

A26790- Åpen

# Rapport

## Permanent skjørt for redusering av luspåslag på laks

Sluttrapport, FHF-prosjekt 900711

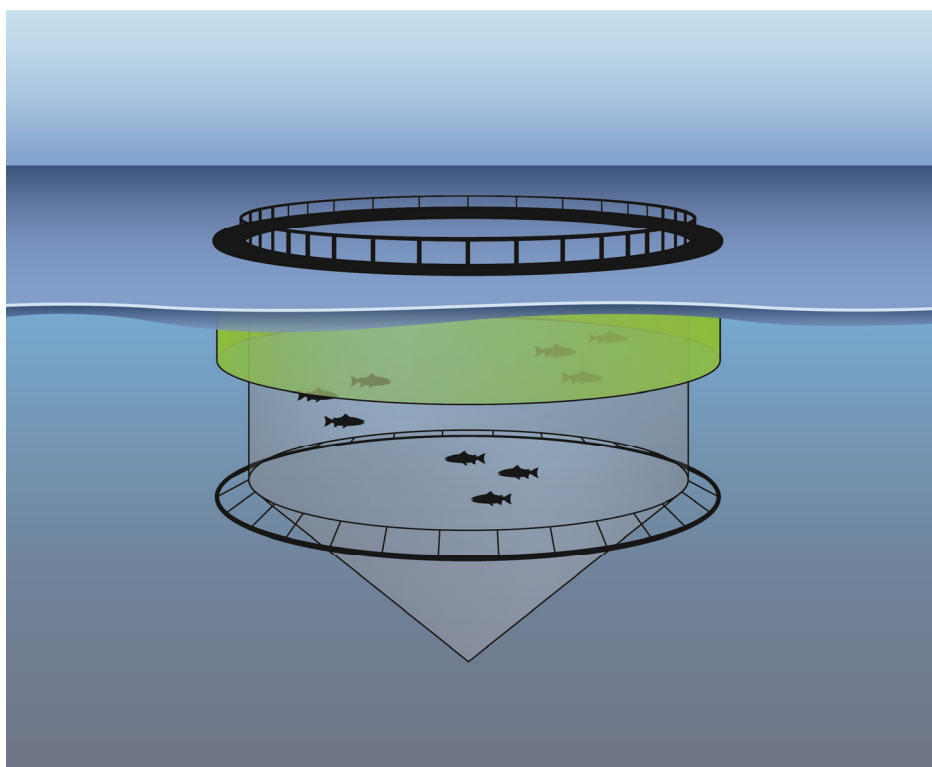
### Forfatter(e)

Andreas Myskja Lien (SINTEF Fiskeri og havbruk)

Lars Helge Stien (Havforskningsinstituttet)

Randi Grøntvedt (Veterinærinstituttet)

Kevin Frank (SINTEF Fiskeri og havbruk)



**SINTEF Fiskeri og havbruk AS**

Drift og operasjon

2015-03-06

# Rapport

## Permanent skjørt for redusering av luspåslag på laks

Sluttrapport, FHF-prosjekt 900711

**EMNEORD:**

Havbruk

Laks

Lakselus

Permaskjørt

Forebyggende

Ikkemedikamentell

**VERSJON**

1.0

**DATO**

2015-03-06

**FORFATTER(E)**

Andreas Myskja Lien (SINTEF Fiskeri og havbruk)

Lars Helge Stien (Havforskningsinstituttet)

Randi Grøntvedt (Veterinærinstituttet)

Kevin Frank (SINTEF Fiskeri og havbruk)

**OPPDRAGSGIVER(E)**

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF)

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Kjell Maroni

**PROSJEKTNR**

6020243

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

36

**SAMMENDRAG**

Hovedmålet med prosjektet er å dokumentere effekten av Permaskjørt i forhold til å redusere luspåslag, i tillegg til å dokumentere hvordan innretningen påvirker miljøet i merden, fiskens biologiske forhold og merdens hovedkomponenter i forhold til en merd uten Permaskjørt. I prosjektet har det blitt gjennomført ulike forskningsaktiviteter, som modellforsøk, fullskalaforsøk, numeriske simuleringer og lusetellinger. Resultatene fra prosjektet indikerer at:

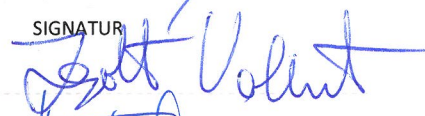
- Permaskjørt kan redusere luspåslag med et gjennomsnitt på 18 % (med variasjon fra 6 til 28 %) i enkeltmerder dersom skjørt blir satt på før luspåslag. I tillegg kan en få en lokalitetseffekt på gjennomsnittlig 54 % (med variasjon fra 0 til 80 %) dersom skjørt blir brukt på alle merdene på lokaliteten.
- Permaskjørt reduserer vannutskifting i merden. Oksygenivåene er lavere innenfor det avskjermede volumet, men fisken står ofte dypere dersom den har tilgjengelig plass under skjørtet.
- Montering av Permaskjørt på oppdrettsmerder er teknisk mulig, både håndteringsmessig og med tanke på belastninger. Skjørtet medfører økte fortøyningskrefter som det er viktig å ta hensyn til.

**UTARBEIDET AV**

Andreas Myskja Lien

**SIGNATUR****KONTROLLERT AV**

Zsolt Volent

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Arne Fredheim

**SIGNATUR****RAPPORTNR**

A26790

**ISBN**

978-82-14-05873-4

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2015-02-05	Utdrag for diskusjon i forfattergruppe.
0.2	2015-02-27	Revidert. Utkast til kvalitetssikring.
0.3	2015-02-28	Revidert. Utkast til gjennomlesing av prosjektdeltakere.
1.0	2015-03-06	Endelig.

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>English summary .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Problemstilling og formål .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Prosjektgjennomføring .....</b>	<b>7</b>
4.1	Skjørtdeformasjon og fortøyningskrefter .....	7
4.2	Hydrodynamikk ved skjørtbruk.....	10
4.3	Oksygen og fiskeatferd .....	12
4.4	Luspåslag .....	13
4.5	Fiskevelferd .....	14
4.6	Oppdretteres erfaringer.....	14
<b>5</b>	<b>Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon .....</b>	<b>15</b>
5.1	Skjørtdeformasjon og fortøyningskrefter .....	15
5.2	Hydrodynamikk ved skjørtbruk.....	18
5.3	Oksygen og fiskeatferd .....	24
5.4	Luspåslag .....	27
5.5	Fiskevelferd .....	30
5.6	Oppdretteres erfaringer.....	31
5.7	Hovedkonklusjon .....	35
5.8	Forslag til videre arbeid .....	35
<b>6</b>	<b>Leveranser.....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>36</b>

## 1 English summary

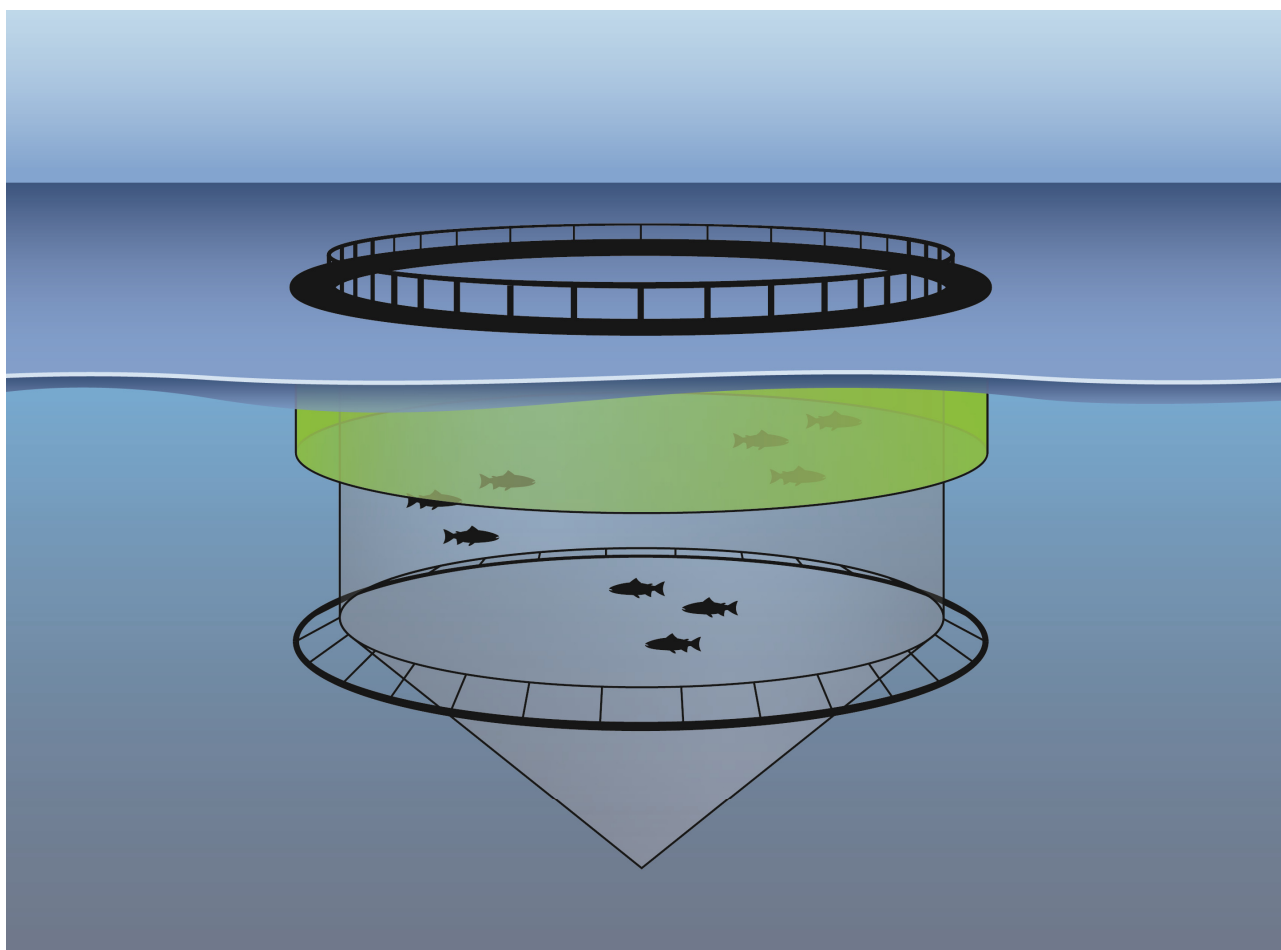
The Permaskirt project (FHF project number 900711) aims to document the effect of a shielding skirt with respects to preventing salmon lice infestations on Atlantic salmon in cages, together with documenting the skirts effect on cage environment, the salmon's condition and the cage components, compared to a cage without skirt. The projects research tasks have included model experiments, full scale experiments, numerical simulations, and lice counting. The results indicate that:

- Permaskirt can reduce lice infestations on salmon with an average of 18 % (with variance from 6 to 28 %) in single cages if skirts are mounted before there are sea lice infestations on the fish. In addition, an average reduction of 54 % (with variance from 0 to 80 %) can be reached on sites if skirts are mounted on every cage.
- Permaskirt reduce the water exchange in the cage. Oxygen levels are lower inside the shielded cage volume, but the salmon often swim below the skirt if they have enough space.
- Using Permaskirt mounted on cages is feasible, both with respects to handling and loads. The skirt does increase the mooring loads on fish cages which are important to consider.

More information at [www.sintef.no/permaskjort](http://www.sintef.no/permaskjort) and [www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=900711](http://www.fhf.no/prosjektdetaljer/?projectNumber=900711).

## 2 Innledning

Lakselus er den største utfordringen for havbruksnæringen. Forskning har vist at lakselus hovedsakelig finnes i de øverste meterne av vannsøylen (Hevrøy et al., 2003), og innledende studier har indikert at et 5 m dypt permanent montert presenning-skjørt omkring den øvre delen av en oppdrettsmerd (Figur 1) kan redusere luspåslaget på laksen.



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

Dette dokumentet er sluttrapport i prosjektet "Permanent skjørt for reduisering av luspåslag på laks" (Permaskjørt). Prosjektet har pågått i perioden 01.12.2011-31.12.2014, og deltakere har vært Botngaard AS, Xylem Water Solutions Norge AS, Aqualine AS, Storvik Aqua AS, Yara Praxair AS, Sinkaberg-Hansen AS, Ellingsen Seafood AS, SalmoNor AS, Lingalaks AS, SINTEF Fiskeri og havbruk AS, Veterinærinstituttet, og Havforskningsinstituttet. Andreas Myskja Lien ved SINTEF Fiskeri og havbruk har vært prosjektleder, og prosjektets styringsgruppe har bestått av Kjell Braa, Botngaard AS, Finn Wilhelm Sinkaberg, Sinkaberg-Hansen AS, Noralf Rønningen, Aqualine AS, og Kjell Maroni, Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond. Brit Uglem Blomsø, Fiskeri og havbruksnæringens landsforening (FHL), og Stian Lernes og Kristin Sæther, Norske Sjømatbedrifters Landsforening (NSL) har deltatt som observatører. Prosjektet har vært finansiert av Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfond (FHF prosjektnummer 900711), og industripartnerne.

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

### 3 Problemstilling og formål

#### Hovedmål:

Dokumentere effekten av Permaskjørt i forhold til å redusere luspåslag i tillegg til å dokumentere hvordan innretningen påvirker miljøet i merden, fiskens biologiske forhold og merdens hovedkomponenter i forhold til en merd uten Permaskjørt.

#### Effekt mål:

Prosjektets effekt mål kan måles i reduserte kostnader for oppdretter, økt fiskevelferd, og forbedret merdmiljø.

Når det gjelder kostnader, fører luspåslag til ytre skader på fisken (MacKinnon, 1993), som kan gjøre at den dør av osmoregulatorisk svikt (Wootten et al., 1982), men også økte stressverdier (Bowers et al., 2000), som gjør den mer mottakelig for sykdom (Pickering og Pottinger, 1989). Tap av biomasse betyr tap av inntjening på utsett for oppdretteren. "Forskrift om bekjempelse av lus i akvakulturanlegg" krever at det til en hver tid skal være færre enn 0,5 voksen hunn lus av lakselus i gjennomsnitt per fisk i akvakulturanlegget, og at det skal gjennomføres tiltak for å sikre at mengden lakselus ikke overskrider denne grensen. De fleste oppdrettere må behandle for lus minst 2-3 ganger per produksjonsyklus. Inkludert tap på grunn av sulting og andre tiltak mot lakselus, estimeres kostnadene til å være rundt 1,7 NOK per kg produsert laks i Norge (Costello, 2009). Kostnadene med innkjøp av skjørt tjenes dermed raskt inn dersom antall lusebehandlinger reduseres.

Når det gjelder fiskevelferd vil en reduksjon av luspåslag medføre lavere risiko for sykdom, skader og død som følge av lakselus. Dersom påslaget blir redusert slik at man unngår avlusingsoperasjoner, vil man i tillegg spare fisken for uønsket håndtering og eksponering for kjemikalier.

Miljømessig, vil en reduksjon i luspåslag både redusere lusepress generelt i området og risikoen for smitte av lakselus til eventuell villfisk som passerer anlegget, samt redusere kjemikaliebruk, som kan bygge opp resistens i lakselusen og som slippes ut i sjøen etter avlusingsoperasjoner.

#### Resultatmål:

Prosjektets resultatmål har vært å levere følgende leveranser i henhold til milepæler definert i prosjektbeskrivelsen<sup>1</sup>:

- Milepæl M1.** Workshop 1: Resultater fra modellforsøk i Hirtshals
- Milepæl M2.** Rapport: Deformasjon av not og Permaskjørt og krefter på fortøyning
- Milepæl M3.** Workshop 2: Resultater fra fysisk strømningsforsøk med fluorescein
- Milepæl M4.** Workshop 3: Forslag til videreutvikling av Permaskjørt
- Milepæl M5.** Rapport: Teknologisk utvikling av Permaskjørt
- Milepæl M6.** Rapport: Teknologisk utvikling av løsning for å bedre vannkvalitet
- Milepæl M7.** Workshop 4: Forsøksoppsett og gjennomføring av langtids forsøk med Permaskjørt
- Milepæl M8.** Workshop 5: Vannkvalitet og forslag til tiltak
- Milepæl M9.** Workshop 6: Presentasjon av målinger halvveis ute i måleperioden
- Milepæl M10.** Rapport: Langtidsvirkning av Permaskjørt på merdmiljø og hovedkomponenter
- Milepæl M11.** Rapport: Langtidsvirkning av Permaskjørt for reduksjon av luspåslag og generell fiskehelse
- Milepæl M12.** Rapport: Langtidsvirkning av Permaskjørt på fiskeatferd
- Milepæl M13.** Workshop 7: Resultater fra prosjektet samlet og veien videre
- Milepæl M14.** Rapport: Sluttrapport

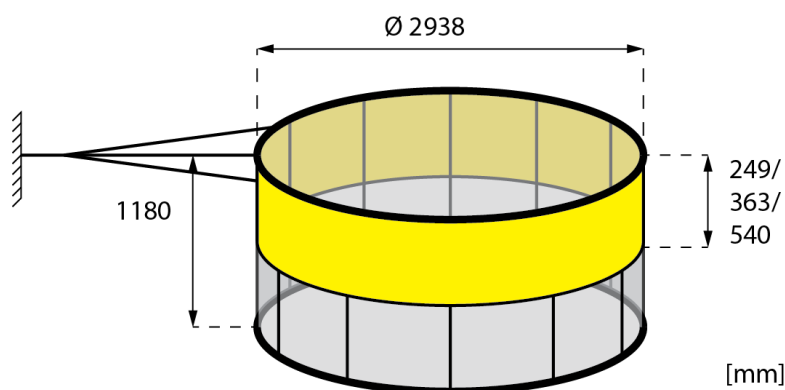
<sup>1</sup> Titlene på leveransene har blitt noe endret i løpet av prosjektet grunnet justeringer underveis. I tillegg ble M3 og M4 slått sammen grunnet at temaene ble kjørt på samme workshop.

## 4 Prosjektgjennomføring

Det har blitt avholdt 2-3 workshoper i året. Workshopene har blitt benyttet til gjennomgang av resultater siden forrige møte, og planlegging av aktiviteter for den påfølgende perioden. Forskningsaktivitetene har blitt gjennomført av SINTEF Fiskeri og havbruk, Veterinærinstituttet og Havforskningsinstituttet, i samarbeid med industripartnerne som var involverte i den aktuelle aktiviteten. I det følgende gis en beskrivelse av de ulike forskningsaktivitetene fordelt på tema relatert til målsetningen.

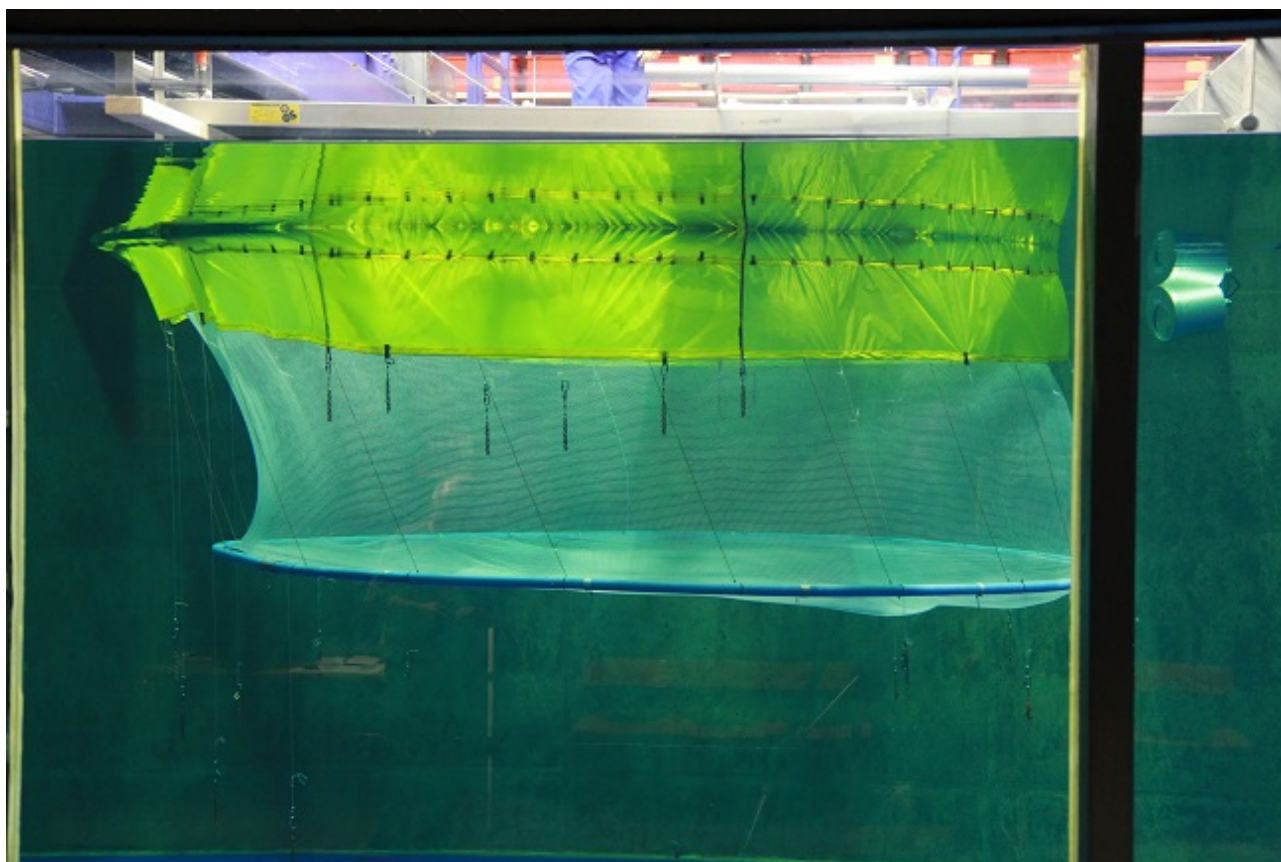
### 4.1 Skjørtdeformasjon og fortøyningskrefter

Det ble ansett som viktig å avgjøre hvor mye et påmontert skjørt påvirker anleggets fortøyning. Dette med tanke på risiko for skade på utstyr og fisk, og potensiell rømming. Med dette fokuset på sikker drift av merdkonstruksjonen, ble eksperimenter gjennomført i SINTEF Fiskeri og havbruk sin flumetank i Hirtshals, Danmark, i mars 2012. Eksperimentene inkluderte testing på en modellmerd i skala 1:17 av en 157-metring, med ulike skjørtkonfigurasjoner (ulike skjørtedybder, kun not, og kun skjørt uten not) ved ulike strømhastigheter. Totale fortøyningskrefter på merden ble målt som én punktlast med lastcelle (Figur 2), og not- og skjørtdeformasjon ble bestemt ved hjelp av foto (Figur 3).



Figur 2. Fortøyning og dimensjoner av modellmerd med ulike skjørtedybder i flumetanken i Hirtshals. Skjørtene tilsvarer omtrent 4, 6 og 9 m i full skala.

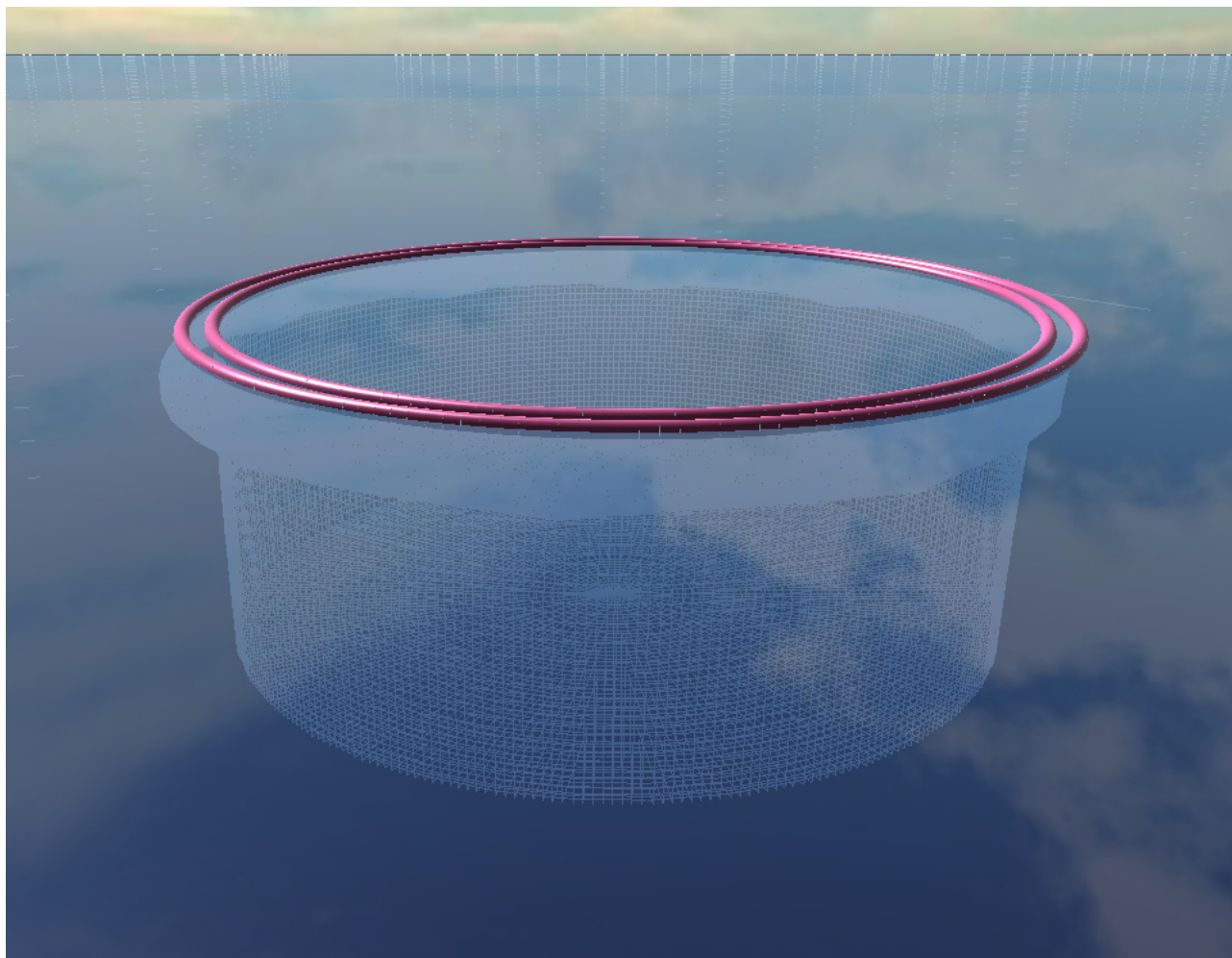




*Figur 3. Modell i skala 1:17 av en 157 m merd med sylindrisk not med flat bunn og påmontert skjørt.*

Utfyllende informasjon kan finnes i Lien og Volent, 2012.

Resultater fra modellforsøkene ble også brukt til å validere en numerisk modell av en merd med skjørt, som ble utviklet i softwaren FhSim i løpet av høsten 2012 (Figur 4). FhSim er en simuleringskjerne utviklet ved SINTEF Fiskeri og havbruk med tilhørende numeriske modeller for fiskeri og havbruksapplikasjoner. Modellen ble brukt til simulering av ulike modifikasjoner av skjørtet for å løse kjente utfordringer som luftflommer i skjørtet, at skjørtet kryper oppover og opp på flytekragen, buer mellom enkeltlodd der skjørtet heves ekstra mye, og folder på grunn av mindre god innfesting av skjørtet.



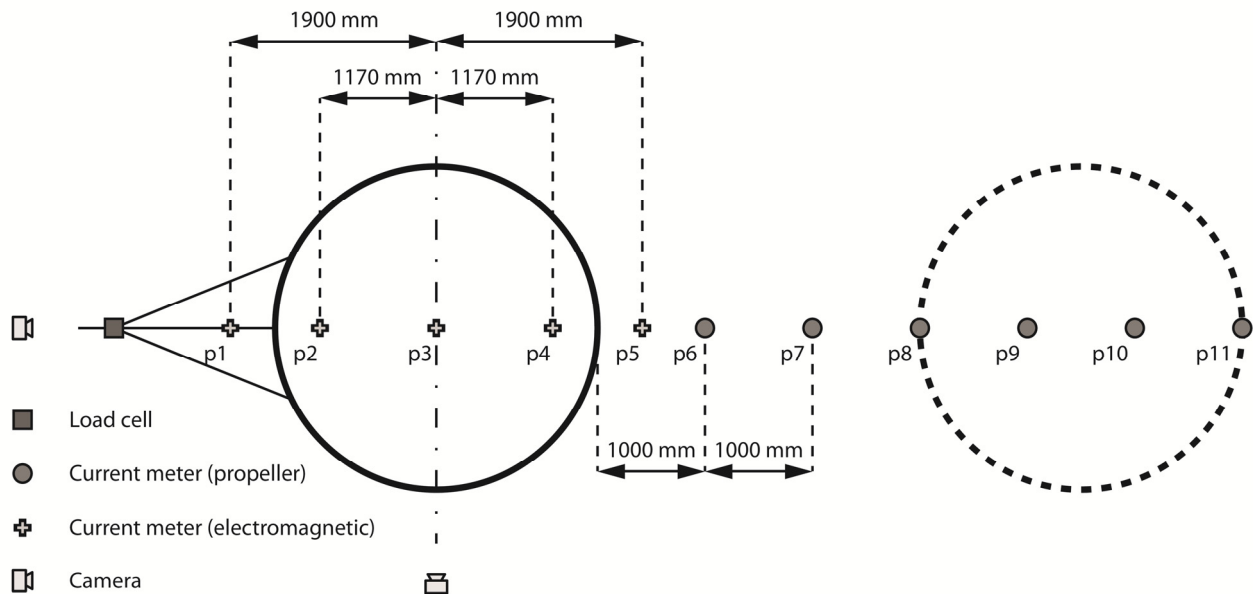
Figur 4. Merdmodell med skjørt i softwaren FhSim.

Utfyllende informasjon kan finnes i Rundtop og Lien, 2013.

I forbindelse med prosjektet ble Aquastructures AS v/Jørgen Walaunet med til Hirtshals for å observere forsøkene som ble gjort. Hovedhensikten var å dra nytte av forsøkene for å få opp en korrekt numerisk modell av modellen som ble kjørt i tanken. Dette var nødvendig for Aquastructures AS, da hensikten var å regne på Permaskjørt i fullskala. Tidligere forsøk som har blitt gjennomført har kun blitt rapportert ut i fullskala. Det er feilkilder knyttet til oppskalering fra modell i skala 1:17. Det var derfor viktig å regne på modellnivå. Analysene ble gjennomført i AquaSim og metodikk for beregning av Permaskjørt ble senere utviklet for generelle fortøyningsanalyser i programvaren.

## 4.2 Hydrodynamikk ved skjørtbruk

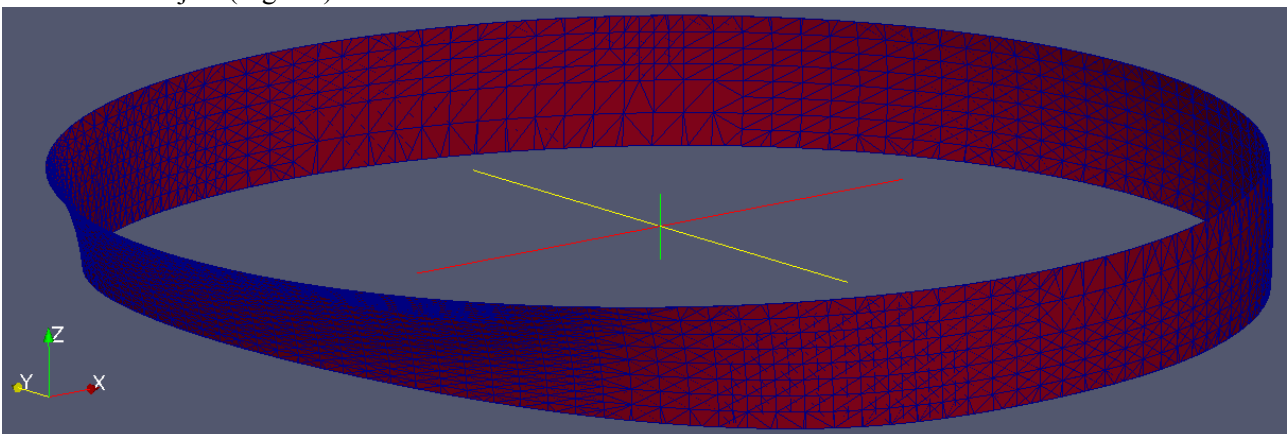
Under modellforsøkene i Hirtshals ble også strøm i og utenfor merden målt. Strøm ble målt i fem posisjoner, henholdsvis foran merden på oppstrøms side, bak skjørtet inne i merden, i senter av merden, foran skjørtet inne i merden, og bak merden på nedstrøms side (Figur 5). Måleren ble plassert 5 cm under vannoverflaten. For å studere "skyggeeffekten" av en merd med påmontert luseskjørt ble strømmen også målt flere steder bak merden. Måleren ble plassert i seks posisjoner bak merden med 1 m mellomrom, 5 cm under vannoverflaten. Den tredje posisjonen ville da være på oppstrøms side av den neste merden i et anlegg med 100x100 m rammefortøyning, dersom merdene lå etter hverandre i strømretningen (Figur 5).



Figur 5. Plasseringer av sensorer i flumetanken i Hirtshals. p1-p5 indikerer plassering av elektromagnetisk strømmåler. p6-p11 indikerer plassering av propellmåler. Begge strømmålerne stod 5 cm under vannoverflaten.

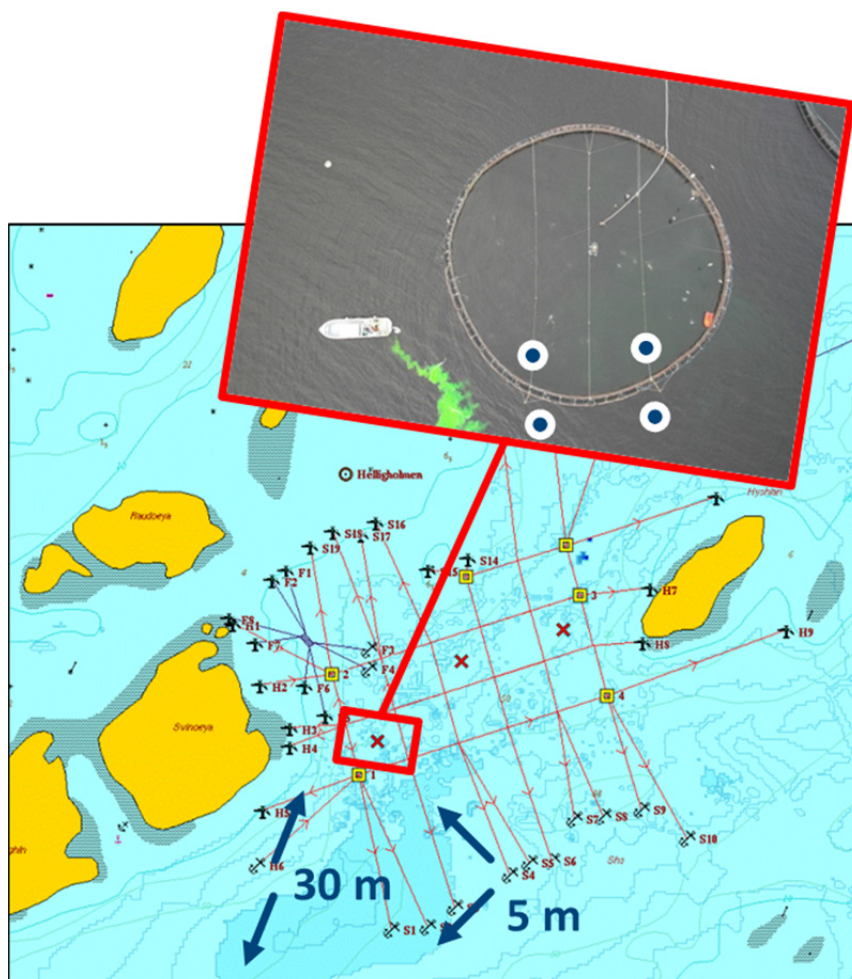
Utfyllende informasjon kan finnes i Lien og Volent, 2012.

Målinger fra modellforsøk i Hirtshals med kun skjørt og ingen notpose ble brukt til å bekrefte at computational fluid dynamics (CFD) kan benyttes til å estimere strømningsmønstre i og rundt en merd med påmontert luseskjørt. Simuleringene ble gjennomført i softwaren OpenFOAM med en forenklet geometri av et deformert skjørt (Figur 6).



Figur 6. Deformert skjørtgeometri for simulering av strømnings i OpenFOAM.

For å se hvordan strømmene blir påvirket av et skjørt i full skala, ble det også gjennomført ulike forsøk ved et kommersielt oppdrettsanlegg med fisk. På forsøksmerden var det montert et 5 m dypt skjørt. En profilerende strømmåler ble plassert sør for merden i linje med hovedstrømsretningen. I tillegg ble 2 punktstrømmålere plassert like på utsiden av merden på sørsiden, og 2 like på innsiden på sørsiden, alle på 2,5 m dyp. Fargestoffet fluorescein ble pumpet ut i vannet på 2,5 m dyp på ulike steder i og omkring merden. Fargestoffet forflyttet seg med vannmassene for å gi en indikasjon på strømmingene. Spredningen av fargestoff ble dokumentert med et kamera på en drone 75 m over merden (Figur 7).

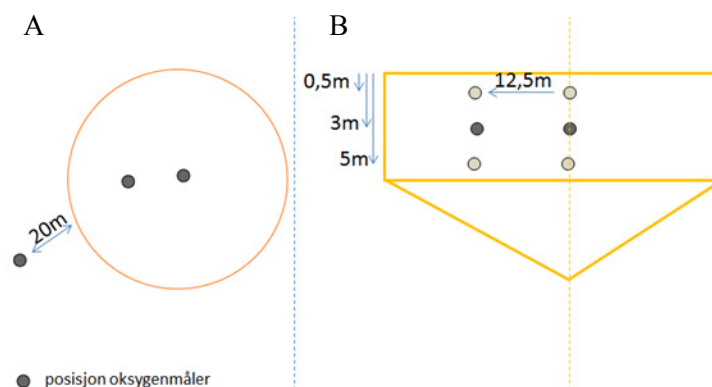


Figur 7. Forsøksmerd for gjennomføring av fargestoffforsøk. Punktstrømmålere stod på 2,5 m dyp og er indikert med hvite sirkler. Hovedstrømsretninger funnet ved lokalitetsundersøkelsen for henholdsvis 5 m og 30 m dyp er vist med piler.

Utfyllende informasjon kan finnes i Frank et al., 2013.

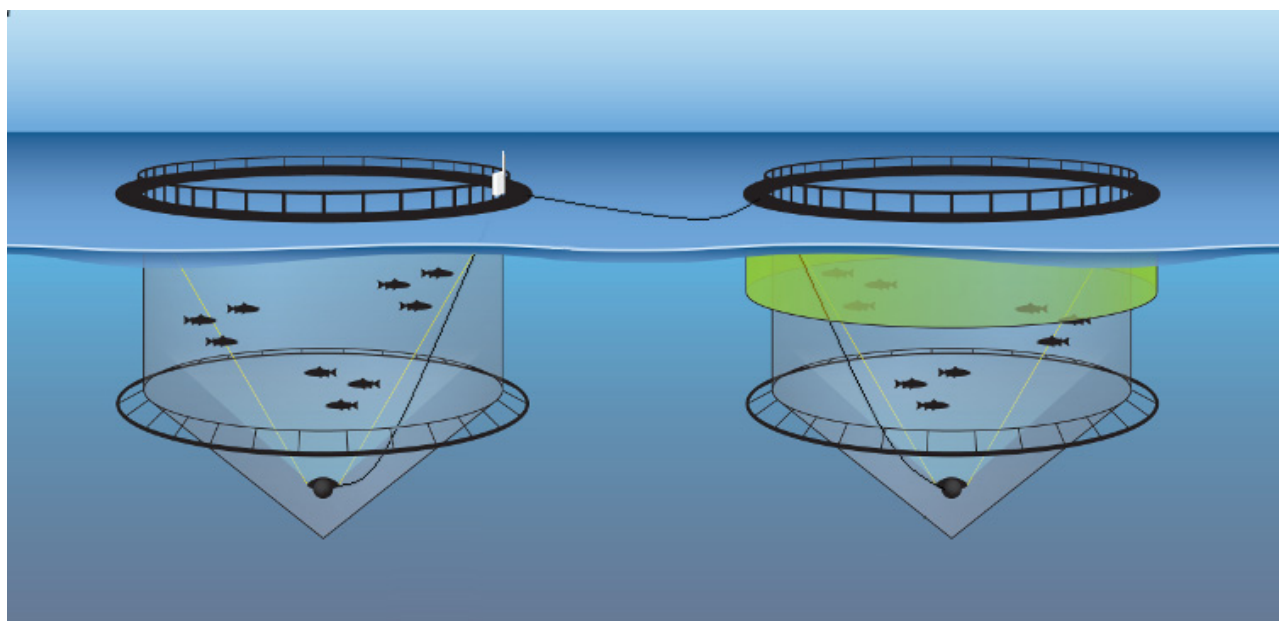
### 4.3 Oksygen og fiskeatferd

Til måling av oksygen ble det plassert ut oksygenmålere flere steder inne i, og utenfor, merder med skjørt på flere lokaliteter (Figur 8). Strømforhold og temperatur ble også målt.



Figur 8. Eksempel på forsøksoppsett med plassering av oksygensensorer i forsøksmerd med 157 m omkrets, sett A) ovenfra og B) fra siden.

For å overvåke laksens vertikale posisjon i merder med og uten skjørtavskjerming, ble det plassert ut ekkolodd av type Merdøye (Lindem Data Acquisition AS) på 4 lokaliteter (Figur 9).



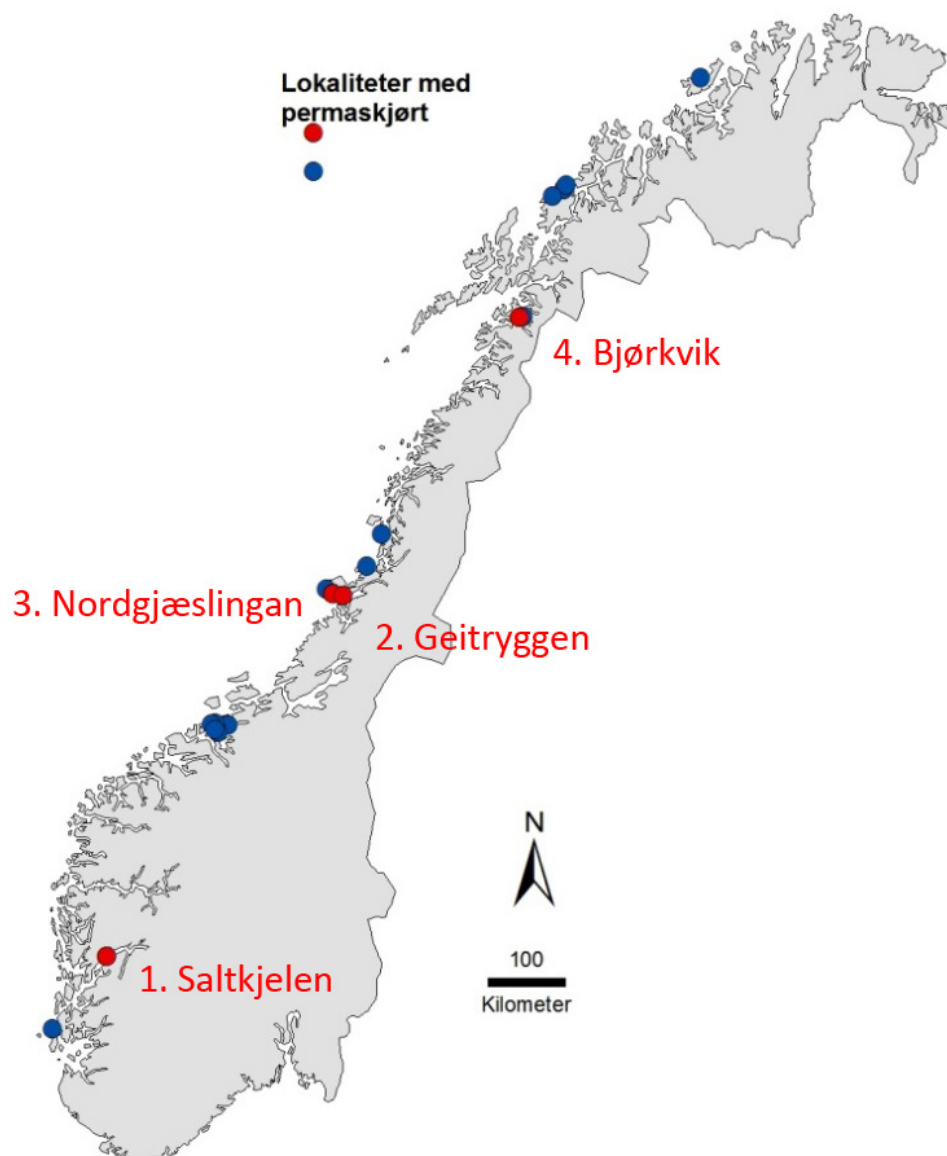
Figur 9. Skjematiske illustrasjoner av posisjonering av svingere og ekkoloddskap med GPRS server på merdkanten. Svingerne holdes på plass med to tau festet på hver sin side av merden. Langs det ene tauet vil det typisk gå en ledning fra svingeren (også kalt transduseren) til ekkoloddet.

Alle skjørtene i denne studien var 5 m dype.

Utfyllende informasjon kan finnes i Frank og Lien, 2015, og Stien og Oppedal, 2015.

#### 4.4 Luspåslag

Til vurdering av effekt av Permaskjørt i forhold til luspåslag, ble ytterligere oppdrettere som har brukt Permaskjørt i 2013 og 2014 kontaktet for å inkludere deres data i prosjektets studie. I tillegg til data fra de 4 opprinnelige oppdretterne, ble det samlet inn lusetall, informasjon om utsettidspunkt av fisk og skjørt, legemiddelbruk og bruk av andre ikke-medikamentelle tiltak mot lus på merdnivå fra 16 lokaliteter (Figur 10).



Figur 10. Lokaliteter som har brukt skjørt og bidratt med informasjon til prosjektet. Røde lokaliteter er de fire opprinnelige forsøkslokalitetene.

Utfyllende informasjon kan finnes i Grøntvedt og Kristoffersen, 2015.

#### **4.5 Fiskevelferd**

Velferdsscreening ble gjennomført på en av de fire opprinnelige lokalitetene i løpet av prosjektperioden. Dette ble gjort på 25 fisk fra halvparten av merdene annen hver uke. Dersom hudblødning, sår, finneskade og katarakt ble observert ble dette markert med 1 i skjema. Ingen skade ble markert med 0. Til sammen ble det gjennomført velferdsscreening på 2850 fisk hvorav 840 fisk fra merder med skjørt og 2010 fisk fra merder uten skjørt.

Utfyllende informasjon kan finnes i Grøntvedt og Kristoffersen, 2015.

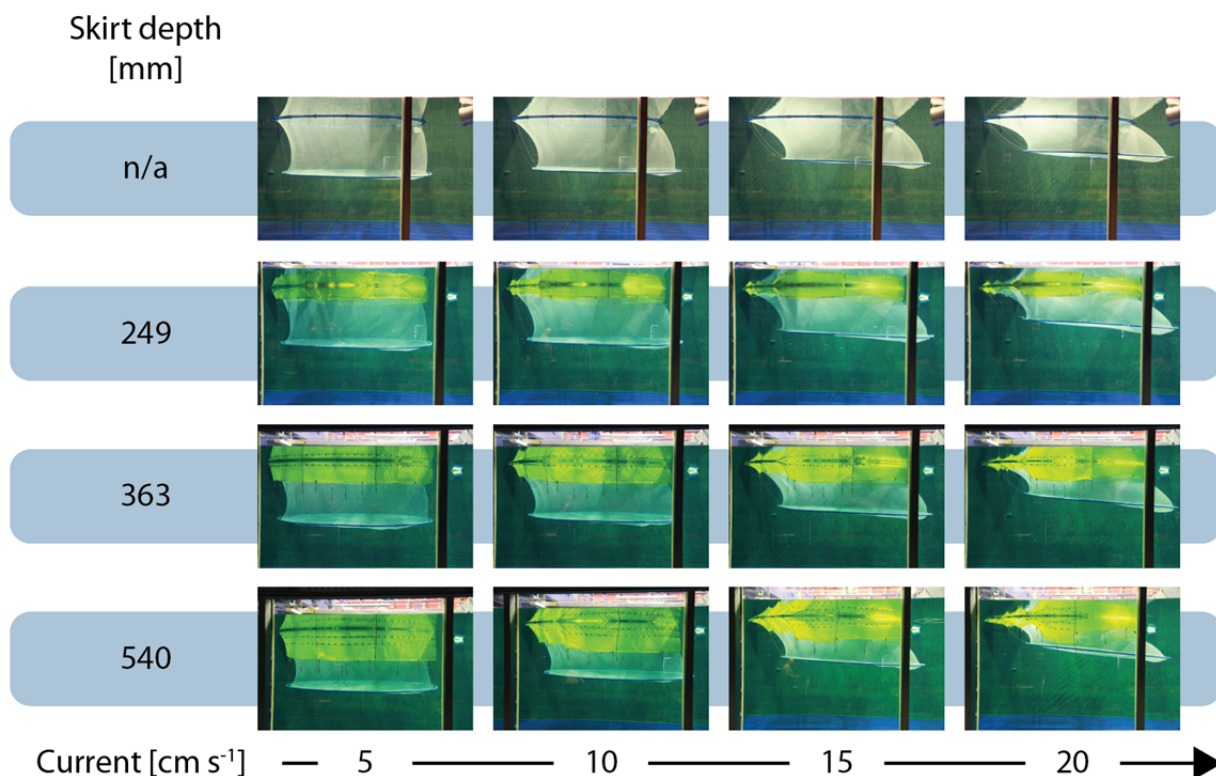
#### **4.6 Oppdretteres erfaringer**

Prosjektpartnerne med oppdrettsvirksomhet, Sinkaberg-Hansen AS, Ellingsen Seafood AS, SalmoNor AS, og Lingalaks AS, har brukt skjørtene under lakseproduksjonen og gjort seg opp erfaringer med praktisk bruk. Disse erfaringene har blitt delt i prosjektgruppen gjennom presentasjoner på de jevnlige workshopene.

## 5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

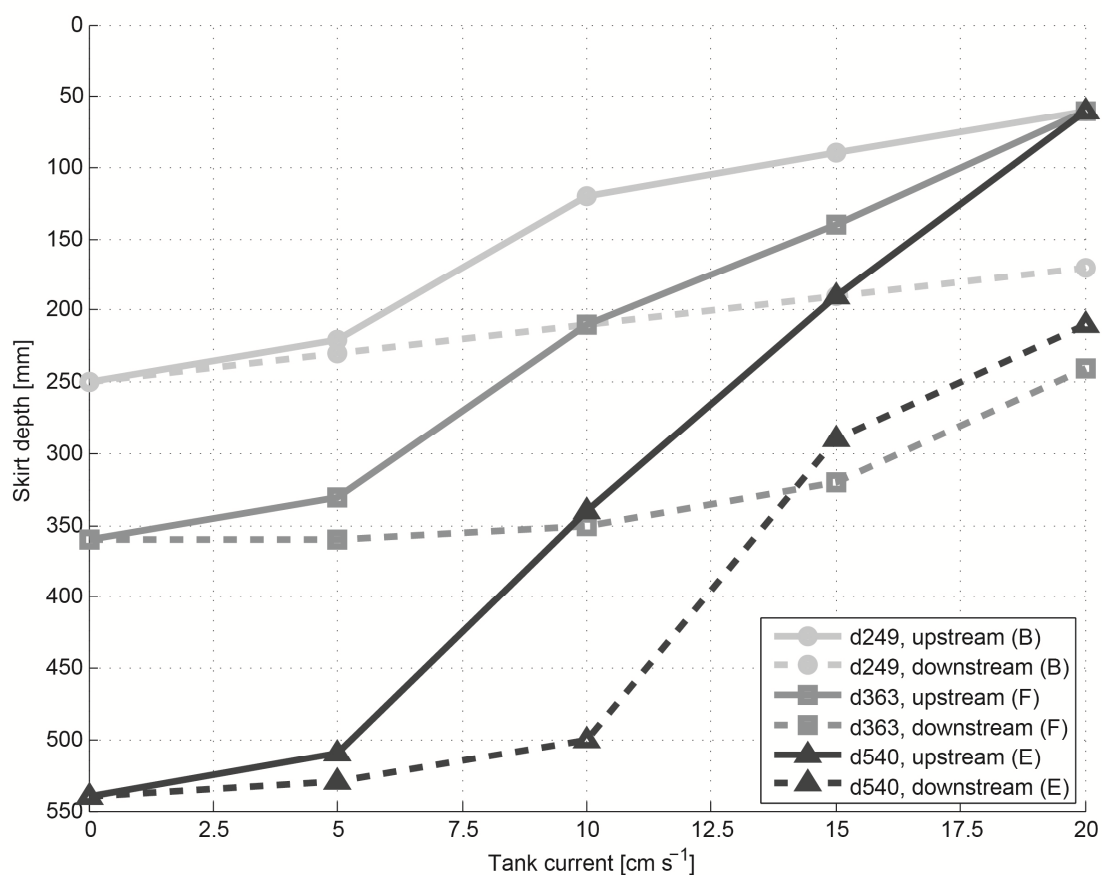
### 5.1 Skjørtdeformasjon og fortøyningskrefter

På oppstrøms side av merden la skjørtet seg etter hvert flat opp under bunnringkjettingene når strømmen i tanken økte, slik at vannmassene lett passerte under. På nedstrøms side formet skjørtet seg som et seil som fanget vannmassene (Figur 11). Forskjellene i deformasjon var ikke store mellom de ulike skjørtedybdene eller ved å endre vekten på nedloddningen av skjørtet. På oppstrøms side av merden kan en årsak til dette være at skjørtet la seg inntil bunnringkjettingene. På denne måten kunne vekten på kjettingene og bunnringen, sammen med friksjon mellom kjettingene og skjørtet, bidra til å holde skjørtet nede, slik at vektøkningen på skjørtet var liten relativt til den faktiske nedloddningen. Dette vil da også gjelde fullskala, slik at masse vekt på skjørtet ikke vil ha noen hensikt, noe som betyr at det vil være enklere operasjonelt å montere og demontere skjørtet. Skjørtets evne til å skjerme merden mot de øverste vannlag med luselarver kan bli redusert ved høye strømhastigheter ( $V_c > 40 \text{ cm s}^{-1}$ , full skala), fordi det blir presset bakover og opp mot overflaten slik at lus lettere kan passere under og inn i merden (Figur 12).



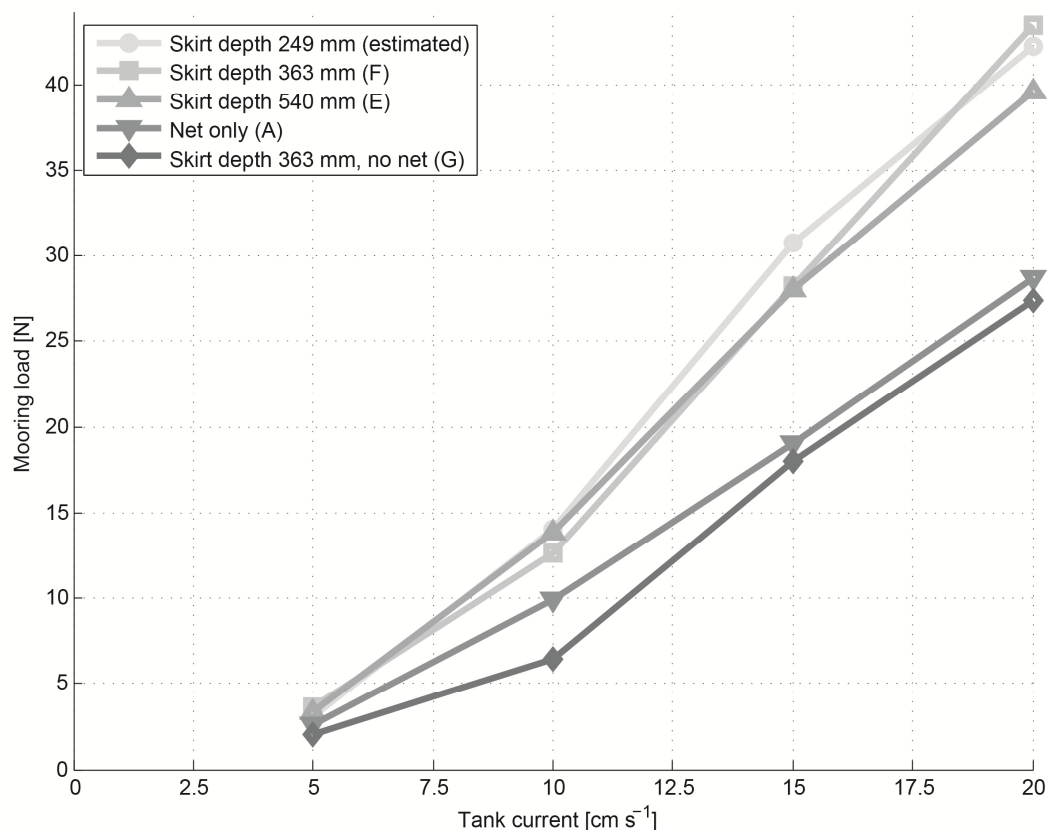
Figur 11. Deformasjon av not og ulike skjørtedybder ved 5, 10, 15 og 20  $\text{cm s}^{-1}$  strøm i tanken. Skjørtene tilsvarer omtrent 4, 6 og 9 m i full skala, og strømhastigheten tilsvarer omtrent 21, 41, 62 og 82  $\text{cm s}^{-1}$  i full skala.





Figur 12. Avstand fra underkant av skjørtet til vannoverflaten på oppstrøms side (heltrukket) og nedstrøms side (stiplet) for ulike skjørtedybder ved økende strømstyrke. Skjørtene tilsvarer omtrent 4, 6 og 9 m i full skala, og strømhastigheten tilsvarer omtrent 21, 41, 62 og 82  $\text{cm s}^{-1}$  i full skala.

Fortøyningskraften varierte lite mellom de ulike skjørtene, men kraften økte med omtrent 40 % for alle strømshastighetene på en merd med skjørt sammenlignet med merd med kun not (Figur 13).



Figur 13. Total fortøyningskraft på modellmerden med skjørt med ulik dybde montert, uten skjørt, og uten not, ved økende strømshastighet. Skjørtene tilsvarer omtrent 4, 6 og 9 m i full skala, og strømshastigheten tilsvarer omtrent 21, 41, 62 og 82 cm s<sup>-1</sup> i full skala. Kraftene kan multipliseres med en skaleringsfaktor på  $17^3 = 4913$  for å finne de tilsvarende fullskalakraftene.

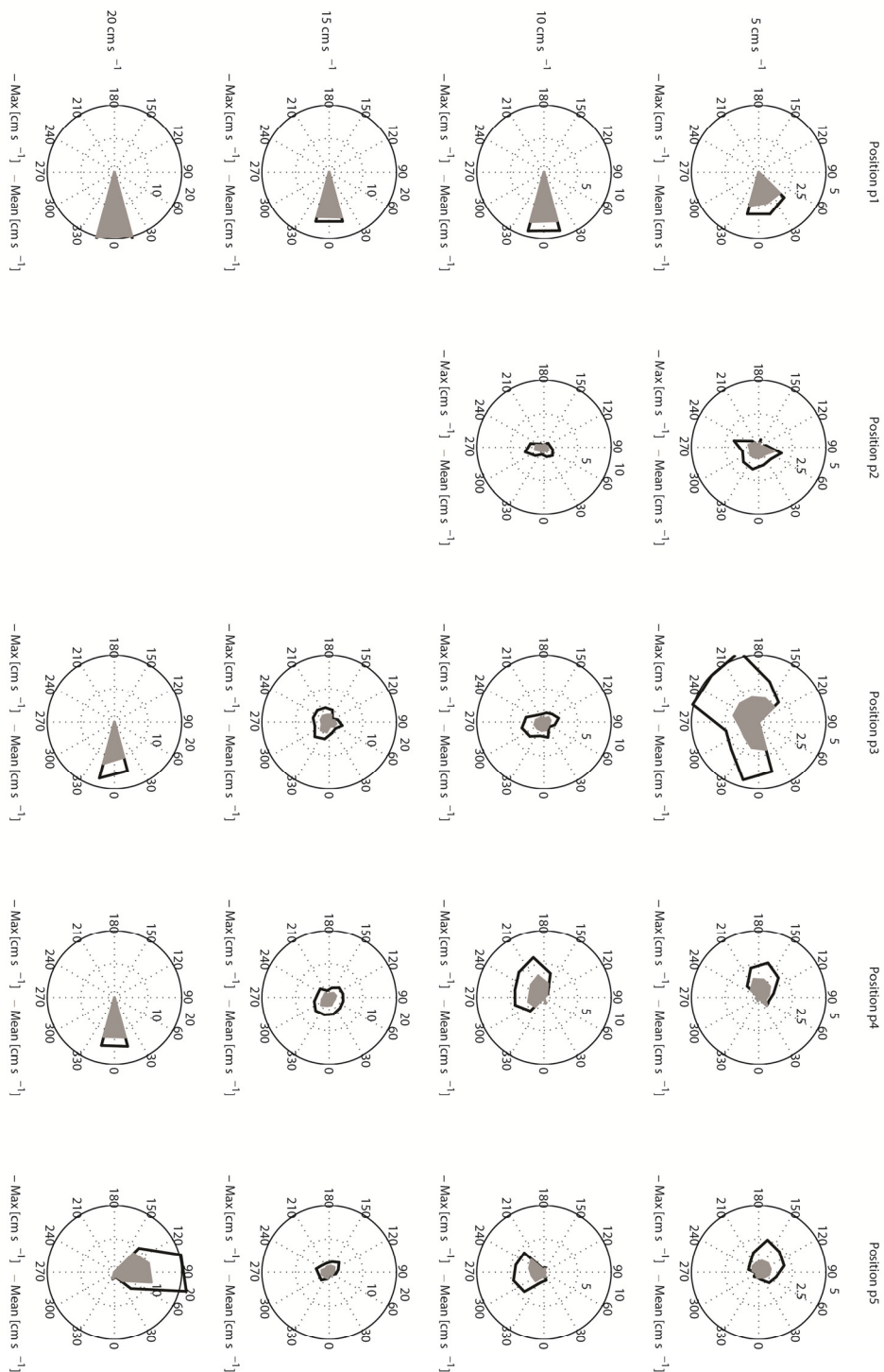
Simuleringsmodellen i FhSim ga større krefter og skjørtdeformasjon enn det som ble målt i modellforsøkene i Hirtshals. Likevel har den vært nyttig for å sammenligne ulike modifikasjoner av skjørtløsningene. Med basis i simuleringsresultatene er det gjort vurderinger for hvordan ulike modifikasjoner kan bidra til å løse kjente utfordringer. Med hensyn til generell deformasjon kan utnyttelse av merdens bunnring for å lodde ned skjørtet gi redusert og jevnere skjørtdeformasjon, enn ved bruk av nedlodding direkte på skjørtet. Det påpekes for øvrig at dette kan introdusere store krefter på systemet, og kan medføre store konsekvenser. Det anbefales ikke å bruke en slik løsning på en merd med fisk før det er blitt gjort videre undersøkelser i kontrollerte omgivelser. En mer konservativ løsning er å erstatte enkeltlodd på skjørt med en loddline, noe som forventes å redusere deformasjonen. Det er sannsynlig at problemet med luftlommer kan reduseres ved å øke vekten på nedloddingen av skjørtet, redusere avstanden mellom lodd eller bruke loddline. Det antas at den mest effektive løsningen er bruk av skjørtline mellom skjørt og bunnring. Den mest effektive løsningen for å unngå at skjørtet kryper oppover bunnringkjettingene og opp på flytekragen er sannsynligvis bruk av en line som forbinder skjørt med bunnring, ettersom skjørtedybden vil være gitt av bunnringens posisjon. Det er også sannsynlig at problemet med at skjørtet kryper oppover kan reduseres ved å øke vekten på nedloddingen av skjørtet. For at skjørtet skal henge mer rett ned, og ikke bue seg, slik at den effektive skjermingsflaten økes, kan antall innfestingspunkter økes for å redusere utposingsproblematikken på oppstrøms side. Simuleringsresultatene indikerer at tettere nedlodding, og eventuelt kun loddline som

erstatning for enkeltlodd, vil kunne redusere skjørtdeformasjonen og skjørtet vil henge jevnere. Modellforsøkene i Hirtshals viste forøvrig at skjørtdeformasjonen i liten grad var avhengig av loddvekten, ettersom skjørtdeformasjon på oppstrøms side ble begrenset av at skjørtet kolliderte med bunnringkjettingene. Skjørtdeformasjonen i FhSim-modellen er i større grad avhengig av loddvekten på grunn av manglende modellering av denne kontakten. Utposingsproblematikken på oppstrøms side vil kunne reduseres ved å øke antall innfestingspunkter, og ha lik avstand mellom innfestingene, noe som igjen vil redusere foldene i skjørtet.

På grunn av økningen i drag-krefter som følge av et påmontert skjørt, er det viktig å inkludere bruk av skjørt når det gjøres fortøyningsanalyser på anlegget. Fortøyningskreftene er for øvrig ikke betydelig påvirket av verken den initiale skjørtedybden eller nedloddningen av skjørtet.

## 5.2 Hydrodynamikk ved skjørtbruk

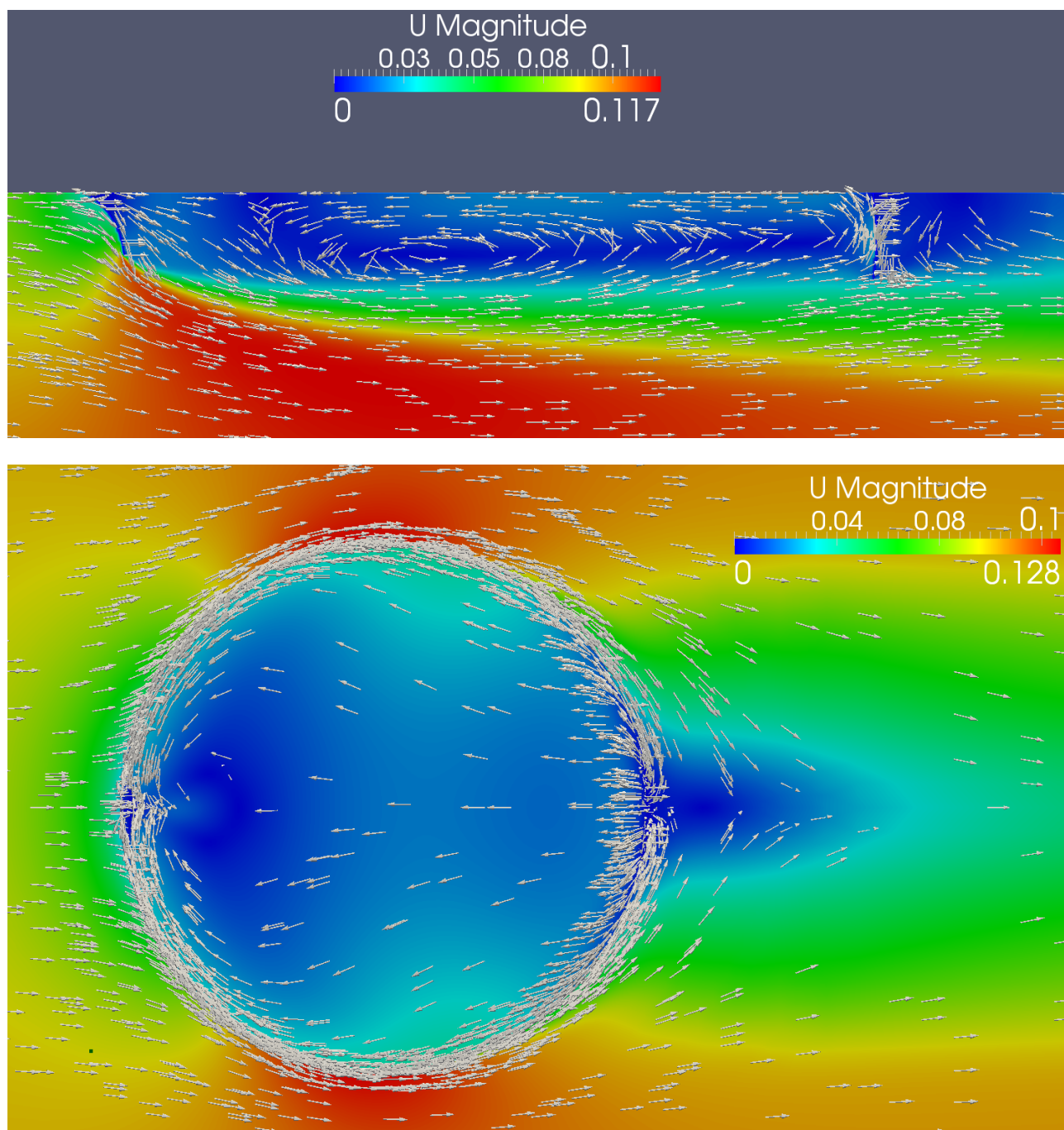
Målingene fra flumetanken i Hirtshals viste at ved 5 og 10 cm s<sup>-1</sup> (modellskala) var strømmen relativt stabil i forkant av skjørtet. Siden dette var relativt lave strømhastigheter, ble ikke skjørtet hevet vesentlig, og strømmen inne i, og bak, merden var derfor liten og ustabil. I bakkant av merden ser strømmen ut til å ha gått i motsatt retning. Dette kan skyldes at nedstrøms side av skjørtet fanget opp en del av strømmen og førte den opp til overflaten der vannet ble trengt fremover i merden (retning mot strømmen i tanken). Ved strøm i tanken på 15 cm s<sup>-1</sup>, ble skjørtet løftet opp slik at bakveggen på skjørtet fanget opp mer vann enn ved de lavere strømhastighetene, som kunne føre til mer turbulens innenfor skjørtet. Det som sannsynliggjør denne påstanden er at strømretningen viste ingen tegn på stabil retning. Ved 20 cm s<sup>-1</sup> var strømmen så sterk at fronten på skjørtet ble løftet helt opp i vannflaten og strømmen gikk da tvers igjennom merd og skjørt og dukket sannsynligvis under skjørtet i bakkant. Hastighetsreduksjonen gjennom skjørtet ble observert under forsøkene. Bak skjørtet var fortsatt strømhastigheten relativt stor, men dreid 90 grader i forhold til hovedstrømretningen (Figur 14).



Figur 14. Strømhastighet i fem posisjoner, henholdsvis foran merden på oppstrøms side (p1), bak skjørtet inne i merden (p2), i senter av merden (p3), foran skjørtet inne i merden (p4), og bak merden på nedstrøms side (p5), ved fire forskjellige strømhastigheter i retning langs tanken. Strømmen er representert som en strømrose der middelveidien (grått felt) innenfor hver 30 graders sektor, og maksimumsverdien (svart strek) innenfor samme sektor, er plottet med 0 grader som medstrømsretning langs tanken. Målingene er gjort med 540 mm skjørt montert på merden.

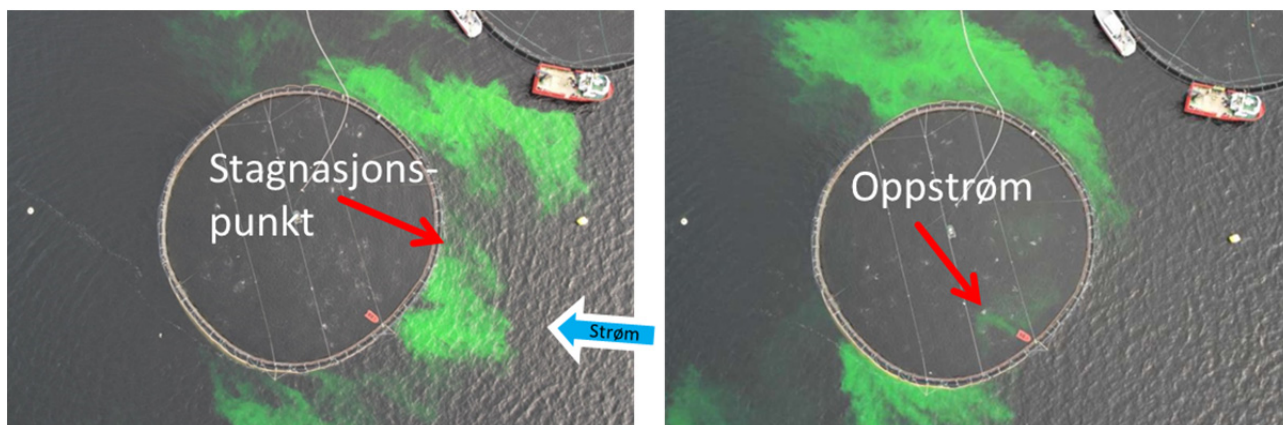
Når det gjelder "skyggeeffekten" bak merden med skjørt, viste målingene at strømmen økte gradvis med avstand til merden. Målingene var ustabile i posisjoner inntil én merddiameter i bakkant. Dette kan tyde på at strømmene ikke bevegte seg ensrettet, og at merden skapte virvler på nedstrømssiden. Målingene stabiliserte seg etter en merddiameter i bakkant, noe som tyder på at strømmen her ble mer ensrettet.

Resultatene fra CFD-simuleringene samsvarte godt med målinger gjort i modellforsøkene, hvilket indikerer at CFD-analyse kan brukes til å undersøke strømningsbildet rundt luseskjørt. Imidlertid må en ha en god oppfattelse av overordnet deformert skjørtgeometri. CFD-analyse kan da brukes i sammenheng med andre analyseverktøy og/eller forsøk og erfaringsdata som gir deformasjon av skjørtet. Simuleringene viste at vann akselereres både under skjørtet og rundt skjørtets sider. Hovedretning på strømmen her, er i samme retning som uforstyrret strøm. Inne i skjørtet reverseres strømmen på og nær overflaten (motsatt retning av hovedstrømretning). Her er hastighetene små sammenlignet med uforstyrret strøm. Vann blir akselerert under skjørtets forkant, og rundt skjørtets sider. Vannet som blir akselerert under skjørtet setter opp en sirkulasjon inne i skjørtet (Figur 15).



*Figur 15. Strømhastigheter i og rundt skjørtet. Fargeskalaen gir hastighet, mens pilene angir retning. Strømretning fra venstre mot høyre. Øverste bilde: snitt av skjørtet og vannet sett fra siden. Nederste bilde: skjørtet sett fra oversiden (overflaten).*

Fargestoff som ble pumpet ut oppstrøms for merden, når skjørt var montert, bøyde tydelig av til hver side da det traff merden. Ved "stagnasjonspunktet", mellom områdene der fargestoffet bøyde av til hver sin side, dukket fargestoffet etter en tid opp inne i merden (Figur 16). Punktstrømmålerne viste en vertikalstrøm nedover på utsiden av skjørtet, og oppover på innsiden av skjørtet. Når skjørt ikke var montert strømte fargestoffet tilsynelatende uhindret inn og i gjennom merden.



Figur 16. Fargestoff pumpet ut på oppstrøms side av en merd med skjørt. Venstre bilde: fargestoff treffer skjørt og bøyer av. Høyre bilde: fargestoff dukker opp inne i merden.

Fargestoff som ble pumpet ut på oppstrøms side inne i merden, brukte lengre tid på å nå senter av merden med skjørt montert enn uten (Figur 17).



Figur 17. Fargestoff pumpet ut på oppstrøms side inne i en merd med skjørt.

Et skjermingsskjørt har en betydelig innvirkning på strømmønsteret gjennom og rundt oppdrettsmerder. Denne studien viser at skjørtet kan medføre strømningsdempning og avbøyning for de første meterne under overflaten. Vann ble delvis tvunget rundt merden, og dermed oppstod strømmer langs skjørtet. Resultatene tyder også på et trykkfall på nedstrømsiden av skjørtet. Anvendelsen av et skjermingsskjørt fører til en lengre gjennomstrømningstid for vann innenfor de øvre få meterne av en merd sammenlignet med oppholdstiden for overflatevann i samme merd uten skjørt. Fiskens bevegelse inne i merden kan ha en innvirkning på strømningsmønstre for overflatevann inne i en merd.

Ved lave strømhastigheter ( $V_c < 40 \text{ cm s}^{-1}$ , full skala) løftes ikke skjørtet mye i fremkant, og det er lite, men ustabil strøm i overflaten inne i merden. Ved høyere strømhastigheter løftes skjørtet i fremkant og strømmen

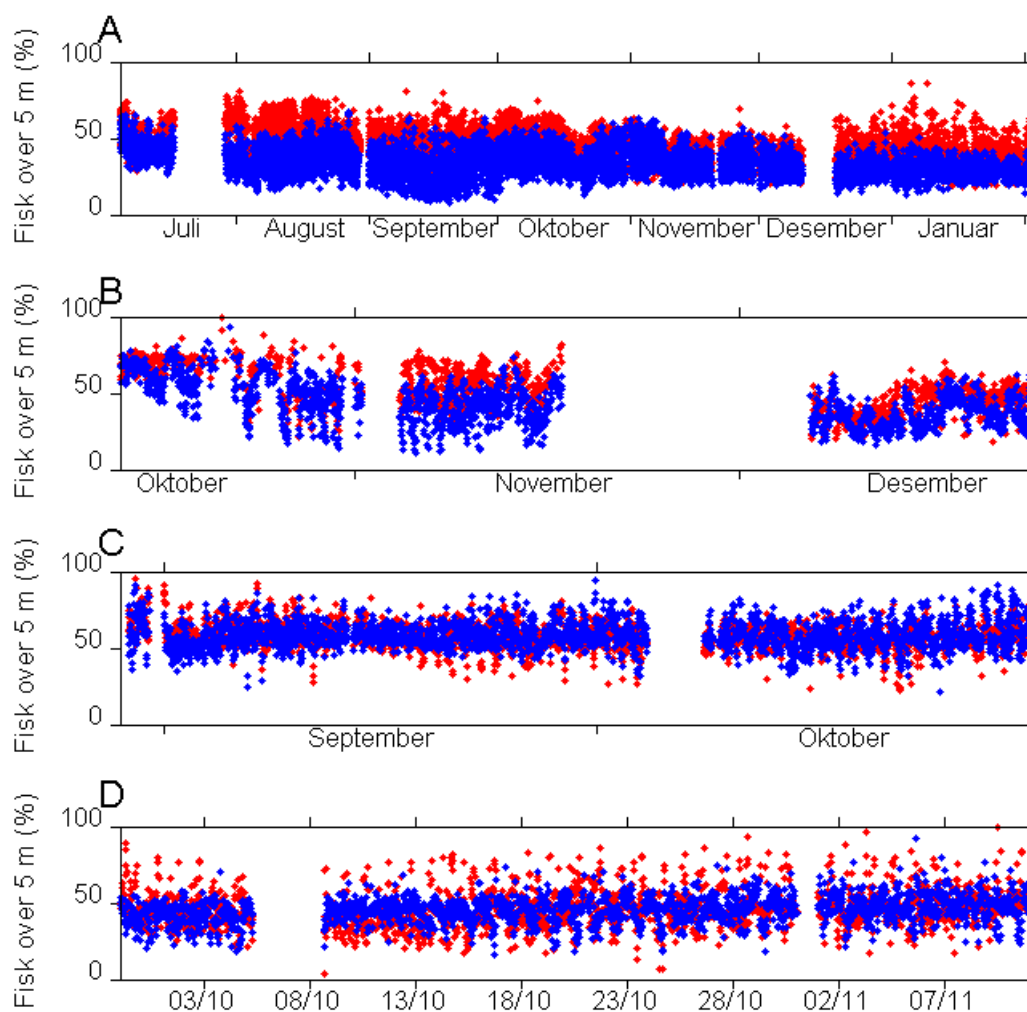
slipper lettere gjennom i overflaten og fanges opp av skjørtet i bakkant. Merder som følger direkte bak i strømretningen kan oppleve mye lavere strøm i overflaten på grunn av skjerming fra merden foran.

Vann som strømmer mot en merd med påmontert skjørt blir ikke bare horisontalt forskjøvet på grunn av blokkering forårsaket av et skjermingsskjørt, men også vertikalt. Dermed presses overflatevann under den nedre kanten av skjørtet og kommer inn i merden. Vannblokkering og resulterende retningsendring er forbundet med akselerasjonen av vannet langs skjermingsskjørtet. Selv om disse effektene kan forklare mange av funnene som presenteres i denne studien, så er konkrete årsakssammenhenger og betydningen av andre påvirkende faktorer usikre. Det er behov for studier knyttet til hvordan disse faktorene påvirker strømningene. Selv om noen faktorer kan antas konstant gjennom forsøkene (f.eks. fisk, biomasse og notsoliditet), kan andre ha vært variable og kunne ha påvirket resultatene betydelig (f.eks. strømningsforhold på forskjellige steder rundt om i merden (ikke overvåket) og relaterte effekter fra nabomerder, fiskeatferd, merd- og skjørtdeformasjon).



### 5.3 Oksygen og fiskeatferd

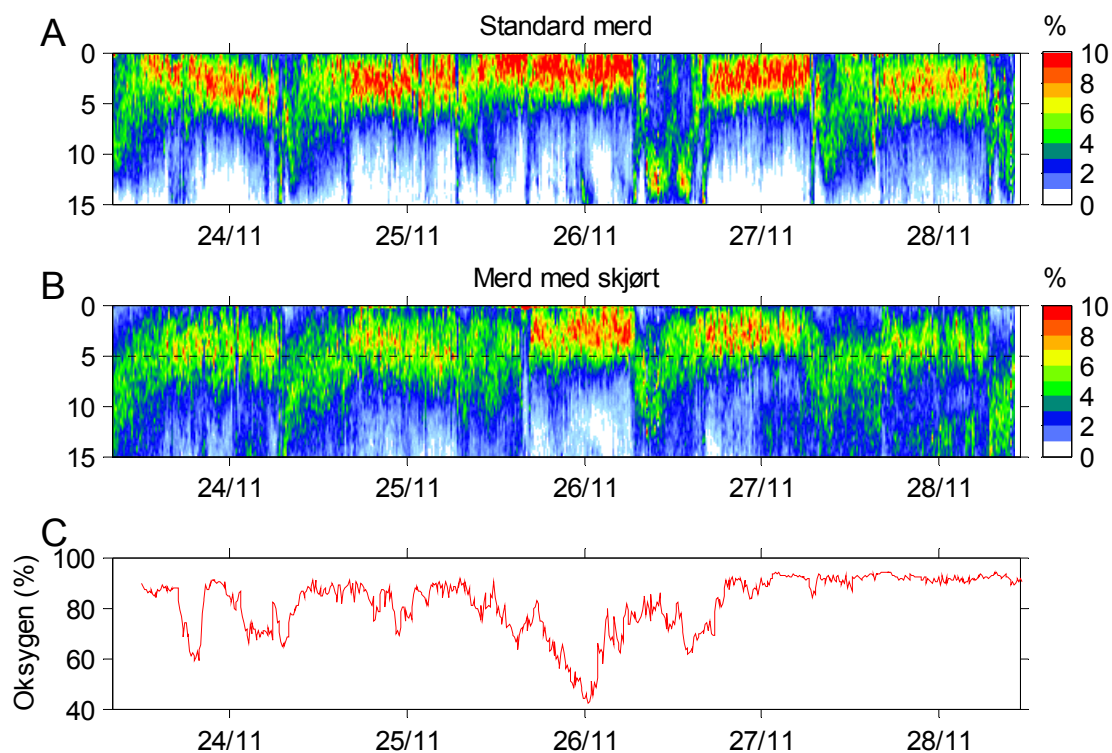
Ekkoloddataene viste at skjørtavskjerming på Bjørkvik og Saltkjelen lokalitetene i lange perioder førte til at fisken endret atferd til å stå dypere i merden (Figur 18AB). Dette ble ikke observert på Nordgjæslingan (Figur 18C). Men her var det kun 5 m ned til bunntauet (tau mellom sidevegg og bunn i nota), mot 15 m i de to første. Som oppfølging, ble det året etter observasjonen på Nordgjæslingan, plassert ut ekkolodd på et annet anlegg hos samme selskap med tilsvarende merder. Også denne gang ble det observert at fisken oppholdt seg over bunntauet i skjørtvolumet (Figur 18D).



Figur 18. Prosentandel fisk over 5 m i merder med skjørtavskjerming (blå) og prosentandel fisk over 5 m i standardmerder (rød). A) Lokalitet Bjørkvik. Her var det 15 m ned til bunntauet. B) Lokalitet Saltkjelen. Her var det 15 m ned til bunntauet. C) Lokalitet Nordgjæslingan. Her var det 5 m ned til bunntauet. D) Lokalitet Lismåsøy. Her var det 5 m ned til bunntauet.

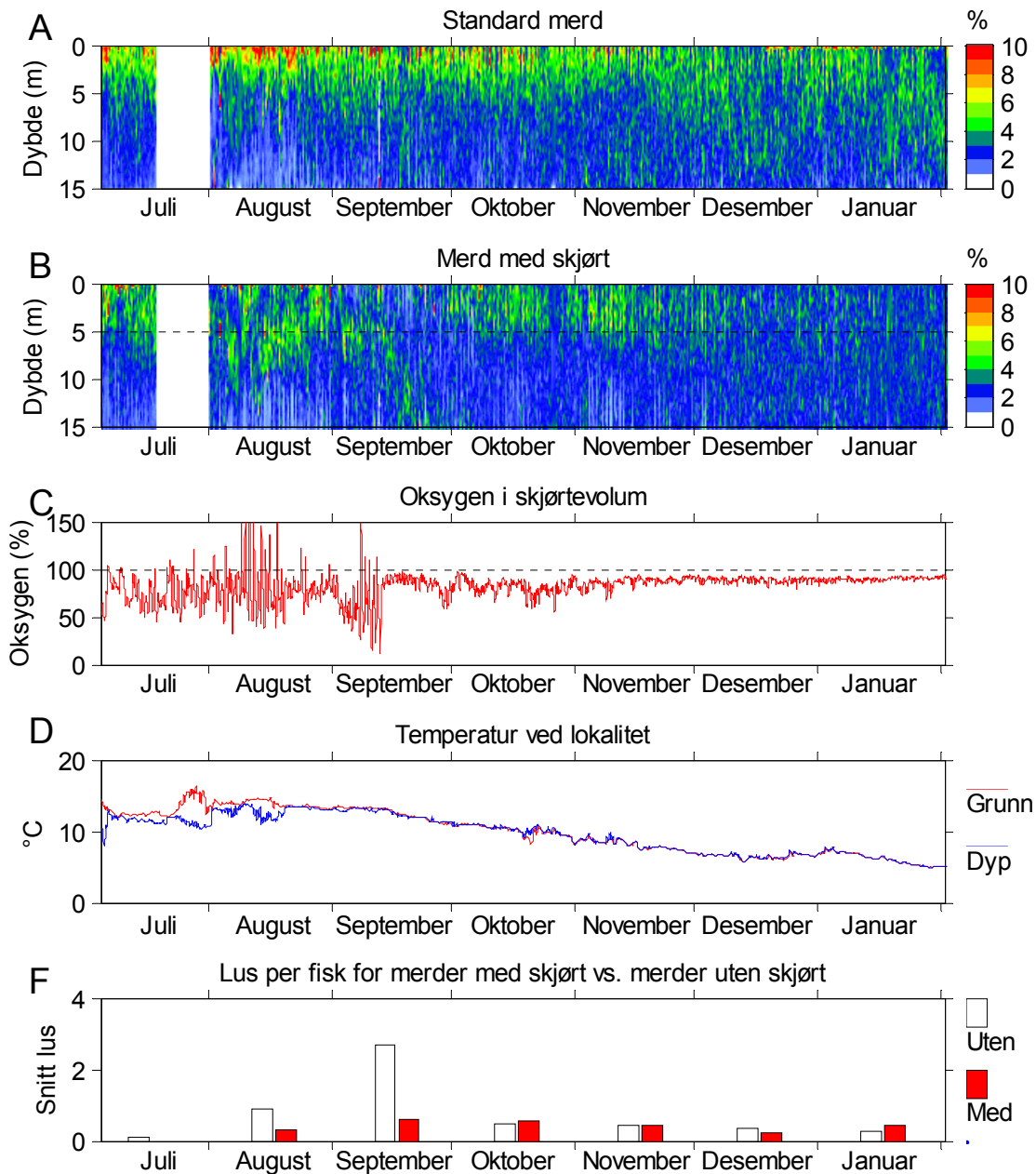
For lokalitet Saltkjelen ble det gjort detaljerte oksygenmålinger innenfor skjørtet påfølgende november. I forbindelse med disse målingene ble det også gjort nye ekkoloddmålinger (Figur 19AB). Det tas her utgangspunkt i oksygenmålinger på 3 m dyp i senter av merden med skjørtavskjerming. Legg merke til at perioden hvor de laveste oksygenmålingene forekom (Figur 19C - 26/11) korrelerer med perioden hvor fisken samlet seg i skjørtevolumet (Figur 19B). Legg også merke til at den synkende oksygenkonsentrasjonen ikke synes å ha påvirket fiskens atferd, og at oksygenforholdene forbedret seg mens

fisken fortsatt stod tett i skjørtevolumet. Dette er antagelig et resultat av endrede strømforhold som førte til tilførsel av nytt oksygenholdig vann. I denne perioden var det lite variasjoner i oksygeninnholdet i vannet utenfor merden.



Figur 19. Detaljerte ekkoloddmålinger i A) standard merd og B) merd med skjørtavskjerming, og C) detaljerte oksygenmålinger på 3 m dyp i senter av merden med skjørt.

For lokalitet Bjørkvik kan ekkolodobservasjonene bli sammenlignet med daglige målinger av oksygen i skjørtevolumet og temperaturene på 2.5 og 10 m dybde (Figur 20). Juli til september var det sterkt varierende oksygenforhold i skjørtevolumet (Figur 20C). Juli til august var det en tydelig stratifisering av vannmassene ved at temperatur var høyere nær overflaten enn i dypet (Figur 20E). Dette kan ha vært årsaken til at skjørtavskjermingen ga en klar effekt i lusetalene i august og september (Figur 20F). At vannet er stratifisert er et tegn på at det ikke er omrøring, dvs. at luselarvene ikke blir ført ned dypere enn skjørtet. I tillegg vil vannstrømmen som treffer skjørtet lettere følge skjørtet rundt merden, enn å dytte unna det tyngre kaldere vannet under, og dermed vil ikke luselarvene i overflatevannet like lett bli ført ned under skjørtet og inn i skjørtevolumet.

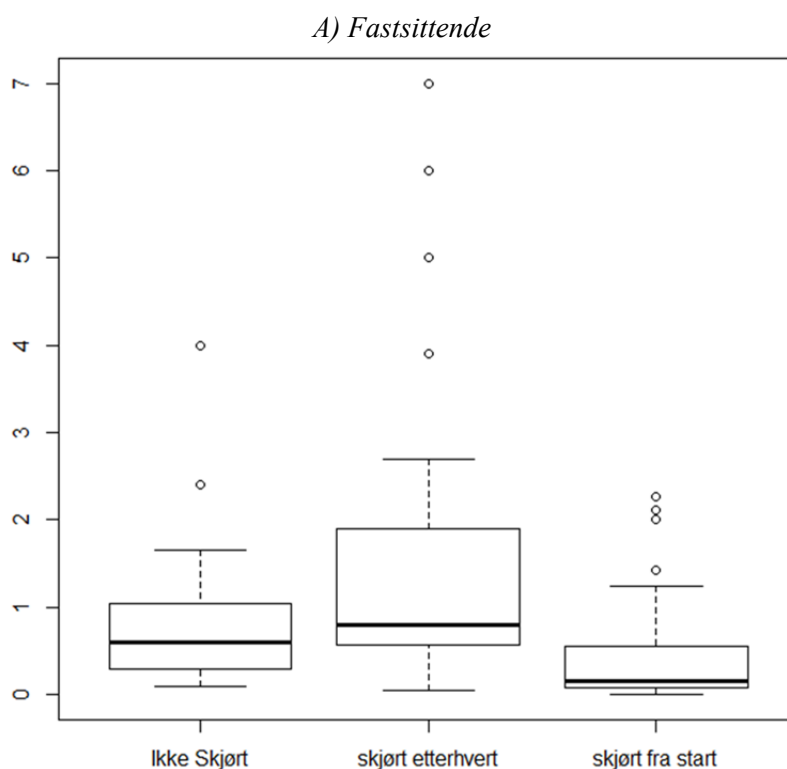


Figur 20. Ekkoloddata for A) standard merd og B) merd med skjørtavskjerming. C) oksygendata for merd med skjørtavskjerming. D) Temperatur ved 2.5 m (rød) og 10 m (blå). E) Gjennomsnittlig antall lus telt for standardmerder overvåket med ekkolodd (hvit) og for merder med skjørtavskjerming overvåket med ekkolodd (rød).

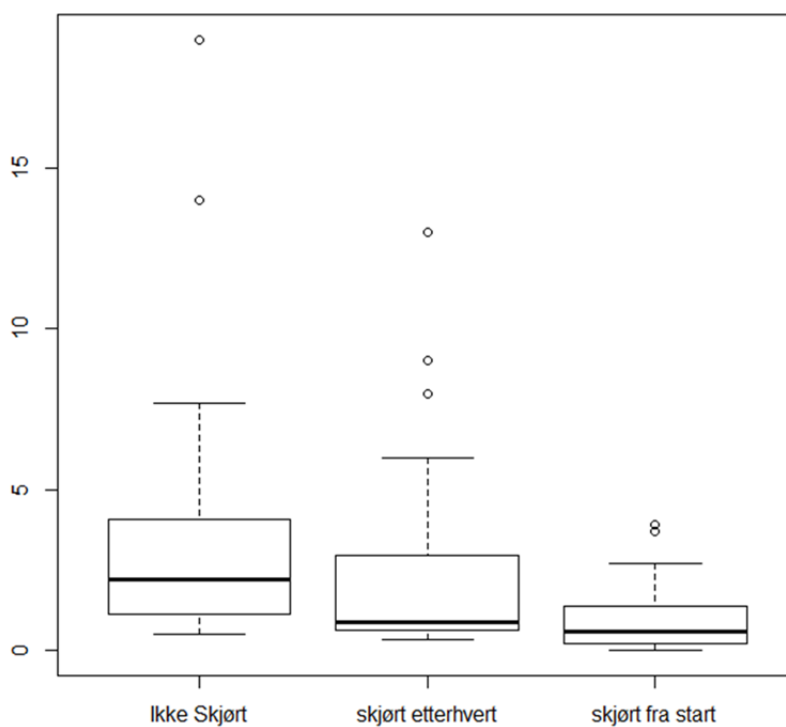
## 5.4 Luspåslag

På bakgrunn av data fra 17 forskjellige lokaliteter, der Permaskjørt ble brukt, ble det gjennomført statistiske analyser som bidro med informasjon om hvilken effekt Permaskjørt hadde mot lus. I datamaterialet var det stor variasjon i hvor mange lusetellinger som ble gjennomført i hver enkelt merd. 15 merder med 5 eller færre tellinger ble ekskludert fra datasettet. Andre ikke-medikamentelle tiltak mot lakselus, som ble oppgitt, var bruk av leppefisk eller rognkjeks. Dette kan ha hatt innvirkning på resultatene.

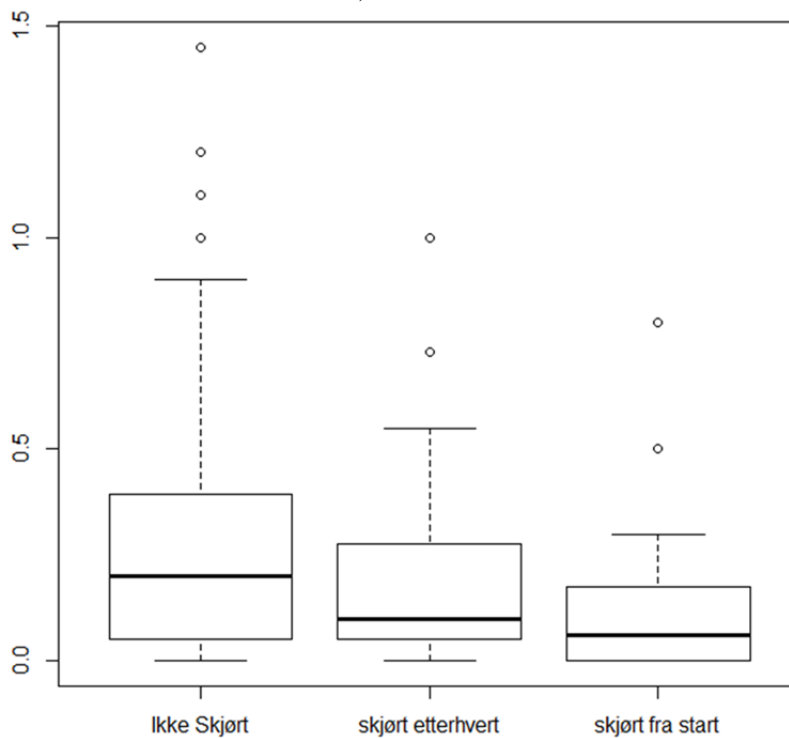
Datasettet bestod totalt av lusetall fra 35 merder uten skjørt, 31 merder med skjørt etter hvert (påsett etter det var kommet lus i merden) og 52 merder med skjørt fra start (påsett før luspåslag) (Figur 21).



*B) Bevegelige*



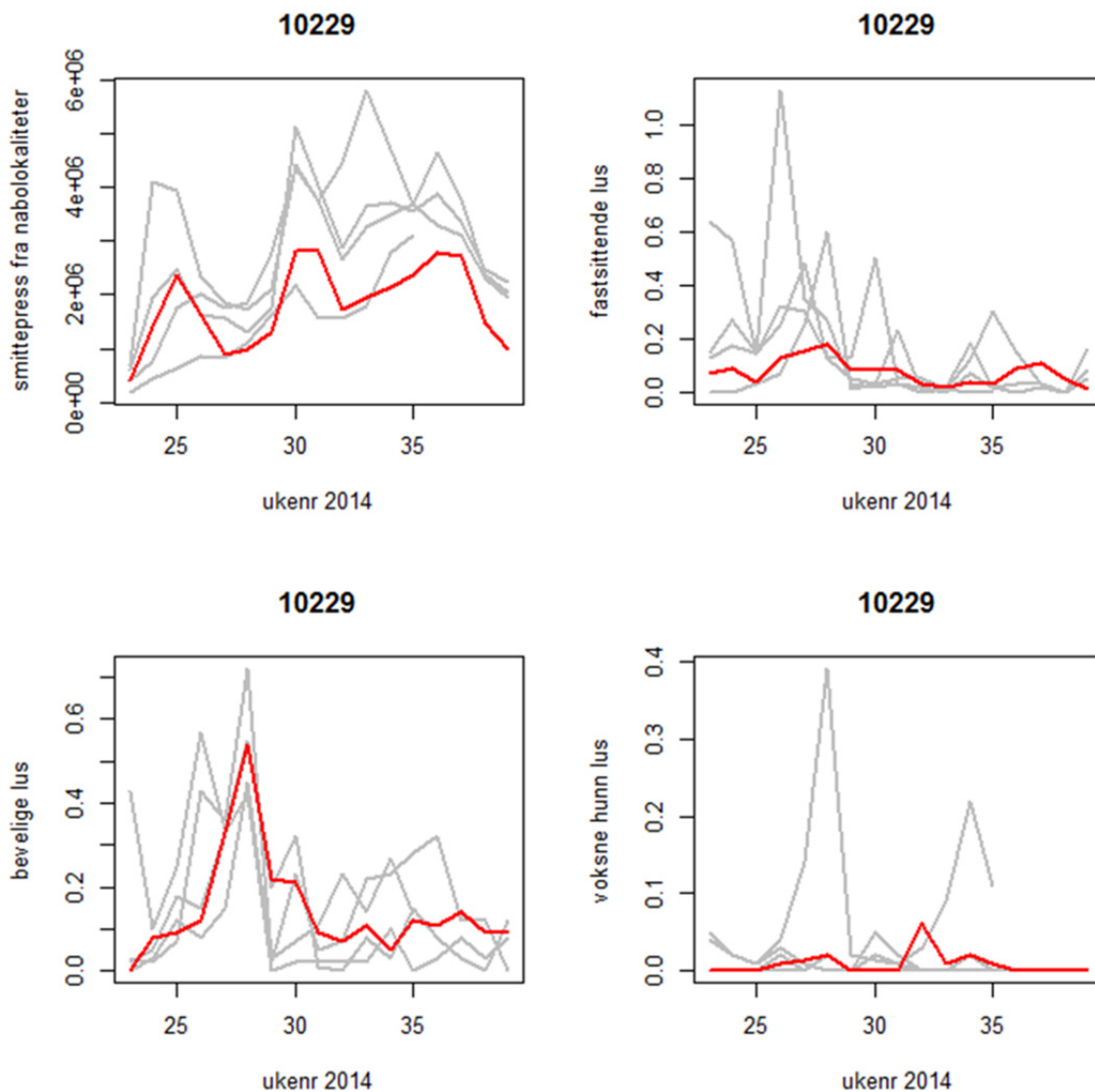
*C) Voksne*



Figur 21. Boxplot-figurer for lusetall A) fastsittende, B) bevegelige og C) voksne hunnlus på fisk i merder uten skjørt, skjørt etter hvert og skjørt fra start. Boxplot viser fordelingen av lusetall med median verdi (svart linje) og 25 og 75 persentil vises som boks.

Alle gruppene med fastsittende lus i figur 3A, var signifikant forskjellig fra hverandre ( $p < 0,05$ ). For gruppene med bevegelige lus, figur 3B, er gruppen med skjørt fra start signifikant forskjellig fra skjørt etter hvert og ikke skjørt. Gruppen ikke skjørt og skjørt etter hvert har en p-verdi på 0,053, altså det tenderer til å være signifikante forskjeller mellom disse gruppene. I figur 3C er gruppene skjørt fra start og ikke skjørt signifikant forskjellige ( $p = 0,006$ ) fra hverandre, mens gruppen skjørt etter hvert og skjørt fra start ikke ga signifikant forskjell ( $p = 0,13$ ). Gruppene skjørt etter hvert og ikke skjørt var heller ikke signifikant forskjellige ( $p = 0,24$ ). Fra resultatene kan man konkludere med at Lusetall fra merder påsatt skjørt før registrert luspåslag, var signifikant lavere enn lusetall fra både merder uten skjørt og merder påsatt skjørt etter at det var kommet lus i merden. Skjørt påsatt før det er kommet lus i merden reduserer luspåslaget i enkeltmerder med et gjennomsnitt på 18 %.

For alle syv lokaliteter som hadde satt skjørt rundt alle merdene på anlegget, ble smittepresset inn mot lokalitet og luseutvikling, sammenstilt med naboanlegg innenfor en radius på 20 km. Plottene er basert på innrapportert data fra Havbruksdata. Figur 22 viser et eksempel på plott for lokalitet Fættan.



Figur 22. Beregnet smittepress (A) og utvikling av lus (B; fastsittende, C; mobile og D; voksne hunnlus) for lokalitet Fættan (rød linje) og nabolokaliteter (grå linjer).

De samlede resultatene for lokaliteter med skjørt på alle merdene indikerer at skjørt kan redusere luspåslag med gjennomsnittlig 54 % på lokalitetsnivå.

Resultatene viser at bruk av Permaskjørt kan redusere påslag av lus dersom skjørt settes på merden før fisk kommer i sjø. Resultatene viser meget stor variasjon mellom lokalitetene, og at ulike ikke-medikamentelle tiltak med fordel kan kombineres. Videre arbeid med analyser av feltdata fra bruk av Permaskjørt, bør være å undersøke hvilke andre faktorer på lokalitetsnivå som har betydning for utvikling av lus.

## 5.5 Fiskevelferd

Gjennom velferdscreening utført på den ene lokaliteten ble det observert sår på 0,83 % av fiskene fra merder med skjørt og på 0,20 % fra merder uten skjørt. I en chi-square test gir dataene en signifikant forskjell med  $p = 0,002$ . Denne forskjellen kan forøvrig, like gjerne være knyttet til at det på denne lokaliteten, var to forskjellige fiskegrupper der den ene var satt i merder med skjørt og den andre i merder uten skjørt. I tillegg må det bemerkes at andel sår registrert var lav. Det kan da (ut fra disse resultater) ikke konkluderes med noen klare funn, som påpeker nedsatt velferd for fisk i merder med skjørt. I tillegg ble det observert finneskade på 8,81 % av fiskene fra merder med skjørt og på 8,46 % i merder uten skjørt, som ikke er en signifikant forskjell.

## 5.6 Oppdretteres erfaringer

Dette delkapittelet er basert på presentasjoner holdt av oppdrettere på workshoper i prosjektet. Den geografiske plasseringen til lokalitetene omtalt her er Saltkjelen i Vest-Norge, Geitryggen og Helligholmen i Midt-Norge, og Bjørkvik i Nord-Norge.

Ved Bjørkvik ble utsettene utført av to mann og en båt. Det ble montert skjørt på en merd per dag. Ved Saltkjelen ble utsettene og monteringen ansett som en grei jobb. Det har vært litt utfordringer med at skjørtene ikke har passet på alle flytekragene. Dette har medført at skjørtene ikke har hengt optimalt, og kan ha hatt redusert funksjonalitet (Figur 23 og Figur 24).



Figur 23. Skjørt montert på Saltkjelen der det har blitt dratt for høyt opp.



Figur 24. Skjørt montert på Helligholmen der innfestingene skaper folder i skjørtet.



Det har også vært noen utfordringer knyttet til luftbobler, som hever skjørtet (Figur 25).



*Figur 25. Luftbobler har hevet skjørtet.*

Ved Saltkjelen ble det observert at skjørtet stod bra i svak strøm, men at skjørtet ved sterkere strøm ble presset opp mot overflaten. Dette samsvarer med observasjoner gjort i modellforsøkene. Flere oppdrettere har funnet ut at det har vært nødvendig å øke nedlodingene på skjørtene. På Bjørkvik ble det økt fra  $2 \text{ kg m}^{-1}$  til  $4 \text{ kg m}^{-1}$  blyline. Det ble ansett som en fordel ikke å ha lodd hengende ned fra skjørtet. Skjørtene hang fint med denne nye konfigurasjonen. Det så ut som skjørtene stod mer rett i sjøen enn nota, som ble deformert mer.

I uvær har det blitt erfart at skjørtene til tider har fått hard medfart. Ved Helligholmen førte storm til at skjørtene ble kastet ut av sjøen og opp på flytekragen (Figur 26). Årsak kan være at store bølgebevegelser og påstand fra strøm fikk skjørtet til å krype oppover bunnringkjettinger og opp på flytekragen til det til slutt var helt oppe av sjøen.



*Figur 26. Skjørt kastet opp på flytekragen på lokalitet Helligholmen under storm september 2012.*

Lignende erfaringer ble gjort ved Geitryggen, der uvær førte til at skjørtet kom opp av sjøen (Figur 27). Geitryggen er en værutsatt lokalitet.



*Figur 27. Skjørt kom opp av sjøen grunnet kraftig uvær.*

Kraftig uvær kunne føre til at flyteelementene, som skal holde skjørtene oppe, fikk en del skader. Ved Saltkjelen har det blitt observert skader på skjørtet der det har kommet i kontakt med fortøyningskjetting. I sterk vind har skjørtet blitt revet i hjørner.

Når det gjelder vedlikehold har de ved Bjørkvik ikke hatt mer arbeid med skjørtene etter montering enn jevnlig inspeksjoner. Det har ikke blitt oppdaget skader på skjørtet under inspeksjon. For å redusere slitasje der båter vanligvis legger til, har skjørtene blitt montert på innsiden av den ytterste flyteringen på merden i dette området (Figur 28).



*Figur 28. Skjørt montert innenfor ytterste flytering der båt vanligvis legger til på lokalitet Bjørkvik.*

Når det gjelder begroing, erfarte de på Saltkjelen at skjørtet ble begrodd fra uke 36 til over nyttår. Inspeksjoner av begroing på Bjørvik viste at det var lite begroing på nota innenfor skjørtet og at begroing på skjørtet bestod primært av sekkedyr som satte seg på innsiden. (Figur 29).



Figur 29. Begroing på not og skjørt på lokalitet Bjørvik. Inspeksjonen viste at det var lite begroing på nota innenfor skjørtet og at begroing på skjørtet bestod primært av sekkedyr som satte seg på innsiden.

Som en oppsummering av oppdretternes erfaringer, ønsker flere av de som har benyttet Permaskjørt å sette dette ut på flere lokaliteter.

## 5.7 Hovedkonklusjon

Konklusjonen i forhold til hovedmålet er at resultatene fra prosjektet indikerer at:

- Permaskjørt kan redusere luspåslag med et gjennomsnitt på 18 % (med variasjon fra 6 til 28 %) i enkeltmerder dersom skjørt blir satt på før luspåslag. I tillegg kan en få en lokalitetseffekt på gjennomsnittlig 54 % (med variasjon fra 0 til 80 %) dersom skjørt blir brukt på alle merdene på lokaliteten.
- Permaskjørt reduserer vannutskifting i merden. Oksygenivåene er lavere innenfor det avskjermede volumet, men fisken står ofte dypere dersom den har tilgjengelig plass under skjørtet.
- Montering av Permaskjørt på oppdrettsmerder er teknisk mulig, både håndteringsmessig og med tanke på belastninger. Skjørtet medfører økte fortøyningskrefter som det er viktig å ta hensyn til.

## 5.8 Forslag til videre arbeid

Resultatene viser at oppdrettere opplever ulik effekt av Permaskjørt. For å kunne gi en anbefaling til hvilke lokaliteter som egner seg for å bruke denne innretningen til å redusere luspåslag, er det nødvendig å undersøke under hvilke forhold skjørt kan fungere, og under hvilke forhold det ikke fungerer. Dette omfatter hvordan anleggets omgivelser (spesielt topografi og vannstrøm) påvirker effekten av skjørtet med hensyn til å skjerme mot lakselus. Videre vil det være hensiktsmessig å beskrive en beste praksis for bruk av Permaskjørt. For å kunne gjøre dette, må man kunne svare på hva som er det beste tidspunktet for montering i forhold til fiskeutsett, tid på året og miljøparametere, hvordan ulike parametere ved lokaliteten påvirker hvordan lusa "oppfører seg" på vei mot merdene i anlegget, og om skjørtet kan tas opp i perioder for såkalt "behovsbasert bruk".

## 6 Leveranser

Leveransene er knyttet til milepælene M1-M14 i prosjektet:

- M1 Møtereferat: Workshop - fargestoffforsk
- M2 Rapport: Deformasjon av not og Permaskjørt og krefter på fortøyning (Lien og Volent, 2012)
- M3/M4 Møtereferat: Workshop - skjortdesign
- M5 Rapport: Krefter og deformasjon av skjørt i FhSim (Rundtop og Lien, 2013)
- M6 Rapport: Permaskjørt A3 – fullskalafeltforsøk (Frank et al., 2013)
- M7 Møtereferat: Workshop - Gjennomføring av langtids feltutprøving
- M8 Møtereferat: Workshop: Erfaringer fra feltutprøving
- M9 Møtereferat: Workshop: Status og oksygenering
- M10 Rapport: Permaskjørt og merdmiljø (Frank og Lien, 2015)
- M11 Rapport: Permaskjørt kan redusere påslag av lakselus - analyse av felldata (Grøntvedt og Kristoffersen, 2015)
- M12 Rapport: Langtidsvirkning av Permaskjørt på fiskeatferd (Stien og Oppedal, 2015)
- M13 Møtereferat: Workshop: Resultater fra prosjektet og veien videre
- M14 Denne rapporten

Alle rapportene er tilgjengelige på [www.sintef.no/permaskjort](http://www.sintef.no/permaskjort).

## 7 Referanser

- Bowers, J.M.**, Mustafa, A., Speare, D.J., Conboy, G.A., Brimacombe, M., Sims, D.E., Burka, J.F., 2000. The physiological response of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., to a single experimental challenge with sea lice, *Lepeophtheirus salmonis*. *Journal of Fish Diseases* 23, 165–172.
- Costello, M.J.**, 2009. The global economic cost of sealice to the salmonid farming industry. *Journal of Fish Diseases* 32, pp. 115–118.
- Frank, K.**, Gansel, L., Lien, A.M., 2013. Permaskjørt A3 – fullskala feltforsøk. SINTEF rapport A24440. ISBN 978-82-14-05634-1.
- 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 felldata. Veterinærinstituttets rapportserie 2-2015.
- Hevrøy, E.M.**, Boxaspen, K., Oppedal, F., Taranger, G.L., Holm, J.C., 2003. The effect of artificial light treatment and depth on the infestation of the sea louse *Lepeophtheirus salmonis* on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) culture. *Aquaculture* vol. 220, 1-14.
- Lien, A.M.**, Volent, Z., 2012. Deformasjon av not og Permaskjørt og krefter på fortøyning. SINTEF rapport A23184. ISBN 978-82-14-05445-3.
- Mackinnon B.M.**, 1993. Host response of Atlantic salmon (*Salmo salar*) to infection by sea lice (*Caligus elongatus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50, 789–792.
- Pickering, A.D. og Pottinger, T.G.**, 1989. Stress responses and disease resistance in salmonid fish: effect of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiology and Biochemistry* 7, 253–258.
- Rundtop, P.**, Lien, A.M., 2013. Krefter og deformasjon av skjørt i FhSim. SINTEF rapport A24030. ISBN 978-82-14-05572-6.
- Stien, L.H.**, Oppedal, F., 2015. Langtidsvirkning av Permaskjørt på fiskeatferd. Rapport fra Havforskningsinstituttet 2015.
- Wootton R.**, Smith J.W. & Needham E.A., 1982. Aspects of the biology of the parasitic copepods *Lepeophtheirus salmonis* and *Caligus elongatus* on farmed salmonids, and their treatment. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 81B, 185–197.



Teknologi for et bedre samfunn

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