

# Rapport

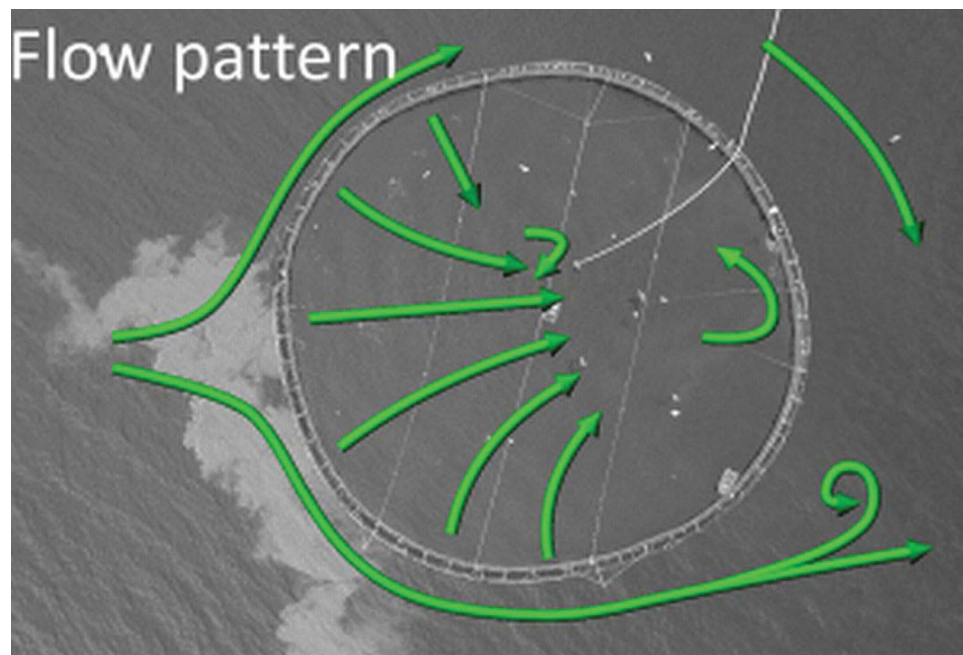
## Permaskjørt A3 – fullskala feltforsøk

Dokumentasjon av skjørtets påvirkning på vannstrøm

**Forfatter(e)**

Kevin Frank

Lars Gansel, Andreas Myskja Lien



# Rapport

## Permaskjørt A3 – fullskala feltforsøk

Dokumentasjon av skjørtets påvirkning på vannstrøm

## EMNEORD:

## VERSJON

1.0

## DATO

2013-05-15

## FORFATTER(E)

Kevin Frank  
Lars Gansel, Andreas Myskja Lien

## OPPDRA GSGIVER(E)

Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF)

## OPPDRA GSGIVERS REF.

Kjell Maroni

## PROSJEKTNR

6020243

## ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

21+ vedlegg

## SAMMENDRAG

Påvirkningene av et skjørt på strømbildet rundt en oppdrettsmerd ble testet og dokumentert i fullskala. Selve skjørtet skal skjerme mot lakselus og er en presenning som går ned til 5 m dybde (Permaskjørt) rundt hele merden. I vårt tilfelle, en merd med 157 m omkrets og vanlig fisketetthet. Vannstrøm mot, rundt og inn i merden med og uten skjørt ble visualisert med fargestoffet fluorescein. Resultatene ble dokumentert med kamera fra en høytstående drone og sammenlignet med måledata fra flere strømmålere. I tillegg til strøm ble flere miljødata, blant annet oksygen, også målt.

Oksygenforhold ble diskutert i sammenheng med endringer observert mens skjørtet ble demontert. Det er en viss spredning i resultatene med tanke på hvordan skjørtet virker på vannstrømmen, og dette vil bli diskutert med fokus på vannutskifting mellom inn- og utside av merden, spesielt i høyere vannlag. Eksperimenter viser at skjørtet generelt virker som forventet ut ifra disse modell- og simulasjonsforstudier som allerede er gjennomført. Dvs. at en del av vannstrømmen mot merden med skjørt blir ført rundt merden og en annen del ledes under skjørtet og inn i merdvolumet. Hvor mye vann som blir skiftet ut i merden er i stor grad avhengig av den omgivende vannstrømmen.

## UTARBEIDET AV

Kevin Frank

## KONTROLLERT AV

Jens Birkevold

## GODKJENT AV

Jostein Storøy

## RAPPORTNR

A24440

## ISBN

978-82-14-05634-1

## GRADERING

Åpen

## SIGNATUR



## SIGNATUR



## SIGNATUR



## GRADERING-DENNE SIDE

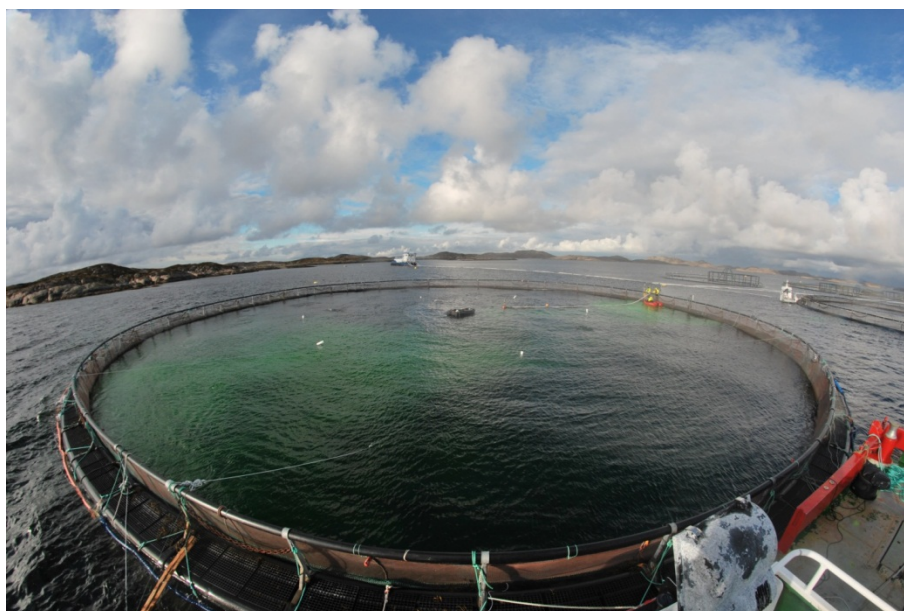
Åpen

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Formål.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Tidligere studier .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Forsøksoppsett og metoder.....</b>	<b>6</b>
4.1	Lokalitet .....	6
4.2	Forsøk.....	7
4.2.1	Fargestoff.....	8
4.2.2	Instrumentering.....	8
<b>5</b>	<b>Resultater og Diskusjon .....</b>	<b>9</b>
5.1	Observasjoner .....	9
5.1.1	Skjørttilstand og -håndtering.....	9
5.1.2	Miljø forhold ved forsøk .....	10
5.2	Forsøkoversikt .....	10
5.3	Strømbilde og strømmålinger .....	11
5.3.1	Utslipp i merd .....	11
5.3.2	Utslipp på utsiden.....	13
5.3.3	Uten skjørt .....	16
5.4	Skjørt demontering.....	17
<b>6</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>19</b>
<b>7</b>	<b>Videre arbeid .....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>21</b>

## 1 Innledning

Lakselus er, sammen med rømming, regnet som en av de største utfordringene for havbruksnæringen. Innledende studier har indikert at et 5 meter dypt permanent presenning-skjørt omkring den øvre delen av en oppdrettsmerd kan redusere lusepåslaget på laksen [LIE11]. Skjørtets evne til å skjerme mot lus, samt hvordan vannmiljøet inne i merden blir påvirket, er avhengig av flere faktorer, hvorav en er strømforhold på lokaliteten. Det er nødvendig å studere disse forholdene slik at en med økt forståelse for strømningsbildet kan sørge for god og sikker skjerming når skjørt tas i bruk.



*Figur 1 Forsøksmerd med montert måleutstyr og fargestoff*

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

Spesiell takk rettes til ansatte i Sinkaberg-Hansen ved lokalitet Helligholmen for bistand i forsøksarbeidet.

## 2 Formål

Formålet med forsøkene var å øke forståelsen for hvordan strømningsbildet i og omkring en merd blir påvirket av et presenningsskjørt. Denne kunnskapen er nødvendig for å forstå effektiviteten av luseskjermingseffekten og gi driftssikkerhet, spesielt med hensyn til fiskevelferd,

når det brukes. Med hensyn på dette ble også et modellforsøk i flumetank og CFD-analyser gjennomført. Resultater fra forstudier har antydnet at man kunne forvente redusert utskifting av vannet som står bak skjørtet og redusert strømhastighet i merden sammenlignet med strømbildet i og rundt en merd uten skjørt. Dette har også konsekvenser for oksygenforholdene i merden. Når man anvender skjørtet trenger man da en balanse mellom redusert vannutskifting for å holde lus ute av fiskepopulasjonen og nok vannutskifting for å ha et høyt nok oksygenivå i merden. Modellforsøk og simuleringer har dog noen begrensinger i overførbarhet til fullskala. Derfor skulle dette bli testet på en merd i fullskala.

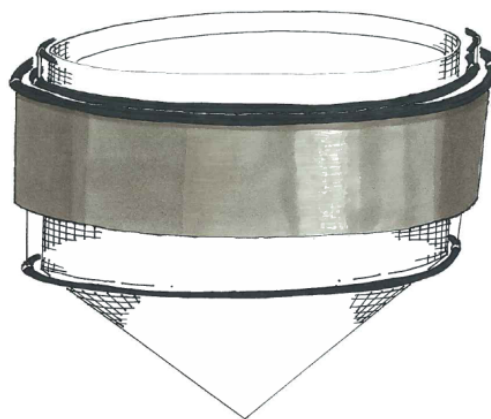
I tillegg til økt kunnskap om strømningsbildet rundt merden, skulle resultatene også kunne bidra i videre utvikling av skjørtet og eventuelle hjelpeløsninger for å bedre vannmiljøet da problemområder er blitt synliggjort i fullskala med fisk tilstede.

### 3 Tidligere studier

Som nevnt tidligere har det blitt gjennomført simuleringer (se notat Notat "CFD simulering av permaskjørtforsøk i Hirtshals") og modellforsøk [LIE12] for å estimere ulike effekter av skjørtet. Resultatene gir innblikk i hvordan strømbildet rundt en merd med skjørt kan forventes å være, og bli tatt som grunnlag for forsøksplanlegging. Disse studiene kan sammenfattes som følger.

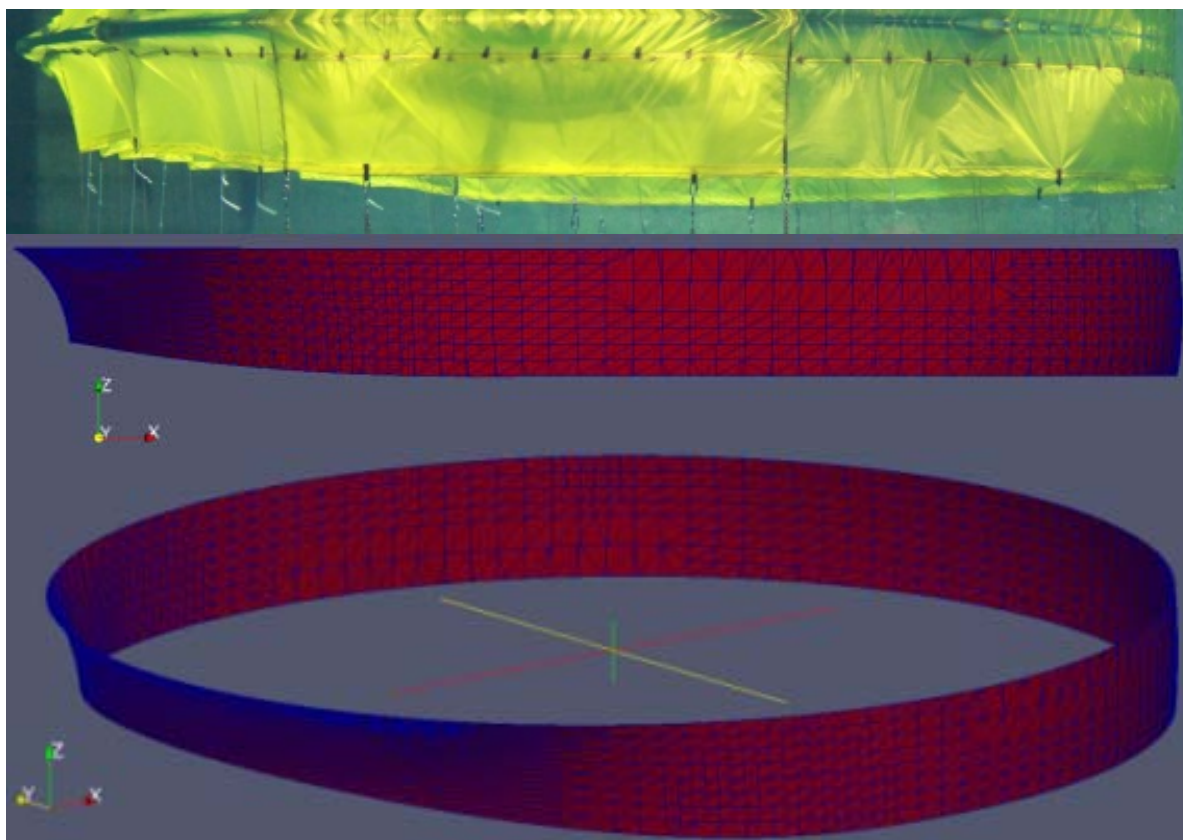
For å studere hvordan et skjørt vil kunne påvirke krefter på fortøyning, notdeformasjon og vannstrømninger inn i og rundt merden, ble det gjennomført modellforsøk i en flumetank. Forsøkene viste at skjørtets evne til å skjerme mot lus kan bli redusert ved høye strømhastigheter ( $V_c > 40 \text{ cm s}^{-1}$ , full skala), fordi det blir presset bakover og opp mot overflaten slik at lus lettere kan passere under og inn i merden. På grunn av økningen i drag-krefter som følge av et påmontert skjørt, vil det være viktig å inkludere bruk av skjørt når det gjøres fortøyningsanalyser på anlegget.

Disse eksperimentene som ble gjennomført i perioden 26. til 29. mars 2012 i Hirtshals, Danmark, ble også utgangspunkt og sammenligningsgrunnlag for CFD-analysene. Eksperimentene omfattet testing av en modell i skala 1:17 av en merd med omkrets 157 m med påmontert skjørt, i



Figur 2: Skisse av et Permaskjørt montert rundt sirkulær merd.

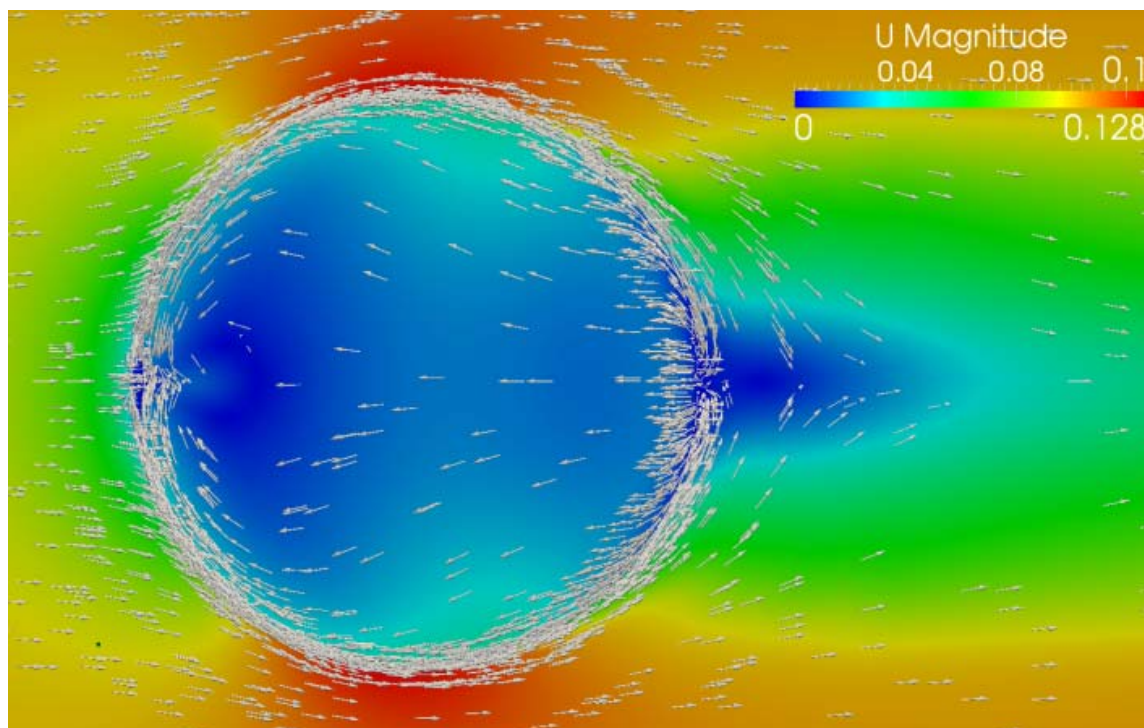
ulike strømhastigheter og med ulike skjørtkonfigurasjoner. Hensikten med CFD-analysene var å undersøke om denne metoden kan brukes til å estimere strømningsmønster i og rundt en merd pga. påvirkning fra skjørtet. CFD-programvaren OpenFOAM ble brukt. Analysene ble foretatt på en forenklet deformert geometri, basert på bilder tatt under forsøkene i Hirtshals. Flytering, nett, bunnring og kjettinger er ikke inkludert i CFD analysen.



*Figur 3: Nederst: Geometri laget i SolidWorks for CFD-simulering av konfigurasjon G i [LIE2012]. Perspektiv og sett fra siden. Strømretning i positiv x-retning. Opp: Bilde av skjørt fra forsøk i Hirtshals. Konfigurasjon G i. Strømretning fra venstre mot høyre.*

Samsvaret mellom simulering og modellforsøk var godt, 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. Nota vil ha en effekt på strømningsbildet i selve merden. Dette må også foreløpig evalueres separat. Selv om estimert dragkraft på skjørtet samsvarte meget godt med forsøk, anbefales det foreløpig at CFD-analyse kun brukes til å undersøke strømningsbildet. Dette pga. overslagsberegning av drag på

bunnring, effekt av kjettinger som ikke er hensyntatt, og at det trengs sammenligning mellom flere forsøk og simuleringer for å verifisere modellen. Fravær av kjettinger og bunnring i simuleringene vil trolig ha mindre effekt på strømningsbildet pga. avstand mellom bunnring og skjørt.



Figur 4: Strømhastigheter og retning i og rundt skjørtet. Fargeskalaen gir hastighet, mens pilene angir retning. Strømretning fra venstre mot høyre. a) Snitt av skjørtet og vannet sett fra siden. b) Skjørtet sett fra oversiden (overflaten) (Notat CFD simulering av permaskjørtforsøk i Hirtshals).

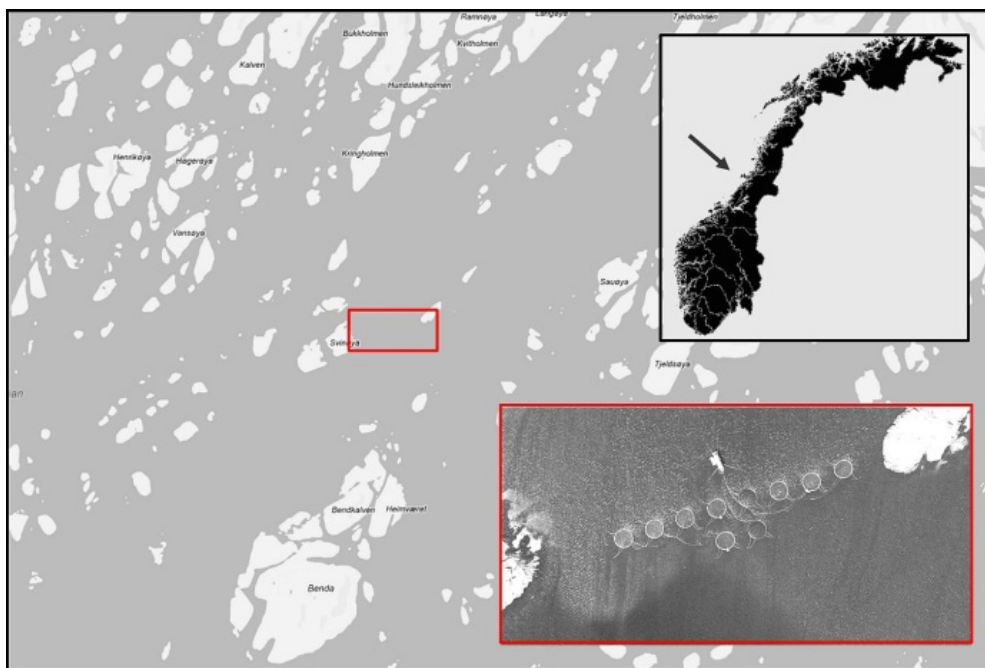
Selv om det er godt samsvar mellom simulering og modellforsøk, må en ikke glemme at begge er gjennomført under idealiserte (for eksempel homogent strømfelt mot merden) og simplifiserte (ingen not osv.) miljøforhold. Det vil si at man må forvente andre resultater i fullskala, hvor man finner f. eks. strøm mot merder med dybdegradienter i strømhastighet og -retning, og signifikante turbulente strømningselementer. Dette gir også en begrensning for overførbarhet av resultatene i fullskala fra ett case til et annet.

## 4 Forsøksoppsett og metoder

### 4.1 Lokalitet

Fullskalaforsøket ble gjennomført ved Sinkaberg-Hansens oppdrettsanlegg på Helligholmen i perioden 25.-28. september, 2012 (Figur 5). På Helligholmen bruker man merder med 5 m sidevegg og 15 m spisspose på bunn. Strømmålinger i relevant dybde gjennomført i overenstemmelse med

NS 9415 [NS09] gav hovedstrømretning mot nord nord-øst, og følgelig ble merden som lå helt i sør-vest valgt som forsøksmerd. Dette skulle sørge for at strømmen kom rett mot forsøksmerden, og dermed var minst mulig påvirket fra andre merder i anlegget. I merden som ble brukt til forsøket var det 140 000 laks med en gjennomsnittsvekt på ca. 1,25 kg. Et skjørt som består av to deler 96 m lange og 5 m brede semi-permeable presenninger ble montert før testen begynte.



Figur 5: Oppdrettslokalitet Helligholmen på Vikna. Flyfoto av anlegget er ikke aktuelt. Merden brukt i forsøket ligger på det sør-vestlige hjørnet av anlegget slik at strømmen mot merden er minst mulig påvirket av andre merder.

## 4.2 Forsøk

Én eksperimentell dokumentasjon av et komplett strømningsbilde rundt en stor oppdrettsmerd med 50 m diameter er vanskelig å få. Vanlige metoder for å måle strøm gir kun en lokal informasjon som i best fall er en dybdeprofil med hastighetsvektorer i flere dybder. For å oppnå et omfattende inntrykk av hele strømsituasjonen rundt en merd er bruk av et fargestoff (Fluorescein) et godt alternativ. Slike typer eksperiment gir resultater som er begrenset til strømmen i høyere vannsjikt, men gir en oversikt i hele merdarealet og -området. I dette forsøket ble diskrete strømmålinger kombinert med tester for fargestoffutbredelse rundt og gjennom eksperimentmerden. I tillegg til data som beskriver strømbildet rundt og inn i merden ble flere miljøparametere målt for å ha et godt inntrykk av miljøforhold.

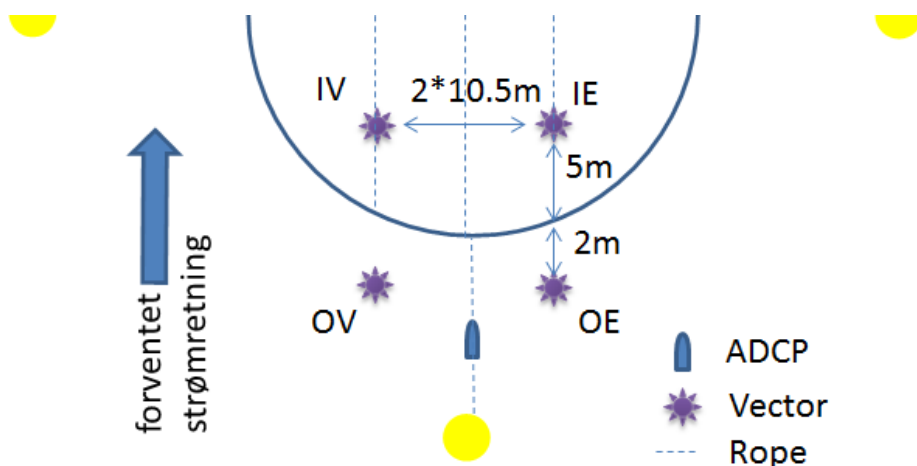


#### 4.2.1 Fargestoff

Bruk av Fluorescein som middel til å visualisere strøm rundt merder er allerede en etablert metode [GAN12]. Fluorescein som kjemisk substans er ikke miljøfarlig, og nedbrytes, under vanlige havbetingelser, på noen timer. Fargestoffet fluorescein er et salt i pulverform man blander i vann, og dette farges da sterkt grønt. Under forsøk lager man på denne måten ei bøtte med høyt konsentrert fargestoff og pumper denne blanding inn i sjøvannet. I forsøkene på Helligholmen ble blandingen pumpet ut på forskjellige steder, men hele tiden på ca. 2,5 meters dybde. Den omgivende vannstrømmen drar da fargestoffet med seg, og turbulenser i vannet spredde fargen enda mer slik at et voksende farget område bevegde seg med strømmen. Beste måte for å observere spredning av fargestoff i et stort område er å bruke en fjernstyrt drone som løfter et kamera høyt opp for å ta noen høyoppløselige bilder. I vårt tilfelle stod dronen i 75 meters høyde med et Samsung NX200 med 5472 x 3648 piksel. De ulike bildene er i analysen kombinert til tidsserier som visualiserer hvordan fargestoffet strømmer rundt og gjennom merden. Baserte på turbiditet og vanntilstand er det estimert at mens forsøket pågikk, viser bilder fra kameraet fargestoff ned til ca. 3-5 meters dybde.

#### 4.2.2 Instrumentering

Forsøksoppsettet inneholder en profilerende strømmåler og 4 Vector-strømmålere fra Nortek. Den profilerende strømmåleren (ADCP) ble brukt for å se på den generelle strømsituasjonen på lokaliteten. Data fra Vectorene er brukt til direkte sammenligning med strømningsbildet fra fargestoffbilder. Strømmålerne ble satt ut som vist i Figur 6.



Figur 6: Posisjon for strømmålinger i eksperimentell merd (nord er opp). Vectorene ble satt ut med et tau og hang 2,5 m ned i vannet. I merden hang de ned fra et tau som gikk tvers over merden, på utsiden fra en

utligger (trevirke) med 2 m lengde. Vectorene i merden hadde et bur rundt for å holde fisken ute av måleområdet. ADCPen ble montert med et tau fra merdkanten til fortøyningsbøyen i 21m dybde.

Oppsettet inneholdt i tillegg 7 CTD med floresensemålinger og 4 av disse hadde også oksygensensorer. Disse ble installert på en vinsj som hevet og senket de kontinuerlig opp og ned. En CTD ble posisjonert i merd-senteret og de andre 6 symmetrisk fordelt på en radius på ca. 12,5 m. Forventningen var her at man kunne få en bedre innsikt i konsentrasjonsfordelingen av fargestoff i merden enn det som allerede er gjort for eksempel badebehandling. Men i dette forsøket var det et åpent system som gav mulighet for fargestoffet til å fortynne seg i et åpent volum, som gav en enda større utfordring for datanalysen enn forventet. På grunn av dette brukes data fra floresenssensoren ikke i analysen.

## 5 Resultater og Diskusjon

### 5.1 Observasjoner

#### 5.1.1 Skjørtilstand og -håndtering

Mens forsøket ble gjennomført ble ulike praktiske aspekter observert og dokumentert. Med hensyn til forsøket selv må en nevne at noen hull i skjørtet (Figur 7) ble observert med undervannskamera og ved å ta opp skjørtet. Disse vil sannsynligvis gi mulighet for at noe fargestoff kryper gjennom i forsøkene. Likevel ble en omfattende vurdering av skjørtets tilstand ikke mulig på grunn av skjørtestørrelsen og forsøkestidsplan.



Figur 7: Hull i skjørtet observert med undervannskamera (høyre) og ved skjørtopptak (venstre).

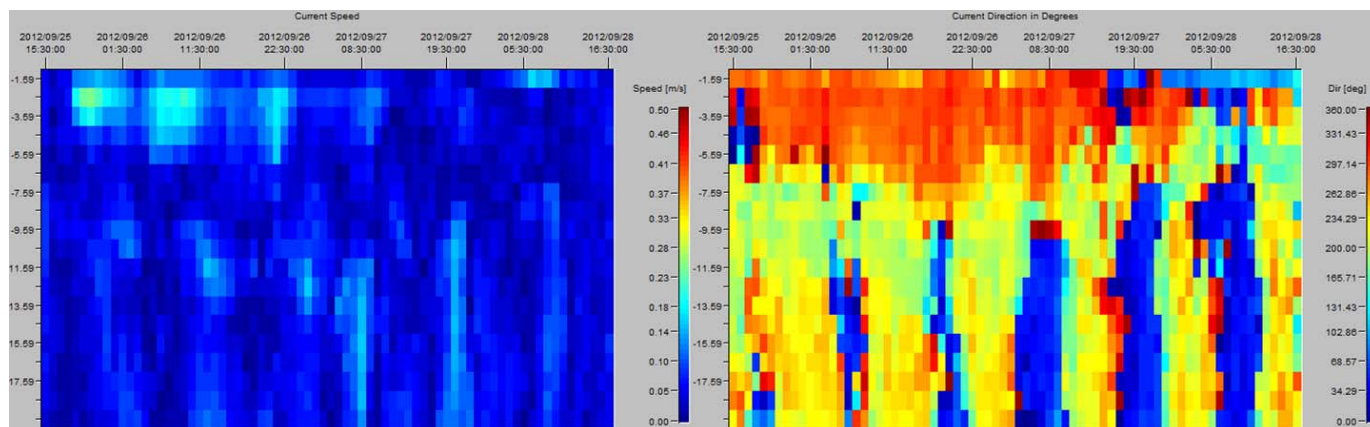
Andre observasjoner i sammenheng med skjørthåndtering ved opptak eller montering ble sammenfattet i presentasjon "Forbedringspotensiale ved skjørtet" og blir brukt som innspill i utvikling av skjørtets nye brukerhåndbok.



Figur 8: Dokumentasjon av skjørtopptak ved fargestoffforsøk på Helligholmen, operasjon tok ca. 1 time.

### 5.1.2 Miljø forhold ved forsøk

Under forsøksuken ble ingen grensesjikt i vannet målt med CTDer. Det vil si det var ingen dybdegradient i temperatur og saltinnhold på anlegget. Vannet var relativt klart og turbiditeten var også nesten konstant i hele dybden ( $\sim 0,5$ FTU).



Figur 9 Dybde-tidsgrafen til strømhastighet og -retning fra profilerende strømmåler (Figur 6)

Figur 9 viser strømprofiler målt med ADCP ved siden av forsøksmerden. I grafen til venstre kan man tydelig se at strømrretningen i det øvre vannsjiktet ( $d < 7,5$ m) ikke er dominert av tidevann like mye som i dypere lag. Antagelig er det en konsekvens av at vannstrømmen er generert av vind. I tillegg er det tydelig at vannhastigheten under forsøket på lokaliteten var maksimalt  $0,25$ m/s, målt på  $2,5$  meters dybde.

## 5.2 Forsøksoversikt

Totalt ble det sluppet ut fargestoff 9 ganger. Fargestoffet ble sluppet ut på innsiden og oppstrøms for merden. De ulike eksperimentene med fargestoffutslipp i merd og skjørt fører til den generelle

konklusjonen om strømningsmønstre som er beskrevet nedenfor i Case A. Forsøkene med fargestoffdispersjonen utenfor merd med montert skjørt viser en mye større variasjon med tanke på effekten av skjørtet på strømningsmønsteret. Denne spredningen er reflektert over i Case B og Case C. Fargestoff ble også sluppet ut oppstrøms for merden uten skjørt (Case Ref). På dette tidspunktet var ikke en drone lenger tilgjengelig, slik at fargestoffspredningen i merden ble dokumentert med kamera fra båttaket.

### 5.3 Strømbilde og strømmålinger

#### 5.3.1 Utslipp i merd

Case A (Figur 10) - Fargestoff ble sluppet ut inne i merden på flere steder (Figur 10, 0:00 min.) Fargestoffet spredte seg nedstrøms (sør sør-vest) og akkumulerte seg i den sørlige delen av merden etter å ha nådd skjørtet. 8:30 minutter etter utslippet vistes fargestoff utenfor merden i nærheten av posisjonen til strømmåleren på posisjonen merket OE i Figur 6 (i bildet i Figur 10 ved båten på merdkanten). Fargestoff dukket også opp på utsiden av merden mot sørvest etter ca. 17:00 min. I dette tidsrommet mellom 8:30min og 21:15 min ble fargeintensiteten i den sørlige delen av merden redusert. Det er naturlig å anta at det er en sammenheng mellom at fargeintensiteten avtar inne i merden og at det vises farge utenfor.

Fargestoff utenfor permaskjørtet vises i en avstand på omtrent 5 meter, noe som antyder en strøm først under skjørtet og deretter oppad. Den vertikale komponenten av strømmen etter at vannet med fargestoff har passert under skjørtet må være av samme størrelsesorden som den horisontale komponenten. Dette skyldes det faktum at dybden på skjørtet og den horisontale avstanden fra skjørtet til posisjonen hvor fargestoffet først ble synlig utenfor merden, begge er omlag 5 meter.

I en påfølgende fase av Case A (Figur 10, 21:15-46:45 min) ble fargestoff sluppet ut nær oppstrømsmerdkanten i merden. Den nå observerte horisontale transporten av fargestoff var mye raskere enn i det forrige utslippet, men den fulgte ikke hovedstrømretningen. I stedet ble det transportert mot midten av merden med en svakt buet bane (se Figur 10, 34:00 min). Dette strømningsmønsteret antyder en dragning mot midten av merden. Slik type dragning kan også forklare det faktum at strømmen i merden er svakere på nedstrøms side og sterkere på oppstrøms side. En forklaring til dette draget mot midten kan være en lavtryksone i midten av fisken som en konsekvens av at de svømmer. Den teorien er diskutert mer detaljert i [GAN12].

Case Ref	Vertikal hastighet	Horisontal hastighet	Retning
IW	0,000	0,026	235
IE	0,002	0,020	193
OW	0,010	0,055	206
OE	0,004	0,029	177

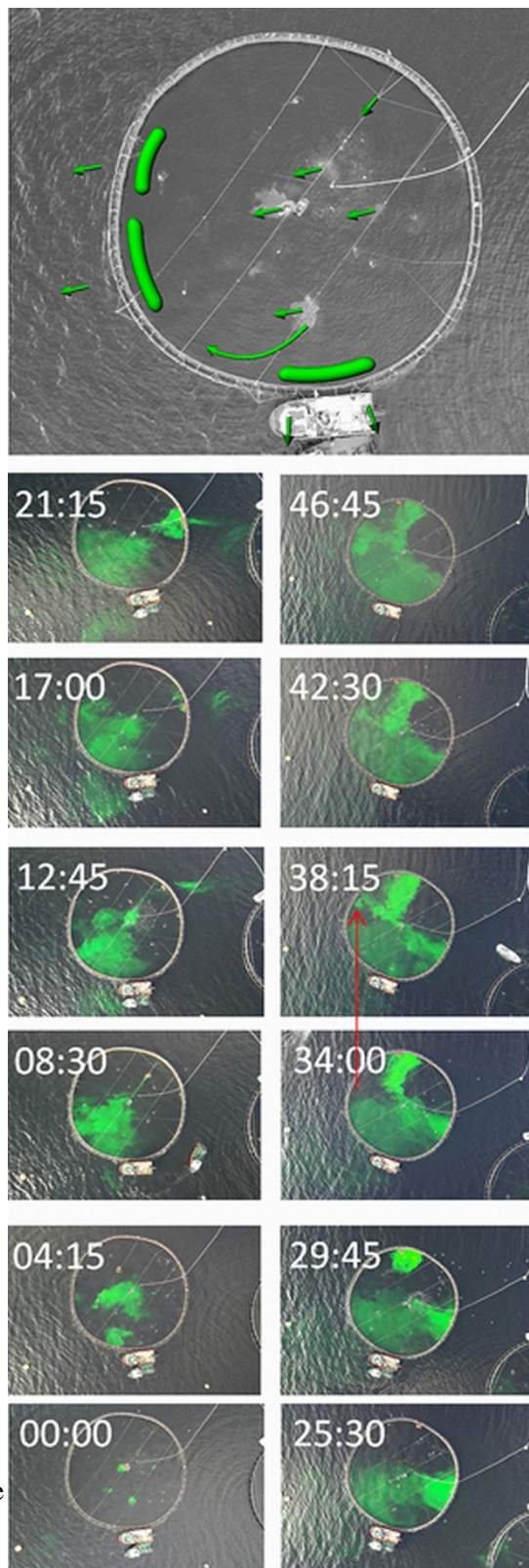
Case A	Vertikal hastighet	Horisontal hastighet	Retning
IW	-0,007	0,019	187
IE	0,003	0,015	263
OW	-0,001	0,041	153
OE	0,005	0,022	238

Case B	Vertikal hastighet	Horisontal hastighet	Retning
IW	0,000	0,011	208
IE	0,018	0,011	310
OW	-0,004	0,131	307
OE	-0,007	0,095	256

Case C	Vertikal hastighet	Horisontal hastighet	Retning
IW	0,026	0,010	126
IE	0,010	0,011	293
OW	-0,010	0,043	98
OE	0,000	0,076	74

Tabell 1: 30min gjennomsnittsverdi av vertikale og horisontale strømkomponenter (m/s) og -retning (grad) målt med de fire Vectorene på ulike steder (Figur 6) i forskjellige Case.

Figur 10: Case A – utslipp i merd på ulike steder og i to faser. Figurserie viser bilder tatt med kamera montert til drone. Bildeserie med 255sek tidsskritt, tauene som krysser merden går nord-sør (~N5°).



38:15 min inn i Case A dukket noe fargestoff opp nær skjørtet (se indikerende pil fra 34:00 min til 38:15 min i Figur 10) i den vestlige delen av merden. Dette fargestoffet ble ikke transportert dit nær overflaten. Således måtte fargestoffet bli transportert horisontalt mot skjørtet i en dybde under siktgrensen for fargestoffet (flere meter under overflaten) og deretter beveget seg opp langs skjørtet. Dette gir en indikasjon på begrensningene for den anvendte metoden for å visualisere strømningsbilder. Bare strømmen i øvre vannlag er observert, mens også dypere lag kan være relevante for å forstå de involverte prosessene.

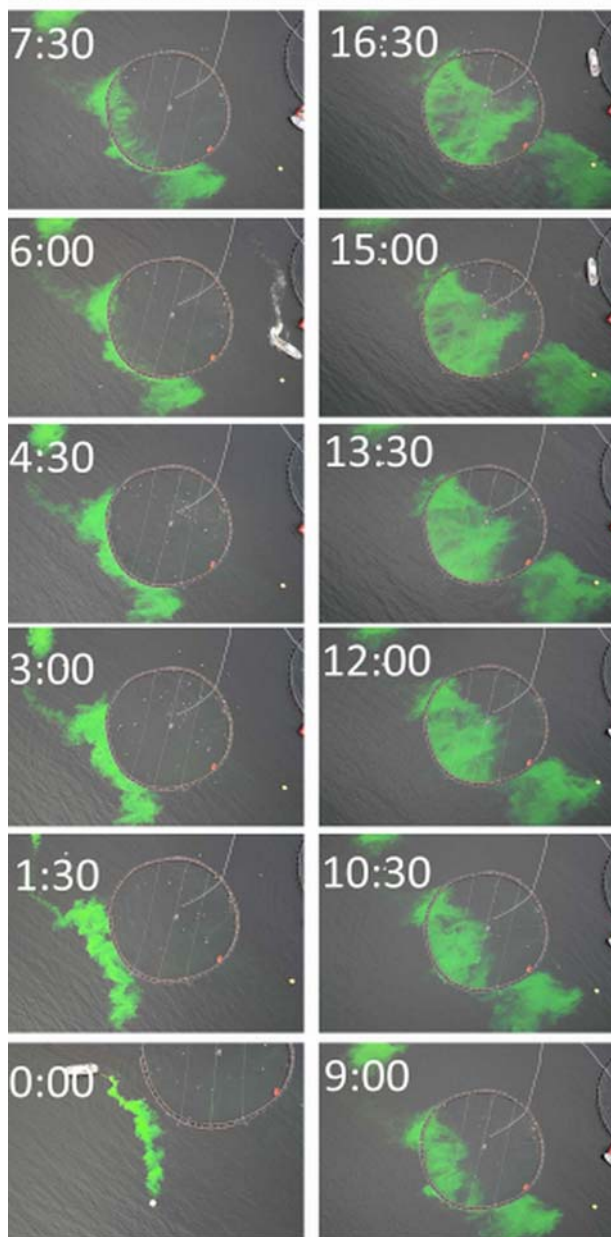
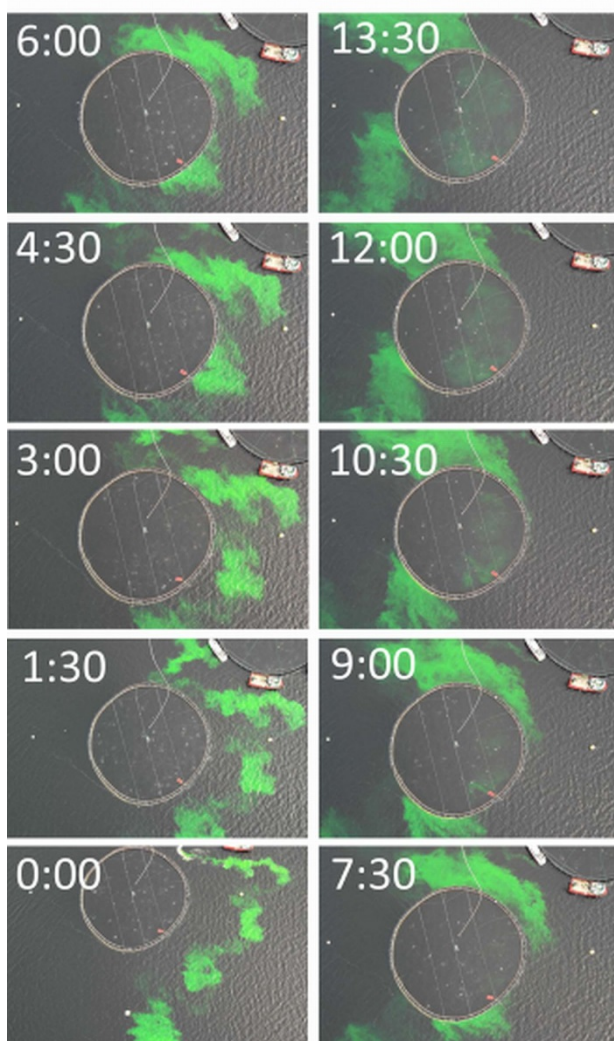
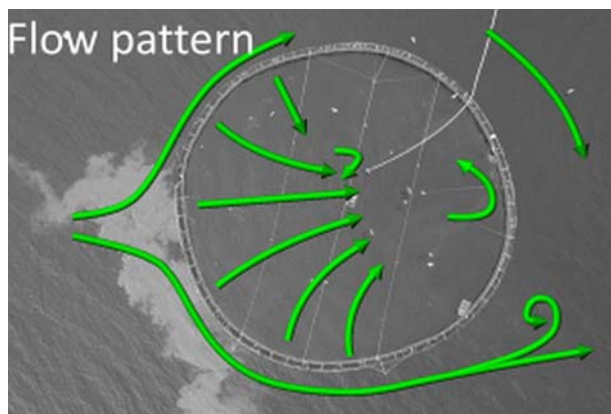
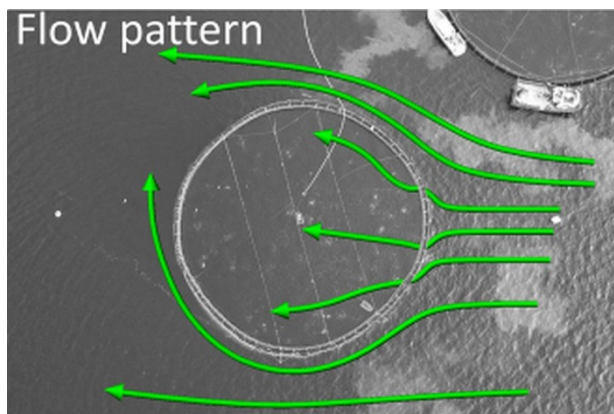
Etter rask fargestoff transport mot merdsentrum i fase 2 av Case A, akkumuleres fargestoff i nedstrømsdelen av merden. Herfra måtte fargestoffet gå ut under skjørtet. Dette utløpet måtte bli kompensert med fargestoff-fritt vann. Det resulterer i en langsom prosess med fargestoff konsentrasjonsreduksjon inne i merden. Fargestoffet var synlig inne i merden i omtrent en time, som var betydelig lenger enn under test uten skjermingskjørt (Case Ref).

### 5.3.2 Utslipp på utsiden

Case B (*Figur 11*) - Fargestoff ble sluppet ut på flere steder oppstrøms fra merden. Fargestoffet ble transportert med den omgivende strømmen mot merden (00:00-03:00 min). Da fargestoffet nådde permaskjørtet (03:00 til 06:00) ble det spredd til begge sider av merden. Dermed blokkerte permaskjørtet strømmen og ledet vannet rundt merden. Stagnasjonspunktet (punktet som ligger ved permaskjørtet hvor vannet ble delt i strøm til begge sider av merden) syntes å være lokalisert i øst-sørøst (høyre side i bildeserien) basert på at fargestoffet sprer seg på dette stedet mellom 04:30 minutter og 06:00 minutter i *Figur 11*. Fargestoffet som ble spredd til forskjellige sider av merden fulgte baner rundt nesten hele merden. Dette indikerer en lavtrykkssone nedstrøms fra merden; i det minste i nærheten av overflaten. Ellers ville man forvente at fargestoffet skilte seg fra permaskjørtet der omgivelsestrømmen er tangentiell til skjørtet.

Fargestoffet har gått ca. 1/4-1/3 av merdens omkrets på 7,5 minutter mellom 04:30 minutter og 12:00 minutter i *Figur 11*. Forutsatt en konstant hastighet i løpet av denne tidsperioden, var hastigheten langs permaskjørtet rundt 0,08 - 0,11 m/s. Dette passer godt med verdier hentet fra hastighetsmålerne utenfor merden (se tabell 1).

Vannet ble ikke bare spredd horisontalt rundt merden; 9:00 minutter ut i forsøket dukket fargestoff opp i den østlige (oppstrøms) halvparten av merden, og fargestoffets intensitet nær overflaten økte med tiden. Dette tyder på en strøm oppover på innsiden av merden. En del av



Figur 11: Case B – utslipp på utsiden med mindre vannutskifting mellom merd og miljø. Bildeserie med 90sek tidsskritt, tauene som krysset merd går nord-sør (~N5°)

Figur 12: Case C – slik som Figur 11 men med større vannutskifting mellom merd og miljø.

overflatevannet i øst utenfor merden var mest sannsynlig tvunget nedover på grunn av blokkering av permaskjørtet (fra 4:30 minutter figur 6). Dette vannet går under skjørtet, kommer inn i merden og strømmer oppover igjen. På grunn av den horisontale komponenten av strømmen kommer ikke vannet opp igjen rett på innsiden av skjørtet, men et stykke på innsiden av merden.

Basert på et grovt estimat ble det meste av fargestoffet sluppet ut i en dybde på omtrent 2,5 meter. Dette fargestoff måtte først strømme 2,5 meter ned til den nedre kanten av permaskjørtet og deretter opp igjen etter å ha passert på undersiden av skjørtet. I tillegg måtte det strømme 2 meter horisontalt fra permaskjørtet mot sentrum i merden. Dette førte til en estimert total lengde på ca. 7m. Dette tok ca. 4:30 minutter (fra 4:30 min til 9:00 min i *Figur 11*), noe som resulterer i en gjennomsnittlig hastighet rundt 0.025m / s. Dette er høyere enn hastigheten målt av hastighetsmålerne inne i merden (tabell 1). Dette er imidlertid et grovt estimat for vann som strømmer langs stagnasjonspunktet, hvor de høyeste vertikale komponenter er forventet. Hastighetsmålerne ble montert på steder med lave vinkler mellom permaskjørtet og hovedstrømretningen, og skal dermed være langt fra stagnasjonspunktet. På slike steder forventer man ikke sterk økning i vertikal strøm på grunn av blokkering.

Case C (*Figur 12*) - Forholdene under forsøkene som er beskrevet i *Figur 12*, var sammenlignbare med de som er beskrevet i Case B. I midlertid var hovedstrømretningen omtrent fra vest, som er en forskjell på omtrent 90° i forhold til strømretningen under case B. Fargestoff ble sluppet ut på en strekning fra nordvest til sørvest oppstrøms fra merden. Fargestoffet ble transportert mot merden i omtrent samme retning som hovedstrømretningen i starten, men strømmen slakket av og endret retning nærmere merden. I samsvar med funnene i Case B, ble noe fargestoff tvunget rundt merden (se *Figur 12*). Men i motsetning til funnene i Case B, ble større mengder fargestoff observert inne i merden etter at fargestoffet nådde permaskjørtet. Fargestoffet må ha blitt transportert under skjørtet og inn i merden. I motsetning til i Case B, dukket ikke fargestoff opp bare i noen meters avstand (nedstrøms) fra skjørtet, men også direkte bak det (*Figur 12*, 6:00 min). Ut ifra fargestoffintensiteten og de fargede områdene i og utenfor merden, virker det som om omtrent halvparten eller enda mer av fargestoffet kom inn i merden. Det betyr at store mengder vann ble tvunget under skjørtet og inn i merden. Dette er ikke bare forskjellig fra observasjonene i Case B hvor det var mindre farge i merden, men også fra de i Case Ref der farge umiddelbart går gjennom nota og blir observert i merden med en gang.



På grunnlag av avstanden fargestoffet ble transportert de første 4:30 minutter under Case B og C, var den horisontale strømningshastighet utenfor merden lavere i Case C. Dette er bekreftet av målinger fra strømmålerne (tabell 1). Målingene viser også sterk strøm oppover inne i merden i Case C, der instrumentene målte sterke vertikale komponenter i strømmen (0.018 m/s på IE og 0.026 m/s på IW). Det bør nevnes at strømmålerne i Case C var montert nærmere stagnasjonspunktet enn i Case B.

Selv om hovedstrømretningen varierte mellom de to forsøkene, var hastigheten utenfor merden ganske lik (sammenlign *Figur 11*, *Figur 12*, tabell 1). Derfor var det forventet å finne lignende strømningsmønstre for begge forsøk, og årsaken til forskjellene i fargestoffmengder inne i merden er uklar. Strømmålerne kan hjelpe med å forstå strømsituasjonen nær skjørtet, men det gir bare en beskrivelse av lokale strømforhold og forklarer ikke hvorfor det ble målt lavere horisontal strømhastighet utenfor merden i Case C sammenlignet med Case B mens mer vann passerte under skjørtet. Og det i motsigelse med en analyse av ytterligere innhentede data under sammenlignbare forhold, som viste en positiv korrelasjon mellom horisontal hastighet utenfor merden og vertikal strøm like bak permaskjørtet.

I tillegg blir fargestoff som kommer inn i merden i Case C transportert i mønstre ikke ulikt de beskrevet i Case A (*Figur 10*). Dvs., fargestoff beveger seg inn i nedstrøms retning og mot merdsenteret. Banene til fargepakker i litt avstand fra stagnasjonspunktet er buet (*Figur 12*). Dette fenomenet ble ikke observert i Case B.

Ut fra dette arbeidet kan det ikke tilbys en fullstendig forklaring på de forskjellige utfallene av tilsynelatende lignende forsøk, men det er sannsynlig at strømningsmønstrene horisontalt langs permaskjørtet og under dets nedre kant ikke bare er avhengig av omgivelsesbetingelser og strømforhold alene.

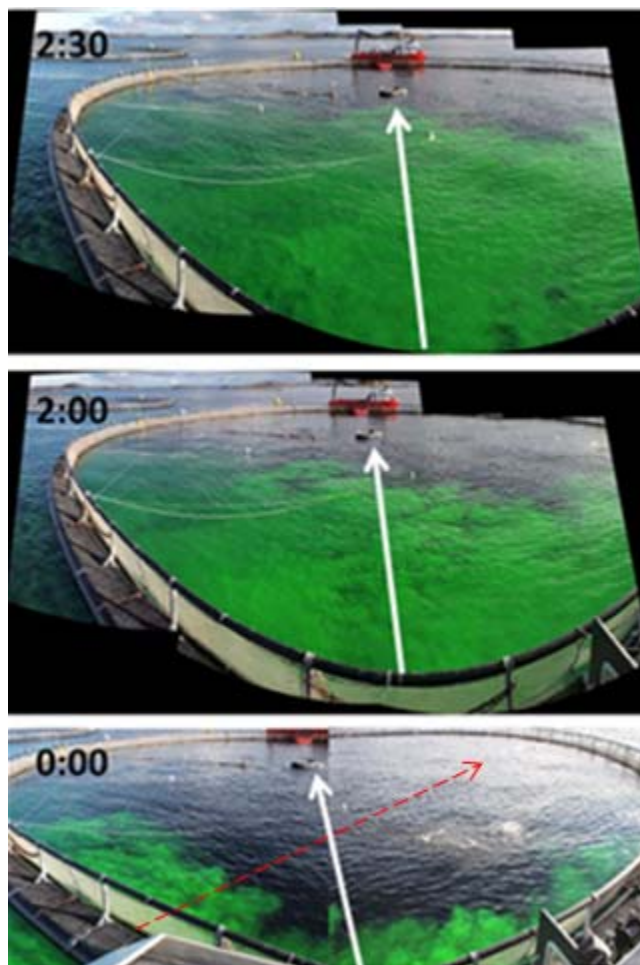
Omtrent 30 minutter inn i Case C syntes fargestoffet å være horisontalt homogent gjennom de øvre meterne av merden. Fargestoffet var synlig inne i merden mer enn 45 minutter etter starten av forsøket. Dette er sammenlignbart med fargestoffets oppholdstid i merden funnet i Case A, spesielt når man tar i betraktning at fargestoffkonsentrasjonen var betydelig høyere i Case A (andre del).

### 5.3.3 Uten skjørt

På siste dagen i eksperimentet ble skjørtet tatt bort og strømningsforhold dokumentert. Strømningsmønstrene rundt og gjennom merder er beskrevet i litteraturen (f.eks. [CHA88],

[FRE05], [JOH07], [RAC08]), men et referansetilfelle (Case Ref.) på samme forsøksmerd, er en vitenskapelig nødvendighet. Derfor ble en stor fargepakke sluppet ut oppstrøms av merden.

Figur 4 viser en del av bildene av fargestofftransporten inn i og gjennom merden uten et skjermingsskjørt. Det ble ikke observert en blokkering av nettet og fargestoffet gikk gjennom nettet uten en sterk retningsendring. Imidlertid strømmet fargestoffet ikke rett gjennom merden i hovedstrømretningen, men ble delvis trukket mot senteret (se Figur 13). Observert strømningshastighet var høyest i oppstrømshalvparten av merden langs senterlinjen i hovedstrømretningen. Selv om fargestoffet nådde midten av merden innen 3 minutter etter å ha passert nota, var det fremdeles synlig fargestoff inne i merden i over 30 minutter etter det siste fargestoffet kom inn.

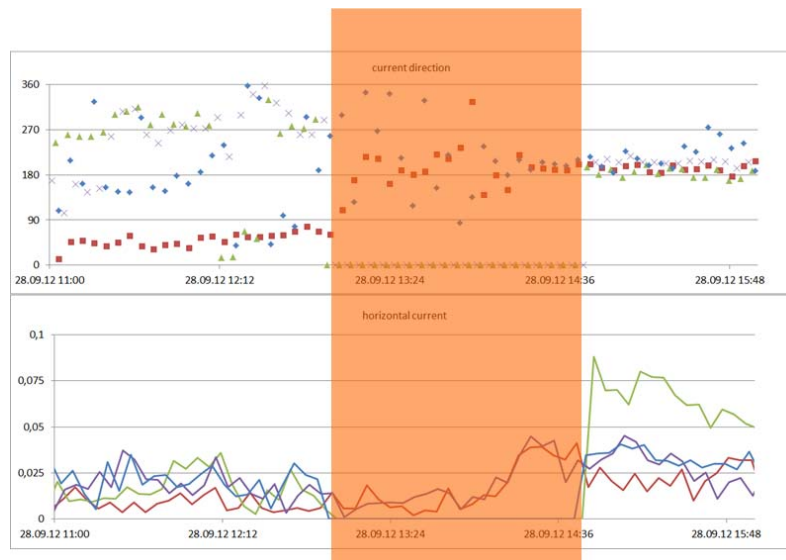


*med angitte tidspunkter i minutter; hvite piler indikerer linje fra opptaksposisjon mot merdsenter, rød stippet linje observert hovedstrømretning.*

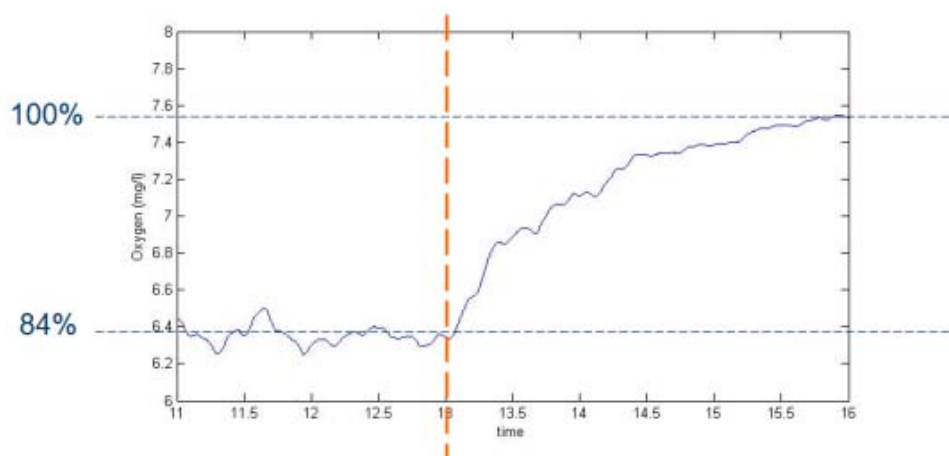
#### 5.4 Skjørtedemontering

Mens skjørtet ble demontert ble to parametere målt. Strømmen ble målt med Vectorer og er vist i Figur 15. Med hensyn til sikkerheten ble de to instrumentene som stod på utsiden tatt bort under demontering. I Figur 15 ser man dette i den transparent-rød tidsperioden hvor strøm og hastighet for to instrumenter er null. Sammenligner man de to tidsrommene før og etter at skjørtet ble tatt bort finner man ulike strømnings situasjoner. Det første man legger merke til er at den horisontale strømhastigheten har økt signifikant på alle fire målesteder. I tillegg er det tydelig at all strøm går i samme retning på slutten, mens de derimot går i ulike retninger på begynnelsen. Dvs. at fjerningen av skjørtet førte til et mye mer homogent strømningsfelt. Dette var forventet fra tidligere diskusjoner av måledata og bildeserier, men dette beviser at skjørtet påvirker strømmen. Et tidligere eksperiment [STI12] har sett på oksygenforhold i merd med skjørt og fant en betydelig reduksjon på oksygenkonsentrasjon som blir tolket som et

resultat av mindre vannutskifting i merdvolumet. Denne effekten skjørtet har på oksygenforholdene i en merd med fisk ble også observert da skjørtet ble fjernet Figur 15 viser hvordan oksygenivået økte etter at skjørtet ble tatt bort. I dette forsøket ble en oksygenreduksjon på 16 % som gjennomsnitt av fire profilerende oksygenmålinger (dybde 0,25-5m) funnet. Denne påfølgende observerte økningen er tolket som en konsekvens av en mindre tidsperiode vannet er "utsatt" mot fiskens oksygenforbruk.



Figur 14: Måledata fra de fire Vectorene, strømretning i grad (øverst) og hastighet i m/s (nederst). Transparent-rød tids rom skjørtes demontasje vart gjennomført. Derfor de to Vectorer på utside bli tatt ut av vannet levere de ingen data i dette tidsperiode.



Figur 15: Oksygengjennomsnitt (4 CTD med O2-sensoren) i merd, oransje linje vise viser tidspunktet da demontering av skjørtet begynte. Hvis man gar ut fra at på slutten (16h) blitt omgivelses oksygenivåa nadd i merd, så kan man si at det var bare 84% av mulig oksygenforhold observert da skjørtet ble montert.

Dvs. en økning i strømhastighet eller en kortere tid for vannet gjennom merden som vil resultere i en kortere tidsperiode fisken konsumerer oksygen fra vannet, ergo høyere oksygennivå i merden. Økt hastighet og en mer homogen strømrøtning ble målt etter at skjørtet ble demontert (Figur 14). I tillegg viser observasjoner av strømningsbilder og tidsmålinger med og uten skjørt at den gjennomsnittlige oppholdstiden for vannet i merden er mye mindre etter at skjørtet ble demontert. Dette er forventet å være årsaken til den observerte oksygenøkningen.

## 6 Konklusjon

Et skjermingsskjørt kan ha en betydelig innvirkning på strømmønsteret gjennom og rundt oppdrettsmerder. Denne studien viser at et ugjennomtrengelig skjørt kan resultere i strømningsdempning og avbøyning for de første meterne under overflaten. Vann ble delvis tvunget rundt merden, og dermed ble det strømmet langs skjørtet. Resultatene tyder også på et trykkfall på nedstrømssiden 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, men uten skjørt.

Fiskens bevegelse inne i merden kan ha en innvirkning på strømningsmønstre for overflatevann inne i en merd.

Vann som strømmet mot en merd med skjermingsskjørt 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. Dette vil føre til et trykkfall bak skjørtet, som kan føre til vertikal strømning mot overflaten. 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.

To tilsynelatende lignende tester resulterte ga ulike strømningsmønstre. I begge tilfeller ble vannet omdirigert horisontalt og vertikalt, men forholdet mellom fargestoff som ble tvunget rundt merden og fargestoff som kom inn i merden var svært forskjellig. Mange faktorer kan påvirke strømmen rundt og gjennom merdene og bare få av dem ble fulgt i denne studien. Selv om noen faktorer kan antas konstant gjennom forsøkene (f.eks. fisk, biomasse, netto soliditet), kan andre ha vært svært variable (f.eks. strømningsforhold på steder rundt om i merden som ikke ble overvåket og relaterte effekter fra nabomerder, fiskeadferd, merd- og skjermingsskjørtdeformasjon) og kunne

ha påvirket resultatene betydelig. Men funnene fra denne studien gir innsikt i noen effekter av et ugjennomtrengelig skjermingsskjørt på strømmen rundt og igjennom merdene.

Det ble vist at utveksling av vann innenfor de øvre få meter reduseres når et skjermingsskjørt er anvendt, og resultatene kan bidra til å utføre bedre beregningsmessige studier på bestemte effekter av bruk av ugjennomtrengelig skjørt rundt merdene.

Denne studien fokuserer på strømningsendringer som følge av anvendelsen av et skjermingsskjørt og ingen konklusjoner er trukket på virkningen av skjørtet for å redusere lakselus. Derfor er det også vanskelig å gi detaljerte informasjon om oksygenforhold i merder med skjørt. Hvis man vil se på individuell eller populasjonens oksygenopplevelse er vannstrøm, fiskens størrelse, antall, størrelsesfordeling og bevegelsesmønstre i merden like relevant. Dette vil variere sterkt med lokaliteter og det vil også skjørtets påvirkning på oksygenforholdene. Uansett kan man forvente at skjørtet vil føre til redusert vannutskifting i deler av merdvolumet og redusere oksygeninnholdet i vannet pga. fiskens oksygenforbruk.

## 7 Videre arbeid

Eksperimentene dokumenter, basert på de ulike casene, hvordan et skjørt kan påvirke strømbildet i og rundt en merd. Imidlertid gir ikke forsøket entydig svar på hvor mye vann som vil bli skiftet ut mellom merd og miljø. Tvert imot viser resultatene at det er en sterk avhengighet av miljøforhold, for strøm som kommer mot en merd med skjørt. Derfor er det ikke mulig å gi en prognose for skjerming mot lus på de ulike steder. For å evaluere denne effekten av skjørtet er statistikk basert på de ulike lusetallene på flere lokaliteter nødvendig. Å dokumentere effekten av skjørtet på lusetall per fisk er et mål i aktivitet 4.

I tillegg viser tidligere studier og oksygenverdier i dette forsøket at oksygenforholdene forventes å bli påvirket av skjørtet. Derfor er det mål å lage basiskunnskap om denne effekten og mulige tiltak, slik at i langtidsforsøket (Aktivitet 4) skjørt kan bli montert også på lokaliteter med krevende oksygenforhold. Her er simulasjoner av oksygenforbruk og ulike oksygeneringstiltak under utvikling.

## 8 Referanser

[CHA88] Chacon-Torres, A., L. G. Ross, et al., 1988 . The effects of fish behaviour on dye dispersion and water exchange in small net cages. *Aquaculture* 73(1-4): 283-293.

[FRE05] Fredheim, A., 2005. Current forces on net structures. NTNU Department of Marine Technology, Faculty of Engineering Science and Technology. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology, Doctoral theses at NTNU; 2005:64.

[GAN12] Gansel, L., Rackebrandt, S., Oppedal, F., McClimans, T.A., 2011. Flow fields inside stocked fish cages and the near environment. *J. Offshore Mech. Arct. Eng.* accepted April 10 2012.

[JOH07] Johansson D, Juell J.E., Oppedal F., Stiansen J.E. et al. 2007. The influence of the pycnocline and cage resistance on current flow oxygen flux and swimming behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*L.) in production cages. *Aquaculture* 265, 271-287.

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

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

[NS09] Standard Norge, 2009, Norwegian standard NS 9415.E:2009. Marine fish farms - requirements for site survey, risk analyses, design, dimensioning, production, installation and operation. Standard Norge, Lysaker.

[RAC08] Rackebrandt, S., 2008. Water flow in and around fish cages. Report, Norwegian University of Science and Technology, Norway 28.

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