------------------------|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| DCP | 1 | 1 | Kont. |
| ADCP | 1 | 1 | Kont. |
| CTD | 1 | Inne/ute | 19 |
| VEKTOR | 4 | 12 | Kont. |
| DO | 8 | 14 | Kont. |
| Siktedyp | 1 | Utenfor | 5 |

DCP/ADCP

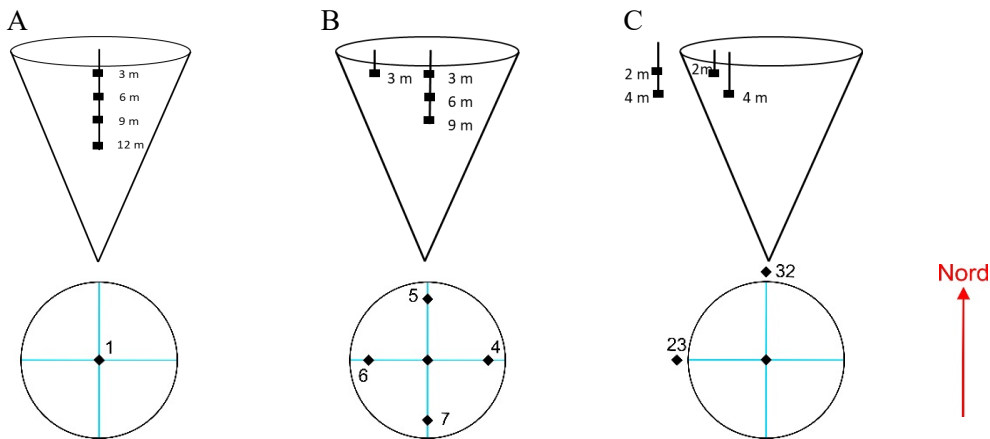
Samme plassering på strømmålerne ble benyttet som i 2018 (Figur 15). NTNU sin DCP målte hvert minutt, mens Sintef sin ADCP ble satt til å måle hvert 3 minutt på grunn av batterikapasitet.

CTD

CTD målingene gjennom måleperioden ble foretatt utenfor og innenfor merden.

Vektorer

Til hver Vektor ble det festet en MiniDOT DO sensor, slik at både strøm og oksygen ble målt i samme posisjon og dyp. Det var totalt 3 konfigurasjoner med Vektorer, som ble brukt på Fornes (Figur 18).



Figur 18. Målekonfigurasjoner under korttidsmålingene. A viser konfigurasjonen under "over natten" målingene, B viser konfigurasjonen under målingene med flytting av en Vektor mellom posisjonen 4 – 7, og C viser konfigurasjonen for å måle hva som skjer med strømmen nær duken.

DO

Som nevnt over var det montert en DO-sensor per Vektor. I tillegg ble det benyttet 3 Aanderaa DO sensorer, to på innsiden i posisjon 5 og 7, og en på utsiden av merden i posisjon 6 (Figur 18). Det ble i tillegg til benyttet en MinDOT DO sensor i posisjon 6 (Figur 18).

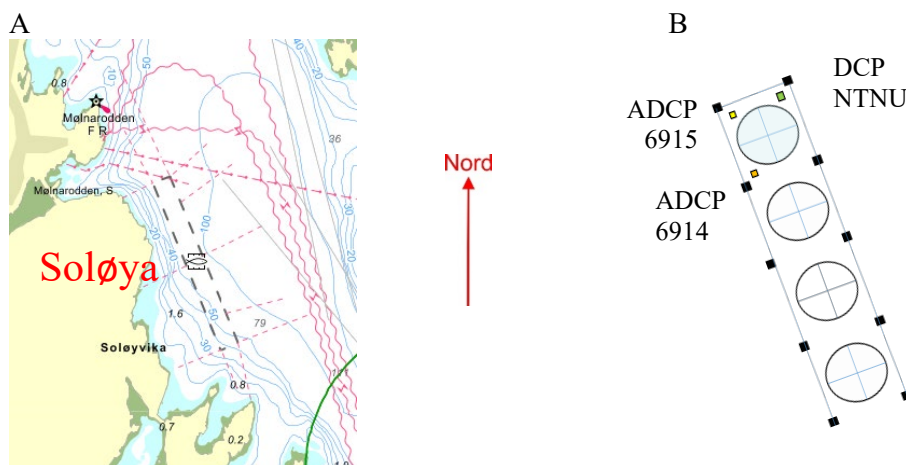
Siktedyp

Siktedypet ble gjennomført av SINTEF Ocean i løpet av måleperioden.

2.2.8 Soløya 2019

Det ble gjennomført både korttidsmålinger og langtidsmålinger i denne perioden. Korttidsmålingene gikk fra 21. – 24.05.2019, mens langtidsmålingene ble gjennomført i periode 12.03. – 15.05.2019.

Soløya befinner seg litt nord for Reine i Isfjorden (Figur 19). Lokaliteten hadde et anlegg med stigeportøying med 12 merder i rekke. Alle merdene var 100 metringer (32 m diameter) med 22 meter dyp nøter med 15 m sylindriske sidekanter. Merden er av samme type som på Josommarset, og benytter seg også av 5-meter dype tette skjørt.



Figur 19. A) Plassering av anlegget på Soløya og B) er anleggskonfigurasjonen med plasseringen av DCP og ADCP-er. Merd i blått er forsøksmerden.

Da målingene ble utført var fisken ca. ~1.3 kg, og det var ca. 130 000 fisk per merd. Føring foregikk mellom klokka 08:00 – 16:00. Vi målte i første merden fra nord. Dette anlegget er noe vanskelig ettersom strømmen går sør-nord, og anlegget står også samme retning.

Langtidsmålinger

Sensorene benyttet på anlegget er oppsummert i tabellen nedenfor. Instrumentene som ble benyttet er listet i Tabell 11.

Tabell 11. Sensorene benyttet på Soløya anlegget.

| Langtidsmålinger | 12.03. – 15.05.2019 | | |
|------------------|---------------------|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| CTD | 1 | Utenfor | 21 |
| Siktedyp | 1 | Utenfor | 54 |
| Plantep plankton | 1 | Inne/ute | 22 |

CTD målingene ble foretas daglig utenfor merden.

Siktedyp

Siktedyp ble loggført av arbeiderne på anlegget en gang om dagen ved bruk av en Secchi skive på utsiden av merden.

Plantep plankton

Vannprøver ble tatt i 3m dyp på innsiden av merden og på utsiden med vannhenter. Vannprøvene ble tappet over i 0,5 liter prøveflasker og tilsatt 2 – 5 ml fikseringsmiddel. Vannprøvene ble så sendt inn til SINTEF Ocean for analyse i mikroskop.

Korttidsmålinger

Instrumentene som ble benyttet er listet i Tabell 12.

Tabell 12. Sensorene benyttet på Soløya anlegget.

| Korttidsmålinger | 21. - 24.05.2019 | | |
|------------------|------------------|-------------|-------------------|
| Instrumenttype | Antall instr. | Antall pos. | Målinger per pos. |
| DCP | 1 | 1 | Kont. |
| ADCP | 2 | 2 | Kont. |
| CTD | 1 | Inne/ute | 18 |
| VEKTOR | 4 | 6 | Kont. |
| DO | 5 | 6 | Kont. |
| Siktedyp | 1 | Utenfor | 7 |

DCP/ADCP

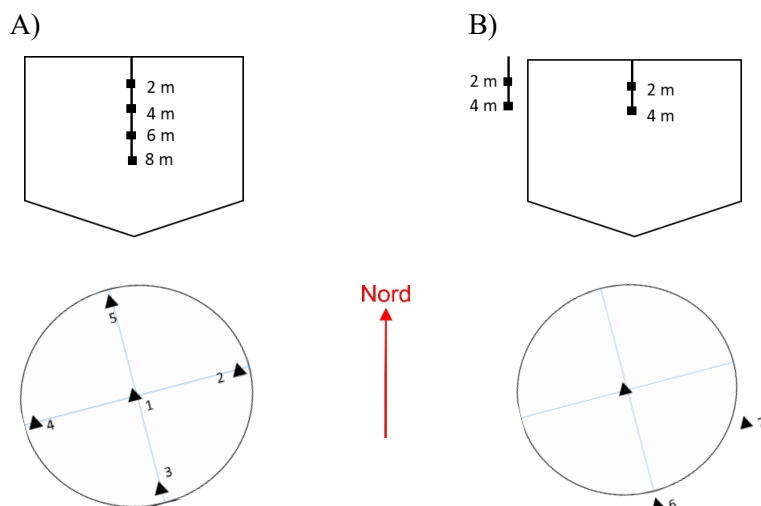
Alle DCP og ADCP-er ble festa til en blåse. Men på grunn av fortøyningene til merden ble de enten festa i selve fortøyningsbøyen eller festa i tau mellom mellom bøyene.

CTD

CTD målingene ble foretatt gjennom måleperioden utenfor og innenfor merden.

Vektorer

Til hver Vektor ble det festet en MiniDOT DO sensor, slik at både strøm og oksygen ble målt i samme posisjon og dyp. Det var totalt 2 konfigurasjoner med Vektorer, som ble brukt på Soløya (Figur 20).



Figur 20. Målekonfigurasjonen under korttidsmålingene. A) viser konfigurasjonen under "over natten målingene" i posisjon 1, og konfigurasjonen under målingene med flytting av hele måleriggen i posisjonene 2 - 5, og C) viser konfigurasjonen for å måle hva som skjer med strømmen nær duken.

DO

DO ble målt med MiniDOT montert på hver Vektor.

Siktedyp

Siktedypet ble gjennomført av SINTEF Ocean i løpet av måleperioden.

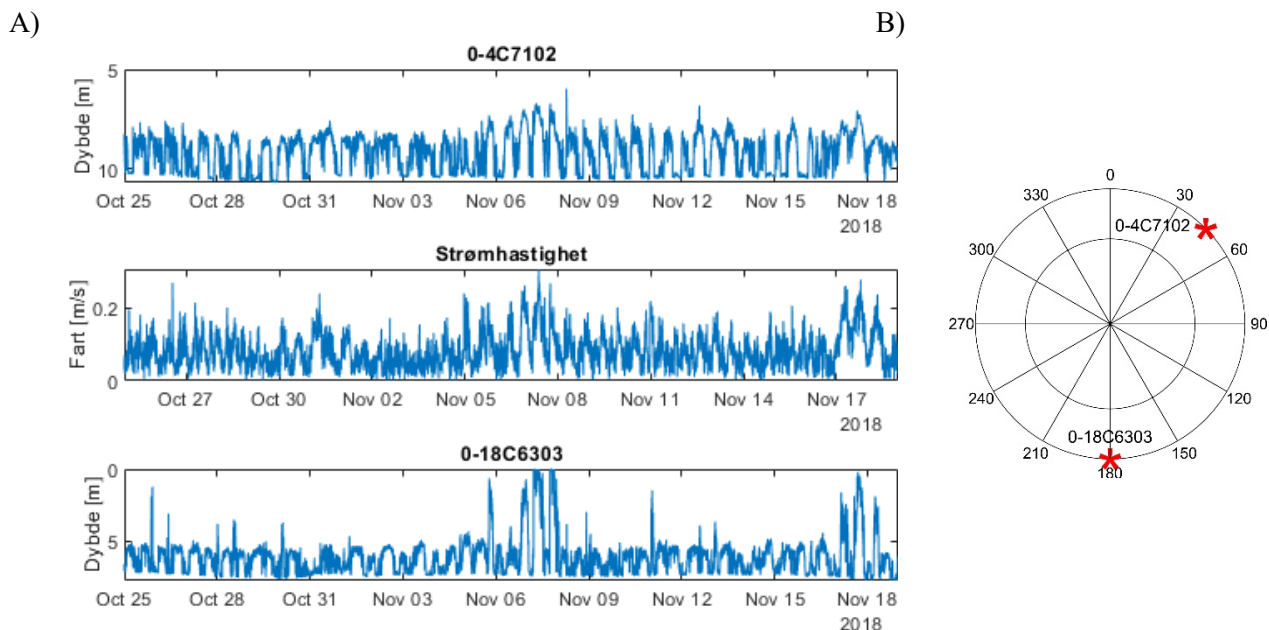
2.3 Resultater 2018

2.3.1 Strømmens innvirkning på luseskjørtet – langtidsmålinger 2018

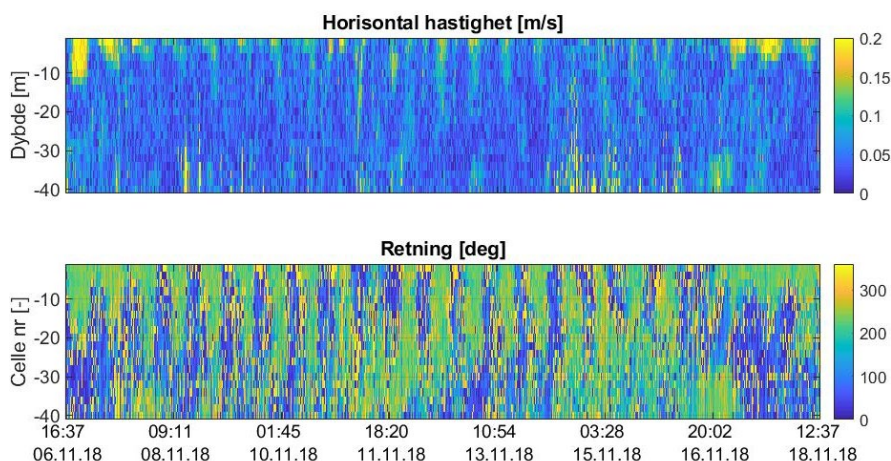
Data samlet inn fra trykktags og strømmålerne under langtidsmålingene på Fornes, Josommarset og Korsneset er presentert i dette delkapittelet. Fig 21 – 26 viser resultatene fra Fornes, Fig 27 – 30 viser for Josommarset og Fig. 31 til 34 fra Korsneset.

For hver av lokalitetene presenteres dataen i følgende rekkefølge: først dybdemålingene fra trykksensorene, samt plassering av disse, og vannstrømmens fart på utsiden av merden i ca. samme dyp som trykcellene. Deretter vannstrømmens retning og hastighet gjennom hele perioden, strømroser for noen dyp ved en gitt periode og deretter en graf som viser målt dybde ved skjørtet ved gitt strømhastighet sammenlignet med målingene fra modellskala.

Fornes 2018

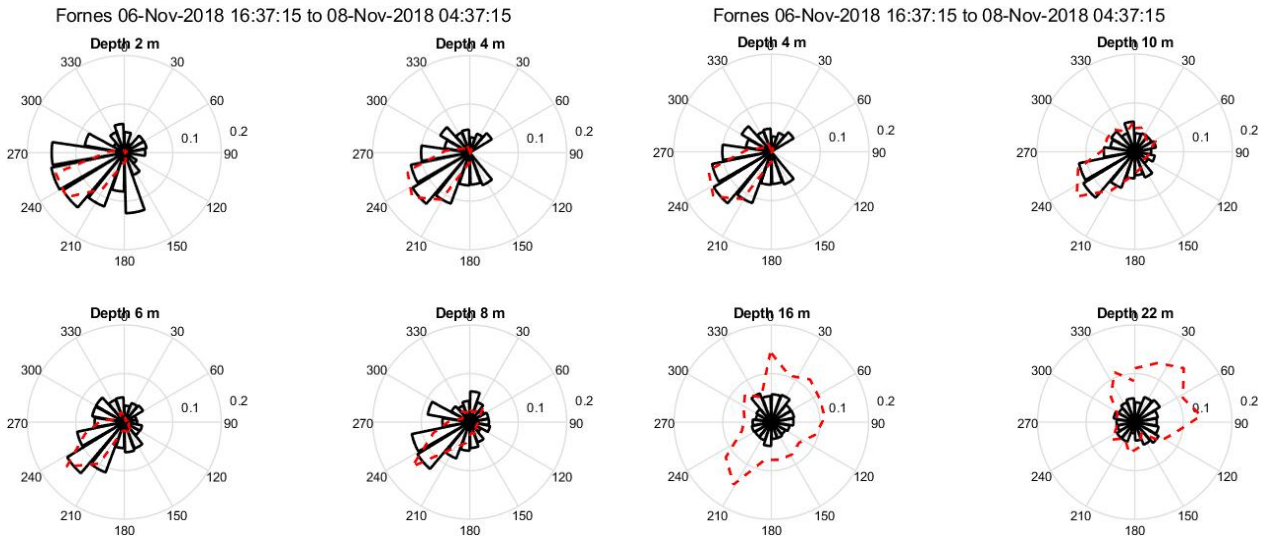


Figur 21. A) viser dybden på trykkcellene og strømmen på Fornes i hele måleperioden, mens B) viser plasseringen av trykkcellene som er benyttet i analysen.

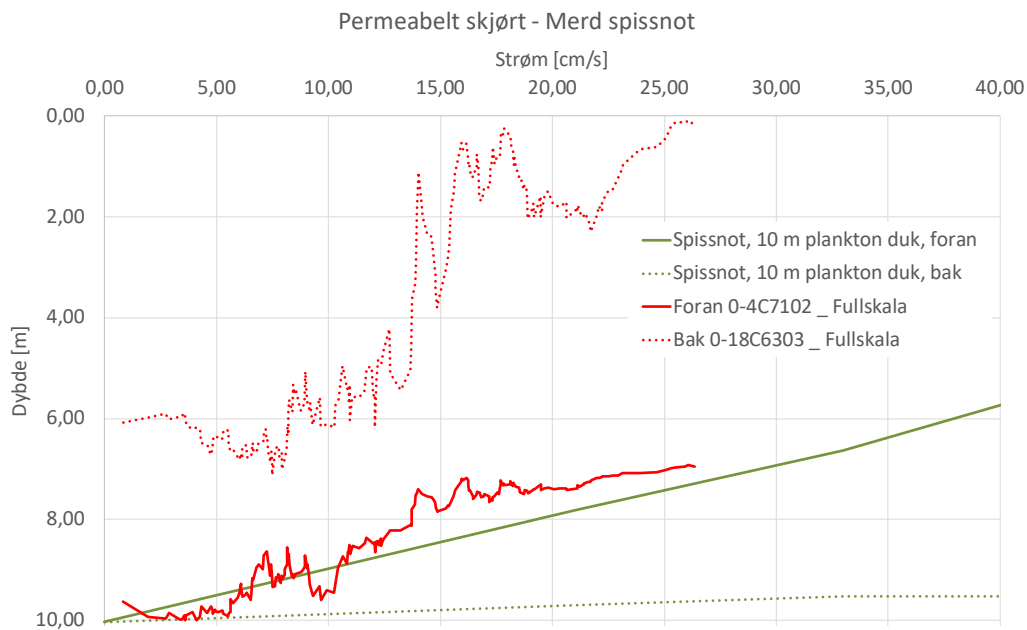


Figur 22. Strøm fart og retning på Fornes for en utvalgt periode mellom 6.11.2018 kl. 16:37 til 18.11.2018 kl. 12:37.

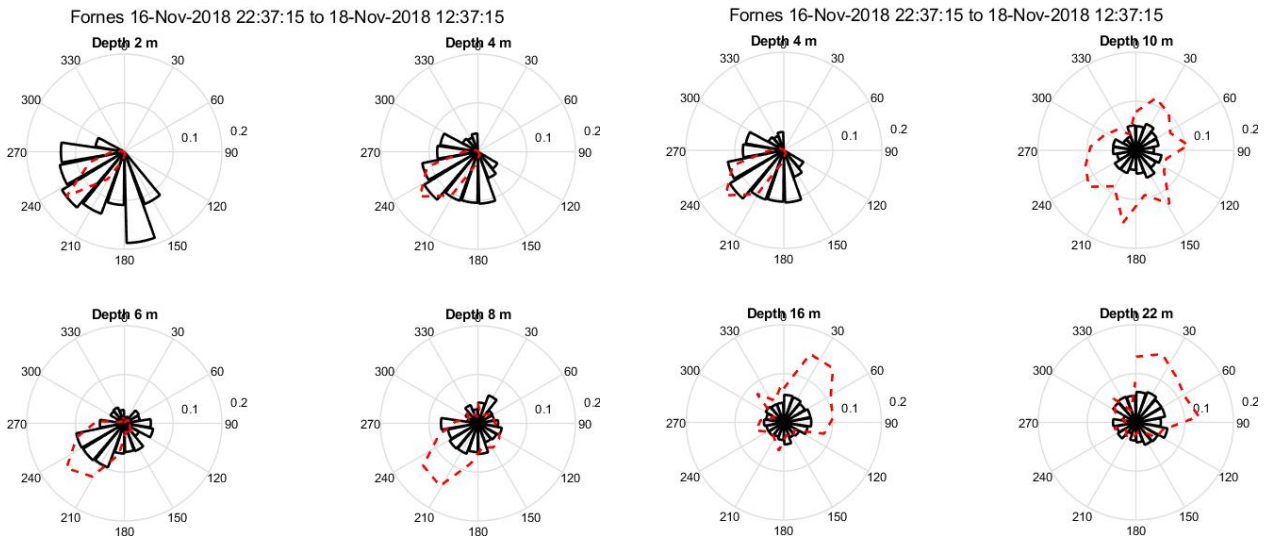
Den sterkeste strømhastigheten på Fornes ble målt mellom 6 – 8 november 2018 (Fig. 21 og 22). I denne perioden gikk strømmen hovedsakelig mot Sør-vest (Fig. 23). Dataen fra trykkcellene ble tatt ut fra den samme perioden og vist i Fig. 24 sammen med resultatene fra modellforsøk. Den 16 til 18 november var det en periode med relativt sterk strøm med relativt ensrettet retning. Strømrosen samt sammenligning med modellforsøkene fra denne perioden er presentert i Fig. 25 og 26.



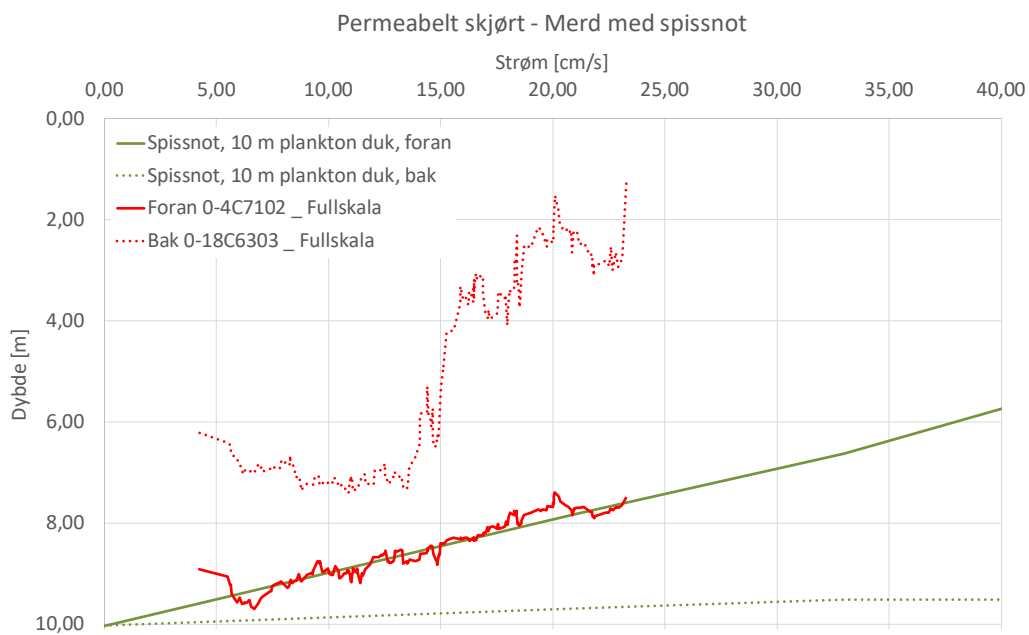
Figur 23. Strømroser for Fornos for de utvalgte dydene 2, 4, 6, 8, 10, 16 og 22 m for perioden 06.11.2018 kl. 16:37 til 08.11.2018 kl. 04:37, der strømmen er mest mulig ensrettet. Figuren viser gjennomsnittlig strømshastighet i 20 graders sektorer. Den røde prikkete linjen er antall målepunkter i 20 graders sektorer.



Figur 24. Figuren viser sammenligning mellom dybden på skjørtet i forhold til strømshastigheten på Fornos i full skala og modellskala målt i Hirtshals under erfaringsdelingsseminaret juni 2017 (Kapittel 2.1). Dataene for trykk i fullskala er hentet fra perioden 6.11. kl. 16:37 til 18.11. kl. 04:37 i 2018.



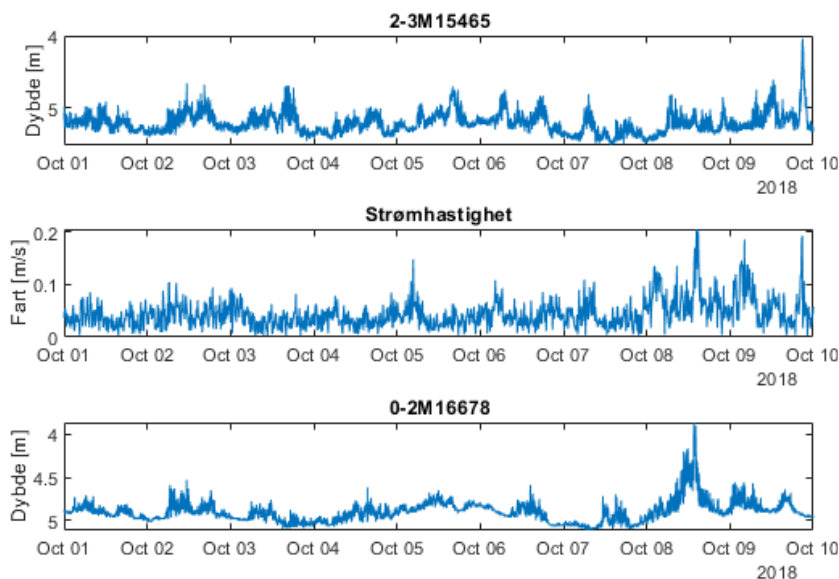
Figur 25. Strømmroser for Fornos for utvalgte dypene 2, 4, 6, 8, 10, 16 og 22 m for perioden 16.11.2018 kl. 22:37 til 18.11.2018 kl. 12:37, der strømmen er mest mulig ensrettet. Figuren viser gjennomsnittlig strømhastighet i 20 graders sektorer. Den røde prikkete linjen er antall målepunkter i 20 graders sektorer.



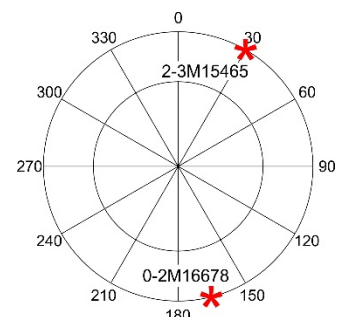
Figur 26. Figuren viser sammenligning mellom dybden på skjørtet i forhold til strømhastigheten på Fornos i full skala og modellskala målt i Hirtshals under erfaringsdelingsseminaret juni 2017 (Kapittel 2.1). Dataene for trykk i fullskala er hentet fra perioden 16.11. kl. 22:37 til 18.11. kl. 12:37 i 2018.

Josommarset 2018

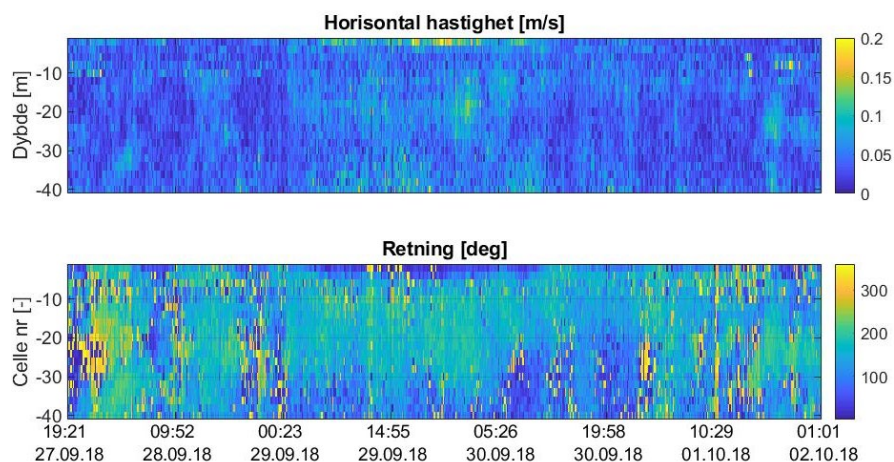
A)



B)

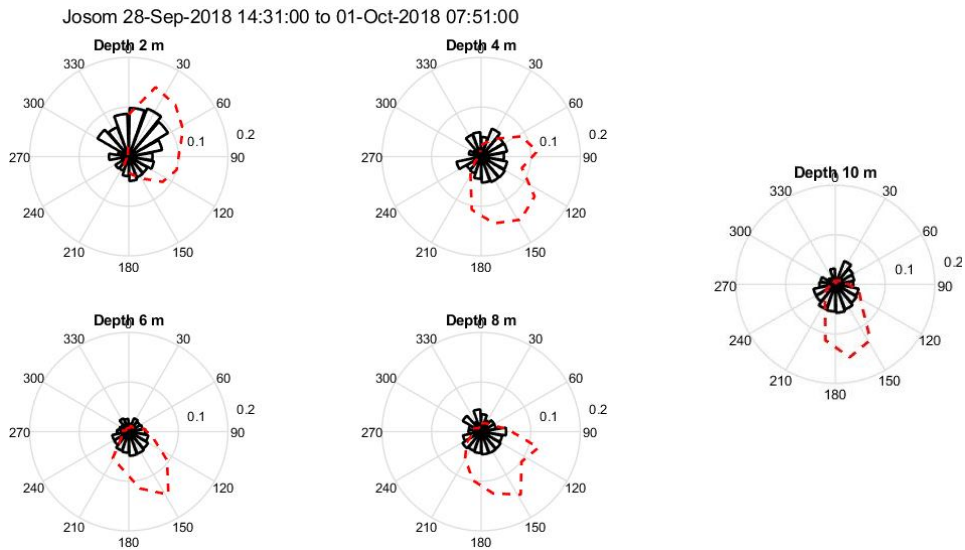


Figur 27. A) viser dybden på trykcellene og strømmen på Josommarset i hele måleperioden, mens B) viser plasseringen av trykcellene som er benyttet i analysen.

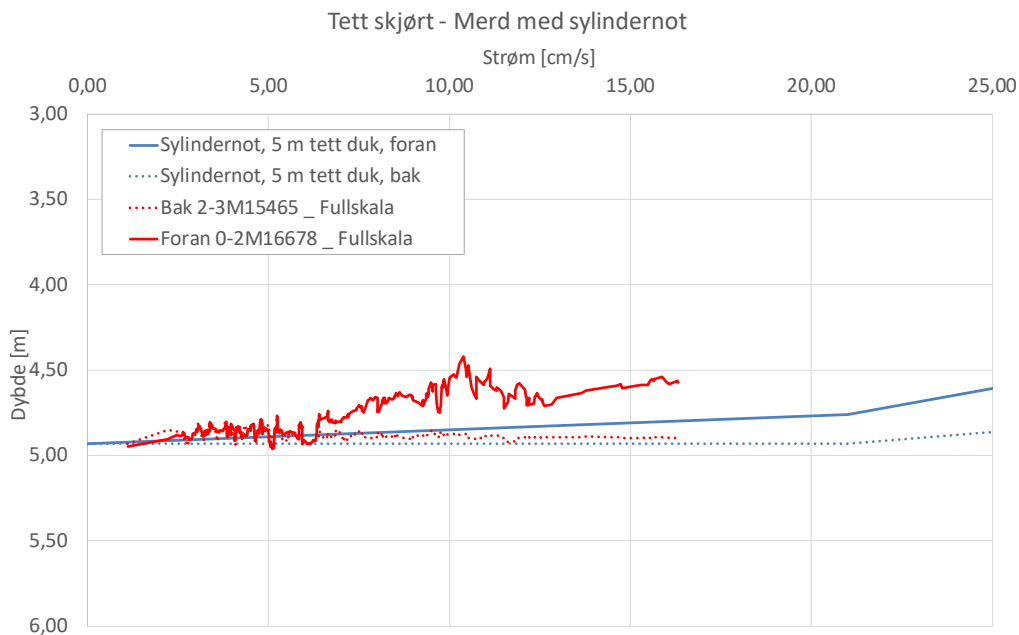


Figur 28. Strøm fart og retning på Josommarset for en utvalgt periode mellom 27.09.2018 kl. 19:21 til 02:10.2018 kl. 12:37.

På Josommarset var strømmen svakere enn på Fornes. Langtidsmålingene her ble også redusert pga. skade på utstyret. Det er noe usikkerhet på hva denne skaden skyldes. I Fig. 27 vises data fra 01.10 til 10.10, mens i Fig. 28 og 29 vises data fra perioden 28.09 til 02.10. Målingene med trykksensorene samsvarte bra med modellforsøket her, både i forkant og bakkant (se Fig. 30).



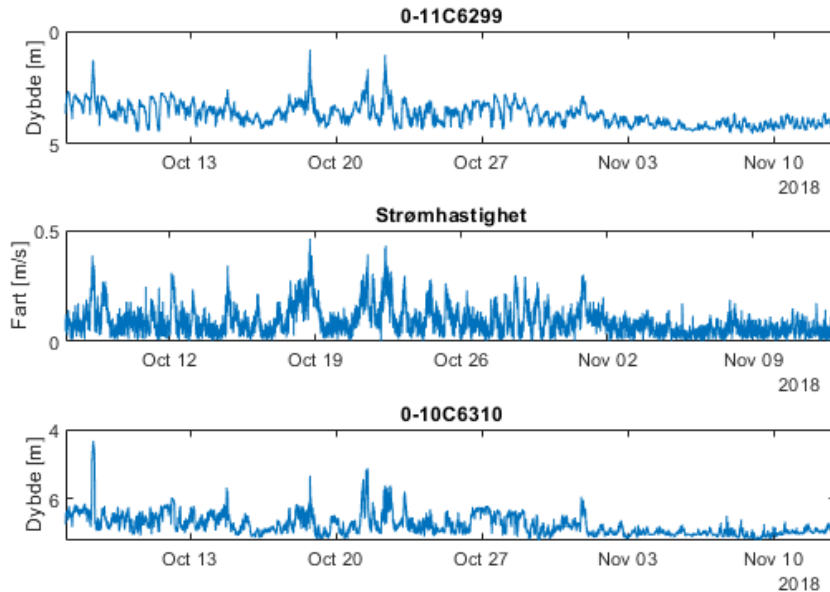
Figur 29. Strømmroser for Josommarset for utvalgte dypene 2, 4, 6 og 8 m for perioden 28.09.2018 kl. 14:31 til 02.10.2018 kl. 07:51, der strømmen er mest mulig ensrettet. Figuren viser gjennomsnittlig strømshastighet i 20 graders sektorer. Den røde prikkete linjen er antall målepunkter i 20 graders sektorer.



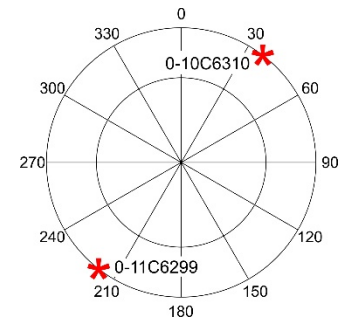
Figur 30. Figuren viser sammenligning mellom dybden på skjørtet i forhold til strømshastigheten på Josommarset i full skala og modellskala målt i Hirtshals under erfaringsdelingsseminaret juni 2017 (Kapittel 2.1). Dataene for trykk i fullskala er hentet fra perioden 28.09. kl. 14:31 til 02.10. kl. 07:51 i 2018.

Korsneset

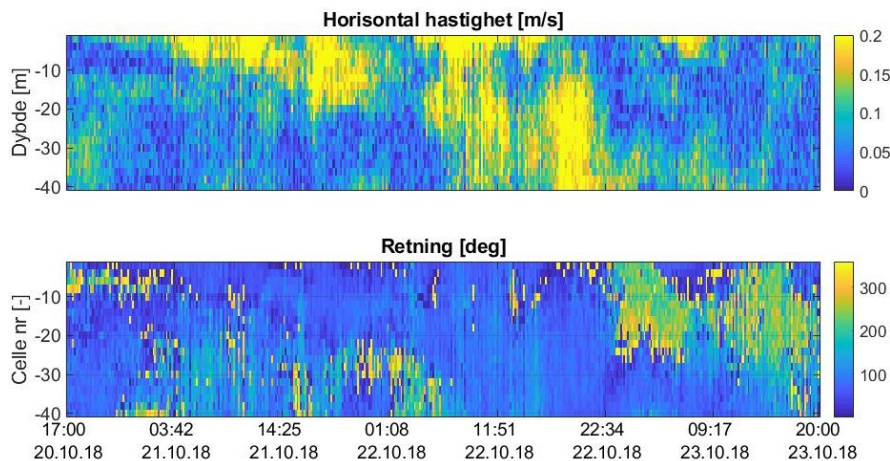
A)



B)

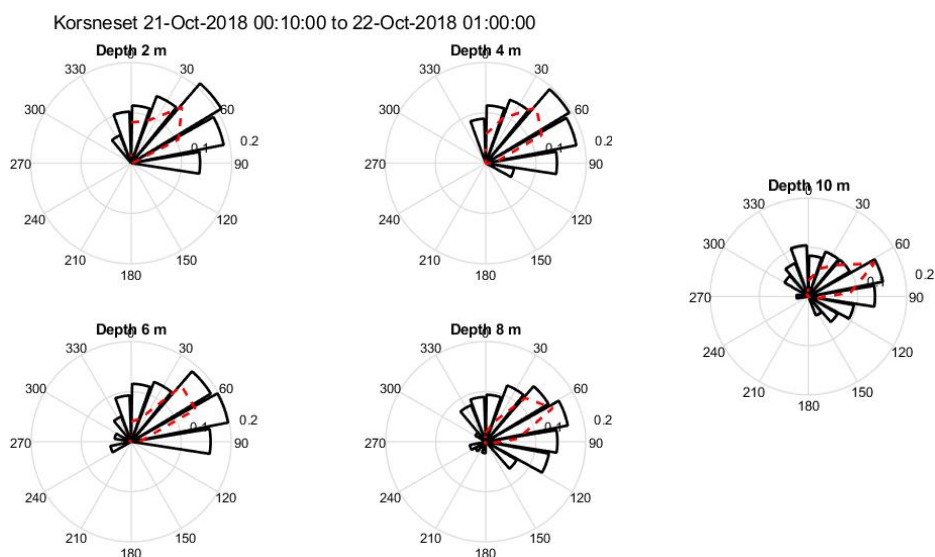


Figur 31. A) viser dybden på trykcellene og strømmen på Korsneset i hele måleperioden, mens B) viser plasseringen av trykcellene som er benyttet i analysen.

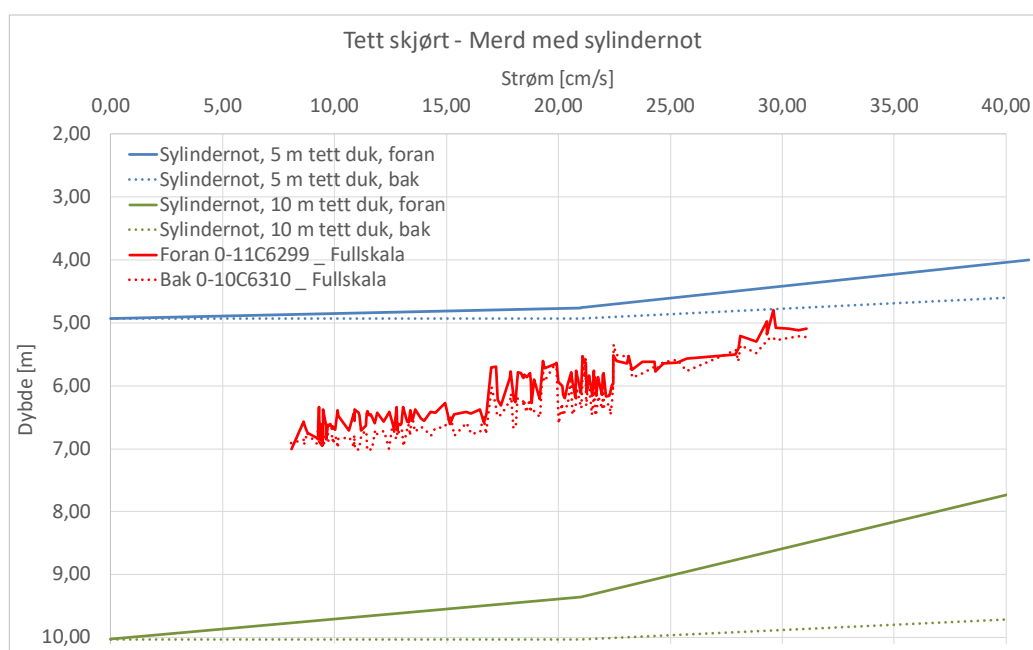


Figur 32. Strøm fart og retning på Korsneset for en utvalgt periode mellom 20.10.2018 kl. 17:00 til 23:10.2018 kl. 20:00.

Posisjonen samt målinger fra trykksensorene på Korsneset er vist i Fig. 31. I Perioden 20.10 til 23.10 var det sterk strøm, og denne perioden vises derfor i mer detalj i Fig. 32 og 33. På Korsneset ble det benyttet et 7 m langt skjørt. Det ble ikke gjennomført modellforsøk med 7 m langt skjørt, derfor sammenlignes dataen fra Korsneset både med resultater med 5 m og 10 m dypt skjørt (Fig. 34).



Figur 33. Strømmroser for Josommarset for utvalgte dybene 2, 4, 6, 8 og 10 m for perioden 21.10.2018 kl. 10:00 til 22.10.2018 kl. 01:00, der strømmen er mest mulig ensrettet. Figuren viser gjennomsnittlig strømhastighet i 20 graders sektorer. Den røde prikkete linjen er antall målepunkter i 20 graders sektorer.



Figur 34. Figuren viser sammenligning mellom dybden på skjørtet i forhold til strømhastigheten på Korsneset i full skala og modellskala målt i Hirtshals under erfaringsdelingsseminaret juni 2017 (Kapittel 2.1). Siden skjørtet på Korsneset var 6,7 m dypt er både 5 m og 10 m tett skjørt fra modellskalaforsøkene tatt med her. Dataene for trykk i fullskala er hentet fra perioden 21.10. kl. 10:00 til 22.10. kl. 01:00 i 2018.

2.3.2 Korttidsmålinger 2018

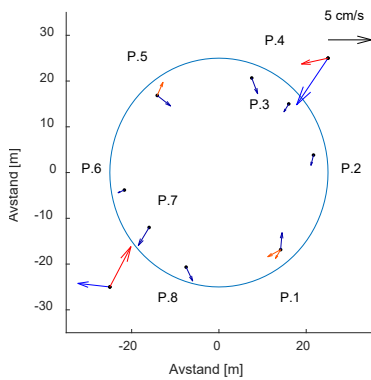
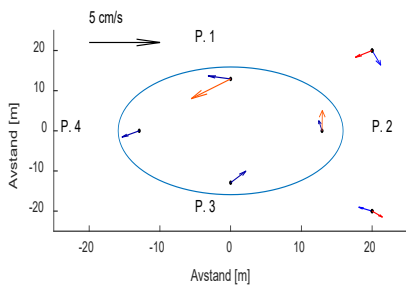
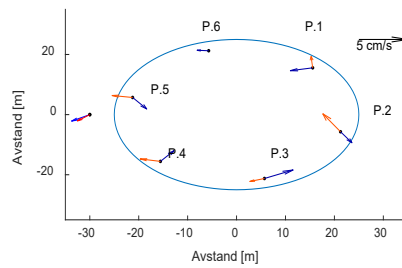
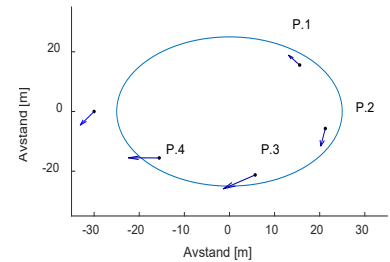
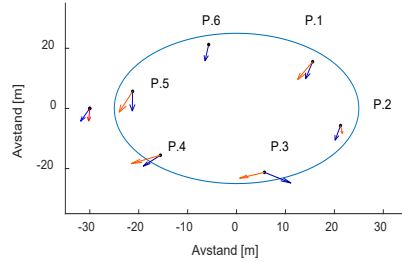
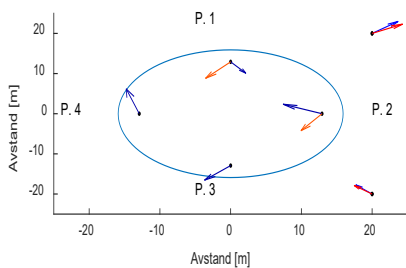
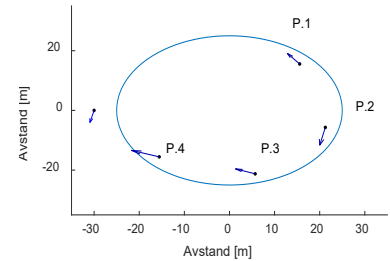
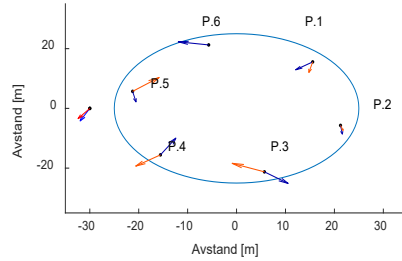
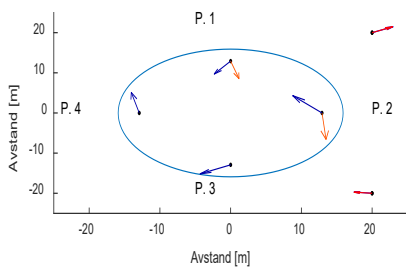
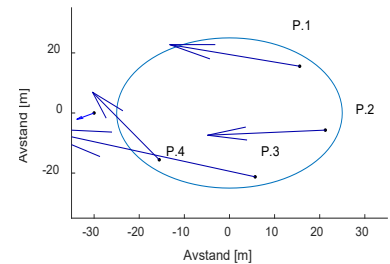
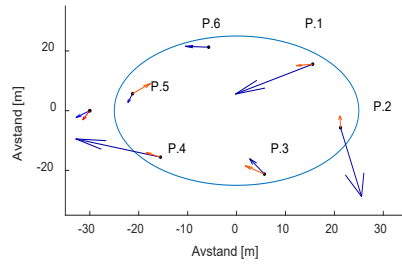
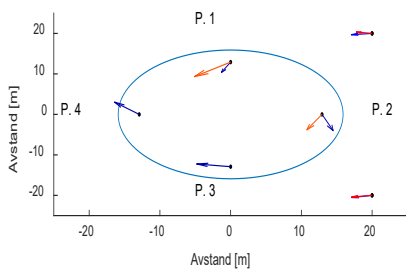
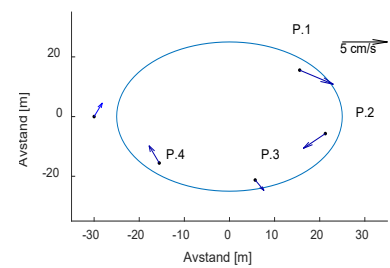
På Fornes, Josommarset og Hosnaøyen ble det gjennomført korttidsmålinger, som bestod av at vektorene ble flyttet rundt og målte i 5-20 minutter i hver posisjon. I figur 35 (neste side) indikerer hastighet og retning på strømmen i punktene hvor målingen ble gjennomført. Nord peker opp. Målingene på utsiden er foretatt med en ADCP profilerende strømmåler og gav gjennomsnittlig hastighet og retning gjennom hele perioden, når korttidsmålingene ble gjennomført. I figurene er de blå pilene første målingen i den gitte posisjonen, mens rød pil er

andre gangen vektorene har blitt flyttet til den gitte posisjonen 1 – 1,5 timer etter første måling. Vektorene ble plassert på flere dyp, som beskrevet i Kapittel 2.

Merk at Vektoren på 4 meters dyp på Hosnaøyen (rekke nr. 2) hadde mange «feil målinger», den sterke strømmen den viser er høyst sannsynlig ureell, og et resultat av enten at tauet har surret seg rundt og festet seg i sensoren, feil med programmering av vektoren eller en forstyrrelse. Det kan også være et resultat av høy fiske-tetthet i dette dypet, eller nysgjerrig rognkjeks. Generelt fra resultatene er det ingen tydelige trender på strømretningen på innsiden sammenlignet på utsiden.

På Hosnaøyen var det og problematisk at målingene ble gjennomført når strømmen gikk sørover, da referansepunktet endte opp i bakkant av merden. Videre var det ikke mulig å fullføre målingene på Hosnaøyen når de hadde på skjørtet, ettersom oksygenivået inne i merden hadde blitt så lavt når Vektorene befant seg i posisjon 4, og det ble derfor bestemt å fjerne skjørtet.

De store variasjonene i strøm målt på innsiden av merden ga ingen klar indikasjon når målingene ble gjort for så kort periode. For å kunne undersøke om fisken setter opp en intern strøm, og hvordan denne arter seg er det nok nødvendig med flere målinger av denne typen og over lengre tid. Eventuelt, så hadde nok bruk av fluorescein vært mer egnet for å undersøke bevegelsen av vannmassene gjennom merden.

Fornes:

Josommarset:

Hosnaøyen 1:

Hosnaøyen 2:


Figur 35. Strøm inne i og utenfor merdene på Fornes, Josommarset og Hosnaøyen 1 og 2. Nord er oppover og inn i planet.

2.4 Resultater 2019

Resultatene fra 2019 er i hovedsak presentert i kapittel 7 Leveranser. De følgende underkapitlene beskriver resultatene knyttet til algeundersøkelser. Alle data er ikke presenter her fordi noen av de fysiske målingene skal benyttes i vitenskapelige artikler med fagfelle vurdering (Kapittel 7.2).

2.4.1 Algesituasjonen innenfor og utenfor merden – langtidsmålinger 2019

En algeoppblomstrings natur er ofte, at algene kommer flekkvis. I tillegg er det begrenset antall med prøveuttakspunkter og ikke replikate tellinger. Det er derfor ikke grunnlag for å gjøre statistiske analyser slik at resultatet utelukkende er basert på en kvalitativ vurdering.

Hovedkonklusjonen ut fra en kvalitativ sammenligning av resultatene fra innside og utside, er at ved Soløya er det antydning til litt forskjell (mulig at bestanden på utsiden er påvirket av vannbevegelser – det svinger litt). Ved Fornes er det temmelig likt, og den naturlige suksesjonen sees både på innsiden og utsiden bortsett fra 20.06.2018 (Figur 39), som kan skyldes den flekkvis distribueringen av algeoppblomstringen.

Det gir ikke så mye mening å rapportere hvor mange arter som er observert. En del av kategoriene er overordnet (eks. thekat dinoflagellat), eller kan inneholde flere arter (eks. flagellater). Det var variasjon m.h.t. "artsrikdom" gjennom periodene, som forventet. Man så vanlig suksesjon spesielt ved Fornes hvor dataserien var over en lengre periode. Det ble bare registrert de algene som hadde høyest forekomst. Hvis man er ute etter uttømmende artslistene så må man sedimentere et større volum og registrere arter som forekommer i ant. < 10 000 celler/L.

Resultat algeanalyser Fornes

Data:

Vannprøver fra 3 m dyp (1 uttak utenfor merd og 1 uttak innenfor merd/skjørt), siktedyp (m) daglig i perioden 13. -30. april (I), 5.-14. mai (II), 22.- 28. mai (III) og 19.-25. juni (VI). Vannprøvene ble fiksert med Lugol's iodid for senere analyse i lab.

Analyse:

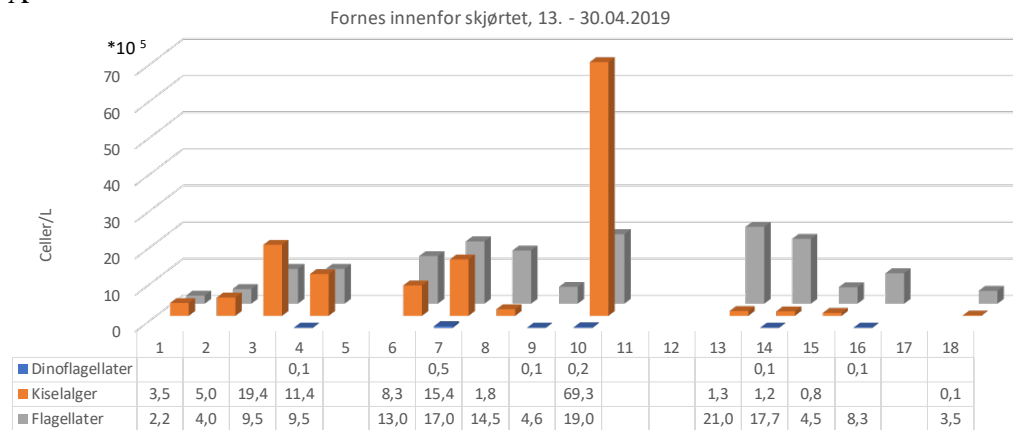
Screening av algeforekomster med mikroskopi/dråpetellinger, metoden har en deteksjonsgrense på 10 000 celler/L (ref. NS-EN 15972:2011 Vannundersøkelser) og er egnet for å undersøke de dominerende mikroalgene og sammenligne forekomst mellom ulike prøvetakingspunkt. Bestemmelse til art hvis mulig (ellers slektsnivå) og celledtall (pr. L) av de vanligst forekommende mikroalgene. Algene er samlet i hovedkategoriene dinoflagellater, kiselalger og flagellater, basert på taksonomisk bestemmelse.

Resultater:

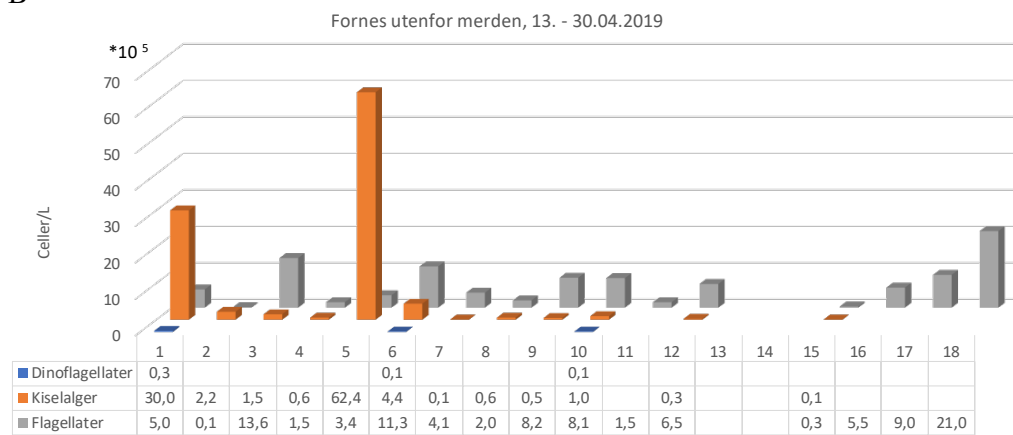
Siktedypet var 15 m eller mer i tiden frem til slutten av mars, da ble siktedypet kortere dag for dag. I midten av april var siktedypet 6-8 m (Figur 37 på neste side), for så å variere mellom 10-7 m frem til midten av mai. Redusert siktedyp sammenfaller med økning i planteplankton-forekomsten, spesielt med høye celledtall av kiselalger og flagellater. Generelt er planktonsamfunnet ved Fornes artsrikt i den aktuelle perioden, og det er dominans av kiselalger og flagellater. Analysene av vannprøvene viser at det er nokså lik situasjon innenfor skjørt og utenfor merd (se eksempel i Tabell 13), og prøvetaking over sesongen mai-juni viser en karakteristisk suksesjon i planteplanktonet:

I. 13. -30. april. Første periode var karakterisert av økende mengder vårblomstrende kiselalger og flagellater (Figur 37). Rundt 17.-19. april var det svært høy forekomst av kiselalgen *Fragilariopsis* sp., en kjededannende kiselalge som er vanlig i nordlige farvann (se f.eks Artsdatabankens registreringer). Det ble telt rundt 5 mill. celler/L både innenfor merd (22.4) og utenfor merd (17.4), og i prøven fra innside av merd den 19.4 var forekomsten så høy at telling var vanskelig. I tillegg var det andre vårblomstrende kiselalger som *Skeletonema*, *Chaetoceros* og *Pseudo-nitzschia* spp., og økende mengder flagellater (*Phaeocystis* sp. og haptophyceer).

A

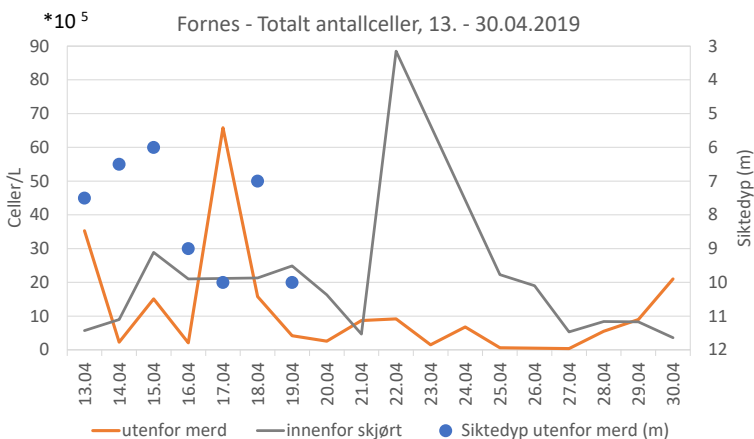


B



Figur 36. Dinoflagellater, kiselalger og flagellater (celler/L) innenfor skjørtet (A) og utenfor merden (B) i perioden 13.-30. april.

På utsiden var det tallmessig dominans av flagellater med en topp i kiselalgeforekomst den 17. april (høyt antall av *Fragilariopsis* sp.). På innsiden av skjørtet var det et blandingsfunn med kiselalger og flagellater i hele perioden (med en topp i kiselalgeforekomst 22.april). Disse to toppene vises også i total algeforekomst innenfor og utenfor merden (Figur 37).



Figur 37. Totalt antall celler i vannprøver fra utsiden av merd (oransje), innenfor skjørt (grått) og siktedyp målt på utsiden av merd (blå sirkler).

II. 5.-14. mai. Hovedsakelig flagellater både på innsiden og utsiden av merden: cryptophyceer, haptophyceer og innslag av coccolithophorider. På utsiden ble det registrert en forekomst av *Pyramimonas*

sp. i disse dagene. Kiselalgene er borte, noe som kan tyde på at en periode med lavt Si-innhold etter vårbloomstringen.

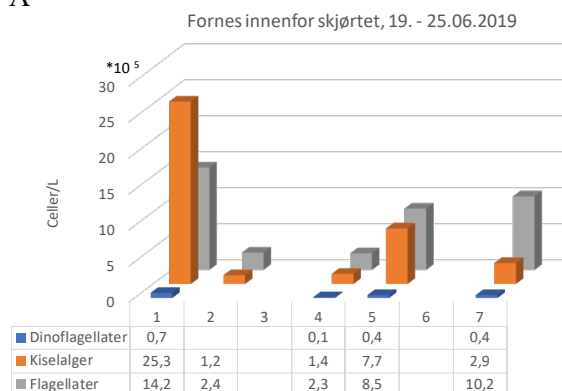
III. 22.- 28. mai. Mangler prøver fra innsiden av merd, på utsiden var det et artsrikt flagellatsamfunn og ingen kiselalger ble observert.

IV. 19.-25. juni. Planktonsamfunnet på inn- og utsiden er fremdeles nokså likt, med vedvarende forekomst av kiselalgene *Skeletonema* og *Pseudo-nitzschia* spp. (Tabell 13 og Figur 38). Det er også en større forekomst av små dinoflagellater, sammenlignet med de tidligere periodene og vårbloomstringen. Fremdeles artsrikt flagellatsamfunn både på innsiden og utenfor, med innslag av *Chrysochromulina* sp. og beitende ciliater registreres hele perioden.

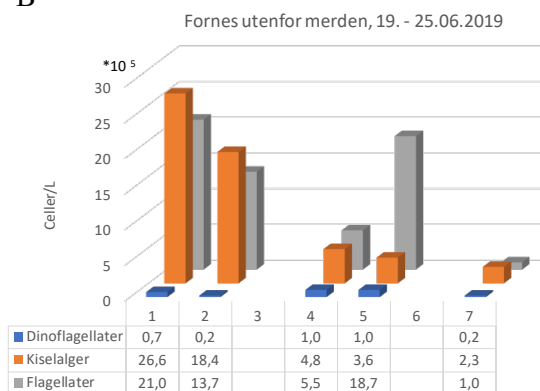
Tabell 13. Sammenligning av algeforekomst på innsiden og utsiden av merd i perioden 19.-25. juni som viser at det er nokså likt både med hensyn til artssammensetning og antall.

| ID/DATO | Innside av merd | | | | | Utside av merd | | | | |
|-------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|----------------|-------|-------|-------|-------|
| | 19.6. | 20.6. | 22.6. | 23.6. | 25.6. | 19.6. | 20.6. | 22.6. | 23.6. | 25.6. |
| <i>Heterocapsa</i> | | | | | | | | | | |
| athekat dinoflagellat, indet. | | | | | | | | | | |
| thekat dinoflagellat, indet. | | | | | | | | | | |
| <i>Skeletonema</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Leptocylindrus</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Dactyliosolen</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Chaetoceros</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Pseudo-nitzschia</i> | | | | | | | | | | |
| Flagellater, indet. | | | | | | | | | | |
| Picoplankton | | | | | | | | | | |
| Cryptophyceer | | | | | | | | | | |
| <i>Dinobryon</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Dictyocha</i> | | | | | | | | | | |
| Haptophyceae | | | | | | | | | | |
| <i>Crysochromulina</i> | | | | | | | | | | |
| <i>Pyramimonas</i> | | | | | | | | | | |
| Ciliata | | | | | | | | | | |

A

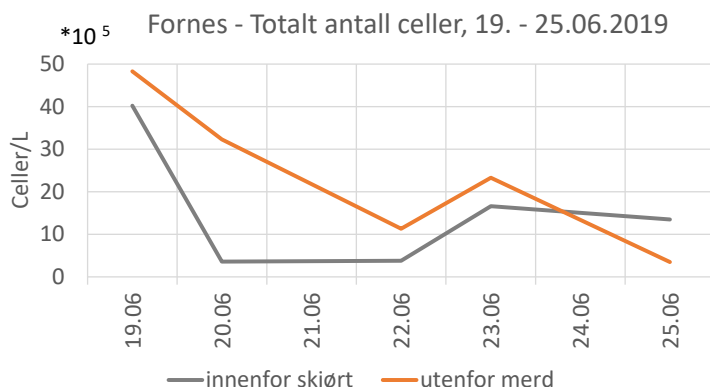


B



Figur 38. Dinoflagellater, kiselalger og flagellater (celler/L) innenfor skjørt (A) og utenfor merd (B) i perioden 19. – 25.06.2019.

Den totale mengden alger innenfor og utenfor skjørtet i periodene er vist i Figur 39, som viser at total algeforekomsten er tilnærmet lik innenfor som utenfor, bortsett fra 20.06.2019 hvor det er høyere innenfor enn utenfor.



Figur 39. Totalt antall celler i vannprøver fra utsiden av merd (oransje), innenfor skjørt (grått).

Resultat algeanalyser Soløya

Data:

Vannprøver fra 3 m dyp (1 uttak utenfor merd og 1 uttak innenfor merd/skjørt), siktedyp (m) daglig i perioden 23. april-1. mai og 4.-5. mai. Vannprøvene ble fiksert med Lugol's iodid for senere analyse i lab. CTD-data (fra perioden 23.04 – 01.05, 03.05 – 05.05, 07.05 – 11.05, 21.05 – 24.05) viser tetthet- og temperatur-profiler.

Analyse:

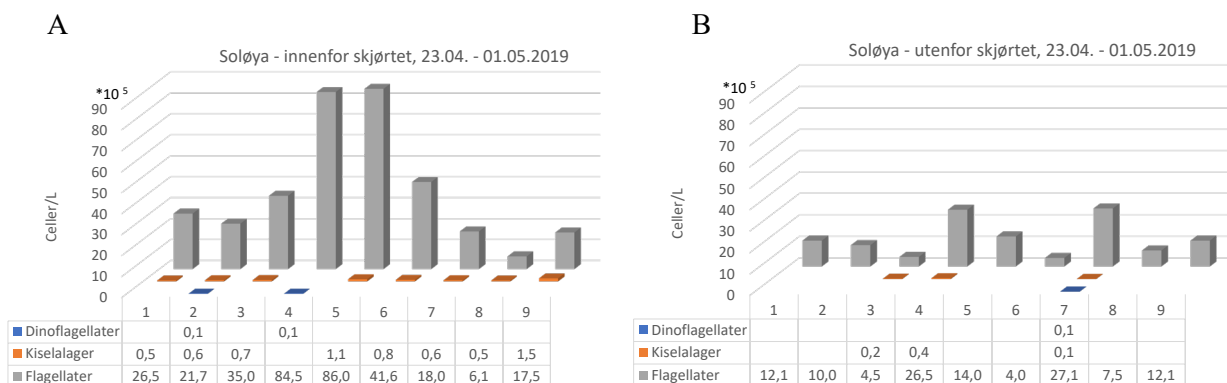
Screening av algeforekomster med mikroskopi/dråpetellinger, metoden har en deteksjonsgrense på 10 000 celler/L (ref. NS-EN 15972:2011 Vannundersøkelser) og er egnet for å undersøke de dominerende mikroalgene. Bestemmelse (til art hvis mulig, ellers slektsnivå) og celletall (pr. L) av de vanligst forekommende mikroalgene. Algene er samlet i hovedkategoriene dinoflagellater, kiselalger og flagellater, basert på taksonomisk bestemmelse.

Resultater:

I kategorien kiselalger var det hovedsakelig *Pseudo-nitzschia* spp. og en uidentifisert, pennat kiselalge som dominerte i hele perioden. I kategorien flagellater/monader dominerte svepeflagellater (Haptophyceer, inkl. *Chrysochromulina* sp.) og svelgflagellater (Cryptophyceer). Det var generelt lite dinoflagellater i perioden.

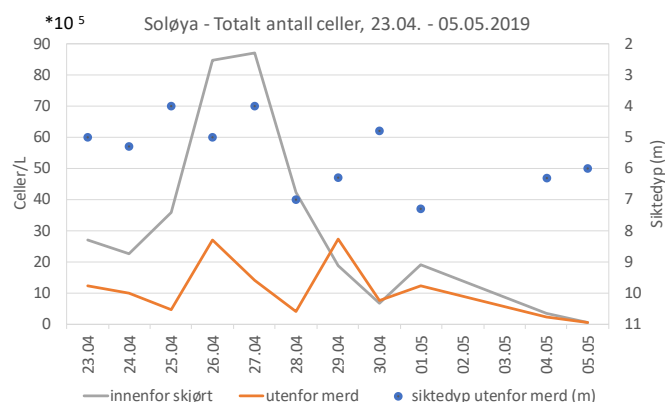
Tallmessig dominerte flagellater (inkl. *Chrysochromulina* sp.) i hele perioden, med innslag av kiselalger (spesielt *Pseudo-nitzschia* spp.)

Vannprøvene som ble tatt i merd innenfor skjørt viste at det ble en betydelig økning i antall Haptophyceer på innsiden i dagene 25.-29. april, med over 8 mill. celler/L (Figur 40, A). Forholdene på innsiden ser også ut til å ha opprettholdt en viss mengde kiselalger gjennom måleperioden, men tallene er lavere enn de vi normalt registrerer i vårblomstringen. Kiselalger er avhengige av silikat for å bygge celleskall, og når Si-innholdet i vannet er lavt så begrenses bestanden inntil en ny tilførsel av Si oppstår (enten ved remineralisering av celler, eller tilførsel av Si-rikt ferskvann). Celletallene i prøvene fra utsiden av merden er generelt lavere (maks. 3 mill. celler/L) og det er raskere endringer fra dag til dag, som kan henge sammen med sterkere omrøring eller vannbevegelser på utsiden av skjørtet (Figur 40, B). I den samme perioden var det også et lavt men vedvarende innslag av den mikсотrofe flagellaten *Dinobryon* sp., som ofte sees i kystfarvannet i perioder med lavere næringsverdier. 4. og 5. mai er det bare noen få flageltater og er ikke vist i Figur 40, A.



Figur 40. Dinoflagellater, kiselalger og flagellater (celler/L) innenfor skjørt (øverst) og utenfor merd (nederst) i perioden 23. april-1. mai. Samlegruppen Flagellater inkluderer *Chrysochromulina* sp.

Siktedypet utenfor merd var rundt 4-5,5 m i dagene 23.-27. april, så økte siktedypet til 6-7 m de neste dagene (blå sirkler i Figur 41). 30. april var siktedypet rundt 5 m igjen, dagen etter var det 7 m. Variasjon i siktedyp fra dag til dag kan henge sammen med variasjon i biomassen, eller tilførsel av andre partikler. 27. april var siktedypet ca. 4 m, i vannprøven (fra utsiden av merd) var det høyt partikkelinnhold, i tillegg til ca. 1.4 mill. celler/L av hovedsakelig svepeflagellater (Figur 22, nederst). 1. mai var siktedypet ca. 7 m og celletallet kun 0.75 mill. celler/L.



Figur 41. Totalt antall celler i vannprøver fra utsiden av merd (oransje), innenfor skjørt (grått) og siktedyp målt på utsiden av merd (blå sirkler).

2.5 Dagens situasjon i næringa (Spørreundersøkelse 2020)

Det er blitt gjennomført en kort spørreundersøkelse for å kartlegge erfaringer og praksis hos ulike havbruksaktørers erfaringer og praksiser relatert til luseskjørt. Hensikten har vært å undersøke hvordan ulike havbruksaktører fra forskjellige regioner (sør, midt og nord) forholder seg til skjermingsteknologi, både de som benytter eller ikke benytter seg av skjermingsteknologi. Gjennom en kvalitativ tilnærming har det blitt utført 13 dybdeintervjuer med informanter fra havbruksnæringen (driftsledere, fiskehelseansvarlige, produksjonssjefer ol.) fra forskjellige selskaper og regioner. Undersøkelsen er utført i samsvar med NSD sine retningslinjer for personvern (Ref. 371768). Tabell 15 gir en oversikt over de ulike informantene og hvilke utfordringer de opplever med luseskjørt. Majoriteten av informantene benyttet seg av luseskjørt, men kun på lokaliteter hvor værforholdene (hovedsakelig strøm) gjorde det forsvarlig. To av informantene kunne fortelle at de ikke benyttet seg av luseskjørt for øyeblikket, men at de hadde forsøkt luseskjørt på noen av lokalitetene tidligere.

Tabell 14. Resultater fra spørreundersøkelsen.

| | Skjørt | Utfordringer | Overvåkning | Effekt |
|----------------------------|----------------------|--|---|---|
| <i>Informant 1 (Midt)</i> | Ja | Oksygen i perioder | Oksygenmålere i hver not | God effekt av luseskjørt |
| <i>Informant 2 (Midt)</i> | Ja | Problemer med oksygen når det er høy biomasse | 2-3 oksygenmålere i øvre og nedre del av skjørtet | Ser ikke effekten |
| <i>Informant 3 (Midt)</i> | Ja | Det har vært noen spekulasjoner rundt gjellehelse, men ikke noe dokumentert | I mesteparten av merdene så er det oksygensensor på kameraet. Har miljøstasjoner på noen lokaliteter, men står utenom merdene | Det tar lengre tid før påslagene kommer med skjørt, men det varierer litt. |
| <i>Informant 4 (Midt)</i> | Ja | Gjelleproblemer i skiftet august-september | Logger oksygen på 1 og 5 meter i to merder | Det går mye lengre før tiltak må settes inn. Ser en grei effekt |
| <i>Informant 5 (Midt)</i> | Ja | Merker litt dårligere tilvekst. Samler mer rødåte i merden. Dårligere oksygennivå i perioder | Eksterne sensorer, men har ikke i alle merder på alle lokalitetene. Har referanser. 3 og 7 meter. Måler manuelt på flere dybder av og til | Opplever ikke noe særlig effekt på lusepåslag, men har mindre avlusninger. |
| <i>Informant 6 (Sør)</i> | Nei, men har forsøkt | Dårlig tilvekst på fisken, økt produksjonstid, deformasjon (timeglass), dårlig gjellehelse | Manuell kontroll av oksygen på flere dybder | Grei effekt på en lokalitet, dårlig effekt på en annen lokalitet |
| <i>Informant 7 (Sør)</i> | Ja | Utfordring med merdmiljøet, bruker midtnorsk, men skal bruke strømsetter | Sensorer i alle merder med skjørt. En sensor på 3 meter og en sensor i skjørtovergangen på rundt 10 m. Måler oksygen, temperatur og salinitet | Bruker 10- 15 m dype skjørt. Dybden er avgjørende for effekten |
| <i>Informant 8 (Sør)</i> | Nei, men har forsøkt | Fisken trakte nedover, litt problemer med oksygen og gjellehelse | Logget på forskjellige dyp, husker ikke hvilken dybde | Så effekten av skjørtene |
| <i>Informant 9 (Sør)</i> | Ja | Dårlig oksygen med tette skjørt, deformasjon (timeglass) | Temperatur og salinitet inni noten. Oksygen på 1,3 og 7 meter (referansemerd) | Virker til en viss grad |
| <i>Informant 10 (Nord)</i> | Ja | Litt problemer med oksygennivåene, skal ha forsøk med strømsettere. Ble litt redusert appetitt på grunn av stillestående vann (korte perioder) | Vi logger utenfor og innfor skjørtene. Vi har loggestasjon på 5 meter, innenfor, utenfor og referansemerd. Logger på 5 og 10 meter i merdene | Ja, vi har troen på luseskjørt og at det sparer oss for noen avlusningsrunder |
| <i>Informant 11 (Nord)</i> | Ja | Lavere oksygen på større fisk | Oksygenmåler på kamera og på utsiden av merdene | Ser ikke effekten |
| <i>Informant 12 (Nord)</i> | Ja | Lavere oksygennivå i perioder i forbindelse med høy biomasse og høye temperaturer | Miljøsensorer i hver merd, måler i overflate og på 5 meter | Ser effekten til en viss grad, men vanskelig å se effekten under høyt lusepress |
| <i>Informant 13 (Nord)</i> | Ja | Gjellebetennelse grunnet tett merdmiljø, litt dårligere tilvekst | Både faste oksygenmålere og manuell måling | Ser effekten, men det kan variere mellom lokalitetene |

Effektivitet mot påslag av lakselus

Selv om flere av informantene benyttet seg av luseskjørt opplevde de nødvendigvis ikke en god effekt gjennomsnittlig over tid. Informant 6 (Sør) erfarte god effekt på en lokalitet og dårlig effekt på en annen. Dette var til tross for at begge var fjordlokaliteter og var nesten identiske miljømessig. Flere understreket at effekten av luseskjørtene kunne variere. Mange av informantene opplevde dermed en effekt av skjørtene,

men ofte bare til en viss grad. De vurderte det likevel som et godt tiltak for å forhindre påslag av lakselus ettersom antallet avlusninger ble redusert. Informant 5 (Midt) fortalte at de ikke så noe direkte effekt av luseskjørtene, men at skjørtene var et hjelpemiddel for å forbedre forholdene til rognkjeksene ved å redusere strømforholdene i merden.

Informant 7 (Sør) påpekte at lengden på luseskjørtet var avgjørende for effektiviteten, samt hvordan skjørtet stod i sjøen. Dette gjenspeiler også utsagnet fra informant 13 (Nord) som fortalte at en lengde på 10 meter måtte til for å oppnå god effekt. Lengden på luseskjørtene som ble brukt av oppdretterne i denne undersøkelsen varierte fra 5 til 15 meter.

Miljøutfordringer med bruk av luseskjørt

De største utfordringene på lokalitetsnivå var dårlig gjennomstrømming som kunne forårsake oksygendropp, og dette var ofte et problem for lokaliteter i fjorder. Utilstrekkelig oksygenmetning kunne ifølge noen informanter påvirke appetitten og tilveksten av fisken. Dette var spesielt gjeldene under høy biomasse. Andre oppdrettere opplevde ingen tydelig dårligere tilvekst. Når det kom til vurderinger av miljøbetingelsene på lokalitetene så var det hovedsakelig strømforholdene som var den viktigste faktoren for aktørene, spesielt med tanke på deformasjon av skjørt og not.

Utfordringer med fiskehelse

Flere av informantene fra alle regionene opplevde problemer med gjellehelsen til fisken, men det var informanter fra region sør som satte dette i sammenheng med bruken av luseskjørt. Flere av informantene i sør påpekte at utfordringer med gjellehelse var årsaken til at flere var skeptiske til skjermingsteknologi i regionen. Informant 10 (Nord) påpekte at problemer med gjellehelsen oppstod også på lokaliteter uten skjørt. Oppfatningene rundt fordelene og ulempene med at fisken trakk lengre ned i merden med skjørt differensierte mellom noen av informantene. Enkelte aktører mente det var viktig å få fisken til å trekke lengre ned i vannmassene for å unngå påslag av lus, mens andre opplevde at dette kunne påvirke tilvekst og effektiv føring negativt.

Hvordan luseskjørt ble benyttet under produksjonssyklusen differensierte mellom aktørene. Noen fjernet skjørtene mot slutten av produksjonstiden på grunn av kombinasjonen høy biomasse og dårligere oksygenforhold, mens andre beholdt de på helt frem til slakt.

Informant 9 (Sør) fortalte at de skiftet fra tette skjørt til permeable for om mulig å forbedre merdmiljøet. Årsaken til denne utskiftningen var at de opplevde problemer med oksygeninnivå og gjellehelse når de benyttet seg av tette skjørt. De vurderte det derfor som mer gunstig med permeable skjørt. Informant 6 (Sør) hadde hatt forsøk med tette skjørt, men de gikk bort i fra luseskjørt på grunn av dårlig gjellehelse og lavere tilvekst.

Bruk av miljømålinger og tilleggsutstyr

Flere av informantene benyttet seg av midtnorskring for å bedre vannmiljøet i skjørtet. Enkelte opplevde en god effekt av den, mens andre følte den var utilstrekkelig. Tre informanter fortalte at de skulle benytte seg av strømsettere for å forbedre vannutskiftningen i luseskjørtene. Logging og overvåkning av oksygen varierte også mellom de ulike aktørene.

Konklusjon

Denne undersøkelsen har sett på erfaringene til forskjellige oppdrettsaktører i ulike regioner. Hvordan luseskjørt benyttes varierer mellom de ulike aktørene. Dette gjelder både hvilke miljømålinger som blir gjennomført, lengden på skjørtene, hvor lenge skjørtene blir brukt under produksjonssyklusen og hvilke tilleggsutstyr som blir brukt. Det er i tillegg differensierte meninger omkring luseskjørt, spesielt med tanke på effekten det har på tilvekst, gjellehelse og påslag av lakselus. Flere av aktørene i sør tillegger for eksempel problemene med gjellehelse til bruken av luseskjørt, mens aktører i region midt og nord ikke knytter denne problematikken til luseskjørt i like stor grad. Det fremkom også at noen av aktørene bruker luseskjørt selv om de ikke har noe spesielt tro på effekten av teknologien.

3 Diskusjon og konklusjon

En stor mengde data har blitt samlet inn i løpet av prosjektet, både fra modellforsøk, fullskala målinger og spørreundersøkelse. En del av resultatene presentert i tidligere kapitler har allerede blitt diskutert. Dette gjelder spesifikt korttidsmålingene fra 2018 (Kapittel 2.3.2), og resultatene om algesituasjonen på Soløya og Fornes fra 2019 (Kapittel 2.4.2). Denne delen av rapporten vil derfor fokusere på to av funnene - at resultatene fra modellskalaforsøk der interaksjonen mellom luseskjørt og strømstyrke samsvarer med fullskalamålingene, og at hydrografi på lokaliteten har stor betydning for effektiviteten av luseskjørt.

Fig. 24, 26, 30 og 34 viser hvordan skjørtet ble løftet ved ulik strømstyrke på lokalitetene sammen med resultatene fra modellforsøkene. I Fig. 24 og Fig. 26 kan man se målingene utført med trykksensorene på Fornes. Trykksensoren foran (0-4C7102) samsvarer godt med resultatet fra forsøket med spissnot og 10 m planktonduk. Trykksensoren i bakkant (0-18C6303) samsvarer derimot ikke like bra med modellskalaresultatene. Avviket på 4 m skyldes sannsynligvis feilkalibrering av sensoren, slik at startdybden burde ha vært 10 m. At skjørtet løfter seg 6 m i fullskala i bakkant, mens modellforsøket løfter seg lite, skyldes muligens at strømmen hadde en annen angrepsvinkel på skjøten av duken, i tillegg til at det i modellskala er strømmen den samme i hele skjørtedypet, mens i fullskala kan variere betydelig, med strømmer som kan gå motsatt vei.

På de to andre lokalitetene samsvarte resultatene bra. Trykksensorene på Josommarset (Fig. 30) samsvarte med resultatene fra modellforsøkene med fullskala, både i forkant og bakkant. På Korsneset var det også samsvar i forkant, men målingene viste noe høyere løft i bakkant i fullskala enn i modellforsøket (Fig. 34). Det er viktig å bemerke seg at skjørtet på Korsneset var 7 m, mens det kun ble gjennomført modellforsøk med skjørt på 5 og 10 meter.

De syv lokalitetene undersøkt i denne studien varierte med tanke på topografi og hydrografi. To av lokalitetene, Soløya og Fornes, ble studert i større detalj og det viste seg at disse to lokalitetene var svært forskjellige. For mer detaljer rundt dette, se leveransene i Kapittel 7. På Soløya var vannmassene homogene i dypet, og det var ingen forskjell i hydrografi fra innsiden til utsiden av skjørtet, samt gode oksygenverdier inne i skjørtet under hele forsøket. Dette antyder at vannmassene på utsiden av skjørtet ikke har blitt dirigert rundt skjørtet, men har klart å presse seg under og inn i skjørtet og medført en utskiftning av vannmassene. Det er trolig at ved homogene vannmasser så vil luseskjørtet ha liten effekt. Dette fordi det ikke vil være sjiktninger i vannet til å hindre vertikal blanding. Uten dette hinderet kan vannmassene bevege seg vertikalt, og ved et møte med et luseskjørt vil vannet enkelt bli presset nedover og inn i merden. På Fornes, hvor det var en sjiktning, var det en forskjell i hydrografi på innsiden av merden sammenlignet med utsiden, samtidig som at det var det til tider dårligere innløst oksygen på innsiden av merden. Innløst oksygen inne i merden ble bedre når sjiktningen forsvant, som indikerer at det har vært større mulighet for vertikal bevegelse av vannmassene. Det er ikke gjennomført ekkoloddmålinger ved studiene i SKJERMTEK prosjektet, slik at posisjonene til fisken innenfor duken kan ha påvirket resultatene for oksygenmålingene. Dette forandrer likevel ikke konklusjonen om at tilstedeværelse av en pyknoklin har stor betydning for vannutskiftningen innenfor en duk.

Effekten av hydrografi på luseskjørtets evne til å hindre lusepåslag har ikke blitt målt direkte ettersom lusetelling har ikke vært en del av prosjektet. Men fra innløst oksygen og hydrografi målingene er det antydning at lokaliteter med homogen vannmasse, som Soløya, vil ha liten effekt av bruk av luseskjørt. Mer arbeid er nødvendig for å kunne trekke konklusjoner om effekten av luseskjørt på lusepåslag, - da spesifikt flere langtids-målekampanjer med fokus på korrelasjon mellom hydrografi og lusepåslag. Nordlaks Oppdrett AS sammen med blant annet Calanus AS, VFH og VI har utført forsøk med permeable skjørt og effektiviteten mot lus⁴.

⁴ VI rapport: <https://www.vetinst.no/forskning-innovasjon/tidligere-forskningsprosjekter/luseskjort-dokumentasjon-av-praktisk-bruk-og-nytteverdi-planktonduk>
FHF: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900834/>

Til tross for at interaksjonen mellom luseskjørt, not og vannet er komplisert, åpner resultatene fra modellforsøket opp til at denne interaksjonen kan bli studert ved bruk av modeller. Samtidig viser den tydelige korrelasjonen mellom hydrografi og effekten av luseskjørt sett på anleggene i denne studien, at anlegg som benytter seg av luseskjørt bør samle inn hydrografi-data for å få innsikt i hvordan deres anlegg er, og hvordan endringen i vanntetthet sammenfaller med lusepåslag. Dette kan medføre at man får etablert ny kunnskap om når er nyttig å benytte seg av luseskjørt, og når det ikke har noen hensikt.

4 Hovedfunn

- Resultater fra modellforsøk med løfting av skjørt ved sterk strøm samsvarer bra med fullskala målinger.
- De fysiske forholdene på en lokalitet bestemmer om luseskjørt er effektivt mot lusepåslag og avgjørende om miljøforholdene innenfor skjørtet er gode nok for fisken.
- Hydrografi på lokaliteten vil ha påvirkning på effektiviteten til luseskjørt, og innløst oksygen på innsiden av merden.
- På homogene lokaliteter, med gjennomblandet vann, ser man liten forskjell på oksygenivået på innsiden og utsiden av merden, mens på lokaliteter med tetthetssjiktninger (sprangsjikt) ser man at det er forskjell fra innsiden til utsiden når det gjelder tetthet og innløst oksygen., påvirket av hvor dypt sprangsjiktet ligger.
- Spørreundersøkelsen viser at det fortsatt er lite kunnskap om de fysiske miljøforholdene i og omkring oppdrettsanleggene i regionene og hvorfor skjørt virker eller ikke, selv om enkelte oppdrettere har begynt å måle noen fysiske variabler.
- Undersøkelsene med hensyn til algevekst innenfor og utenfor skjørtet indikerer at det ikke oppkonsentreres alger, og at det ikke blir en sekundær oppblomstring innenfor skjørtet.

5 Videre studier

Dagens kunnskapsstatus med hensyn til effekten av luseskjørt i forhold til miljøvariabler som hydrografi og strøm er lite kjent (Kapittel 2.5).

Man har på noen undersøkte lokaliteter funnet en sammenheng mellom tilstedeværelse eller mangel på en tetthetsgradient og oksygenivået innenfor skjørtet, som igjen gjenspeiler vannutskiftningsraten og turbulensnivået innenfor luseskjørtet. Fra dette kan man trekke en slutning, indirekte, på om lusa kommer innenfor skjørtet og infiserer fisken eller ikke. Selv om det er få lokaliteter som er undersøkt til nå, så tyder funnene i disse undersøkelsene på at det skal være mulig å utarbeide kriterier og indikasjoner på effektiviteten og virkningsgraden av luseskjørtet på lokalitetsnivå.

Interaksjonen mellom biologiske, miljømessige, organisatoriske og teknologiske faktorer utgjør et komplekst samspill som krever en helhetlig strategi for vellykket og effektiv bruk av skjermingsteknologi. Ved å frembringe ny kunnskap om dette samspillet kan man redusere kompleksiteten gjennom fastsetting av objektive region/lokalitetstilpassede kriterier. Flere vurderinger av miljøparametere på ulike lokaliteter, i tillegg til fiske- og luseatferd og operasjonelle praksiser, bør dermed dokumenteres og formaliseres inn i en totalstrategi som skal fungere som en objektiv veileder for "beste praksis" relatert til bruk av skjermingsteknologi.

I fremtiden vil man, ved hjelp av fysiske variable og biologiske parametere fra lokalitetene kunne trekke ut informasjon, der man kombinerer datasettene for å utarbeide kriterier for en best praksis i forhold til totalstrategi på lokalitetsnivå om bruk av luseskjørt. Disse kriteriene vil belyse anbefalte skjørtelengder, skjørtets beskaffenhet, lokale fysiske forhold som må oppfylles, og tidsperiode luseskjørtet er mest effektivt. Forutsetningen for at kriteriene skal kunne brukes i en totalstrategi er at oppdretteren tallfestet

<https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/900834/>

kjenner sin lokalitet med hensyn til fysiske forhold som hydrografi, strøm og lokale særegenheter. I fremtiden vil oppdretterne kunne bruke en sensorpakke for å "bli kjent med sin lokalitet", samt at sensorpakken vil kunne gi nyttig informasjon om sesongvariasjoner og luseskjørtets effektivitet gjennom produksjonssyklusen.

6 Leveranser

6.1 Korttidsmålinger 2019

Det er utarbeidet en rapport for korttidsmålingene om strømmen rett innenfor og rett utenfor duken (Kapittel 7.1.1). Alle øvrige dataene bli analysert og publisert i vitenskapelige publikasjoner med fagfelleevaluering (Kapittel 7.2).

6.1.1 Rapport: Målinger av strøm rett utenfor og rett innenfor luseskjørtet

I denne rapporten ble det sett på effekten av luseskjørt på vannstrømmen innenfor og utenfor en merd med tett og permeabelt skjørt, og relatere dette til tetthetsgradientene og innløst oksygen innenfor og utenfor skjørtet.

Det er flere påstander om at permeable skjørt slipper igjennom betydelige mengder med vann (personlig meddelelse fra Remi Mathisen, Nordlaks Oppdrett AS). Det har blitt gjennomført forstudier med en duk montert rundt en strømmåler, der det ble funnet en gjennomstrømning gjennom duken (Vfh-rapport 01210). Som nevnte i rapport, er målingene utført i svært liten skala, slik at resultater fra et slikt forsøk er ikke direkte overførbart til fullskala.

I studiene i Skjermtek har det ikke blitt funnet noe som tyder på gjennomstrømning gjennom den permeable duken, som er av betydning for miljøet innenfor. Det må nevnes at det i Skjermtek studiet var høy biomasse innenfor duken, som muligens kan gjøre en forskjell, uten at dette har blitt verifisert.

Målingene ble foretatt i Lofoten på Ellingsen Seafood AS sitt anlegg, Soløya, ved Mølnarodden den 22. – 23.5.2019 og Nordlaks Oppdrett AS sitt anlegg, Fornes, i Øksfjorden den 3.7.2019.

Rapporten er lagt ut på SINTEF sine nettsider og kan finnes her:

https://www.sintef.no/contentassets/2d4398a8e2a3482bbdcc29cf71c0ea15/901396_sjermtek_malinger-av-strom.pdf

6.2 Vitenskapelige publikasjoner med fagfelleevaluering

6.2.1 Artikkel i "Aquaculture Environment Interactions" – under fagfelleevaluering

Tittel:

Pycnoclines influence flow patterns and dissolved oxygen inside salmon fish-cages with lice shielding skirts.

Forfattere:

Kristbjörg Edda Jónsdóttir^{1*}, Zsolt Volent³, Jo Arve Alfredsen¹

¹Norwegian University of Science and Technology, Department of Engineering Cybernetics, NO-7491 Trondheim, Norway

²SINTEF Ocean, NO-7465 Trondheim, Norway

*Correspondence: kristbjorg.jonsdottir@ntnu.no

Sammendrag:

Shielding skirts are widely used as a non-invasive preventive measure against salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* infestations on Atlantic Salmon *Salmo Salar L.* in sea-cages. Low levels of dissolved oxygen (DO) are reported from some sites, but not others. This disparity is usually explained by local variations in current flow pattern and hydrography. The aim of this study was to investigate these local variations through vertical mapping of DO and density, both inside and outside of cages equipped with shielding skirts. The study was performed at two sites in northern Norway, equipped with a permeable and non-permeable shielding skirt, respectively. DO was recorded every minute above and below the skirt depth inside the cages over a three-day period at the two sites, as well as water currents and hydrography.

At Fornes a pycnocline was present from the start but broke down during the three-day period. The recorded DO inside the cage varied with the height of the pycnocline, while DO levels outside the cage remained stable. At Soløya there was good vertical mixing and DO levels were high throughout the measurement period. The lack of a pycnocline and good vertical mixing appears to explain the high DO levels at Soløya, while the stratified water and the height of the pycnocline compared to the depth of the skirt at Fornes appears to explain the varying DO levels. The large variation between these two sites demonstrate the importance of studying local current conditions and hydrography when applying shielding skirts.

Konklusjon:

To prevent salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* infestations the shielding skirts attempts to reroute the upper layer of the water column around the cage. In this study the internal environment of the sea-cages in terms of dissolved oxygen (DO) levels and relative water density was shown to be affected by the presence of a lice shielding skirt. The effect of the skirt on DO within the cage was strongly influenced by the local current pattern and the presence and depth of pycnoclines. The irregular current in combination with lack of a pycnocline at the Soløya site resulted in a high water exchange rate, which resulted in better DO levels, than the levels observed at the Fornes site, despite using a non-permeable skirt at the former. The effectiveness of the shielding skirt at Soløya, to prevent sea lice infestation, was probably poor for this reason. At Fornes the presence of a pycnocline had a strong influence on DO levels. There was both high and low DO levels recorded when a pycnocline was present, indicating that it is the depth of the pycnocline relative to skirt depth and not the mere presence of a pycnocline that influences the DO inside the cage

KEYWORDS: Atlantic salmon, shielding skirts, dissolved oxygen, pycnocline, current flow pattern, salmon lice, sea-cage environment

6.2.2 Artikkel i "Aquaculture Engineering (e.l.)" – under skriving

Tittel:

"Flow through full-scale sea-cages for Atlantic salmon with and without tarpaulin skirt".

Foreløpig sammendrag:

How the ocean current flows through and around a Atlantic Salmon *Salmo Salar L.* fish cage is influenced by several factors such as farm layout, local topography and cage structure, such as a lice shielding skirt. Shielding skirts are applied as a non-invasive preventive measure against salmon lice *Lepeophtheirus salmonis* infestations on Atlantic Salmon sea-cages, where its main objective is to divert the upper layers of the water current around the fish cage. However, its influence on the internal environment of the cage and its ability to reduce salmon lice infestations vary from site to site. To advance knowledge about when and where shielding skirts are beneficial, its necessary to determine how it influences the water current.

The aim of this study was to compare the ocean current speeds inside a stocked Atlantic salmon fish cage with and without tarpaulin lice shielding skirt, as well as to establish the reduction in current speed from outside to inside the fish cage with and without the skirt. The measurement campaign was carried out at the same stocked sea-cage in Trøndelag, Norway, during two separate periods.

6.2.3 Artikkel i "Aquaculture Engineering (e.l.)" – under skriving

Tittel:

Applying CFD and full-scale environmental measurements to study water currents through fish farms with permeable lice skirts.

Sammendrag:

How the ocean current flows through and around an Atlantic Salmon *Salmo Salar L.* fish cage is influenced by several factors such as farm layout, local bathymetry and cage structure. This influence is often seen as a reduction in current speed downstream of the cage and has is seen in both full-scale experiments and in computational fluid dynamics (CFD) analysis. The presence of a lice shielding skirt is one factor that can influence the current. To fully understand how the water current moves through and underneath permeable lice skirts it is necessary to apply both computational fluid dynamics as well as full-scale measurements.

The aim om this study was to measure currents through a full-scale fish cage equipped with a permeable lice shielding skirt, as well as to compare these results with CFD results to investigate how accurate the CFD model can represent the full-scale cage. To investigate this a full-scale measurement campaign was carried out at a conic fish cage in Northern Norway equipped with a permeable lice skirt, and CFD analysis were carried out the site.

6.3 populærvitenskapelige publikasjoner

To populærvitenskapelige publikasjoner har blitt publisert i Norsk Fiskeoppdrett (Vedlegg: A.1 Populærvitenskapelige publikasjoner).

Publikasjon 1: Lien, M. A., (2017), Hva skjer med luseskjørt i strøm og bølger? *Norsk Fiskeoppdrett* nr. 8, p. 102 – 104, 2017. (Vedlegg: A.1.1 Norsk fiskeoppdrett nr. 8, 29017).

Sammendrag: Kunnskapsbygging i modelltank gir bidrag til produktutvikling og sikrere bruk: SINTEF Ocean arrangerte, i samarbeid med Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF), et åpent erfaringsdelingsseminar med demoforsøk i SINTEF Oceans flumetank i Hirtshals, Danmark. Seminaret varte over tre dager fra 31. mai til 2. juni 2017, og tok for seg temaet "hva skjer med luseskjørt i strøm og bølger?"

Publikasjon 2: Jónsdóttir, K. E., (2020), Påvirker tetthetsgradient strømmen og oksygenivået i en fiskemerd med luseskjørt? *Norsk Fiskeoppdrett* nr. 1, p. 66 – 70, 2020. (Vedlegg: A.1.2 Norsk Fiskeoppdrett nr. 1, 2020)

Sammendrag: 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 merd med spissnot og 10 m dypt permeabelt luseskjørt ved hjelp av fullskala målinger og matematisk simulering.

6.4 Konferanse presentasjoner

6.4.1 EAS 2017, Dubrovnik, 29.8 2018, Sammendrag

Presentasjonen finne i vedlegg A.2.1.

SHIELDING SKIRT FOR PREVENTION OF SALMON LICE (*LEPEOPHTHEIRUS SALMONIS*) INFESTATION ON ATLANTIC SALMON (*SALMO SALAR*) IN CAGES – A SCALED MODEL EXPERIMENTAL STUDY ON DIFFERENT SKIRTS AND CAGE NETS IN CURRENTS AND WAVES

A. M. Lien*, Z. Volent, A. Bekkevoll, L. M. Sunde

SINTEF Ocean AS, P.O. Box 4762 Sluppen, NO-7465 Trondheim (Norway)

E-mail: andreas.m.lien@sintef.no

1 Introduction

Prevention is the main strategy to battle salmon lice in Norwegian salmon farming. Many salmon farmers have put different variations of lice skirts to use, as they have shown to reduce the infestation significantly (Næs et al., 2014; Grøntvedt and Kristoffersen, 2015). Still, there are concerns regarding the risks involved with using skirts, in particular reduced oxygen levels (Stien et al., 2012; Frank and Lien, 2015), increased mooring loads (Lien et al., 2014), and increased gill health risks due to faster amoebic gill disease (AGD) development (Hjeltnes et al., 2017) and concentration of harmful algae (Arff and Miguez, 2016).

There is also a large variation in achieved effect from lice skirts amongst salmon farms (Lien et al., 2015). Water currents affect dispersion of plankton, including early stages of salmon lice, (Costelloe et al., 1996). In addition to oceanographic and topographic conditions, skirts affect currents in and around the salmon cage (Frank et al., 2015). If one should be able to fully utilize the skirt for prevention of salmon lice infestation, one should understand how different variations of skirts behave at different sea states, so that the solution could be customized for the specific site. This is investigated in the project SKJERMTEK, funded by The Norwegian Seafood Research Fund (FHF). As part of this project, model scale experiments have been conducted to demonstrate the motions and deformations of different skirts and cage nets in currents and waves, as well as the skirts contribution to drag forces.

2 Materials and Methods

The model scale experiments were conducted in SINTEF's flume tank in Hirtshals, Denmark, May 31-June 2, 2017. The cage was modeled in scale 1:17 from a full scale 157 m circumference circular cage with conical and cylindrical net. Two different depths of skirts were tested, equivalent to 10m and 5m depth in full scale, and two different materials with solidity 50% and 100%, respectively (Figure 1).

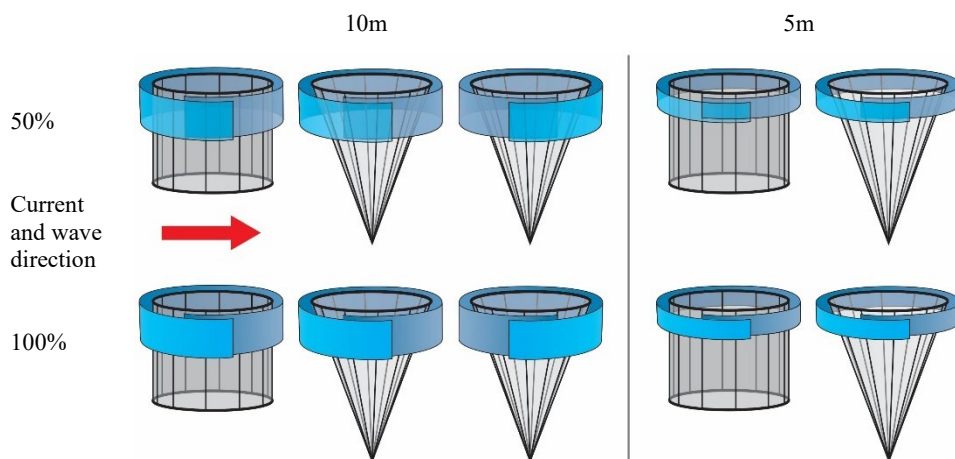


Figure 1. Models tested in the flume tank.

The models were moored in a quadratic rope frame with crow feet. Load cells were used to measure the mooring loads, which in turn were used to calculate the drag force parallel to the current, and cameras to record motion and deformation (Figure 2).

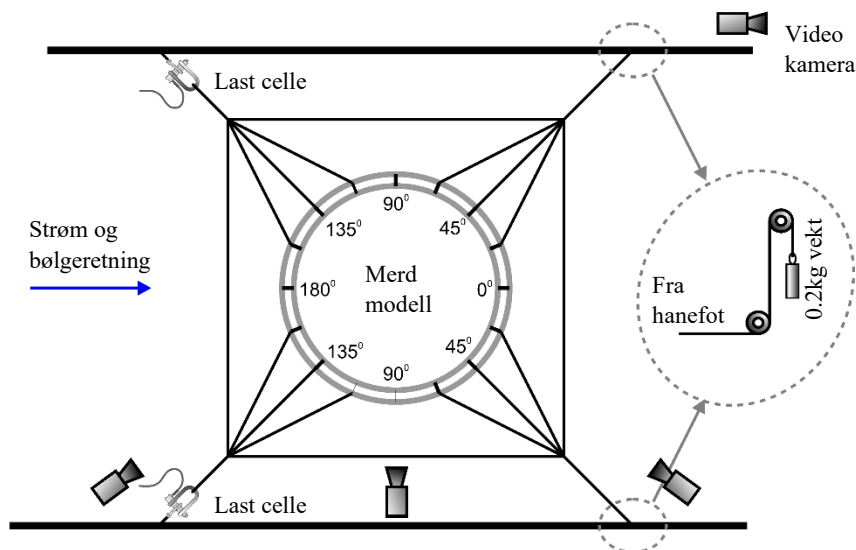


Figure 2. Mooring of the model cage in the flume tank seen from above with indications of the placement of load cells and cameras.

The experiments were run at six different current speeds, equivalent to 12cm/s, 21cm/s, 33cm/s, 41cm/s, 62cm/s and 82cm/s full scale, and three different wave heights, equivalent to 0.87m, 2.14m and 2.99m full scale.

3 Results

Results from the experiments will contribute to the configuration of fullscale experiments in 2018. Results from the experiments will be presented at the conference.

4 References

- Arff, J., Miguez, B.M., 2016. Marine microalgae and harmful algal blooms: A European perspective. I: Tsaloglou, M.N. (red.) Microalgae Current Research and Applications, Caister Academic Press, UK s. 45-72.
- Costelloe, M., Costelloe, J., og Roche, N., 1996. Planktonic dispersion of larval salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis*, associated with cultured salmon, *Salmo salar*, in Western Ireland. *J Mar Biol Ass.*, UK 76:141–149.
- 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 OMAE*, 137: 011201.
- Frank, K., Lien, A.M., 2015. Permaskjørt og merdmiljø. SINTEF Rapport A26686. ISBN 978-82-14-05867-3.
- Grøntvedt, R.N., Kristoffersen, A.B., 2015. Permaskjørt kan redusere påslag av lakselus - analyse av feltdata. Veterinærinstituttets rapportserie 2-2015.
- Hjeltnes, B., Bornø, G., Jensen, M.D., Haukaas, A., Walde, C.S., 2017. Fiskehelse rapporten 2016. Veterinærinstituttet rapportserie nr 4/2017.
- Lien, A.M., Volent, Z., Jensen, Ø., Lader, P., Sunde, L.M., 2014. Shielding skirt for prevention of salmon lice (*Lepeophtheirus salmonis*) infestation on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in cages – A scaled model experimental study on net and skirt deformation, total mooring load, and currents. *Aquacultural Engineering*, 58: 1–10.
- Lien, A.M., Stien, L.H., Grøntvedt, R., Frank, K., 2015. Permanent skjørt for redusering av luspåslag på laks. SINTEF Rapport A26790. ISBN 978-82-14-05873-4.
- Næs, M., Grøntvedt, R.N., Kristoffersen, A.B., Johansen, B., 2014. Feltutprøving av planktonduk som skjerming rundt oppdrettsmerder for å redusere påslag av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*). Sluttrapport FHF prosjektnr 900834.
- 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* 51, 21–25.

6.4.2 EAS 2018, Montpellier, 29.8 2018, Sammendrag

Presentasjonen finne i vedlegg A.2.2.

VARIATION OF DISSOLVED OXYGEN (DO) IN FISH CAGES WITH SHIELDING SKIRT FOR PREVENTION OF SALMON LICE (*Lepeophtheirus Salmonis*)

Zsolt Volent*, Birger Venås, Jens Birkevold and Leif Magne Sunde.

SINTEF Ocean, P. O. Box 4762 Sluppen, 7465 Trondheim, Norway

E-mail: zsolt.volent@sintef.no

Prevention is the main strategy to avoid infestation salmon lice in Norwegian salmon farming. Many salmon farmers use different variations of lice skirts, as they have shown to reduce the infestation significantly. Still, there are concerns regarding the risks involved with using skirts, in particular reduced oxygen levels, increased mooring loads, and increased gill health risks due to faster amoebic gill disease (AGD) development and concentration of harmful algae.

Water currents affect dispersion of plankton, including early stages of salmon lice and exchange of water. In addition to oceanographic and topographic conditions, skirts affect currents and DO inside the salmon cage. If one should be able to fully utilize the skirt for safe prevention of salmon lice infestation, one should understand how different variations of skirts behave at different sea states, so that the solution could be customized for the specific site. This is investigated in the project SKJERMTEK, funded by The Norwegian Seafood Research Fund (FHF). As part of this project, measurements of dissolved oxygen (DO) have been conducted to demonstrate the DO distribution within 2 different lice skirts.

The experiments were accomplished at two different aquaculture sites, with a 5m deep impermeable tarpaulin skirt at Korsneset (Ellingsen Seafood AS), and a 10m skirt with 50% permeable tarpaulin skirt at Finnkjerka (Nordlaks AS), located in Lofoten, Northern Norway. 6 DO sensors were used in 2 depths (3 and 5m depth) in 3 different positions within the cages and one outside in 3 m depth (Fig.). A Nortek ADCP current profiler was used for the current measurements.

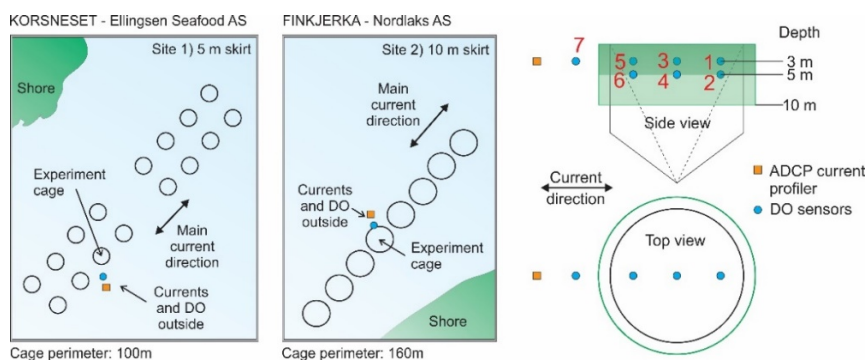


Fig. Measurement area and instrument positions at Korsneset (site 1) and Finnkjerka (site 2).

At site 1 the perimeter of the cage was 100m with 20m deep net, approximately flat bottom containing 83 859 salmon with average weight of 4.1kg. At site 2 the perimeter of the cage was 160m, a conical net with a depth of 50m containing 184173 fish with average weight of 3,4kg.

The result of the measurements and data analysis will be presented.

6.4.3 TEKMAR 2019, Trondheim, 04.12.2019, Sammendrag

Presentasjonen finne i vedlegg A.2.3

Koble data: Hvordan kombinere målinger og matematiske modeller for bedre miljøforståelse ved bruk av luseskjørt?

Kristbjörg Edda Jónsdóttir, (NTNU)

Merdmiljøet er kompleks, og vi vet at luseskjørt har en direkte innvirkning på dette miljøet. For å forsikre seg om at godt miljø i merden for fisken er det vanlig å overvåke innløst oksygen. I denne presentasjonen ønsker vi å formidle hvordan man kan oppnå en bedre forståelse av merdmiljøet ved å se på målinger av flere forskjellige variabler, og undersøke disse sammen med kunnskap innhentet fra matematiske modeller.

For å demonstrere hvordan å koble data kan gi ny innsikt presenterer vi data innsamlet fra Fornes i perioden 02.07 til 05.07.2019. Fornes består av en rekke med koniske merder som er 55 m dype, har en diameter på 160 m og er utstyrt med permeable skjørt som er 10 m dype. CFD analyser av merden viste hvilke områder av merden som ville ha de laveste strømmene avhengig om merden var utrustet med et permeabelt eller ikke-permeabelt skjørt. Basert på CFD analysen ble det plassert ut sensorer for å måle innløst oksygen i 6 forskjellige posisjoner inne i merden og 2 på utsiden.

Innsamlet oksygen-data viste at selv om oksygenivået var bra i starten, så falt det på 3 m og 6 m dyp inne i merden, før det ble bedre mot den siste natten. Innløst oksygen på utsiden av merden var derimot bra gjennom hele perioden. Det at oksygenivået svingte i løpet av tre netter tydet på at det var noe annet en kun skjørtet som påvirket oksygenivået.

Ved å undersøke målt strømningshastighet i posisjon 10 og 9 viste det seg at det heller ikke var store endringer i strømmen disse dagene. Salinitet, temperatur og dybde målinger (CTD) viste derimot at det var en haloklin til stedet under målingene. I løpet av målekampanjen flyttet denne haloklinen seg oppover mot overflaten, og til slutt ble den oppløst. Dette skjedde samtidig som innløst oksygen inne i merden endret på seg. Ved å koble sammen data, og se på strømningsbildet, CTD data og oksygendata sammen, samt ved å bruke denne dataen til å forbedre de matematiske modellene, kan man få en økt forståelse av merdmiljøet.

6.4.4 Lusekonferansen 2020 (FHF), Trondheim, 22.01.2020, Sammendrag

Presentasjonen finne i vedlegg A.2.4

Effekten av vannstrøm og haloklin på oksygenivå inne i en merd.

Kristbjörg Edda Jónsdóttir, (NTNU)

Merdmiljøet er kompleks, og vi vet at luseskjørt har en direkte innvirkning på dette miljøet. Hovedfunksjonen til skjørtet er å forhindre at de øverste lagene av vannsøylen slipper inn i merden, og dermed holde lusene utenfor. Men dette medfører også at vanngjennomstrømningen er redusert, noe som kan føre til lavt innløst oksygen (DO) nivå innenfor skjørtet. For å undersøke hvordan DO-nivået varierer ble det gjennomført en målekampanje på Nordlaks sitt anlegg Fornes i Øksfjorden.

Den koniske merden med en diameter på 50 m og dybde på 55 m ble utrustet med 6 DO-målere inne i merden, og 2 på utsiden. Merden hadde et permeabelt skjørt på 10 m, DO-sensorene ble derfor plassert på 3, 6, 9 og 12 m dyp. Fra CFD analysen var det forventet at det ville være en svakere strøm innenfor skjørtet, og dermed også lavere DO-nivå.

Målingene ble utført gjennom 3 netter. DO-nivået innenfor skjørtetekanten startet med et nivå tilsvarende det på utsiden av merden. I løpet av den første natten falt DO-nivået, og det tok nærmere 2 døgn før nivået var oppe igjen til startverdien. På utsiden kunne man se at DO-nivået svingte noe sammen med vannstrømmen og når tidevannet snudde, men var ingen store endringer i vannstrømmen som kunne forklare svingningene av DO inne i merden. For å forstå dette måtte man samle inn mer data om vannsøylen.

Fra salinitet, temperatur og dybde (CTD) målinger på utsiden av merden, ble det registrert en haloklin som forsvant mot slutten av målingene. Ettersom haloklinener forhindrer vertikal blanding av vannsøylen, vil denne ha påvirket hvordan vannstrømmen beveget seg, og dermed også vannutskiftning og DO inne i merden. Det man så på Fornes var at når det var en forskjell i salinitet fra innsiden til utsiden av merden så var det dårlig DO nivå inne i merden. Samtidig at når haloklinen forsvant så forbedret DO-nivået seg. Det er derfor viktig at man samler inn informasjon om salinitet og temperatur med dypet på innside og utsiden av merder med skjørt, da dette gir verdifull informasjon om hvordan vannstrømmen beveger seg.

Vedlegg 1

A.1 Populærvitenskapelige publikasjoner

A.1.1 Hirtshals erfaringsdelingsseminar: Hva skjer med luseskjørt i strøm og bølger

A.1.2 Påvirker tetthetsgradient strøm og oksygenivået i en fiskemerde med luseskjørt

Hva skjer med luseskjørt i strøm og bølger?

Kunnskapsbygging i modelltank gir bidrag til produktutvikling og sikrere bruk: SINTEF Ocean arrangerte, i samarbeid med Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF), et åpent erfaringsdelingsseminar med demoforsøk i SINTEF Oceans flumetank i Hirtshals, Danmark. Seminaret varte over tre dager fra 31. mai til 2. juni 2017, og tok for seg temaet "hva skjer med luseskjørt i strøm og bølger?".

Andreas Myskja Lien, SINTEF Ocean AS
andreas.m.lien@sintef.no

Med totalt 58 deltakere var kapasiteten toppet i flumetanken, noe som viser at temaet er av stor interesse i næringen.

Bakgrunnen for seminaret er at ulike former for behandling av lakselus ikke har vist tilfredsstillende resultater, det være seg medikamentell (resistens, dårlig behandlingseffekt, økt dødelighet i etterkant) og ikke-medikamentell (ytre skader, økt stressrespons, økt dødelighet

i etterkant). Forebygging er derfor den beste strategien i lusekampen, og mange har tatt i bruk ulike løsninger av luseskjørt, da det reduserer luspåslaget. Det er allikevel en bekymring om risiko forbundet med bruk av skjørt, spesielt knyttet til reduserte oksygenivå og økt belastning på fortøyning. Det er for liten kunnskap om skjørtets mekanismer i strøm og bølger, som er avgjørende for dragkrefter og vannutskifting i merden.



Modell i skala 1:17 av en 160-metring med sylindernot og 10 m dypt skjørt i planktonduk utsatt for strøm tilsvarende 41 cm/s i full skala.

Flumetanken i Hirtshals egner seg godt til denne typen forsøk, der det handler om å demonstrere hva som skjer under vann ved ulike strøm- og bølgeforsøk, siden det er store vinduer inn mot tanken og modellen som testes. Målinger fra sensorer gir verdifull komplimenterende informasjon om det man ikke ser, som forføyningslaster. Seminaret ble gjennomført etter et program med en forhåndsbestemt forsøksplan, men det ble også åpnet for innspill fra deltakerne til forsøk utover planen dersom det var spesielle ønsker.

Modellmerden var i skala 1:17 av en 160-metring, med en spissnot og en sylindernot. Skjørtmodellene tilsvarer 5 og 10 m dype skjørt i fullskala i et tett materiale og et planktonduk-materiale. Alle modellene ble utsatt for strøm som tilsvarer 21 cm/s, 41 cm/s, 62 cm/s og 82 cm/s, og noen ble i tillegg testet ved 12 cm/s og 33 cm/s. Modellene ble også utsatt for bølger med høyde tilsvarende 0,87 m, 2,14 m og 2,99 m.

Resultater

Resultatene fra kraftmålingene viser at skjørt i alle de testede konfigurasjonene øker dragkraften på merden. 10 m planktonduk har det største kraftbidraget opp til 40 cm/s. Ved høyere strøm har 5 m tett duk det største kraftbidraget. De dype skjørtene hever seg raskere i strømmen, noe som fører til at ved ekstreme strømstyrker som 80 cm/s er det ikke stor forskjell i effektiv skjermingsdypp på 5 m og 10 m skjørt.

Skjørtet var sydd i ett stykke, og montert med overlapp medstrøms i skjøten. De 10 m dype skjørtene ble også testet med overlappen motstrøms, noe som tydelig viste at vann strømmer inn mellom de overlappende endene ved denne konfigurasjonen. Etter innspill fra salen ble også sammensydd overlapp testet, noe som holder skjøten samlet i vannstrømmen.

Andre ønsker om ekstra forsøk var å henge et punktlodd i fremkant av skjørtet for å undersøke om skjørtet stod bedre i strøm, og endret vekt på senterloddet i spissposen for å se om vekten av loddet

hadde innvirkning på løftehøyden av loddet i strøm.

Brukererfaringer

Under modellbytte mellom forsøk ble det holdt foredrag. I tillegg til faglige foredrag fra SINTEF Ocean om strøm, tidligere forskningsprosjekt på luseskjørt og skadelige alger, fortalte fire representanter fra oppdrettselskapene Sinkaberg Hansen, Lerøy, Nordlaks og Ellingsen Seafood om sine erfaringer med skjørt. Det er stor tro på forebygging i kampen mot lusa, der skjørt topper listen av tiltak. Hovedårsaken er erfaringer med at det virker på å holde lusetallene nede. Sinkaberg Hansen har strategi om utstrakt bruk av skjørt, fortrinnsvis på kystlokalitetene fra smolt til slakt. De tester også for tiden ut undervannsføring i kombinasjon med skjørt. Gode resultater i forhold til lusetall med begge løsningene separat har motivert uttestingen. Ellingsen bruker skjørt på alle lokaliteter. Strategi om å benytte luseskjørt på alle anlegg i et område er med tanke om

å forebygge bestandsutviklingen av lakselus i området. Lerøy bruker skjørt på alle nytsett der forholdene ligger til rette og har to eksempler på lokaliteter som har stått til slaktning uten behandling, der kun forebyggende løsninger er benyttet. Nordlaks dekker 8 nærliggende anlegg i en region med luseskjørt. Flere bruker rensefisk i tillegg til skjørtene. Andre tiltak er eksempelvis forebyggende fôr og brakklegging.

De bruker ulike typer skjørt fra ulike leverandører. Argumenter for bruk av 5 m skjørt er at fisken skal ha plass under skjørtet dersom vannkvaliteten innenfor skjørtet blir dårlig. Flere erfarer nettopp at fisken ofte står under skjørtetanten. Argumenter for dypere skjørt er større skjermingsareal mot lusa. Argumenter for å bruke planktonduk er at man får vannutskifting gjennom planktonduken, samtidig som lusa holdes ute. Det er enighet om at skjørtet ikke øker dødelighet eller reduserer tilvekst.

De fleste monterer skjørt mellom not



Kurt Hansen (SINTEF Ocean AS) forteller om flumetanken for seminarets deltakere.

og innerste flytering. Årsak til dette er at det blir enklere med rengjøring i sjø og at skjørtene står bedre. Skjørt på utsiden av flytekragen kan også medføre ekstra slitasje rundt hanefotinnfestingen.

Montering tar 1-2 timer. Kan gjøres med én båt, men det er fordel med to. Rengjøring gjøres enten med notvasker i sjø, eller at skjørtene tas med til notvaskeri på land.

Andre utfordringer innebærer at skjørt kan bli løftet opp på merd ved sterk vind og krappe bølger. Skjørtet kan løfte seg på oppstrøms side ved sterk strøm, noe som kan bidra til å presse nota opp mot overflaten. Andre risikomomenter kan være akkumulering av mikroorganismer, redusert merdvolum, lav oksygenmetning, begroing og smittepress.

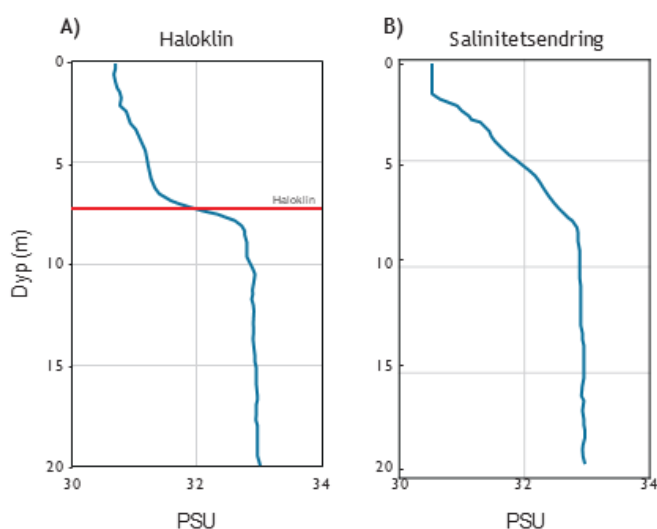
Flere leverandører av skjørtløsninger hadde tatt turen, og selv om de i hverdagen er konkurrenter, bidro diskusjonene til å bygge faglig forståelse. Det ble fra første stund uttrykt nytten av å se skjørtets reaksjoner i strøm og bølger. Forsøk som dette bygger kunnskap, som kan tas direkte med i produktutvikling for å skape bedre løsninger for oppdrettsnæringen ■

Presentasjoner og rapport fra seminaret er tilgjengelig på www.sintef.no/skjermtek.

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.

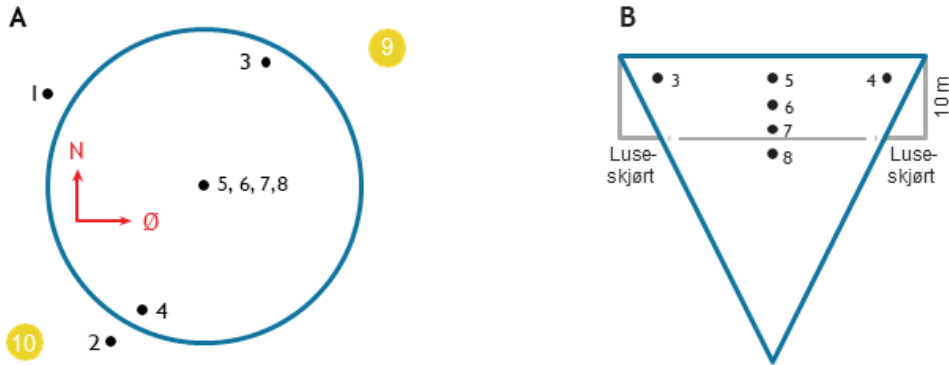
Kristbjörg Edda Jónsdóttir (NTNU), Zsolt Volent (SINTEF Ocean), Pascal Klebert (SINTEF Ocean), Remi Mathisen (Nordlaks Oppdrett AS), Svein Andorsen (Ellingsen Seafood AS), Ragnar Sæetames (Sinkaberg-Hansen AS) og Leif Magne Sunde (SINTEF Ocean)
kristbjorg.jonsdottir@ntnu.no



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 reduisering 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/>).

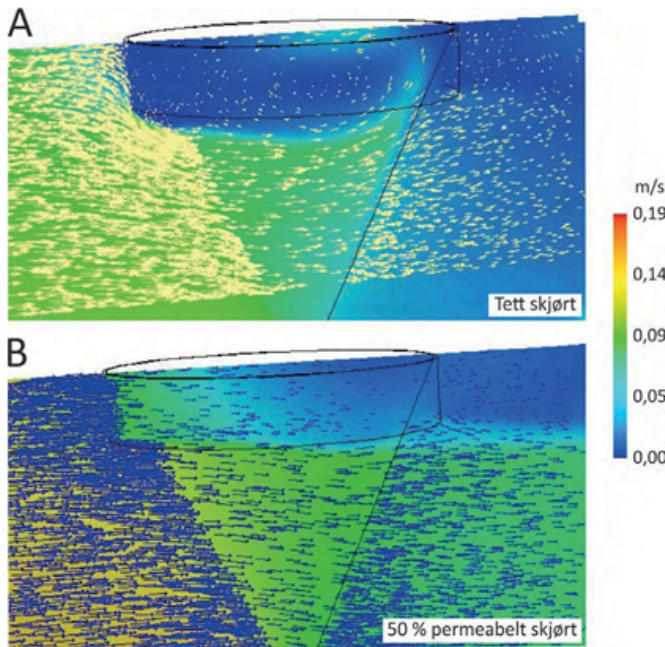
Material og metode

Målingene ble foretatt på Nordlaks Oppdrett AS sitt anlegg på Fornes i Øksfjorden, 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 à 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 strømretningen oven 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.

linitetsgradient (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 før-ankringsbøyene. 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 gjennomstrømming 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 dypt 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 skjortekanten og under. Noe av strømmen treffer så skjortekanten 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

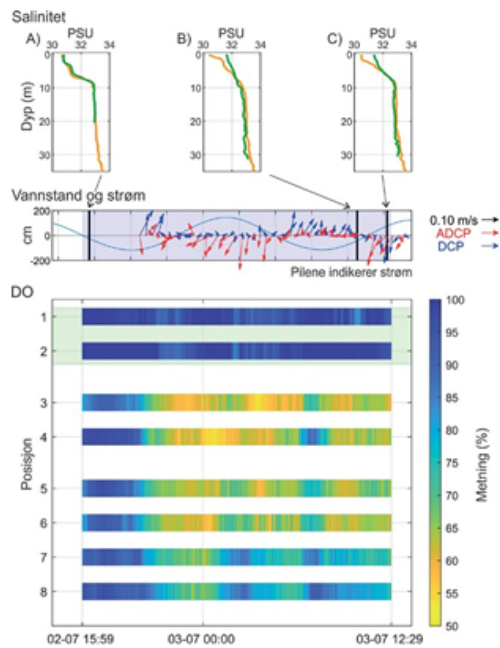
Gjennomsnittlig oksygennivå på utsiden av merden var på over 90%. Sensorene på 9 og 12 meters dyp hadde et gjennomsnitt på over 80%. Sensorene på 3 og 6 meters dyp varierte mer, og den laveste målingen var på 51% i posisjon 3 og 4.

Det forventede strømningens bildet 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 strømsstyrke 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 strømningens bildene 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 oksygenivå over og under skjørtedybden, tyder på at luseskjørtet har en direkte effekt på merdmiljøet.

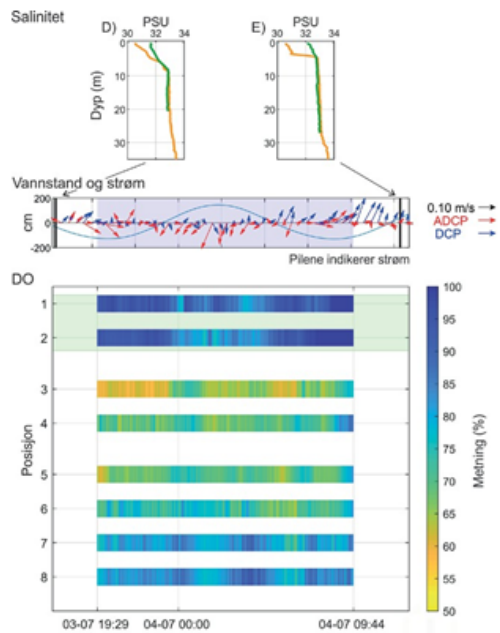
Den 2. juli var vannet innenfor luseskjørtet likt vannet utenfor (figur 4A), og haloklinen lå i skjortekanten. Noe av vannet med lav salinitet har da sannsynligvis kunnet bevege seg gjennom det permeable luseskjørtet mens noe har blitt presset under skjortekanten og opp i merden. Dette gjenspeiles i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

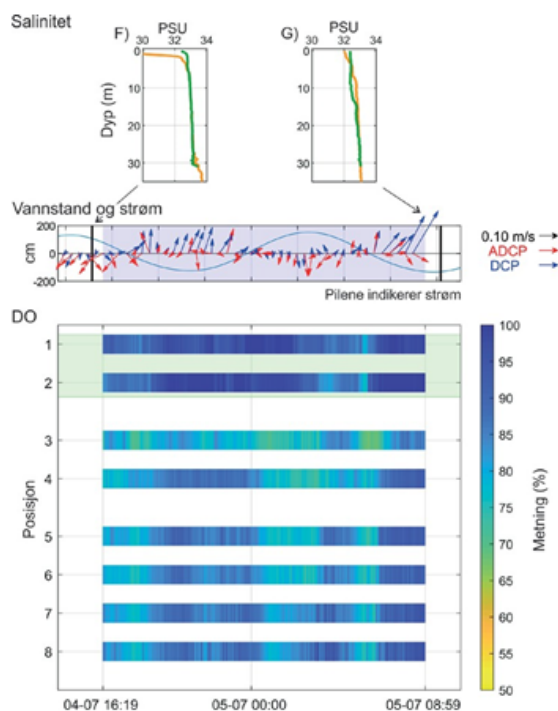
Tilsvarende dårlig vannutskiftning var det den 3.-4. juli (figur 5), med bedring på slutten av perioden når haloklinen utenfor var grunnere, ca. 3.5 m dyp (figur 5E). Vannet under haloklinen kan da ha presset seg under skjortekanten slik at vannet innenfor duken ble skiftet ut. Dette ser man også i figur 6F hvor haloklinen har flyttet seg enda lenger 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 27. 2019 (plot A), kl. 12:14 (plot B) og kl. 12:14 på 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 strømretningen (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 strømretningen (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 strømretningen (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 vannutskifting 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 reduisering 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 rapportnr.: OC2017 A-155.

Vedlegg 2

A.2 Konferansepresentasjoner

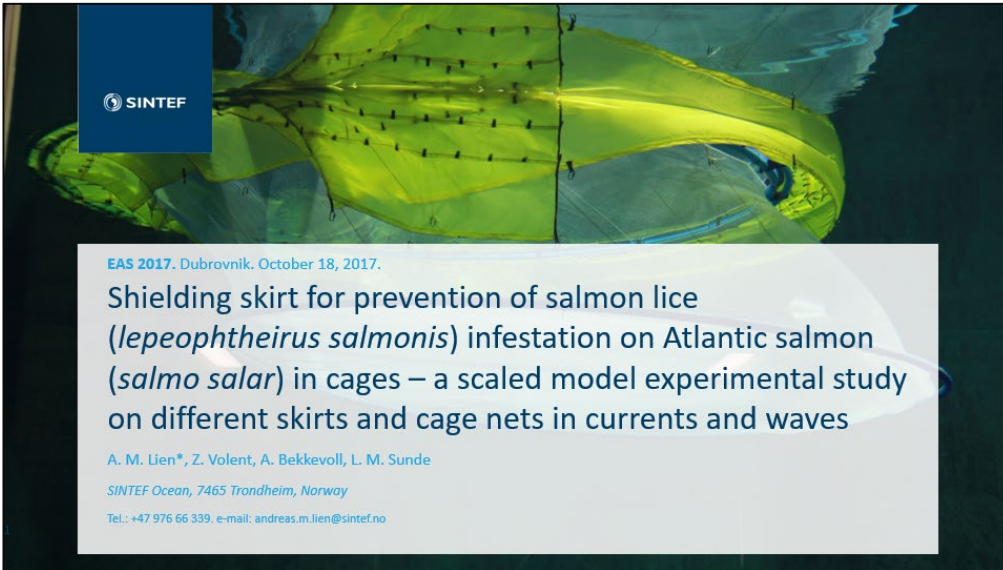
A.2.1 EAS 2017 – Dubrovnik


A.2.2 EAS 2018 – Montpellier

A.2.3 TEKMAR 2019 – Trondheim

A.2.4 Lusekonferansen 2020 (FHF) - Trondheim

A.2.1 EAS 2017 - Dubrovnik



 SINTEF

EAS 2017. Dubrovnik. October 18, 2017.

Shielding skirt for prevention of salmon lice (*lepeophtheirus salmonis*) infestation on Atlantic salmon (*salmo salar*) in cages – a scaled model experimental study on different skirts and cage nets in currents and waves

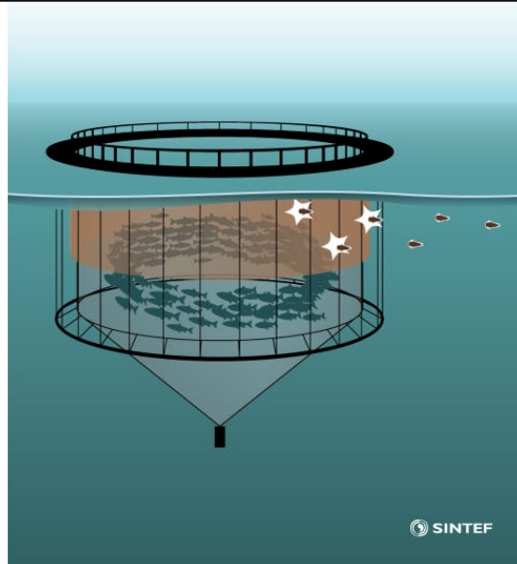
A. M. Lien*, Z. Volent, A. Bekkevoll, L. M. Sunde

SINTEF Ocean, 7465 Trondheim, Norway

Tel.: +47 976 66 339. e-mail: andreas.m.lien@sintef.no

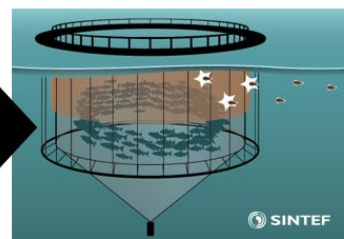
Outline

- Introduction
- Experimental setup
- Results
- Conclusions

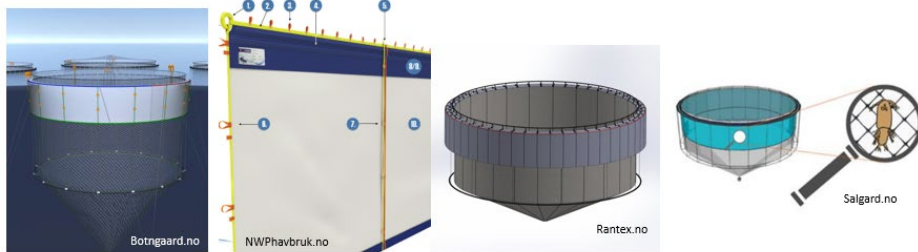


Introduction

- Prevention is the main strategy in battling salmon lice in Norway
- Shielding skirts are the most important among the preventive measures
- Many salmon farmers have put them to use



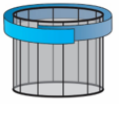
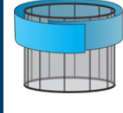
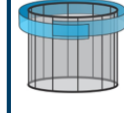
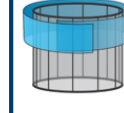
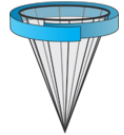
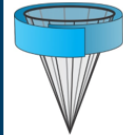
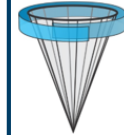
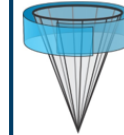
Many variations of skirts available



..but how do variations of skirts and nets behave in currents and waves?

1

Experiments

| Skirt material | Impervious skirt (solidity 100 %) | | Plankton skirt (solidity 50 %) | |
|-----------------|---|---|---|--|
| | 5 m | 10 m | 5 m | 10 m |
| Cylindrical net |  |  |  |  |
| Conical net |  |  |  |  |

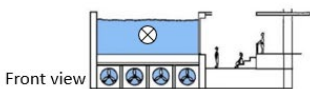
1

The North Sea Centre Flume Tank, Hirtshals

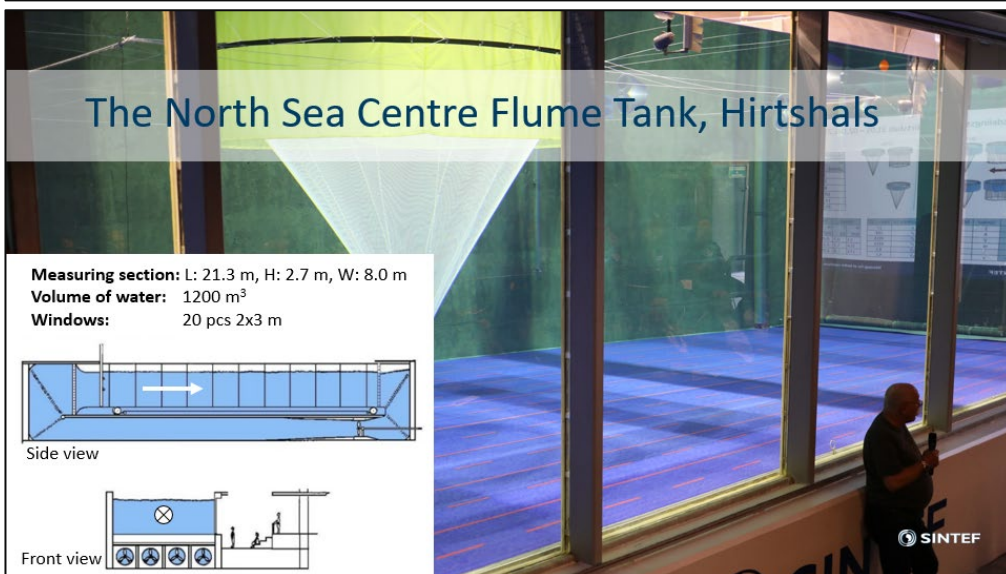
Measuring section: L: 21.3 m, H: 2.7 m, W: 8.0 m
Volume of water: 1200 m³
Windows: 20 pcs 2x3 m



Side view



Front view



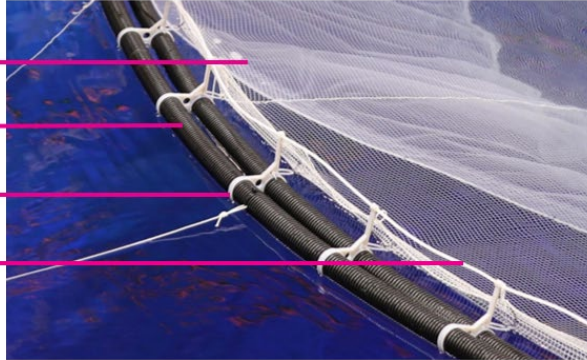
Model construction

Model net
solidity 20 %

32 mm flex tubes

40 pcs 3d-printed
brackets

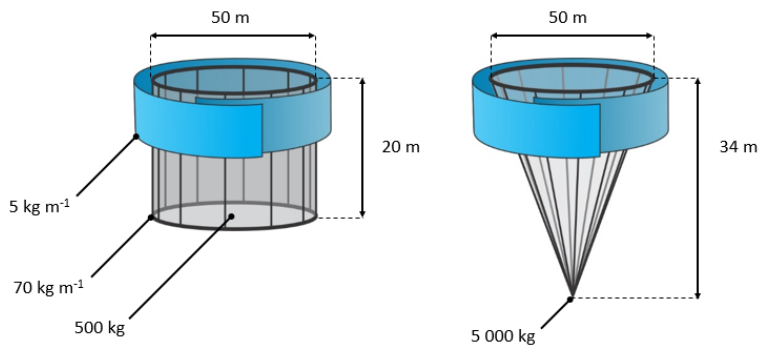
5 mm PE filler rod



1

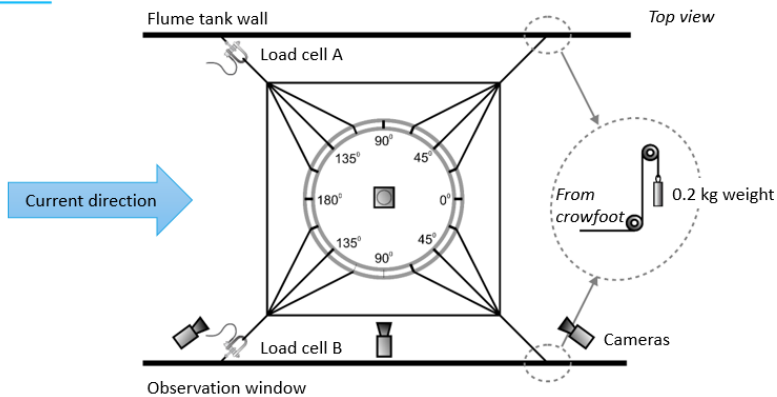
Model cage dimensions (full scale values)

Scale 1:17

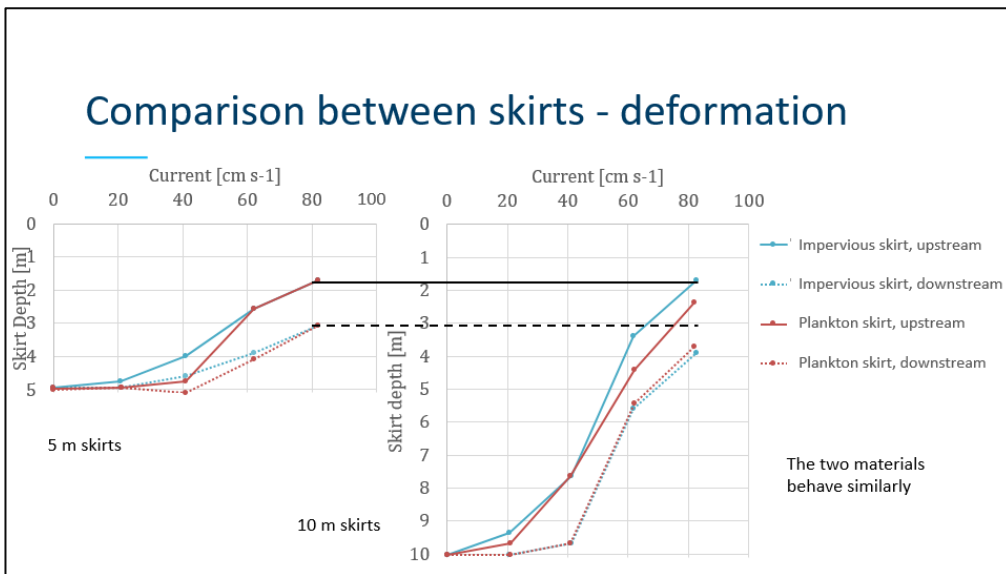
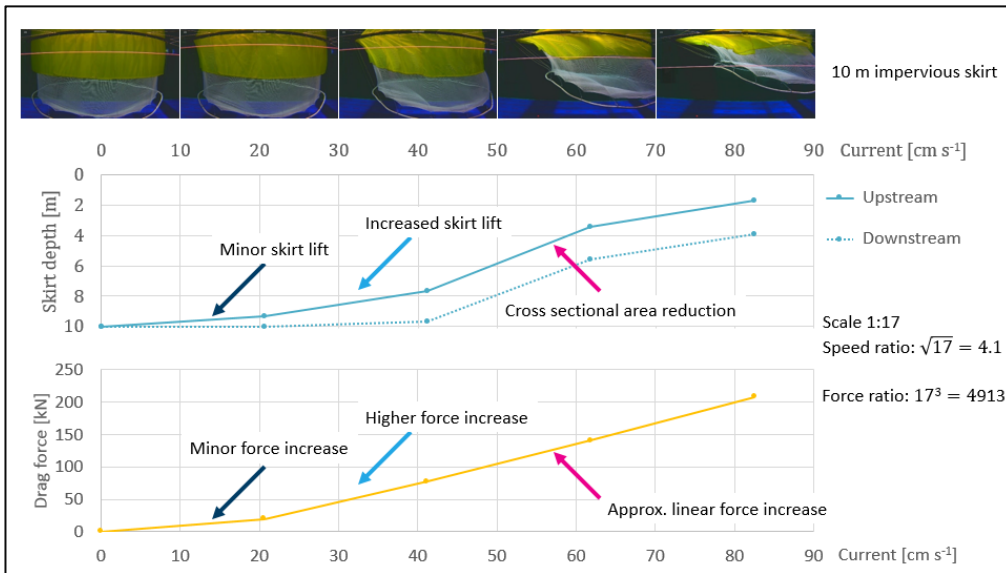
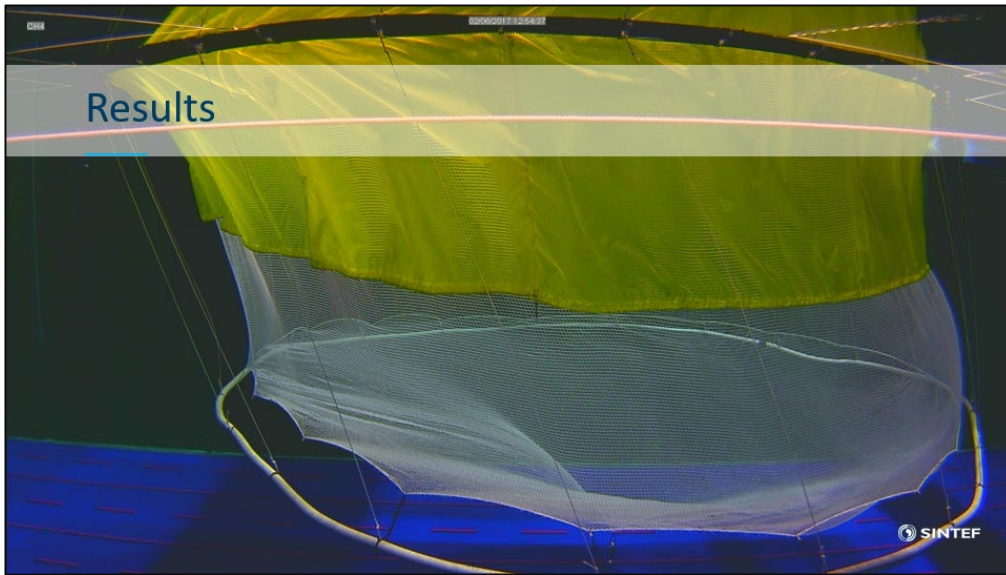


1

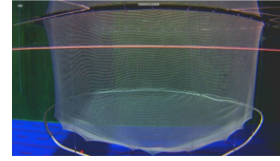
Experimental setup



1

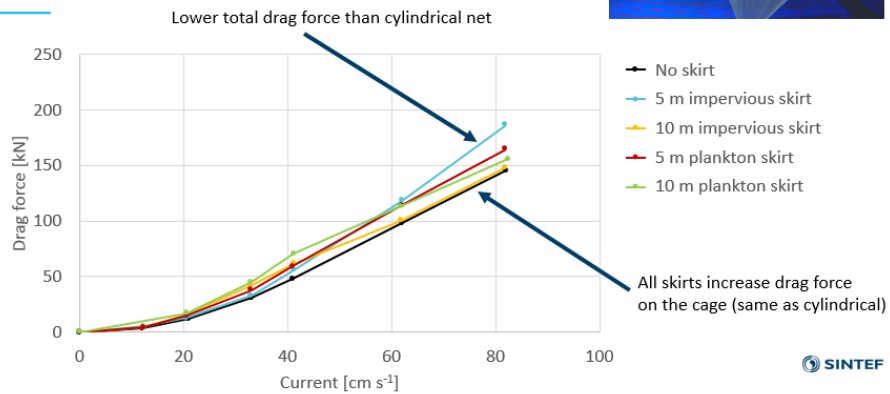
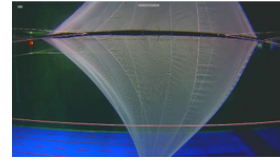


Comparison between skirts – drag force



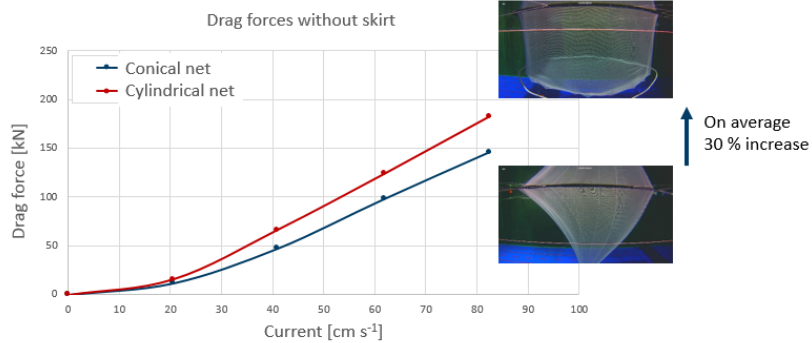
1

Comparison between skirts – drag force



1

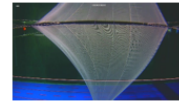
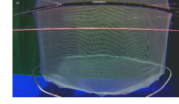
Comparison between nets – drag force



1

Comparison between nets – drag force

| Configuration | Drag force increase [%] | StDev |
|-----------------------|-------------------------|-------|
| 5 m impervious skirt | 27,0 | 11,3 |
| 5 m plankton skirt | 23,8 | 1,0 |
| 10 m impervious skirt | 33,5 | 6,7 |
| 10 m plankton skirt | 31,5 | 9,6 |



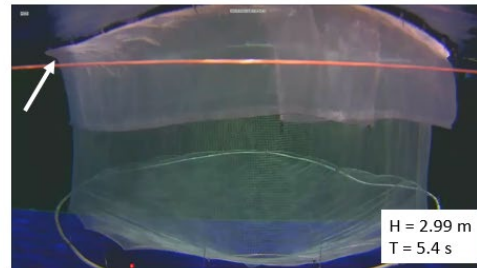
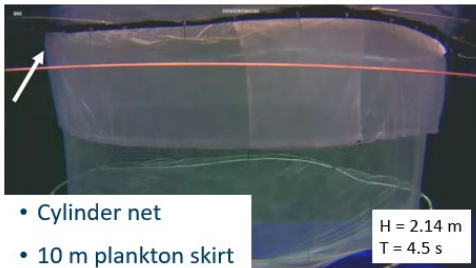
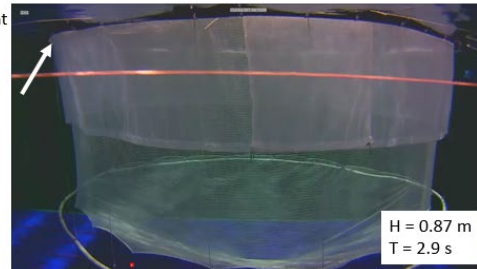
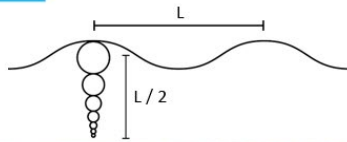
On average
30 % increase

Skirts affect the two nets similarly when it comes to drag forces

1

Different waves

Water movement
greatest at the
surface
→ skirt might
crawl upward



Conclusions

- All configurations of skirts increase total drag force on the cage
- Only minor differences in drag force between variations of skirts
- Skirts increase the drag forces of cylindrical and conical nets similarly
- Skirt movement in waves is greatest at the water surface, which can result in the skirt crawling upward

1

Acknowledgements

Colleagues at SINTEF Ocean



Zsolt Volent



Andreas Bekkevoll



Leif Magne Sunde



Kurt Hansen

This work is part of the project SKJERMTEK funded by FHF



NORWEGIAN
SEAFOOD
RESEARCH FUND

<http://www.sintef.no/skiermtek>



1

A.2.2 EAS 2018 - Montpellier



Participants in the project and Acknowledgements

The results in this presentation, is a part of the project SKJERMTEK funded by FHF (pr. no.:901396) <http://www.sintef.no/skjermtek>

Participants:


NORDLAKS


ELLINGSEN SEAFOOD AS


SinkbergHanser


Passion for Salmon



Funded by:



NORWEGIAN SEAFOOD RESEARCH FUND

Acknowledgement: Our thanks goes to Remi Mathisen (Nordlaks Oppdrett AS) and Svein Andorsen (Ellingsen Seafood AS) for their help during our cruise in Lofoten.



Introduction

Shielding skirts are the most important among the preventive measures

Shielding skirts reduce lice infestation

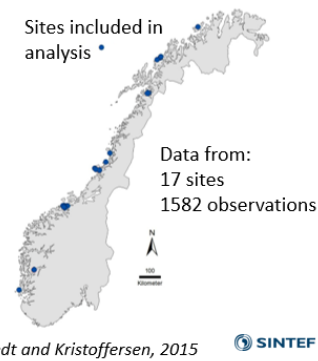
- Skirts reduced lice infestation with an average of 18 % on cage level
- On site level, reduction was on average 54 %

...but the effect varies from site to site


- Cage level: 6-28 %
- Site level: 0-80 %

...Why?

Sites included in analysis



Data from:
17 sites
1582 observations



Grøntvedt and Kristoffersen, 2015

Introduction

The main goal of the SKJERMTEK project is to investigate local conditions, as currents, waves, hydrography, dissolved oxygen (DO) and topography which can influence the shielding effect of the skirts, and maybe give an answer to why ...

The plan is to investigate the condition at 4 different locations for a period of 2 – 3 months.

As a consequence of using skirt as prevention against sea lice, prevents also water circulation and the supply of oxygen within the skirt.

- To get a clear picture of the oxygen distribution you need at least 11 DO sensors for each location.
- To be able to reduce the amount of DO sensors, an investigation has been undertaken to try to find a place within the skirts, which can characterize the worst case situation regards to oxygen and water quality,

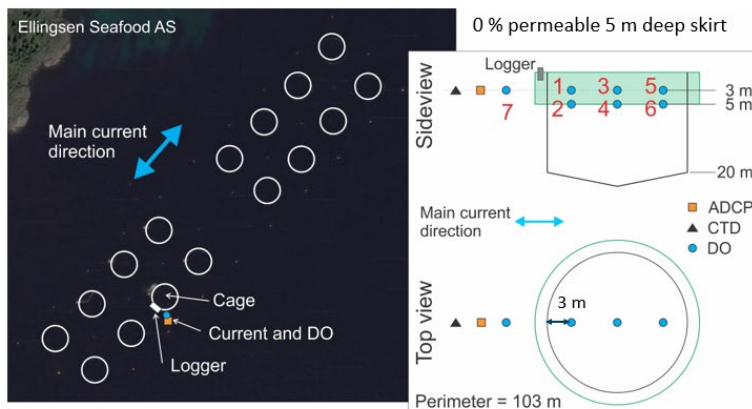
1

Locations



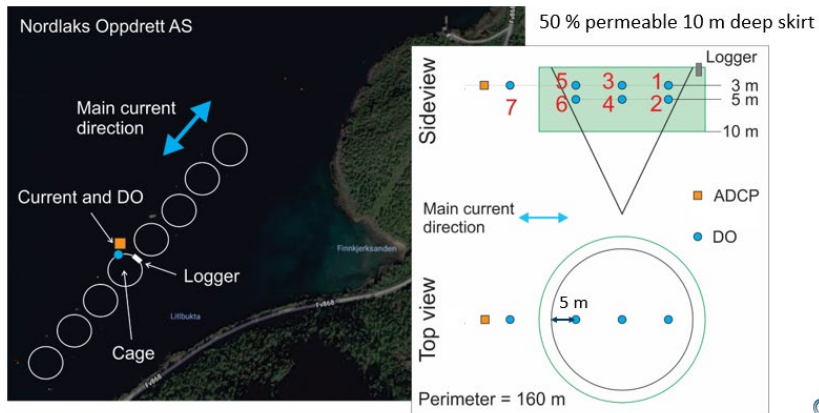
1

Measurement setup at Korsnes

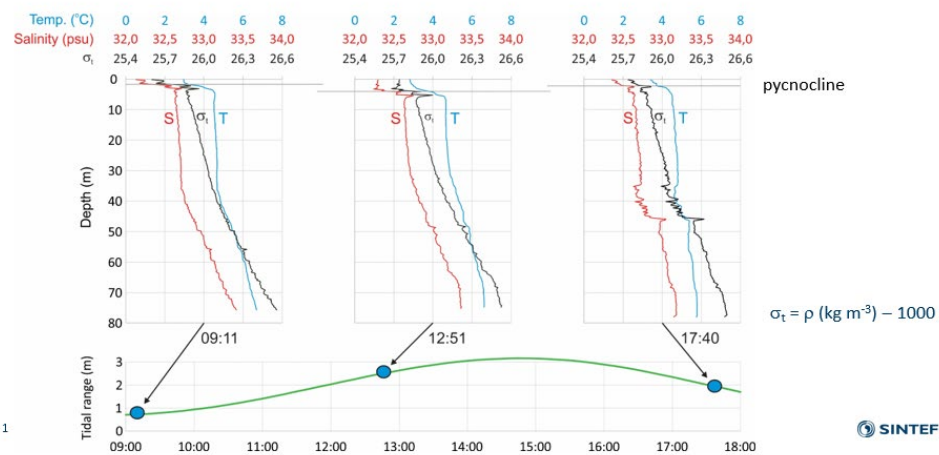


1

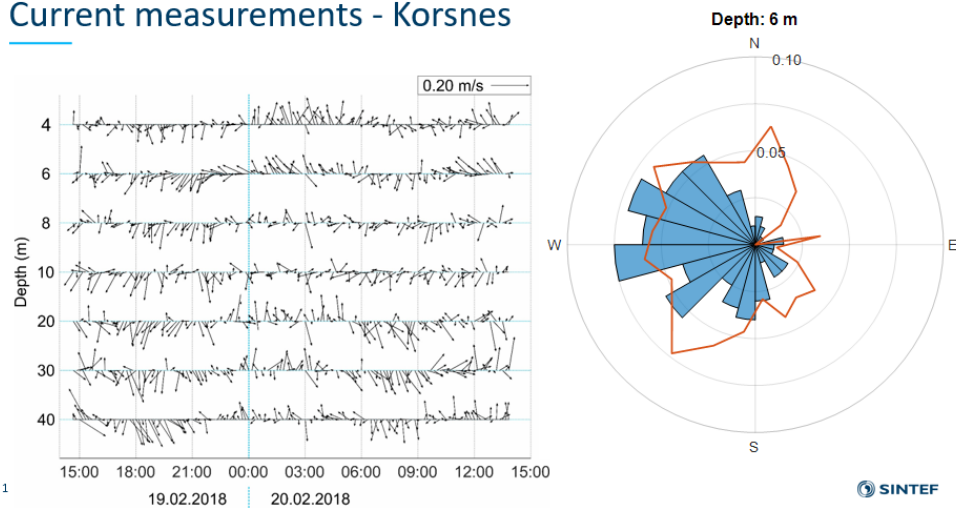
Measurement setup at Finnkjerka

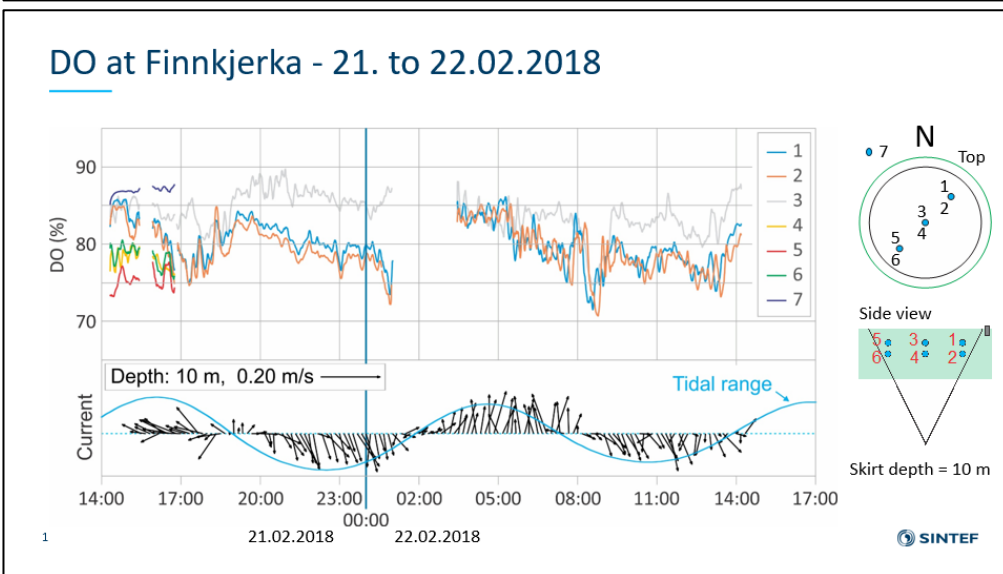
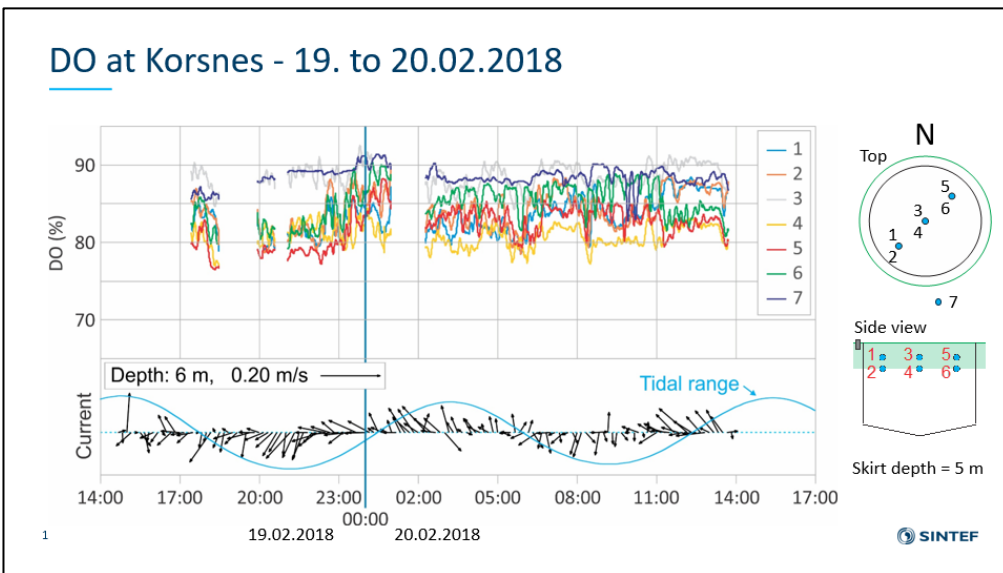
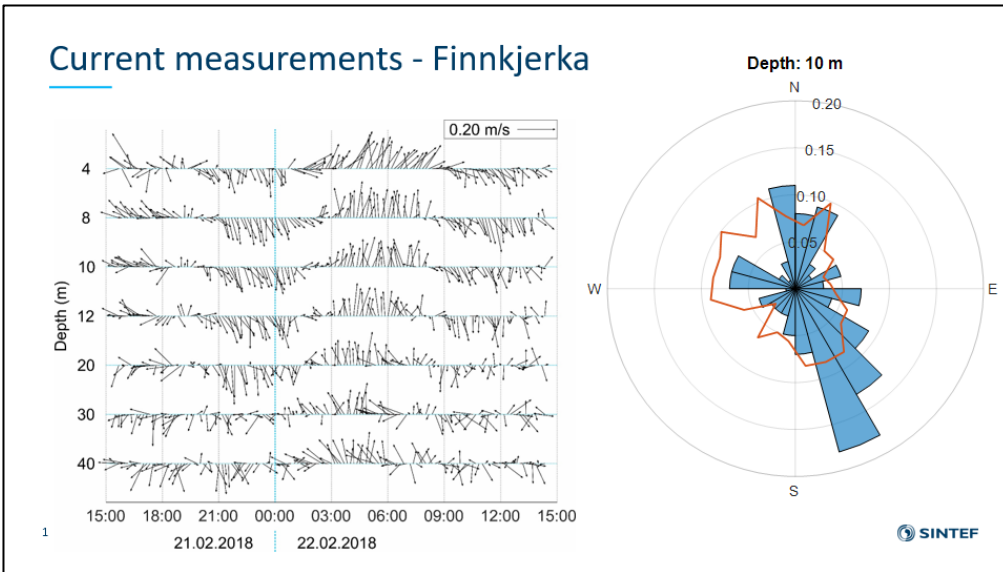


Hydrography at Korsnes 19.02.2018



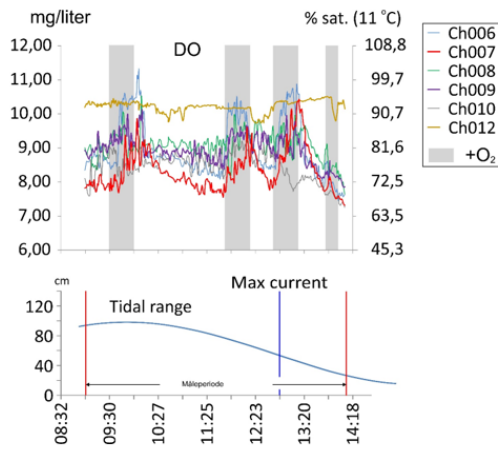
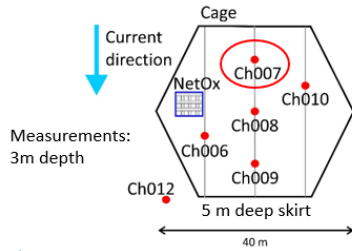
Current measurements - Korsnes





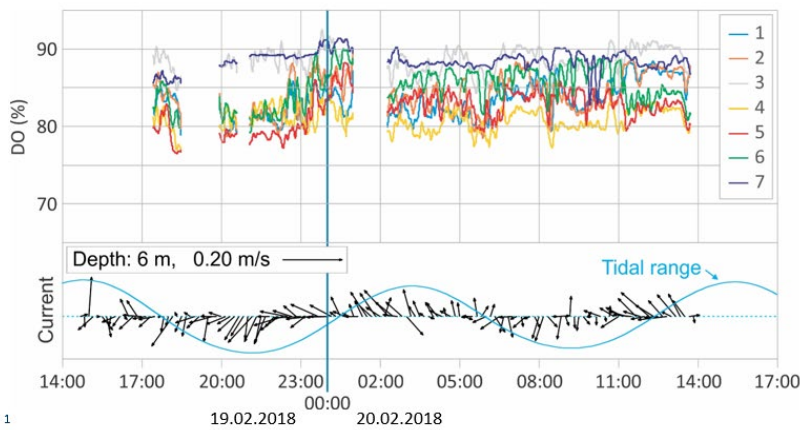
DO at Saltkjelen, Hardanger – 20.11.2014, as a comparison

Results from FHF prosjekt no. 900711 (Permaskjørt)



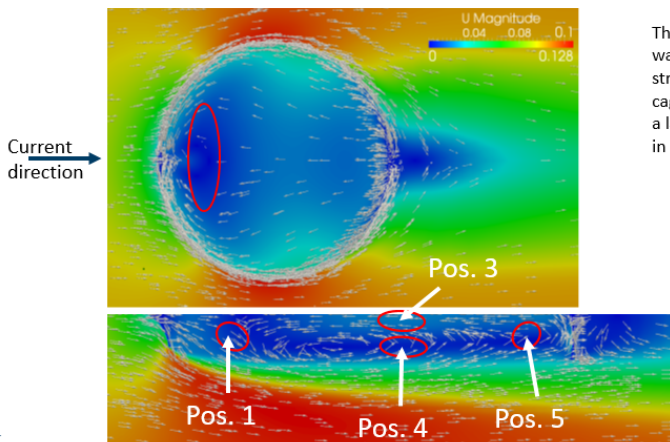
1

DO at Korsnes 19. - 20.02.2018



1

CFD analysis of a cage with 5 m deep skirt



1

The worst conditions with stagnant water is in the front of the cage up streams (pos. 1), at the rear of the cage down streams (pos. 5), and in a layer around the depth of the skirt in the middle (pos. 4).

A.2.3 TEKMAR 2019 - Trondheim

Koble data:

Hvordan kombinere målinger og matematiske modeller for bedre miljøforståelse ved bruk av luseskjermingsteknologi?

Kristbjørg Edda Jónsdóttir
Stud. PhD NTNU
04.12.2019

SKJERMTEK

Resultatene i denne presentasjonen er del av SKJERMTEK finansiert av FHF (pr. no.:901396)
<http://www.sintef.no/skjermttek>

Deltagere:

Finansiert:

Takk til Remi Mathisen (Nordlaks Oppdrett AS) og Svein Andorsen (Ellingsen Seafood AS) for hjelpen vi fikk for å gjennomføre målekampanjene.

2

Miljø og luseskjørt

- Merdmiljøet er kompleks
- Luseskjørt har en direkte innvirkning
- F.eks. innløst oksygen
- Hvordan oppnå god forståelse av merdmiljøet?

Luseskjørt illustrasjon (fra Sintef rapporten «Seminar: Luseskjørt og snorkelmerda»)

3

Merdmiljøet i en konisk merd

- Nordlaks sitt anlegg Fornes i Øksfjorden
- 2.07 – 05.07.2019
- Konisk merd
- 10 m permeabelt skjørt (50% soliditet)

4

Oksygen

5

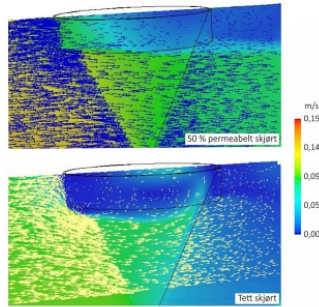
Strøm- og oksygendata

6

Computational Fluid Dynamics (CFD)

• Antagelser:

- Konstant strøm inn på 10 cm/s
- Homogen vannsøyle (ingen tetthetsgradienter)
- Skjørtet beveger seg ikke

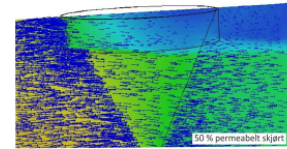
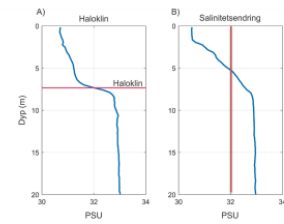


7

NTNU

CTD

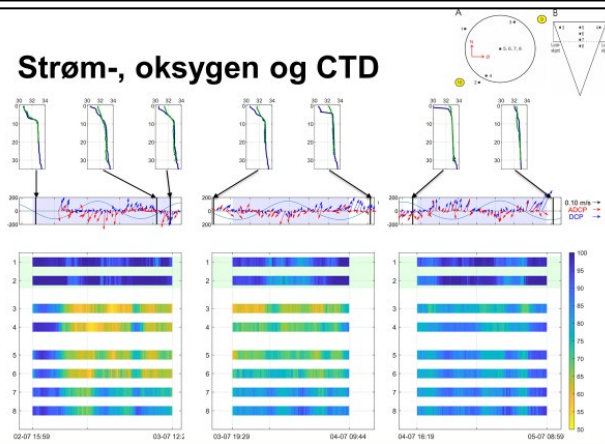
- Tetthetsgradienten
- Påvirket av temperatur og salinitetsnivået
- Vann med lavere salinitet legger seg over vann med høyere salinitet



8

NTNU

Strøm-, oksygen og CTD



9

NTNU

Koble data

- Måledata kan hjelpe oss med å forbedre matematiske modeller
- Matematiske modeller gir oss ny forståelse av kompliserte systemer
- Ved å kombinere modeller og måledata kan vi få en bedre miljøforståelse

10

NTNU

A.2.4 Lusekonferansen 2020 (FHF) – Trondheim

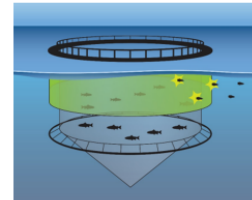
Miljø og luseskjørt:

Vannstrøm, haloklin og oksygenivå inne i merden

Kristbjörg Edda Jónsdóttir
Stud. PhD NTNU
22.01.2020

Miljø og luseskjørt

- Komplisert vannstrøm
- Varierende effekt ved bruk av skjørt
- Varierende påvirkning på innløst oksygen nivå
- Store lokale variasjoner



Luseskjørt illustrasjon (fra Sintef rapporten «Seminar: Luseskjørt og snorkelmerde»)

2

NTNU

SKJERMTEK

Resultatene i denne presentasjonen er del av SKJERMTEK finansiert av FHF (pr. no.:901396)

<http://www.sintef.no/skjermttek>



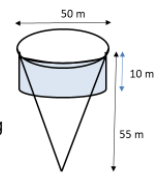
Takk til Remi Mathisen (Nordlaks Oppdrett AS) og Svein Andersen (Ellingsen Seafood AS) for hjelpen vi fikk for å gjennomføre målekampanjene.

3

NTNU

Oksygen og strømningsbildet

- Nordlaks sitt anlegg Fornes i Øksfjorden (2.07 – 05.07.2019)
- 10 m permeabelt skjørt (50% soliditet)
- Biomasse ca. 686 tonn
- Ca. antall fisk 191 310 stk. á 3775 g.
- Et av målene var å undersøke strømbildet og oksygen nivået inne i merden

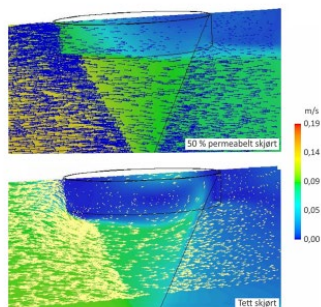


4

NTNU

Computational Fluid Dynamics (CFD)

- Antagelser:
 - Konstant strøm inn på 10 cm/s
 - Homogen vannsøyle (ingen tetthetsgradienter)
 - Skjørtet beveger seg ikke

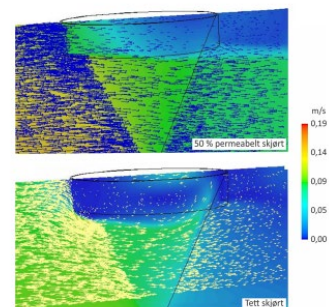


5

NTNU

Computational Fluid Dynamics (CFD)

- Antagelser:
 - Konstant strøm inn på 10 cm/s
 - **Homogen vannsøyle (ingen tetthetsgradienter)**
 - Skjørtet beveger seg ikke

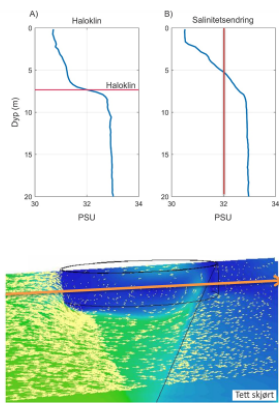


6

NTNU

Tetthetsgradient

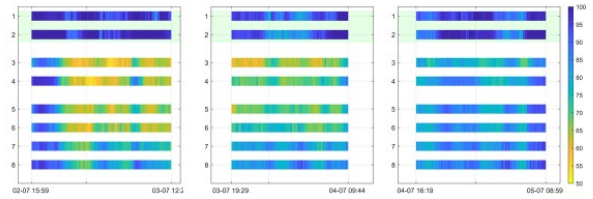
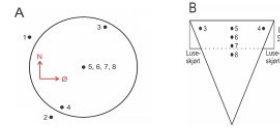
- Påvirket av temperatur og salinitetsnivået
- Ingen temperaturgradient på Fornes
- Vann med lavere salinitet legger seg over vann med høyere salinitet



7

NTNU

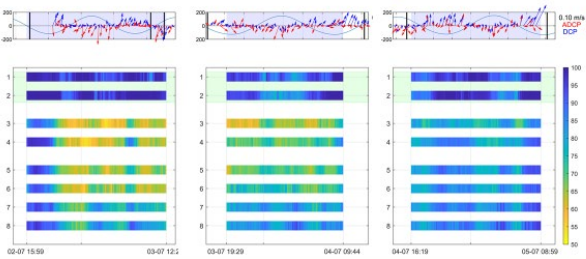
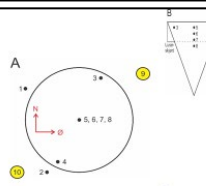
Oksygen



8

NTNU

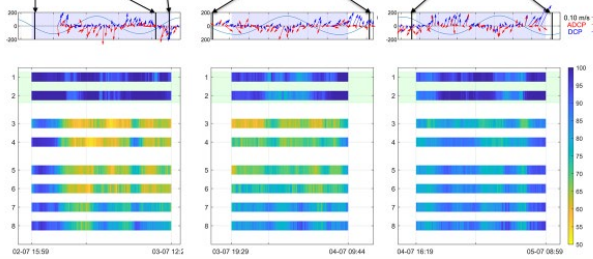
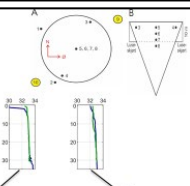
Strøm- og oksygendata



9

NTNU

Strøm-, oksygen og CTD



10

NTNU

Haloklinen

- Haloklinen kan påvirke strømningsbildet
- Ved å måle tetthetsgradienten med dypet kan man få viktig informasjon om hvordan vannstrømmen beveger seg

11

NTNU