

2020:00646 - Åpen

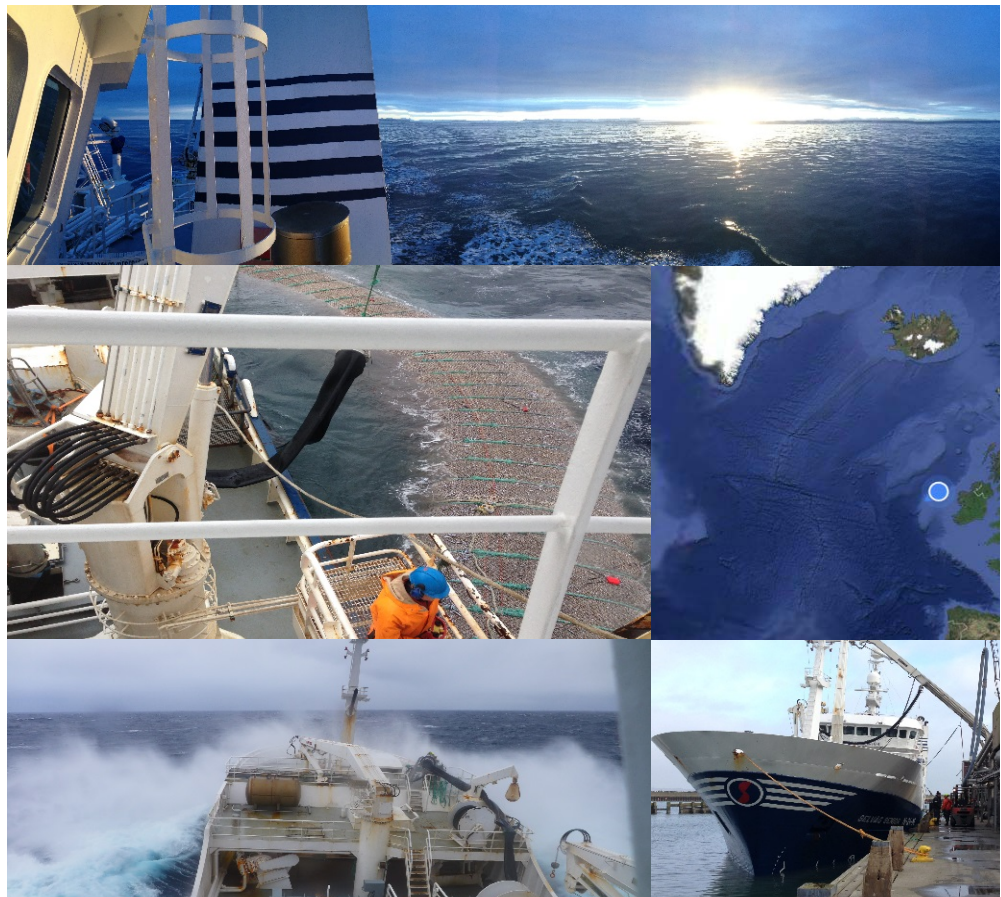
# Rapport

## Optimal kjøling av pelagisk fisk

Faglig sluttrapport

### Forfatter(e)

Tom Ståle Nordtvedt  
[Co-Authors]



SINTEF Ocean AS

2020-06-25

SINTEF Ocean AS

Postadresse:  
Postboks 4762 Torgarden  
7465 Trondheim

Sentralbord: 46415000

Foretaksregister:  
NO 937 357 370 MVA

# Rapport

## Optimal kjøling av pelagisk fisk

### Faglig sluttrapport

<b>RAPPORTNR</b> 2020:00646	<b>PROSJEKTNR</b> 302003096	<b>VERSJON</b> [Version]	<b>DATO</b> 2020-06-25
--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	---------------------------

**EMNEORD:**Pelagic fish, Chilling,  
sirkulation**FORFATTER(E)**  
Tom Ståle Nordtvedt  
[Co-Authors]**OPPDRAGSGIVER(E)**  
C-Flow

<b>OPPDRAGSGIVERS REF.</b> Mats Augdal Heide	<b>ANTALL SIDER OG VEDLEGG:</b> 14 + vedlegg
---	---

<b>GRADERING</b> Åpen	<b>GRADERING DENNE SIDE</b> Åpen	<b>ISBN</b> 978-82-14-06544-2
--------------------------	-------------------------------------	----------------------------------

**SAMMENDRAG**

Denne sluttrapporten er for prosjektet "Optimal kjøling av pelagisk fisk", finansiert av NFR (269253) og FHF (901373).

Den overordnede idéen var å forbedre kjølingen av pelagisk fisk i to store lagringstanker ombord i tråleren Selvåg Senior. Fra resultatene av dette skulle generelle konklusjoner trekkes som kunne være til nytte for hele næringen. I dag er det stor variasjon av hvordan kjølesystemene ombord i pelagiske fiskebåter er bygd opp og driftes.

Det har vært gjennomført arbeid med å utvikle en reguleringsmodell for kjøleanlegget slik at kapasiteten på kjøleanlegget utnyttes ved nedkjøling av lasten. Simuleringer med reguleringsmodellen er sammenlignet med resultater fra tokt og viser god overenstemmelse.

CFD-simuleringer av dagens tanker i Selvåg Senior har vært brukt til å se på ulike løsninger som vil kunne forbedre sirkulasjonen i RSW-tanker generelt.

**UTARBEIDET AV**  
Tom Ståle Nordtvedt**KONTROLLERT AV**  
Kristina Norne Widell**GODKJENT AV**  
Kirsti Greiff

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBESKRIVELSE
2	2020-09-24	2. versjon

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Sammendrag</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Problemstilling og formål</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Prosjektgjennomføring</b> .....	<b>8</b>
4.1	Konseptutvikling av instrumentering i tank. ....	8
4.1.1	Resultater og leveranser .....	8
4.2	Konseptutvikling av kjøleløsninger i tank .....	9
4.2.1	Resultater og leveranser .....	9
4.3	Drift og styring av kjølesystemer .....	10
4.3.1	Resultater og leveranser .....	10
4.4	Designverktøy .....	11
4.4.1	Resultater og leveranser .....	11
<b>5</b>	<b>Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon</b> .....	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Hovedfunn</b> .....	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Leveranser</b> .....	<b>14</b>

## BILAG/VEDLEGG

---

[Skriv inn ønsket bilag/vedlegg]

---

## 1 Sammendrag

Den overordnede ideen var å forbedre kjølingen av pelagisk fisk i to store lagringstanker ombord i ringnot/tråler Selvåg Senior. Fra resultatene av dette har det blitt trukket noen generelle konklusjoner til nytte for hele næringen. I dag er det stor variasjon i hvordan kjølesystemene ombord i pelagisk flåte er bygd og driftes.

I 2018 ble det installert et sanntids målesystem for temperatur og massestrøms overvåkning i to identiske tanker om bord. Med dette var det mulig til enhver tid å ha oversikt over temperaturforholdene i tankene. I tillegg har det blitt gjennomført en ombygging av utløpsmulighetene i en av tankene. Resultatene fra ulike kolmulelaster med forskjellig strømming har vist at det er mulig å forbedre kjølingen slik at lasten hadde en fisketemperatur på 2 °C eller lavere ved lossing.

Det har vært gjennomført arbeid med å utvikle en reguleringsmodell for kjøleanlegget slik at kapasiteten på kjøleanlegget utnyttes ved nedkjøling av hele lasten. Simuleringer med reguleringsmodellen er sammenlignet med resultater fra tokt og viser god overenstemmelse.

CFD-simuleringer av dagens tanker i Selvåg Senior har vært brukt til å se på ulike løsninger som vil kunne forbedre sirkulasjonen i tankene. Resultatene viser at for RSW-tanker bør innløpsvann fra innløpsrør nært bunn bør rettes nedover for god gjennomstrømming (og kjøling) nært bunn, i tillegg til jevnere hastighetsfordeling i horisontale tverrsnitt i område over innløpsrør.

For å unngå store hastighetsvariasjoner i øvre del av tank bør utløp spres over tverrsnitt, f.eks. gjennom å koble system av utløpsrør sammen med sigar.

En avrunding i overgang mellom bunn og langsivegg bør legges inn for økt gjennomstrømming og kjøleeffekt langs langsivegg nært bunn

For design av to tanker med ulik størrelse fås lignende strømningsforhold inne i tank når volumstrøm skaleres med forhold mellom horisontalt tverrsnittareal for tankene:

$$Q_2 = Q_1 \frac{A_2}{A_1}$$

hvor  $A_1$  og  $A_2$  er tverrsnittareal for respektive tank 1 og tank 2, og  $Q_1$  og  $Q_2$  er tilsvarende volumstrøm for de to tankene.

Resultater fra prosjekt er blitt presentert i Tekfisk, prosjektet er presentert ved WEFTA 2018 i Lisboa, et manuskript er publisert under den internasjonale kjølekongressen i Montreal høsten 2019, en Key Note presentasjon under ICCO 2020 i Nantes, Frankrike, og et journal paper har blitt sendt til Journal of Refrigeration i 2020.

## Summary

The main objective was to improve the chilling of the pelagic fish in two large storage tanks on board the purse seiner/trawler *Selvåg Senior*. From the results of this, general conclusions to benefit the whole industry was prepared. Today there is a large variation in how the chilling systems onboard the pelagic fleet are built and operated. In 2018, a real-time measurement system for temperature and mass-flow monitoring was installed in two identical tanks on board. With this it was possible at any time to keep track of the temperature conditions. In addition, a modification of the suction side was carried out in one of the tanks. The results of different blue whiting cargos have shown that it is possible to improve the cooling, in this case, the fish in the modified had a temperature of 2 °C lower at unloading.

Work has been carried out to develop a regulation model for the cooling system so that the capacity of the cooling system is utilised by optimizing cooling of the entire load. Simulations with the regulation model was compared to results from cruises and shows good compliance.

CFD simulations of today's tanks in *Selvåg Senior* have been used to look at various solutions that will be able to improve circulation. The results show that for RSW tanks, inlet water from inlet pipes close to the bottom should be directed downwards for good throughput (and cooling) near the bottom, as well as more even velocity distribution in horizontal cross-sections in the area above inlet pipes.

To avoid large speed variations in the upper part of the tank, outlet should be spread over cross-section, e.g. by connecting system of discharge pipes together with cigar.

A rounding in the transition between bottom and long side wall should be inserted for increased throughput and cooling effect along the long side wall near the bottom

For the design of two tanks of different size, similar flow ratios are available inside the tank when volume flow scales with the ratio of horizontal cross-section area for the tanks:

$$Q_2 = Q_1 \frac{A_2}{A_1}$$

where  $A_1$  and  $A_2$  is cross-sectional area for respective tank 1 and tank 2, and  $Q_1$  and  $Q_2$  are corresponding volume currents for the two tanks.

Results from the project have been presented in *Tekfisk*, the project was presented at WEFTA 2018 in Lisbon, a manuscript was published during the International Cooling Congress in Montreal in autumn 2019, a Key Note presentation during ICC 2020 in Nantes, France, and a journal paper was submitted to the *Journal of Refrigeration* in 2020.

## 2 Innledning

Denne sluttrapporten er for prosjektet "Optimal kjøling av pelagisk fisk", finansiert av NFR (269253) og FHF (901373).

Den overordnede idéen var å forbedre kjølingen av pelagisk fisk i to store lagringstanker ombord i Selvåg Senior. Fra resultatene av dette skulle generelle konklusjoner trekkes som kunne være til nytte for hele næringen. I dag er det stor variasjon av hvordan kjølesystemene ombord i pelagiske fiskebåter er bygd opp og driftes.

Målet med prosjektet var å øke kompetansen på kjøling av pelagisk fisk ombord i fiskefartøy. I prosjektet har man kommet frem til teknologi, utstyr og metoder som sikrer jevnere kjøling enn det man i gjennomsnitt har i tråleren Selvåg Senior og to av dennes kjøletanker. Tankene gir i dag ikke jevn nok kjøling av lasten og man har derfor testet ut løsninger som forbedrer dette. Den ene tanken er bygget om og den andre har blitt brukt som referanse. I prosjektet har man brukt sild og kolmule som arter i forbindelse med tokt. Erfaringsmessig er det arter som gir de største utfordringene.

I tidligere prosjekt i regi av FHF har man sett at kjøletankene kan utformes annerledes for å få bedre strømning, men hvordan det gjøres på en kostnadseffektiv måte må undersøkes, slik at det er tilgjengelig for flere båter, både eksisterende og nybygg. Innløp og utløp av kjølevann har stor betydning for hvor god kjølingen er og optimal plassering og utforming av de er undersøkt. Kuldeanlegget er en viktig del av kjølingen og integrering av dette er sentralt, ikke bare for å få god kvalitet på produktet, men også for å få optimal energibruk. I prosjektet er det undersøkt hvilke styringsmodeller som kan anvendes for kuldeanlegget og vannstrøm.

## 3 Problemstilling og formål

Cflow Fish Handling AS er en leverandør av nøkkelferdige totalløsninger for fiskehåndtering. De leverer mye utstyr til den pelagiske fiskeflåte. Gjennom dette prosjektet vil man forbedre systemer for kjøling ombord slik at man har kontroll på lasten fra den kommer ombord til den losses på land. Gjennom numeriske simuleringer og påfølgende feltmålinger ombord vil man kvalitetssikre de strømningstekniske løsninger slik at skipper ombord til enhver tid har kontroll på temperatur og mengde ombord.

Cflow, Skipsteknisk og Øyangen AS skulle gjennom dette prosjektet kunne designe RSW tanker som har optimal utforming med tanke på god strømningsteknisk løsning samtidig som er tilpasset skrogform og plassutnyttelse. Prosjektet vil også gi designkriterier for formgivning av innløp, utløp, samt utvikling av reguleringsteknikk og overvåking/måleteknologi.

Sørheim Holding eier båten Selvåg Senior som er partner i prosjekt og har blitt brukt som utviklingsfartøy i dette prosjekt. Rederiet har fått førstehånds kunnskap og utstyr for å forbedre sirkulasjon og kjøling i sine eksisterende tanker og fremtidige tanker i nye båter.

Gjennom prosjektet har Cflow, Skipsteknisk og Øyangen AS befestet sin stilling som utstyrsleverandør til pelagiske båter samt mulighet til å få nye kunder. Den norske flåten består av ca. 80 ringnotsnurpere, 30 industritrålere og kanskje 100 kystfartøy med RSW tanker som kan være potensielle kunder, men i tillegg har man båter fra de andre landene rund nordsjøbassenget slik at kundegrunnet er mye større. Resultatene fra prosjektet har gjort leverandørene Cflow, Øyangen og Skipsteknisk mer attraktive i konkurranse med utenlandske konkurrenter og på sikt øke omsetningen.

Forventede resultater av dette prosjektet har bidratt til verdiskaping hos leverandører og deltakende rederier gjennom:

- Nye løsninger for kjølevannfordeling til tanker og drift av disse
- Optimalisering av kvaliteten på fangsten fram til levering.
- Optimalisering av energibruk.
- Bedre utnyttelse av lastekapasitet.

Selvåg Senior har, som deltakende båt, først fått tilgang på nyvinningene fra dette prosjektet. Gjennom bedre kjøling kan man få bedre kvalitet på landet fangst samtidig som man får mer tid på seg for å fylle fiskekvoten. Det har gitt verdifull kunnskap i forbindelse med planlegging av ny båt.



## 4 Prosjektgjennomføring

### 4.1 Konseptutvikling av instrumentering i tank.

Tabell 1:

<b>Hovedaktivitet 1:</b> Konseptutvikling av instrumentering i tank.
<b>Målsetning:</b> Spesifisere og implementere en hensiktsmessig og effektiv instrumentering i tank.
<b>Faglig innhold:</b> I en tank med både sjøvann og fisk vil man ha utfordringer med å sette opp en vannsirkulasjon som sørger for å omfatte hele lasten. Tankutforming, inn og utløp og ulike spant vil sørge for forstyrrelser. Ved å spesifisere hvilke typer målesensorer og hvor de bør plasseres vil man kunne gjennomføre målinger i felt som kan danne grunnlag for numeriske modeller i H4 og input til H3.
Aktivitet 1.1: Gjennomføre en ideworkshop hvor alle deltar for å avdekke ulike løsninger.
Aktivitet 1.2: Dokumentere og sammenstille ideer slik at de kan prioriteres.
Aktivitet 1.3: Prioritere og velge løsninger som skal implementeres i to av tankene til Selvåg Senior.
Aktivitet 1.4: Gjennomføre installasjon i tankene.
Aktivitet 1.5: Gjennomføre et tokt hvor data registreres.
Aktivitet 1.6: Dokumenter og konkludere aktiviteten
Leveranser: Presentasjon(L1.1) og notat (L2.2) om styrende parametre. M1 Presentasjon av parameteroversikt
FoU innhold: Industriell forskning
Partnere: <b>Cflow</b> , Skipstekniske, SINTEF, Sørheim Holding, Øyangen AS

#### 4.1.1 Resultater og leveranser

Alle aktivitetene er gjennomført og rapportert. Det er gjennomført to tokt på kolmule, og et tokt på sild, hvor to forskere fra SINTEF Ocean deltok høsten 2019.

*Leveranser:*

- *Presentasjon: Styrende parametre i RSW tanker*
- *Notat\_styrende parametre\_ Optiskjøl.*
- *Presentasjon under WEFTA 2018*

## 4.2 Konseptutvikling av kjøleløsninger i tank

Tabell 2:

Hovedaktivitet 2: Konseptutvikling av kjøleløsninger i tank
<p><b>Målsetning:</b> Komme frem til fysisk arrangement i tank som kan forbedre kjøling i tank.</p> <p><b>Faglig innhold:</b> Fra H1 vil man få informasjon om hvilke parameter som må kontrolleres. Gjennom utprøving i felt (fiskebåt) vil man kunne verifiser de tiltak (som f.eks pulsbløsing av luft eller vann) man har kommet frem til gjennom simuleringer og workshops.</p> <p>Aktivitet 2.1: Gjennomføre en ideworkshop hvor alle deltar for å avdekke ulike løsninger.</p> <p>Aktivitet 2.2: Dokumentere ved simuleringer og enkle laborietester ideer slik at de kan prioriteres.</p> <p>Aktivitet 2.3: Prioritere og velge løsninger som skal implementeres i to av tankene til Selvåg Senior. Lage underlag og konstruksjonstegning for bygging</p> <p>Aktivitet 2.4: Gjennomføre installasjon i to av tankene til Selvåg Senior.</p> <p>Aktivitet 2.4 a): Installasjon for utstyr til luftinnblåsing i tanke for om mulig gi økt sirkulasjon og gjevnere nedkjøling.</p> <p>Aktivitet 2.5: Gjennomføre testtokt med Selvåg Senior hvor en tank har implementert strømningstiltak mens en identisk tanke ikke har det.</p> <p>Aktivitet 2.6: Gjennomgang av resultater og utarbeidelse av tiltaksoversikt. Hva er mulig i eksisterende skrog og hva kan gjøres i nye.</p>
Leveranser: Rapport (L 2.1) Strømningstekniske tiltak og driftsprosedyrer. M 2 Strømningstekniske tiltak og driftsprosedyrer.
FoU innhold: Industriell forskning
Partnere: Cflow, Skipstekniske, <b>SINTEF</b> , Sørheim Holding, Øyangen AS

### 4.2.1 Resultater og leveranser

Det har vært gjennomført arbeidsmøter hvor ulike løsninger har blitt diskutert. I Selvåg Senior har det blitt installert løsninger for å endre på suget fra tank SB3. Under toktene har dette blitt utprøvd med godt resultat.

Det har blitt innhentet og evaluert resultater fra installerte loggere om bord i Selvåg Senior fra kolmulefangstene våren 2019. Det er gjennomført et tokt med Selvåg Senior oktober/november 2019 hvor det ble fangstet sild. Temperatur data for fisk og vann fra kuldeanlegget ble innhentet.

Det har vært gjennomført møter og diskusjoner med CFlow og Skipsteknisk i forbindelse med utarbeidelse av et notat om erfaringer ved tankdesign.

#### Leveranser

- *Presentasjon av tokt kolmule 2019. – (Kolmule 5.- 9. april 2019)*

- Notat erfaringer RSW-tanker
- Prosjektnotat Strømningstekniske tiltak og driftsprosedyrer.
- Toktrapport Sild 2019
- Publikasjon på ICR 2019
- Oppslag i Tekfisk

### 4.3 Drift og styring av kjølesystemer

Tabell 3:

Hovedaktivitet 3: Drift og styring av kjølesystemer
<p><b>Målsetning:</b> Forbedre kjøling ved endring av drift og sirkulasjonsarrangement</p> <p><b>Faglig innhold:</b> Ved lasting av fisken er det viktig å starte nedkjølingen umiddelbart. Ved å introdusere løsninger som sikrer dette ved ethvert fiske vil man ha et mye bedre grunnlag for å sikre god kjøling i transportfasen etter at fiske er avsluttet. Det samme gjelder lossingen som avhengig av lossested kan ta mange timer og påfører lasten unødig varmebelastning. Nye installasjoner ombord kan gi nye driftsmønstre, hvilket må evalueres. For å ha god kontroll over tilstanden til fisken i lastetankene er man avhengig av å ha et godt system for målinger av temperaturene i tankene. Man vil utvikle et system og plassering av målesensorer slik at man kan ha oversikt over temperaturutviklingen i hele lasten. Gjennom et slikt system vil man kunne styre hvorledes RSW systemet skal driftes.</p> <p>Aktivitet 3.1: Workshop med gjennomgang av driftsrutiner og idemyldring for hvordan de kan endres med bakgrunn i resultater fra H1 og H2.</p> <p>Aktivitet 3.2: Lage et dokumentasjonsunderlag for resultatene fra aktivitet 3.1.</p> <p>Aktivitet 3.3: Identifisere og implementere de mest lovende tiltak fra aktivitet 3.1 og 3.2. Dette vil bli testet ut ombord Selvåg Senior for å verifisere at temperaturen i tankene kan styres.</p> <p>Aktivitet 3.4: Konkludere og rapportere hvilke driftsrutiner man bør ha for sild og kolmule.</p>
Leveranser: Presentasjon (L3.1) av resultater
FoU innhold: Industriell forskning
Partnere: <b>Cflow</b> , Skipstekniske, SINTEF, Sørheim Holding, Øyangen AS

#### 4.3.1 Resultater og leveranser

Det har vært gjennomført arbeidsmøter med Øyangen og Cflow og man har diskutert ideer for hvordan RSW anlegget skal kunne automatiseres. Det er laget en plan for hvordan dette skal gjøres om bord i Selvåg Senior. Det har blitt installert energi og flowmåler ombord slik det er mulig å styre vannstrømmen om bord. En reguleringsmodell er blitt utviklet og er beskrevet i eget notat.

##### Leveranser

- Notat som beskriver styrings/automatisering muligheter for kuldeanlegget.(Notat-fordeling av flow)

## 4.4 Designverktøy

Tabell 4:

Hovedaktivitet 4: Designverktøy
<p><b>Målsetning:</b> Utvikle en numerisk modell som skal omsettes til et forenklet designverktøy</p> <p><b>Faglig innhold:</b> I dette prosjektet vil man tilegne kunnskap om drift av lastetankene ombord i et pelagisk fartøy. Dette vil brukt til for å kunne legge grunnlaget for å lage et forenklet designverktøy for nye fartøy. Man vil kunne få svar på om hvordan inn og utløp bør plasseres for ulike geometriske tankformer og om eventuelle strømningsstekniske tiltak bør implementeres.</p> <p>Aktivitet 4.1: Sette opp en numerisk modell basert på informasjon innhentet i de andre hovedaktivitetene.</p> <p>Aktivitet 4.2: Verifikasjon av numerisk modell</p> <p>Aktivitet 4.3: Omsette numerisk modell til forenklet designverktøy utvikling av nybygg.</p>
Leveranser: Presentasjon (L3.1) av resultater
FoU innhold: Industriell forskning
Partnere: Cflow, Skipstekniske, <b>SINTEF</b> , Sørheim Holding

### 4.4.1 Resultater og leveranser

Simulering av variasjoner i dagens tank design på Selvåg Senior er gjennomført. Design med nedoverrettede innløpshull og stengt rist gir det mest uniforme strømningsforhold av testede Selvåg Senior designversjoner. Nedoverrettet strømnings fra innløpsrør setter bevegelse på kjølevann nært bunn på tank. Design med oppoverrettet strømnings fra innløpsrør resulterer i mindre gjennomstrømning nært bunn og dårligere kjøling.

Simuleringer av designvariasjoner med ulike innløps- og utløpsdesign viser at design med nedoverrettet strømnings fra innløpsrør og H-formede utløpsrør sammenkoblet med sigarutløp resultater i det mest uniforme strømningsforhold.

I tillegg viser simuleringer av versjoner av design med kileformet avrundning mellom bunn og vegg at strømhastighet langs vegg nært bunn øker vesentlig med kile i overgang mellom bunn og langside. Vertikalhastighet dobles da sammenliknet med design med vertikale vegger uten avrundning nært bunn. Hvis man isteden sammenlikner størrelse på hastighet (uavhengig av retning) så er forskjellen enda større. Dette øker kjøleeffekten i dette område. Kiler i hjørne langside/kortside/bunn påvirker hastighet kun lokalt nært hjørne.

Simulering av to ulike størrelser på tank er også gjennomført. Skalering av volumstrøm basert på forhold mellom tverrsnittareal for de to størrelsene på tank resulterte i lignede hastighetsfordeling for de to tankstørrelsene. Dette er lovende resultat med hensyn på mulighet å definere retningslinjer for design av innløp og utløp for ulik størrelse på tank.

Oppsummert viser resultatene følgende:

- Innløpsvann fra innløpsrør nært bunn bør rettes nedover mot bunn for god gjennomstrømming (og kjøling) nært bunn, i tillegg til jevnere hastighetsfordeling i horisontale tverrsnitt i område oven innløpsrør.
- For å unngå store hastighetsvariasjoner i øvre del av tank bør utløp spres over tverrsnitt, f.eks. gjennom å koble system av utløpsrør sammen med sigar.
- En avrunding i overgang mellom bunn og langsivegg bør legges inn for økt gjennomstrømming og kjøleeffekt langs langsivegg nært bunn
- For design av to tanker med ulik størrelse fås lignende strømningsforhold inne i tank når volumstrøm skaleres med forhold mellom horisontal tverrsnittarea for tankene:

$$Q_2 = Q_1 \frac{A_2}{A_1}$$

hvor  $A_1$  og  $A_2$  er tverrsnittarea for respektive tank 1 og tank 2, og  $Q_1$  og  $Q_2$  er tilsvarende volumstrøm for de to tankene.

#### Leveranser

- *CFD simulation Studentwork.*
- *Notat-Sammenstilling\_CFD\_Resultater*
- *Journal artikkel til Journal of Refrigeration*

## 5 Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

Den overordnede ideen var å forbedre kjølingen av pelagisk fisk i to store lagringstanker ombord i ringnot/tråler Selvåg Senior. Fra resultatene av dette har det blitt trukket noen generelle konklusjoner til nytte for hele næringen. I dag er det stor variasjon i hvordan kjølesystemene ombord i pelagisk flåte er bygd og driftes.

I 2018 ble det installert et sanntids målesystem for temperatur og massestrøms overvåkning i to identiske tanker om bord Selvåg Senior. Med dette var det mulig til enhver tid å ha oversikt over temperaturforholdene i tankene. I tillegg har det blitt gjennomført en ombygging av utløpsmulighetene i en av tankene. Resultatene fra ulike kolmulelaster med forskjellig strømning har vist at det er mulig å forbedre kjølingen slik at lasten har en snittemperatur på fisken som er 2°C eller lavere ved lossing.

Det har vært gjennomført arbeid med å utvikle en reguleringsmodell for kjøleanlegget slik at kapasiteten på kjøleanlegget utnyttes ved optimaliseres nedkjøling av lasten. Denne modellen gjør det mulig å automatisere styringen av kjøleanlegget slik at energibruken optimaliseres samtidig som nedkjøling av fisken går raskest mulig. Reguleringsmodellen er verifisert gjennom simuleringer ved å bruke input data fra tokt med Selvåg Senior og resultatene viser god overenstemmelse med registrert temperaturer. Reguleringsmodellen er ikke installert i Selvåg Senior, men vurderes installert i nye båter fra Sørheim Holding.

CFD-simuleringer av dagens tanker i Selvåg Senior har vært brukt til å se på ulike løsninger som vil kunne forbedre sirkulasjonen i tankene. Resultatene viser at for RSW-tanker bør;

- Innløpsvann fra innløpsrør nært bunn bør rettes nedover mot bunn for god gjennomstrømming (og kjøling) nært bunn, i tillegg til jevnere hastighetsfordeling i horisontale tverrsnitt i område over innløpsrør.
- For å unngå store hastighetsvariasjoner i øvre del av tank bør utløp spres over tverrsnitt, f.eks. gjennom å koble system av utløpsrør sammen med sigar.
- En avrunding i overgang mellom bunn og langsivegg bør legges inn for økt gjennomstrømming og kjøleeffekt langs langsivegg nært bunn
- For design av to tanker med ulik størrelse fås lignende strømningsforhold inne i tank når volumstrøm skaleres med forhold mellom horisontal tverrsnittarea for tankene:

$$Q_2 = Q_1 \frac{A_2}{A_1}$$

hvor  $A_1$  og  $A_2$  er tverrsnittarea for respektive tank 1 og tank 2, og  $Q_1$  og  $Q_2$  er tilsvarende volumstrøm for de to tankene.

## 6 Hovedfunn

Det har vært gjennomført arbeid med å utvikle en reguleringsmodell for kjøleanlegget slik at kapasiteten på kjøleanlegget utnyttes ved nedkjøling av lasten. Denne modellen er sammenlignet med resultater fra tokt og viser god overensstemmelse.

CFD-simuleringer av dagens tanker i Selvåg Senior har vært brukt til å se på ulike løsninger som vil kunne forbedre sirkulasjonen i tankene.

Hovedfunnene i prosjektet er oppsummert under;

- Innløpsvann fra innløpsrør nært bunn bør rettes nedover mot bunn for god gjennomstrømming (og kjøling) nært bunn, i tillegg til jevnere hastighetsfordeling i horisontale tverrsnitt i område over innløpsrør.
- For å unngå store hastighetsvariasjoner i øvre del av tank bør utløp spres over tverrsnitt, f.eks. gjennom å koble system av utløpsrør sammen med sigar.
- En avrunding i overgang mellom bunn og langsivegg bør legges inn for økt gjennomstrømming og kjøleeffekt langs langsivegg nært bunn
- For design av to tanker med ulik størrelse fås lignende strømningsforhold inne i tank når volumstrøm skaleres med forhold mellom horisontal tverrsnittarea for tankene:

$$Q_2 = Q_1 \frac{A_2}{A_1}$$

hvor  $A_1$  og  $A_2$  er tverrsnittareal for respektive tank 1 og tank 2, og  $Q_1$  og  $Q_2$  er tilsvarende volumstrøm for de to tankene.

- Resultater fra tester ombord i Selvåg Senior viste at å alternere utløpet mellom topp og akterrist gav en stor effekt i temperaturfordelingen i tankene. Ved å la utløpet i akterristen stå åpen en time for deretter å la utløpet gå i toppen fikk man brutt opp eventuelle dødsoner og derved en jevnere temperatur i hele lasten.

## 7 Leveranser

- *Referater fra styringsgruppemøter til FHF*
- *Presentasjon: Styrende parametre i RSW tanker*
- *Notat\_styrende parametre\_ Optikjøl.*
- *Presentasjon under WEFTA 2018*
- *Presentasjon av tokt kolmule 2019. – (Kolmule 5.- 9. april 2019)*
- *Notat erfaringer RSW-tanke*
- *Prosjektnotat Strømningstekniske tiltak og driftsprosedyrer.*
- *Toktrapport Sild 2019*
- *Publikasjon på ICR 2019*
- *Oppslag i Tekfisk*
- *Notat som beskriver styrings/automatisering muligheter for kuldeanlegget.(Notat-fordeling av flow)*
- *CFD simulation Studentwork.*
- *Notat-Sammenstilling\_CFD\_Resultater)*
- *Journal artikkel til Journal of Refrigeration*