

A22121 - Åpen

# Rapport

"State of the art" innen teknologi, FoU og dagens drift av RSW-anlegg for pelagisk flåte

**Forfatter(e)**

Tom Ståle Nordtvedt, John A. Fossum, Mats Augdal Heide, Ulf Erikson, Svein Helge Gjørund, Yves Lødam



# Rapport

## "State of the art" innen teknologi, FoU og dagens drift av RSW-anlegg for pelagisk flåte

VERSJON  
v 2.0DATO  
2012-03-13

## FORFATTER(E)

Tom Ståle Nordtvedt, John A. Fossum, Mats Augdøl Heide, Ulf Erikson, Svein Helge Gjørund, Yves Ladam

OPPDRAAGSGIVER(E)  
FHFOPPDRAAGSGIVERS REF.  
Rita Austvik MaråkPROSJEKTNR  
850376 (FHF #900643)ANTALL SIDER OG VEDLEGG:  
28

## SAMMENDRAG

### RSW kjøling i den pelagiske flåten

Forhold og strømninger i RSW- tanker om bord er et område som baserer seg på mye erfaringer fra flåten, og som det ikke finnes mye gode studier på. I denne rapporten rettes søkelyset mot historiske erfaringer fra flåten, dagens nyvinninger både i den pelagiske flåten og sektorer med lignede utfordringer. Samtidig ser man også på modellering og ny teknologi som kan vise seg å være nyttige hjelpemidler for øke kunnskapen rundt de faktorer som har direkte betydning for kvaliteten på råstoffet.

UTARBEIDET AV  
John A. Fossum

SIGNATUR

KONTROLLERT AV  
Ida Aursand

SIGNATUR

GODKJENT AV  
Marit Aursand

SIGNATUR

RAPPORTNR  
A22121ISBN  
978-82-14-05220-6GRADERING  
ÅpenGRADERING DENNE SIDE  
Åpen

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBEKRIVELSE</b>
V 0.1	2011-09-23	Sammensatt dokumenter til fullstendig rapport
V 0.2	2011-12-16	Utvidelser og tillegg i materialet
V 0.3	2012-01-30	Versjon for godkjenning
V 1.0	2012-01-31	Endelig versjon
V 2.0	2012-03-13	Revidert

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>5</b>
1.1	Bakgrunn.....	5
1.2	Prosjektets målsetning.....	6
<b>2</b>	<b>Metode</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>RSW kjøling av pelagisk fisk – historie</b> .....	<b>8</b>
3.1	Krav til temperatur og sirkulasjon i RSW anlegg.....	9
3.1.1	Nedkjøling.....	9
3.1.2	Lagring.....	9
3.2	Tidligere registreringer og målinger.....	10
3.3	Løste og løsseløsninger.....	13
3.3.1	Mekaniske pumper.....	13
3.3.2	Vakuumpumper.....	13
3.3.3	Termosifongpumper.....	13
3.3.4	Undertrykkslasting.....	13
3.4	Renhold av tanker og RSW system.....	14
3.4.1	Renhold, anleggs design og oppbygging.....	14
3.4.2	Rengjøringsmetoder og driftsrutiner.....	14
3.5	Dagens løsninger og driftsrutiner.....	15
<b>4</b>	<b>Brønnbåt</b> .....	<b>16</b>
4.1	Brønnrommene.....	16
4.2	Løste- og losseteknologi.....	17
4.3	Sirkulasjon – teknologi.....	18
4.4	Hygiene.....	18
4.5	Spesielløsning: prosesskip.....	19
4.6	Spesielløsning: levendefangst (fiske).....	19
<b>5</b>	<b>Modellering</b> .....	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Tankdesign</b> .....	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>State of the art – Christina E</b> .....	<b>24</b>
7.1	Tankdesign.....	24
7.2	Kjøleteknisk.....	25
<b>8</b>	<b>Oppsummering</b> .....	<b>26</b>
<b>9</b>	<b>Videre arbeid</b> .....	<b>27</b>
<b>10</b>	<b>Referanser</b> .....	<b>28</b>

## Sammendrag

Rapporten presenterer et sammendrag historiske data og dagens drift av RSW-anlegg ombord i den pelagiske flåten. Det rettes også fokus mot andre næringer, som løser noen av de samme utfordringene vi her står ovenfor, men på andre måter.

Dagens pelagiske fartøy har kjøleanlegg med god kapasitet, noe som gjør de i stand til en effektiv nedkjølingstid på ca 0,5 – 1,5°C i timen. Utfordringen ligger imidlertid i å skape en jevn kjøling av hele lasten. For å løse dette finnes det ulike teorier med hensyn til størrelse og utforming av tankene og hvorledes sirkulasjonssystemet bør være for å takle alle fiskeslag og situasjoner. Laste og lossesystemene har også en innvirkning på kvaliteten, og det gjennomføres for tiden tester med nye løsninger. I rapporten er det rettet et spesielt søkelys mot nybygget "Christina E". Teknologien som er tatt i bruk på dette nybygget er det nyutviklede og patenterte (2011) konseptet med undertrykkslasting og trykklossing fra MMC Tendos.

Innenfor området modellering av tankløsninger er det gjort noe arbeid mot brønnbåt sektoren. Disse resultatene kan ikke direkte adopteres av pelagisk sektor, men det er likevel valgt å studere brønnbåtsektoren, da de er kommet langt innenfor områder med fiskehåndtering, strømnings (fisk / vann), hygiene og skipsdesign. Dette er områder hvor det kan trekkes lærdom av, og se på muligheter for å tilpasse noen av teknologien mot morgendagens pelagiske flåte.

I prosjektet har vi også valgt å se mot andre anvendelser og teknikker for å kontrollere / skape strømningsmønstre i tanker. En relevant sammenligning her er vindtunneler og strømningsstanker brukt i areo- og hydrodynamisk FoU. Dette har vi gjort ved å se på nærmere på teknikkene som benyttes ved SINTEF Fiskeri og havbruks storskala strømningsstank i Hirtshals, Danmark.

## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn

Den 9. februar 2011 invitert Fiskarlaget/FHF til møte med SINTEF Energi og SINTEF Fiskeri og havbruk. Bakgrunnen for møte var rapporten ”*Optimalisering av lasteromssystemer i pelagisk fiskeflåte*” utarbeidet av INAQ for FHF, (INAQ Management, 2010).

En av konklusjonene i rapporten var en anbefaling om et prosjekttema benevnt ”Gjennomstrømming”. Det omhandler gjennomstrømning og sirkulasjon av nedkjølt sjøvann (RSW) i lasterom. Deres forslag til gjennomføring var at man kartlegger hvorledes ulike lasteromsdesign påvirker gjennomstrømning i tankene på eksisterende fartøy.

I møte ble det diskutert hvilke andre prosjekter som er i gang og under planlegging på båtsiden og hvordan de kan integreres i et eventuelt prosjekt. Konklusjonen fra møte ble at SINTEF Energi og SINTEF Fiskeri og havbruk samarbeider om å lage et prosjektforslag. Det ble i første omgang laget en projektskisse for diskusjon og godkjenning.

Som en tilbakemelding på skissen ble det arrangert et telefonmøte med FHF, representant for næringen og SINTEF. Konklusjonen fra møte var at man deler opp arbeidet i to prosjekter. Del 1 skal bestå av informasjon innhenting om dagens strømningsmønster og driftsrutiner. Det vil danne grunnlaget for enkle tester for å belyse utfordringen med ”strømningsfrie lommer” i tanken avhengig av fiskeart og fyllingsgrad. Fra dette arbeidet vil man komme frem til hypoteser for hvordan strømning i tanke bør være. Videreføringen, del 2 av prosjektet, vil bestå av uttesting og modellering av disse hypotesene.

Prosjektet ble deretter godkjent av og finansiert FHF under følgende tittel: ”#900643 – *Optimal kjøling av pelagisk fisk i RSW-tanker om bord – Del 1*”). Rapporten som følger er del leveranse knyttet til dette prosjektet.

## 1.2 Prosjektets målsetning

Målsetningen i prosjektet er å fremskaffe grunnlag for del 2 av prosjektet hvor målet er å bidra til forbedret kjøling av pelagisk fangst ombord ved å se på hvilke driftsrutiner og strømningsmønster som gir optimal kjøling for dagens og fremtidig pelagiske flåtegruppe.

Dette vil bli forsøkt oppnådd gjennomfølgende definerte delmål:

- Gjennomgang av tidligere rapporter og litteratur om strømningsmønster i RSW-tanker
- Innhente driftsrutiner fra dagens pelagiske flåte og fremskaffe hypoteser for forbedringstiltak
- Vurdere og vise hvorledes strømningsmønster kan brytes og fremskaffe hypoteser for hvorledes strømningsmønsteret bør være for å unngå "lommer" i tankene.
- Gjennomføre arbeidsmøter med pelagisk flåte og beskrive videreføring av arbeidet.

I havbruksnæringen har det i en årrekke vært arbeidet med utforming av lasterom for transport av levende fisk. Teknologien som finnes innenfor denne sektoren har vist seg å være god med tanke på vannstrøm og oksygenfordeling/transport ("*Utvikling av fremtidens brønnbåtteknologi*", (Heide, 2008 - 2011)). Det finnes også ny teknologi for transport av død laks i RSW fra merd til slakteri (M/S *Tauranga*). "*Slakting av oppdrettslaks på båt, direkte fra oppdrettsmerd*", (Midling, 2008)). Ved transport av varme/kulde i RSW-tanker ved kjøling av pelagisk fisk gjelder de samme fysiske prinsippene som ved transport av oksygen i brønnbåten. Det er derfor viktig at en overfører allerede kjent teknologi og kunnskap fra havbrukssektoren. Samtidig er det viktig å trekke på erfaringene man får gjennom FHF prosjektet "*Bruk av CO2 som kuldemedium i anlegg for nedkjøling av sjøvann (RSW) om bord på fiskefartøy*", (FHF, 2009). Tidligere studier av kjøling og strømning i RSW-tanker både i Norge og i utlandet vil bli benyttet som grunnlag for prosjektet. Prosjektet vil også kobles opp mot FHF prosjekt "*900553 Ny tankutforming og laste/lossesystem for pelagisk fartøy*", (Aursand, I. G. et al, 2011-2012), og trekke erfaringer fra tidligere års arbeid innen samme område, (Aursand, Mathiassen, Bondø, & Toldnes, 2011), (Aursand & Bondø, New design of water separator for improved handling of pelagic fish on board – effect on raw material quality., 2010), (Aursand & Bondø, Evaluation of technology for receiving of pelagic fish on board , 2009), (Aursand & Gallart-Jornet, Gentle pumping of pelagic fish from purse seine to vessel – Comparison of two pumping technologies, 2008), (Aursand & Senneset, Transport of pelagic fish, 2006)

## 2 Metode

Vi ser her på tidligere utført arbeid innen tankdesign og kjøleprinsipper for RSW-anlegg om bord, og retter søkelyset mot nybygg i næringen, og erfaringer herfra. Det rettes også fokus mot andre næringer, som løser noen av de samme utfordringene vi her står ovenfor, men på andre måter.

For å sette sammen denne kunnskapen er det her samlet innspill fra flere sentrale personer. Dette dreier seg her i hovedsak om forskere med flere års erfaring innfor sine fagfelt. Disse personene dekker områder som fiske og fangst, råstoffkvalitet, førstehåndtering, brønnbåtteknologi, tankstrømninger, modellering og fartøys og driftserfaringer fra flåten. Arbeidet her dreier seg først og fremst om FoU arbeid og utvikling gjort på sentrale og relevante tema i løpet av årene.

SINTEF fiskeri og havbruk har også gjennom flere år vært ute på tokt med utvalgte fartøy, og data hentet fra disse toktene er brukt her for å illustrere og forklare noen av de poengene som beskrives i rapporten.

Styringsgruppen er ikke brukt aktivt under denne utarbeidelsen, men er sterkt involvert i kartleggingen av driftserfaringer om bord. Dette er levert i et eget prosjektnotat i dette prosjektet. Noe av resultatene er beskrevet i kapittel 3.5.



### 3 RSW kjøling av pelagisk fisk – historie.

Utviklingen innen fangst og anvendelse av pelagisk fisk endret seg drastisk utover 1960-tallet. Store effektive fartøy og bruk av ringnot tillot fangst stadig lenger unna mottaksanlegg. Tradisjonell ising i kasser ombord var for arbeidskrevende og en økende bestand av sild og makrell ble derfor anvendt til mel og olje på grunn av lav kvalitet. Samtidig så en muligheter for store markeder for frossen konsumvare med betydelig prisøkning for råstoffet til fiskerne. Intens leting etter rasjonelle og effektive kjøle- og lagringsmetoder førte til forsøk med en metode for bulklagring og iskjøling i sjø som var anvendt i Menhaden fisket i USA. Fiskeridirektoratets kontrollverk var skeptisk til metoden, men etter press ble et utvalg nedsatt for å klargjøre hvordan løsningen kunne brukes. ”Tankutvalget” dokumenterte at bruk av kaldt sjøvann var en god lagringsmetode ved riktig bruk og er nært enerådende for kjøling og lagring av pelagisk fisk i dag. Det ble også satt en rekke krav til fartøyene og utstyr som isolerte tanker, kuldekapasitet tilstrekkelig for nedkjøling og opprettholdelse av temperaturer på -1 til 0 °C i tankene, sirkulasjonssystem tilstrekkelig for å få jevn temperatur i tankene, rengjøringsutstyr, laste og losseutstyr og utstyr for temperaturstyring.

”TANKUTVALGET” (1970) hadde følgende hovedkrav til fartøyene:

- Isolerte tanker
- Kuldekapasitet tilstrekkelig for nedkjøling og opprettholdelse av temperaturer på -1 til 0 °C i tanken
- Sirkulasjonssystem tilstrekkelig for å få jevn temperatur i tankene
- Rengjøringsutstyr
- Laste- og losseutstyr
- Temperaturregulerings utstyr

Kravene til fartøyene var relativt generelle og påpekte i stor grad bare at det skulle være utstyr som sikret kvaliteten. Etter at de første fartøyene ble bygget, blant annet ved Bolsøynes Verft, og viste seg hensiktsmessig ble det en stor ombygningsperiode for fartøyene. En rekke verft med svært varierende kompetanse kastet seg inn i konkurransen om oppdrag og mange fartøy med lite gjennomtenkte løsninger ble bygget. Sammen med liten erfaring hos fiskerne resulterte dette i varierende kvalitet ved levering og en bratt læringskurve for alle involverte i næringen. Totalt sett gav likevel dette teknologiske skifte en stor omlegging i pelagisk fiske fra betydelig andel av fangstvolum til lavpris mel/olje, og over til frossen konsumvare med betydelig verdiøkning for hele næringen.

### 3.1 Krav til temperatur og sirkulasjon i RSW anlegg

Holdbarhetstiden for pelagisk fisk er avhengig av temperatur, fiskeslag, sesong, og anvendelse, men er generelt lav sammenlignet med bunnfisk, da spesielt harskning kan være et problem pga. den høye fettprosenten i pelagisk fisk. Rask nedkjøling og kontrollert lav temperatur under transport er avgjørende for kvaliteten ved lossing. Videre påvirkes kvaliteten i stor grad av fangst og fangstbehandling samt handtering ved lasting, lossing og forholdene i tankene.

#### 3.1.1 Nedkjøling

Ved nedkjølingen overføres varme fra fisken til det sirkulerende kalde sjøvannet som oppvarmes og transporteres til kjøleren i kuldesystemet. Fiskenes nedkjølingshastighet bestemmes av sjøvannets temperatur og vannstrømmen, ved stor fisk også av tykkelsen. Ved siden av kuldesystemets ytelse er fordeling av vannet i tanken og jevn strømming over all fisk i tanken en hovedutfordring. Med tilgjengelige simuleringsprogrammer kan optimale strømningsforhold avhengig av tankform, innløp- og utløpsløsninger, og sirkulert vann beregnes. Fiskens påvirkning på strømningsforholdene er lite kjent, men er avhengig av fiskeslag, fettinnhold, og forhold vann/fisk.

Målinger og registreringer ombord på utvalgte fartøy, gjennom fangst sesonger og med ulike fiskeslag er sentrale oppgaver for verifisering av beregninger og simuleringer. Dette er en tidkrevende aktivitet og krever samarbeid mellom leverandører, fartøy og FoU miljø.

Ytelsesbehovet ved nedkjølingen er bestemt av forskjellen mellom fiskens temperatur og sjøvannet. I denne fasen har en et dynamisk system med varierende temperaturer. Systemets ytelse bestemmer tiden for nedkjølingen, men krever regulering tilpasset nedre tillatt sjøtemperatur. Energiforbruket kan reduseres ved magasinering av "kuldekapasitet". Normalt gjennomføres det ved for-kjøling av sjøvann til nært frysepunktet (ca. -2 °C). Ved innfylling av fisk vil "kulden" i sjøen bidra til rask kjøling. Erfaringer fra fartøy viser at ved gode løsninger kan bortimot halve nedkjølingen dekkes av det kjølte vannet.

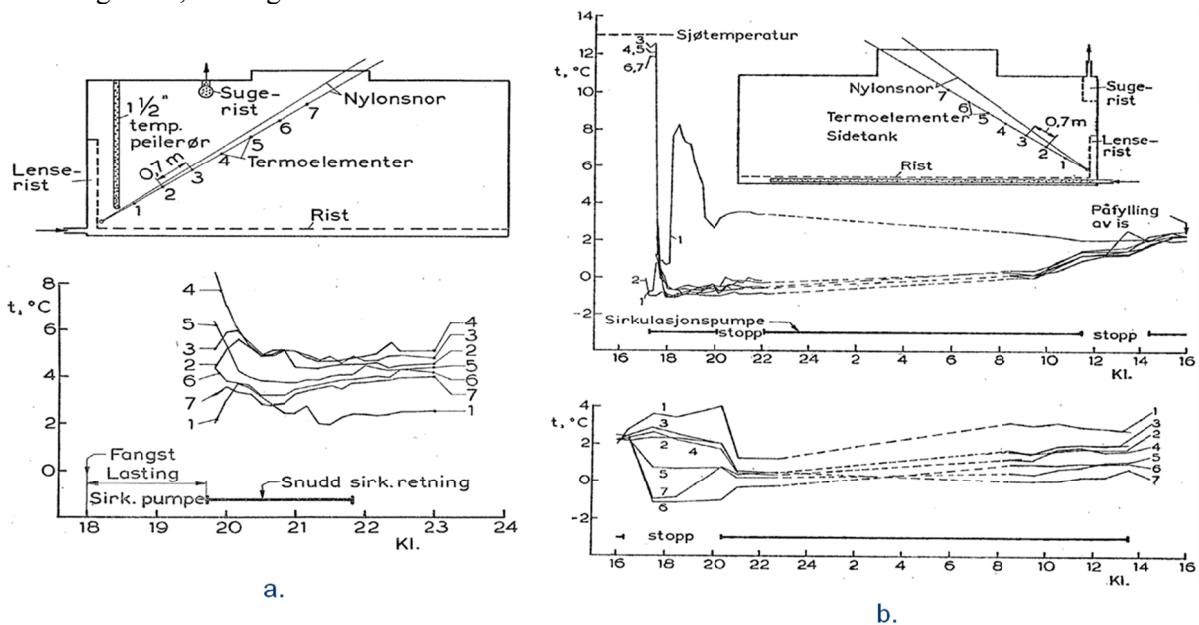
#### 3.1.2 Lagring

Jevn og lav temperatur under lagring er avgjørende for kvaliteten ved lossing. Gode RSW-anlegg kan oppnå lagringstemperaturer i området -1,5 °C og derved litt utfrysing av is i fisken og øket kvalitet og holdbarhet for råstoffet. I andre land benyttes enda lavere temperaturer som oppnås ved tilsetning av salt/lake ved lange transporter og ved spesielle anvendelser. I samarbeid med foredlingsanlegg bør det utvikles retningslinjer og driftsrutiner for optimal lagringstemperatur tilpasset bedriftenes behov basert på kontrollert testing og transportforsøk.

I lagringsfasen skal kuldesystemet bare dekke kjøling av vannutskifting, varmelekkasje og pumpearbeidet som utgjør en relativ liten last i forhold til nedkjølingen. En energieffektiv nedregulering, styring og drift av kuldeanlegget er krevende og utstyr og anlegg må tilpasses dette.

### 3.2 Tidligere registreringer og målinger

I forbindelse med arbeidene i "Tankutvalget" ble det ved Institutt for kuldeteknikk NTH/SINTEF gjennomført målinger og registreringer ombord i flere fartøy med både CSW (iskjølt) og RSW kuldeanlegg. De første fartøyene benyttet is for kjøling av sjø og fisk ved Menhaden fisket i USA, noe som gir svært rask kjøling, siden kuldebehovet for nedkjøling er lett tilgjengelig ved smelting av is. Utfordringen var å ha nok is ved lange fangsturer både på grunn av smelting før fangst og ved at isen frøs sammen og måtte hakkes opp før bruk og flytting mellom tanker. Målinger om bord i slike fartøy viste også at en ofte fikk for lite is, delvis på grunn av dårlig isolasjonsutførelse og stor varmelekkasje. (Figur 1 a). Temperaturmålingene ble gjennomført med manuelle målere, som gav usikre målinger ved urolig sjø, men gav likevel et godt bilde av forholdene. Figur 1 viser høy temperatur pga. tilsetning av rent sjøvann i sirkulasjonssystemet for å redusere omfanget av blodvann og skjelltap. Lite gjennomtenkte løsninger for sirkulasjon av sjøvannet og lite is gav ujevn og for høy temperatur samt at renhold av siler og rør var vanskelig. Tankene og sirkulasjonsløsningene ble forbedret etter erfaringene med forskjellige løsninger. En god tankløsning som gav jevne temperaturer er vist i Figur 1 b, men også her var det for lite is i tanken.



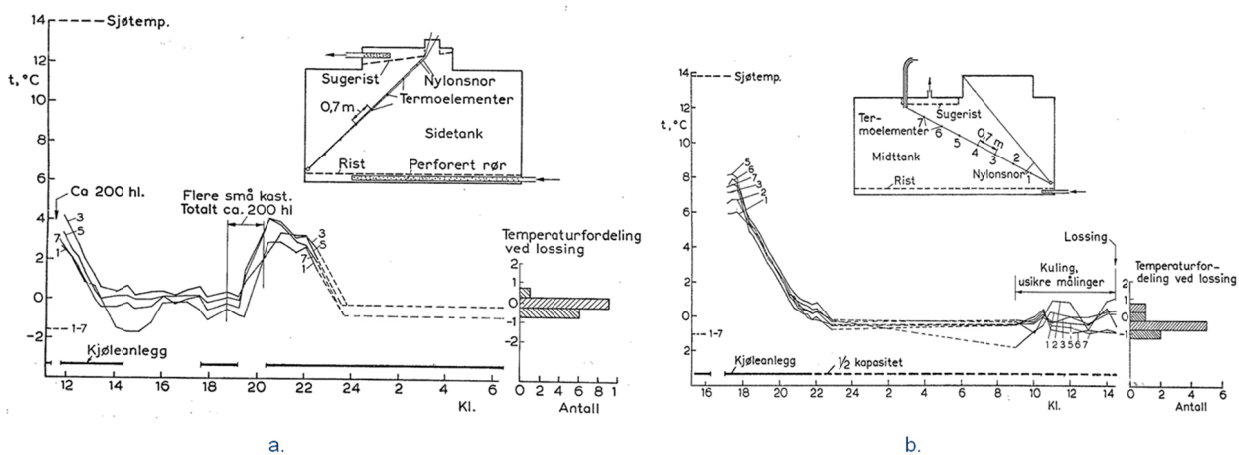
Figur 1: To undersøkte førstegenerasjons sjøvannskjølte fartøy med is som kjølemedium (CSW). Temperaturmålinger og undersøkelse av strømningsforhold (ca. 1970). (SINTEF)

Avhengigheten av landanlegg for tilgang på is, arbeide med intern ishåndtering og for lite is førte til en rask overgang til kuldeanlegg for direkte kjøling av sjøvann ombord. Selv ved dårlig isolasjon av tankene er hovedbelastningen ved denne type anlegg nedkjøling av fisk og sjø. Vanlig kuldeytelse gav tilsvarende en kjøling av last på ca. 1 °C/time eller i størrelsen 1,16 kW/m<sup>3</sup> tankvolum (ca. 1000 kcal/h, m<sup>3</sup>). For å få ned kjøletiden var det en stor fordel å forkjøre tankene fylt med sjø til ca. -1 °C. Ved innfylling av fisk ble det kalde tankvolum overført til en ledig tank eller dumpet og med riktig utført innfylling ble vanligvis halve nedkjølingen gjennomført på denne måte og en fikk derved en akseptabel nedkjølingshastighet.

Målingene på de beste fartøyene viste at en kunne oppnå effektiv kjøling og jevne og lave temperaturer med riktig bygget og driftet tankløsning. For å få jevne temperaturer og strømningsforhold er arrangement og plassering av inn- og utløp viktig. Spesielt ved store tanker må fordelingen av kjølt sjøvann styres av hullfordeling i innløpsrør slik at trykkfallet gjennom hullene styrer fordeling innover tanken. Ristenes areal, åpningsareal og plassering, spesielt sugerister, må hindre blokkering av fisk etter innpumping når fisken kan flyte opp. Et sentralt punkt er mengden av fisk i forhold til totalt volum, både for å sikre strømming og rask nedkjøling. Undersøkelsene av Fiskeridirektoratets kontrollverk viste at håndtering av fangst, inn pumping/håving lett gav mekaniske skader som sår og skjellavfall og indre blødninger.

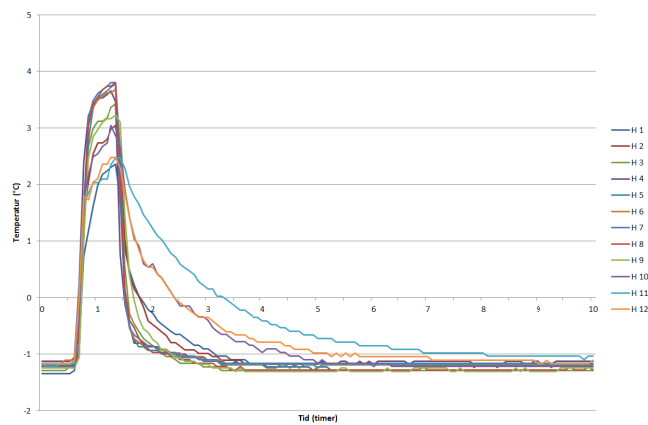
De fastslo at mengden sild måtte være under 80 % av tankvolum. Erfaringen fra fiskere som leverte god kvalitet var at fiskemengden måtte være lavere enn kravene for å unngå slitasjeskader under transport.

Figur 2. viser målinger på to fartøy med litt forskjellig arrangement, men hvor temperaturene ved levering var jevnt lav. Siden frysepunktet for sjøvann er ca.  $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  setter kjølingen store krav til fordampere utførelse og drift av kuldeanlegget for å unngå frysing. Sirkulert vann inneholder blod, oppløst protein, og fiskepartikler som lett fester seg i sirkulasjonssystemet og gjør renhold krevende. Bruk av rørkjeler som fordampere må derfor fortrinnsvis sirkulere forurenset vann i rørene og kuldemediet på utsiden og med små temperaturforskjeller. Ved slutten av kjølingen/lagring kreves god vanngjennomstrømning og temperaturkontroll for å unngå utfrysing/blokkering. Som Figur 2 b. viser, kan en med god sirkulasjon og riktig dimensjonert fordampere og kuldesystem nå lagringstemperaturer ned mot  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Figur 2: Nedkjøling og temperaturer ved mekanisk kjølte fartøy (RSW) og forskjellig opplegg for sirkulasjon av sjø (SINTEF)

Det er spesielt viktig å merke seg at målingene er under sildefisket i Nordsjøen og foretatt på det som i dag må betegnes som små fartøy og tanker med størrelser mellom  $50 - 75\text{ m}^3$ . Kontrollverket tillot maksimalt 80 % og ingen hadde fylt tankene opp mot dette, eksempelvis var det i tanken vist i Figur 2 b. ca. 60 % sild (70 % av tillatt). Tilgjengelig måleutstyr på den tid målingene ble utført var begrenset i forhold til dagens teknologi og tillot begrenset antall og plassering av målepunkter.



Figur 3: Temperaturmålinger tatt på nyere anlegg (SINTEF, 2011)

Figur 3 viser temperaturutviklingen i en  $100\text{ m}^3$  tank fra en av dagens moderne fartøy.

Slike temperaturer er logget av temperatursensorer som settes inn i tank før avreise. Temperaturutviklingen vi ser her er målt av vertikalt monterte sensorer, og gir oss utviklingen i sjiktene gjennom lasten. Figuren er hentet fra sildefiske, og viser utviklingen i en tank med 50-60 % fyllingsgrad. Anlegget ble kjørt mot et settpunkt på  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Med unntak av anlegg bygget de siste år benytter de fleste kuldeanlegg om bord i ringnotfartøy R22 eller andre miljøskadelige kuldemedium som er eller vil bli forbudt eller belagt med store miljøavgifter. Det er derfor nødvendig/ønskelig med ombygging eller erstatning av mange fartøy, men det råder usikkerhet om hvilke anlegg en bør satse på. De viktigste miljøvennlige alternative er ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) og karbondioksid ( $\text{CO}_2$ ), men begge har ulemper i forhold til dagens løsninger.  $\text{NH}_3$  er et energieffektivt og egnet medium som er mye benyttet i store landanlegg, men har problem spesielt med giftighet/sterk lukt som gir sikkerhetskrav om bord i båter. Mange nyere fartøy er bygget med dette mediet har egne maskinrom og er bygget etter gjeldende sikkerhetskrav.  $\text{CO}_2$  er et medium som i økende grad benyttes og som er lite giftig og kan benyttes på tilsvarende måte som dagens anlegg. Det er imidlertid utfordring med høyere trykk og fortsatt mindre tilgjengelige komponenter for denne type anlegg. Et RSW-fartøy (MS Båragutt) med dette mediet er nå under bygging og dette vil bli fulgt opp med målinger og registreringer av driftserfaringene (ref. FHF prosjekt 900242 "*Bruk av  $\text{CO}_2$  som kuldemedium i anlegg for RSW*", (FHF, 2009).

I hovedsak går all pelagisk fisk i dag til humant konsum, og i økende grad blir råstoffet videreforedlet ved anlegg i Norge. Kravene til ferskhet og kvalitet til råstoffet i de best betalende markeder er høye og med stadig større fartøy/tanker, og lengre seiling fra fangst til landanlegg har pelagisk næring sett behovet for en gjennomgang av dagens anlegg. Videre har fartøyeiere og fiskere gjennom årene fulgt utviklingen og samlet en stor mengde kunnskap om råstoff og fangstmetodikk, trenging av fisk, ombordpumping og driftsmetoder for anleggene.

### 3.3 Laste og losseløsninger

Synlige skader på skinn og brukne rygger, blod i rygger og fiskekjøtt er et stort problem for foredlingsanleggene. Dette skyldes i hovedsak håndtering og transport av fisken, men påvirkes også trolig under lastning og lossing hvor en for det meste benytter mekaniske pumper. Skadene skyldes trolig bøying eller mekanisk klemming og utgjør anslagsvis opptil 1 % av fisken mottatt ved noen anlegg.

De vanligst brukte pumpene og teknikkene er:

#### 3.3.1 Mekaniske pumper

De fleste har roterende skovler hvor fisken kan utsettes for press og klemming av bevegelige deler. Disse pumpene ble mest brukt tidligere ved lastning og gir trolig mest skader siden fisken er i kontakt med bevegelige deler, men er lite aktuell i dag.

#### 3.3.2 Vakuumpumper

Vanligst brukt er tanker med vakuumpumper som syklisk skaper undertrykk og suger opp vann og fisk og overtrykk som presser fisken videre. Ved to tanker som syklisk fylles og tømmes skapes en nær kontinuerlig strøm. Tankene har ventiler som åpnes og lukkes ved inn- og utstrøm og kan gi presskader på fisken. Riktig utforming av ventiler, tankens utforming og størrelse er viktig for å redusere skadene. Denne pumpetype er i dag mest benyttet ved ombordpumping og lossing av fangsten.

#### 3.3.3 Termosifongpumper

Termosifongpumper kan benyttes, men krever lange stigerør og gir liten løftehøyde. Disse er ikke i bruk i Norge.

#### 3.3.4 Undertrykkslasting

En ny løsning, utviklet av MMC Tendos, finnes nå, der avsilingskasser og tanker utsettes for undertrykk, og fører til at fisk og vann suges direkte ombord. Ved at fisk ledes direkte til RSW-tanker, mens vann siles av for utpumping, blir fisken lite utsatt for klemming og andre mekaniske påkjenninger. En slik løsning krever at tanker og mekanisk annet utstyr tåler undertrykk. Systemet kan også brukes til lossing ved å sette overtrykk på tankene å blåse/trykke fisken ut. Ved full utnyttelse av denne teknologien betyr det i hovedsak at fisken kan gå fra not, og helt til mottakskar på landanlegg, uten å passere noen bevegelige mekaniske deler, som kan påvirke og forringe kvaliteten på fisken. Dette gjenspeiles også av klarere lagervann på tanker om bord (mindre blodvann).

### 3.4 Renhold av RSW-tanker og -system

Ved drift av anleggene vil oppløst protein, fiskebiter, skjell, mv. fra tankene sirkulere gjennom rør, ventiler og fordampere. Dette gir gode vilkår for mikroorganismer. Spesielt må *Listera* bakterien holdes nede, smitting av denne til landanlegg vil ha en katastrofal effekt da den er nesten håpløs å bli kvitt. Det er viktig med fastlagte vaskerutiner etter hver fangst og sesongmessige renholdsprogram. Bruk av ozon har vist seg effektivt for hovedrengjøringer, men må ikke være i kontakt med fisk.

#### 3.4.1 Renhold, anleggs design og oppbygging

Det er viktig å utvikle retningslinjer for vedlikehold og rengjøring av komponenter, utstyr og tanker i fartøyene. Spesiell fokus må være på lite tilgjengelige steder hvor fiskerester kan bli liggende på grunn av dårlige strømningsforhold og liten fysisk tilgang til komponentene, eksempelvis RSW- kjølerne og pumper.

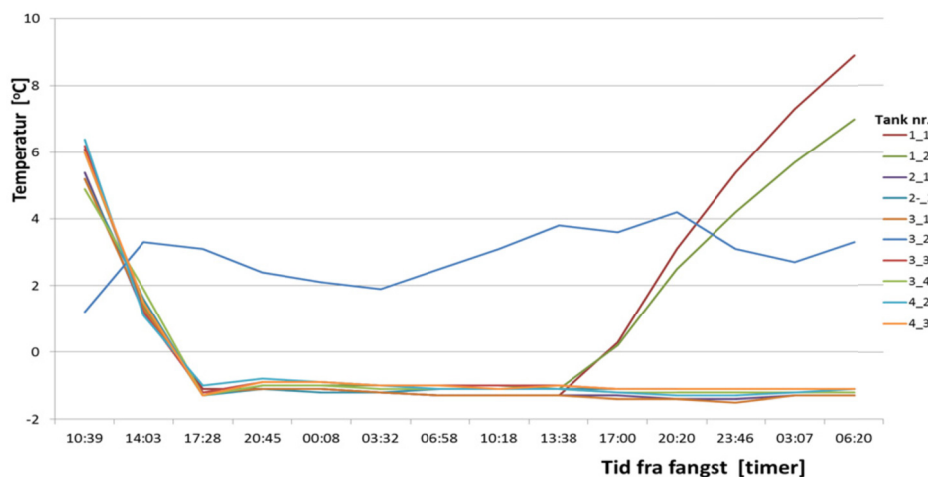
#### 3.4.2 Rengjøringsmetoder og driftsrutiner

De fleste fartøy benytter vaskesystem og rengjøringsmidler for renhold. Landanleggene erfarer imidlertid at det er stor forskjell i renhold mellom fartøy og noen leverer fangst fra dårlig rengjorte system.

### 3.5 Dagens løsninger og driftsrutiner

I et forsøk på å kartlegge dagens driftsrutiner i ringnotflåten, ble det i FHF prosjektet "*Optimal kjøling av pelagisk fisk i RSW-tanker ombord – Del 1*" utført en spørreundersøkelse blant utvalgte fartøy. Noe av informasjonen fra dette arbeidet presenteres her.

De fleste pelagiske fartøy har kjøleanlegg med god kapasitet, noe som gjør de i stand til en effektiv nedkjølingstid på 0,5 – 1,5 °C i timen. I dag kjøres disse med full kapasitet når fisken er i lasterommet, ned mot settpunkt på -1,5 °C sjøvannstemperatur. Deretter reguleres temperaturen rundt settpunkt inntil lasten leveres ved anlegg. Det finnes fortsatt fartøy med av/på-regulering, men de fleste har nå kontinuerlig effektregulering. Når det gjelder temperaturutviklingen i selve lasten er dette noe vanskelig å fange opp. De temperaturer som logges om bord, og som reguleringen kjører etter, sitter på innløpsrør og sugetrakt på tankene. Det er derfor meget lite informasjon om bord som forteller noe om temperaturutviklingen i selve lasten. De fleste som deltok i undersøkelsen i prosjektet sier de ikke har målt variasjoner i fisken ombord, og at dette kan være noe vanskelig, men det finnes også fartøy som sitter med slik informasjon, som forteller at det kan forekomme variasjoner på opp mot 1 °C i lasten, og at dette blir et større problem jo mer lasten klumper seg i bunnen. Kolmule ble nevnt blant enkelte for å være den fisken som klumper mest i tankene, og at man kan få problemer med god kjøling på denne. I laster der man observerer variasjon i kjølt fisk, men fortsatt har fine temperaturkurver, kan det tenkes at vannet har funnet en "minste motstands vei" og at vannet kun strømmer i bestemte seksjoner eller sjikt i tanken. Et fartøy i undersøkelsen hadde lokalisert uønskede strømming mellom innløp og andre støttesystemer i tankene. Dette skapte "falske" strømminger langs bunnen og sidene som ikke bidro til direkte kjøling av lasten. På bakgrunn av slike observasjoner, må man også ta høyde for god design av tankene (tilbakeslagsventiler, plassering av utløp, innløp osv.), å være på vakt for slike effekter lokalt. Hvordan man kan bryte/endre konsentrerte/uønskede strømminger, eller hindre at de oppstår, er en sentral del av prosjektet, og er noe vi vil se nærmere på under videre studier og teoretiske tester.



Figur 4: Temperatur på last fra fangst til levering (SINTEF, 2011)

Alle i undersøkelsen oppga at de fortsetter vedlikeholdskjøling med redusert kapasitet helt til lasten losses ved mottaksanleggene. Figur 4 viser en slik utvikling fra fangst og et døgn frem i tid. De kurver på figuren over som avviker fra settpunktstemperatur er loggere som ikke lenger er dekket av vann i tankene, og som derfor henger i friluft.

Videre i en eventuell videreføring av prosjektet er det ønskelig å utføre både horisontale og vertikale temperaturlogginger i RSW tankene om bord på utvalgte fartøy, i et forsøk på å kartlegge strømminger og temperaturutviklingen i lasten.



## 4 Brønnbåt

Brønnbåter er spesialbåter som benyttes til å frakte fisk levende mellom land og oppdrettsanlegg. I all hovedsak er det oppdrettslaks og -ørret som transporteres. Frakt av levende fisk er regulert gjennom Forskrift om transport av akvakulturdyr (FOR-2008-06-17-820). Her er det kritisk å holde fisken levende, og det er utført noen studier på strømningsmønster og utformingen av lagertanker ombord. Dette er nærmere beskrevet nedenfor og i kapittel 4. Om bord på brønnbåtene opererer de ikke med samme fisketetthet som i den pelagiske flåten, men man kan trekke noen paralleller mellom problemstillingene.

Det har vært en svært rask utvikling av disse båtene, på tidlig 90-tall kunne en typisk brønnbåt ha en lengde på ca. 15 meter, og lasterom/brønnromskapasitet på ca. 150 m<sup>3</sup>. Etter dette har båtene blitt stadig større, og den største brønnbåten i dag er "MS Bjørg Pauline" med brønner på 2800 m<sup>3</sup>. Det er imidlertid nylig kontrahert en båt som skal ha brønner på 4500 m<sup>3</sup> og en total lengde på 86,65 meter når den er ferdigstilt i 2013 (Rohav-rederiet). Ved siden av oppskalering, har de mest vesentlige nyvinningene i disse fartøyene vært relatert til vannbehandlingssystemer og sirkulasjon.

Normal tetthet av fisk i brønnrommene er ca. 125 kg/m<sup>3</sup> ved frakt av slaktefisk, selv om over det dobbelte også har blitt transportert med godt resultat. I slike tilfeller kan det være aktuelt å benytte tilleggsoksygenering, spesielt ved høye sjøvannstemperaturer.

Til tross for størrelsen på investeringen en ny brønnbåt medfører i dag (i størrelsesorden 100-200 MNOK), gjøres det generelt få beregninger i designfasen av ombordsystemene. Det er i stor grad erfaringsdata fra tidligere bygg som benyttes, som skaleres opp til det aktuelle nybygget.

### 4.1 Brønnrommene

Brønnbåtene designes i stor grad rundt brønnrommene, som fyller store deler (mest mulig) av skroget. Det er mest vanlig å benytte to langsgående brønner, adskilt av en tett sentervegg. Det er også bygget to båter med tre langsgående brønner, samt et par båter med to stående, sylindriske brønner. Årsaken til at langsgående, rektangulære brønner er mest bruk, kan relateres til den åpenbare fordelene dette innebærer for båtens stabilitet ved fri væskeoverflate. I lengderetning av brønnene kan det oppstå innvendig slamming som følge av fri væskeoverflate eller luftbobler under taket. Dette er selvfølgelig ikke ønskelig på grunn av fisken om bord, som en ønsker å holde så rolig som mulig under frakten.

Den alternative løsningen med sylindriske brønner ble introdusert under argumentet om at dette ville medføre en bedre og mer uniform strømming i brønnen, som skulle tillate høyere fisketetthet samt at fisken fikk utøve sin naturlige svømmeadfærd i båten. Tilbakemeldinger fra brukere av "MS Victoria Lady", den eneste norske båten med sylindriske brønner, gir imidlertid ikke et entydig svar på at dette er en bedre løsning enn rektangulære brønner.

Brønnene er laget i vanlig skipsstål, og malt med en giftfri maling. Brønner i ubehandlet, rustfritt stål har også vært forsøkt, men galvanisk korrosjon gjorde at disse brønnene også måtte males. Tanktoppen i brønnene legges normalt på høyde med vannlinjen i lastet tilstand. Foran og bak brønnene finnes et antall pumper som pumper vann inn i og ut av brønnene, samt sørger for å holde en kontinuerlig vannsirkulasjon inni brønnvolumet.

## 4.2 Laste- og losseteknologi

For å kunne laste og losse fisk, utstyres båtene med lasteslanger som kan senkes i merdene, tilknyttet et rørsystem som ender opp i bunnen av brønnene.

'State of the art' metode for lasting medfører at brønnene fylles helt opp med vann før lastingen påbegynner. Brønnenes trunker er da lukket, slik at brønnene blir et luft- og vanntett volum. Slangene senkes i merdene, og ved å pumpe ut vann fra brønnene, skapes et undertrykk som suger vann og fisk om bord i båten. Ved lossing snus vannstrømmen ved å pumpe vann inn i brønnene, slik at det etableres en utgående vannstrøm gjennom lasteslangene. Ved bruk av et skyveskott, som i praksis er en flyttbar, perforert vegg inni brønnen, trengs fisken mot utløpet, og følger med den utgående vannstrømmen.

Det finnes fortsatt mange eldre båter som laster og lossar etter enklere prinsipper. Rundt år 2000 innebar 'state of the art' lasting å fylle brønnene delvis opp med vann, og deretter senke lasteslangen i merdene. Vakuumpumpen startes for å skape et initielt sug, deretter flyttes fisken over til brønnen ved hjelp av hevertprinsippet (vannstand i brønn holdes noe lavere enn havoverflaten). Denne lastemetoden er også skånsom for fisken.

Lossingen foregår vanligvis ved å senke vannstanden i brønnene betraktelig for å trenge fisken sammen slik at fisken kan pumpes ut med bruk av en trykk-/vakuumpumpe. Trenging og pumping stresser fisken betydelig. For å bedre på dette forholdet, er lossing med bruk av skyveskott tatt i bruk på nye fartøy (ingen senking av vannstanden i brønnen). Alternativt kan vann og fisk evakueres gjennom lasteslangene ved å introdusere et overtrykk av luft i brønnen (enkelte nye fartøysdesign baserer seg på muligheten av å trykksette en forsterket brønn).

Vakuumpumper er fremdeles montert om bord på nye fartøy, men fordi disse anses å være lite skånsomme mot fisken, brukes de bare ved spesielle behov.

### 4.3 Sirkulasjonsteknologi

Brønnbåter bruker to alternative prinsipper for sirkulasjon i brønnen. Den mest vanlige, "åpent system", innebærer at vann hentes direkte fra sjøen, pumpes gjennom brønnene og returneres til sjø. Såkalt "lukket system" innebærer at bunnventilene lukkes, og vannet resirkuleres i brønnene ved bruk av pumpe. I Norge benyttes sistnevnte metode bare dersom det er spesielle behov for smittebegrensning, for eksempel ved transport av syk fisk. Ved bruk av lukket system må en iverksette flere vannbehandlingstiltak for å holde fisken i live. Dette innebærer først og fremst å tilsette oksygen, luften ut CO<sub>2</sub>, og eventuelt bruke proteinskimmer. I tillegg kan en eventuelt kjøle brønnvannet ved bruk av fartøyets innbygde RSW-system. Bruken av RSW demper fiskens aktivitetsnivå/metabolisme i brønnen, og reduserer belastningen på øvrige vannbehandlingssystemer. I tillegg kan fisken leveres avkjølt til slakteri, noe som kanskje kan bedre produktkvaliteten samtidig som at kjølebehovet på slakteriet reduseres. Dette forutsetter imidlertid en slaktelogistikk som er tilpasset direkte levering fra brønnbåt til prosesslinje, noe som ofte ikke praktiseres i Norge i dag.

Sirkulasjonspumper dimensjoneres vanligvis for en vannmengde som tilsvarer fullstendig utskifting av brønnvannet hvert 15. til 20. minutt. Tidligere har vannet blitt injisert foran i brønnen, og pumpet ut akter, men etter hvert som brønnene ble stadig større, ble det nødvendig å introdusere flere innløpspunkter for å redusere lengden på den effektive vannsøylen. I dag er det vanlig å ha injeksjonskanaler langs hele lengden av dørken i brønnene, og evakuering av vannet enten gjennom kanaler i brønnveggen eller i akterkant. Det benyttes vanligvis perforerte plater med 40 % lysåpning over de feltene hvor vann skal strømme inn eller ut av brønn. Ved transport av oppdrettstorsk er det ønskelig at det også kommer en vannstrøm under ifra (som fra slike injeksjonskanaler) som gir fisken 'et løft' opp i vannsøylen. Dette for å unngå for at bunnfisk som torsk klumper seg i bunnen av brønnen.

God sirkulasjon uten dødsoner har blitt stadig viktigere de senere år, ikke bare for å tilby fisken optimal vannkvalitet i hele brønnen, men også for å kunne gjennomføre kjemiske behandlinger i brønnrommet (avlusing) med riktig terapeutisk dose. Til tross for størrelsen på investeringen en slik båt innebærer, benyttes strømningsanalyser (CFD) bare i begrenset grad i designfasen. Det er så langt ingen klar konsensus om hvilket rørarrangement (plassering av innløp og utløp, antall innløp og utløp m.m.) som gir best vannkvalitet, en kan derfor forvente videre utvikling av disse arrangementene.

### 4.4 Hygiene

De siste årene har det blitt mer fokus på hygienisk design av brønner og tilhørende rørsystemer.

I brønnbåter benyttes i dag en to-trinns prosess for renhold og desinfeksjon. Første trinn har til hensikt å fjerne organisk materiale fra alle flater, og innebærer påføring av såpe og vasking. Det er fortsatt mest vanlig å utføre dette trinnet manuelt, ved at en av mannskapet vasker flatene med en brannslange. Det er imidlertid en klar trend mot automatiske vaskesystemer, med spyledyser montert i brønnrommet og tilførselskanaler (REDOX AS). Andre trinn av renholdet er desinfeksjon, og denne delen utføres automatisk. I praksis fylles brønner og rør helt opp med vann, og ozon tilsettes så brønnvannet. Dette sirkulerer så i rør og brønner i 3 timer.

#### 4.5 Spesielløsning: Prosesseringsfartøy

Som den eneste båten i Norge har brønnbåten "MS Tauranga" blitt ombygd til et såkalt prosesseringsfartøy, som innebærer at slaktefisk avlives og bløgges ved siden av oppdrettsmerden. Fisken slippes så ned i brønner med RSW-kjølt vann før den fraktes til land, og pumpes i lukket krets inn i slakteriet.

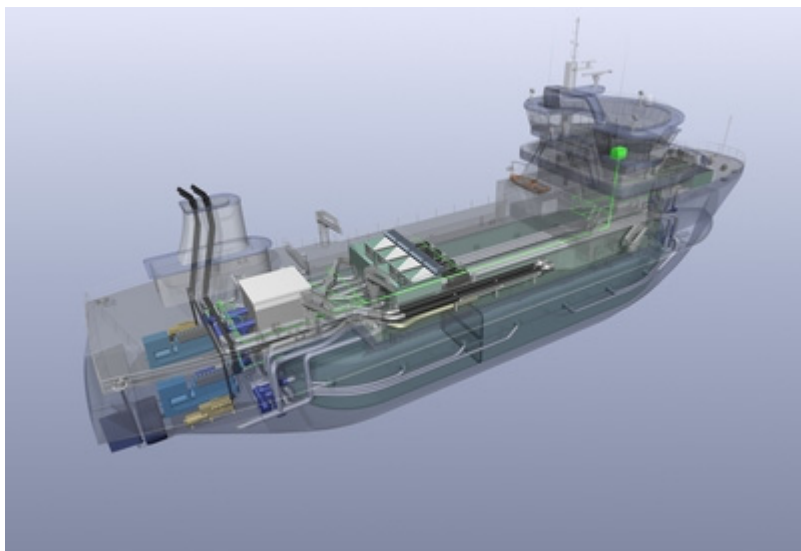
"MS Tauranga" ble opprinnelig bygget med to langsgående, rektangulære brønner. Ved ombygningen ble hver brønn delt inn i tre, altså totalt seks lukkede rom, fortrinnsvis for å muliggjøre en "first in-first out" håndtering av fisken. I tillegg er to mindre rom avsatt til blodvann. For å få sirkulasjon i brønnene, er det montert to perforerte sylindrer oppå dørken i hver brønn som vann strømmer ut av, og en perforert sylinder i tak for evakuering av vann. Brønnene er også utstyrt med et antall spyledyser som besørger automatisk vask.

#### 4.6 Spesielløsning: levendefangst (fiske)

Et fåtall fiskebåter har også blitt utstyrt med brønnbåt-teknologi, som muliggjør levende føring av villfanget fisk. Dette har kommet som følge av et ønske om å kunne tilby fersk fisk (spesielt torsk) utenfor sesong. Torsken fanges med vanlige fiskeredskaper, vanligvis snurrevad, tas deretter så skånsomt som mulig om bord i båten, og slippes ned i vannfylte brønner med sirkulasjon.

Når torsken kommer om bord, er den utmattet som følge av innfangningen, og vil gjennomgå en restitusjonsperiode på opp i mot et døgn. I denne perioden legger torsken seg på bunnen, og brønnene er utformet spesielt for å tilby et godt vannmiljø i denne perioden. I praksis pumpes vannet inn gjennom en perforert plate i bunnen av hele brønnen, dette for å sikre god oksygentilgang og forhindre at torsken klumper seg for mye på bunnen. Utløp fra disse brønnene er vanligvis enkelt overløp.

Etter føring til lokaliteten, overføres torsken til merder hvor den føres opp frem til slakting.

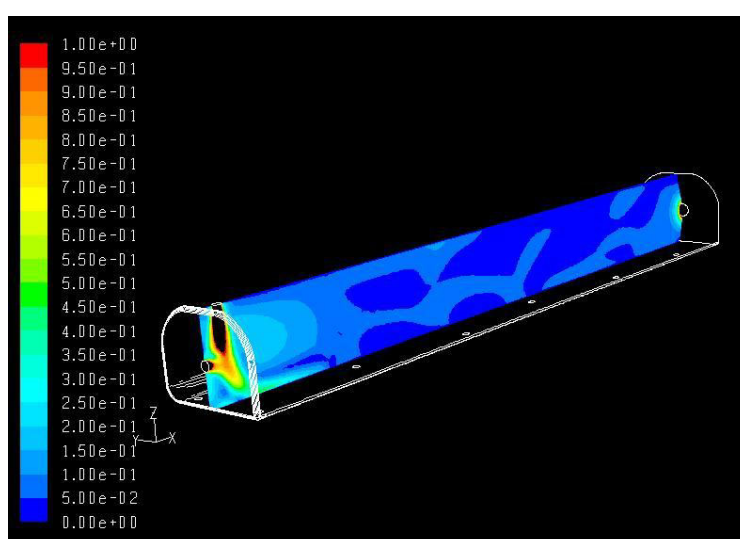


Figur 5: Nyutviklet brønnbåtkonsept ved SINTEF Fiskeri og havbruk (SINTEF, 2011)

## 5 Modellering

Strømning i tank på fiskebåter gir stor modelleringsutfordring. Blandingen av fisk og sirkulerende vann kan betegnes som granulær strømning. Granulær strømning finnes i mange industrielle sammenhenger hvor faste partikler holdes i suspensjon: fluidizied bed reaktor, kolloid suspensjon osv. Det har vært stor forskningsinnsats på denne type solid/væske strøm, og teori basert på kinetikk teori har vært utviklet (Gidaspow, 2002).

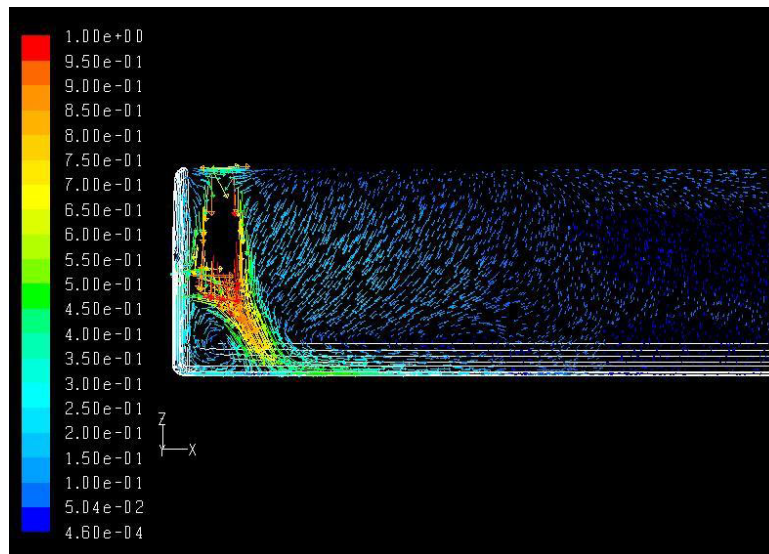
Denne teorien er implementert i CFD-softwaren FLUENT. Det er benyttet Euler-Euler tilnærming, hvor væske og fast stoff er modellert som kontinuum (alle fisker blir ikke modellert som individ!) med spesielle interaksjons regler. Viktige konsepter er granulær trykk som gjør at fisk ikke kan komprimeres over en viss grense, og granulær temperatur som styrer effektive viskositet til strømningen. Denne viskositet er en funksjon av partikkel konsentrasjon og hastighetsgradient i strømmen.



Figur 6: Strømningsanalyse av brønnrom i brønnbåt. Langskips strømningshastighet i senter av brønn (SINTEF, 2011)

Metoden har visst seg å være vellykket for flere anvendelser, og SINTEF har solid erfaring med den (Johansen, 1998), (Laux, 1997). Fisk er et vanskelig materiale (ganske forskjellig fra teoretiske mono disperse runde partikler), og modellering av fisk/vann strømning blir utfordrende. Den granulære teori gir en grundig ramme man kan bygge på med å utvikle spesifikke interaksjon regler basert på eksperimentelle målinger.

En utfordring med pelagisk fisk er at de ulike fiskeslagene oppfører seg forskjellig. For det første er de døde og for det andre har f.eks sild svømmeblære mens makrell mangler. Sild flyter først for deretter å synke ned til bunnen. Disse egenskapene gjør det utfordrende å lage gode modeller. Dette arbeidet må derfor følges opp med felttester.



**Figur 7: Strømningsanalyse av brønnrom i brønnbåt. Sideriss av strømningshastighet og -retning ved innløpspunkter i fremre del av brønnrom (SINTEF, 2011)**

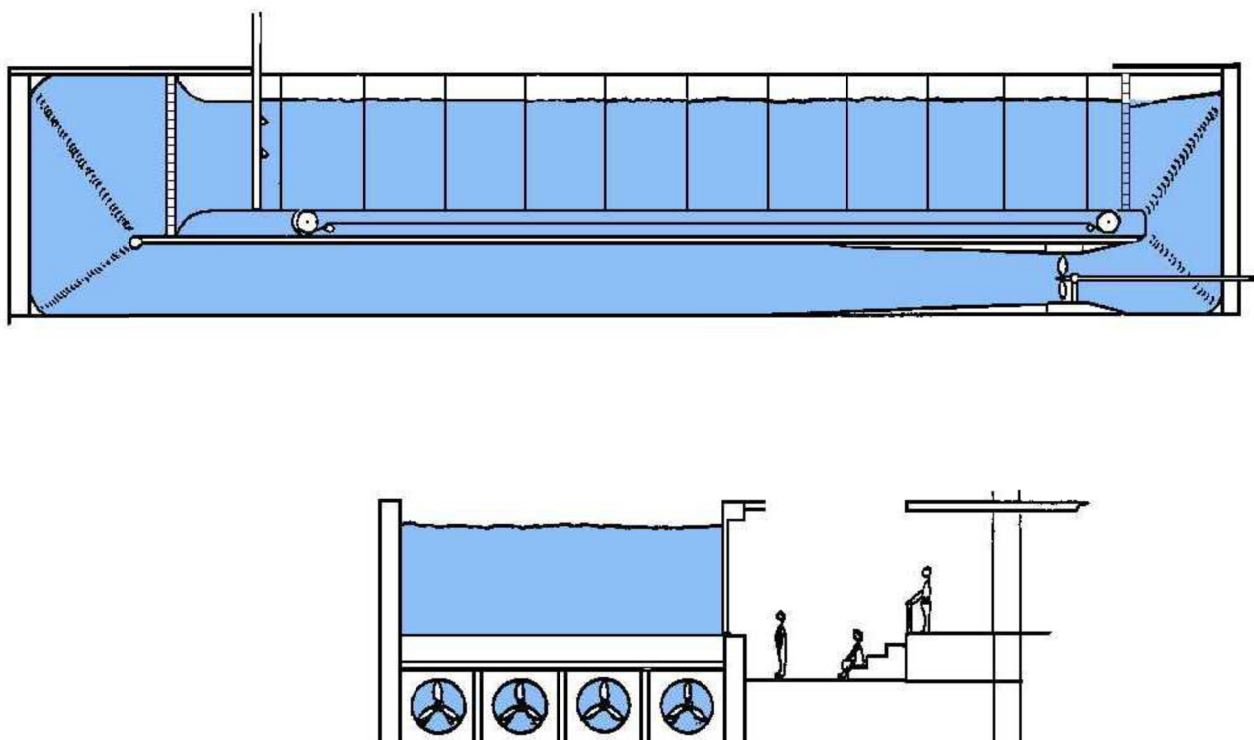
## 6 Tånkdesign

En hovedutfordring når det gjelder strømming i tanker i fiskefartøy er å oppnå en jevn fordeling av strømmingen i tanken. En relevant sammenligning her er vindtunneler og strømmingstanker brukt i areo- og hydrodynamisk FoU. I hydrodynamisk sammenheng er en strømmingstank ("Flume tank") ofte et alternativ til såkalte slepetanker ("Towing tank"). I en strømmingstank drives en vannstrøm rundt i et lukket system vha. strømsettere (thrustere), og objektet som studeres monteres fast i observasjonsseksjonen i tanken. Figur 8 viser hvordan SINTEF Fiskeri og havbruks storskala strømmingstank i Hirtshals er utformet. Denne tanken brukes primært til uttesting av modeller av trål og oppdrettsnøter. Prinsippet er det samme for vindtunneler. I en slepetank derimot slepes objektet gjennom stille vann. Relativhastigheten mellom vann og objekt er den samme, og i prinsippet er derfor fast montering i en uniform strøm og jevn sleping gjennom stille vann to likeverdige prinsipp. En forutsetning for dette er imidlertid at strømmingen i strømmingstanken er jevn (uniform), og at turbulens og virvler dempes ut. Til dette brukes såkalte trykkfallsskjermer ("turbulence damping screens" "wire gauze", "porous screens" etc.), dvs. skjermer, plater eller gitter med høy soliditet (lav porøsitet) og ofte svært små åpninger. Trykkfall og turbulensdemping ifm. porøse skjermer er eget forskningstema, og ved SINTEF har vi brukt denne tilnærmingen til å utvikle modeller for filtreringsevnen til planktonhåver og -tråler. Trykkfallsskjermer har også den egenskapen at strømmingen vendes normalt mot og gjennom skjermen, slik at man til en viss grad kan bruke skrånne skjermer til å styre retningen og fordelingen av strømmingen. Ved SINTEF har vi bl.a. brukt dette til å foreslå løsninger for å kontrollere og forbedre strømningsforhold inne i trålpøser.

Effekten av trykkfall/trykkfallsskjermer kan inkluderes i CFD-verktøy som FLUENT, og man kan således modellere og simulere effekten av forskjellige løsninger. Som begrepet trykkfall indikerer innebærer slike løsninger større pumpekapasitet enn ellers, og i strømmingstanker er der også et volum i forkant av den porøse skjermen (se Figur 8). Løsninger for fiskefartøy basert på trykkfallsskjermer kan derfor innebære en "kostnad" i form av ekstra pumpekapasitet og volum.

Ved strømming gjennom en tank vil det dessuten oppstå en oppbremsing av vannet ved tankveggene. Tykkelsen av dette sjiktet avhenger bl.a. av strømningshastigheten og dimensjonene på tanken, og på tankveggenes overflateruhet. Det er uklart i hvilken grad et grensesjikt vil ha merkbar betydning i tanker på fiskefartøy, men generelt kan det sies at grensesjiktet vil ha relativt større betydning jo lengre tanken er i forhold til tverrsnittet på tanken.

Videre kan man tilføre luft- eller gassbobler både for å generere en mer lokal vannstrøm/sirkulasjon, f.eks. i et hjørne, for å bryte opp grensesjikt, og for å tilføre gass/oksygen. Boble-generert vannstrøm avhenger primært av tilført luftmengde og i noen grad av boblestørrelsen. Jevn, moderat tilførsel av små bobler (mikrobobler) kan øke metningen av oksygen eller en annen gass uten å generere vannsirkulasjon.



Figur 8: Skisse av SINTEFs strømningstank i Hirtshals. Øverst: sett fra siden, nederst: sett forfra. (SINTEF, 2011)

SINTEFs strømningstank er delt horisontalt, der strømmingen i nedre del (returseksjon) drives fra høyre mot venstre av 4 thrustere, mens strømmingen i den øvre observasjons-/måleseksjonen går fra venstre mot høyre. Strømmingen vendes altså  $180^\circ$  i begge ender. I begge endene av tanken er der derfor 2 diagonale sett med kurvede "strømvendere" som bidrar til en bedre retningsendring av strømmingen. Ved innløpet til venstre er så den vertikale trykkfallsskjermen skissert. Langs bunnen i den øvre observasjons- og måleseksjonen er det dessuten lagt inn et teppe/transportbånd som kan kjøres med samme hastighet som strømningshastigheten, slik at man unngår at det oppstår et grensesjikt ved bunnen.



## 7 State of the art – Christina E

Et av de siste nybygg i flåten, er ringnotsnurperen "Christina E". Dette er et helårsfartøy bygget primært for not- og trål- fiske, men som også er utstyrt for "offshore" operasjoner. Teknologien som er tatt i bruk på dette nybygget er det nyutviklede og patenterte (2011) konseptet fra MMC Tendos, med undertrykkslasting i stede for tradisjonell fiskepumpe. Vi har valgt å se nærmere på dette fartøyet, da det her er tatt i bruk noen nye konsepter utviklet for flåten.



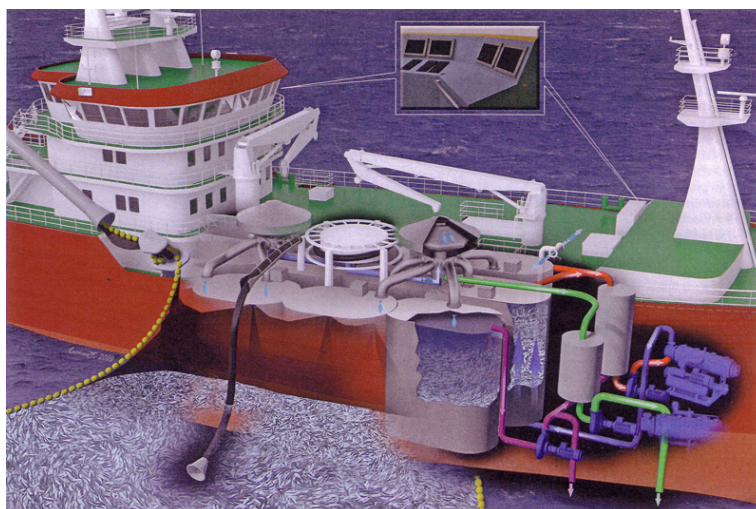
Figur 9: "Christina E" (Karstensens skibsværft A/S, 2010)

Under bygging av dette fartøyet ønsket rederi å tenke nytt fra A til Å. Dette innebærer bruk av et helt nytt og patentert konsept for lasting og lossing, men også konvensjonell tankdesign og skrogutnyttelse ble her revurdert i designfasen.

### 7.1 Tankdesign

Tradisjonelt er tankene ofte designet med korrigerende skott, og trunker i hvert rom. Sammen med dette har det også blitt lagt en del innvendige rør for støttesystemene i tankene. Rederiet mente også at det tidligere hadde vært en tendens til for stort areal på RSW-ristene på trykksiden (innløp i tank), og at dette derfor ikke skapte en uniform og fin strømning i RSW-tanken. Dette ønsket de å forbedre i nybygget. Tidligere har man sett at sylindrisk sirkulære tanker vil gi god gjennomstrømning, men et slikt design vil være for plasskrevende om bord. Rederiet valgt her likevel ikke å forkaste denne ideen, og endte derfor opp med en "Oval" design. Tankene er i dag bygget med rette sider, og sirkulære endinger som grenser mot hverandre. Dette er et kompromiss man håper vil gi en bedre strømning i tankene, samtidig som man får rør og støttesystemer på utsiden av selve lagerrommet, og man beholder store deler av lastekapasiteten om bord.

På Figur 10 ser man den ovale tankdesignen antydnet. Her er det også vist hvordan tankene er bygget mot hverandre. En annen gevinst ved et slikt design er at tankene bedre tåler trykkoppbygging med slette overflater innvendig. Lagertankene om bord varierer i størrelse basert på plassutnyttelse i skroget fra ca 100m<sup>3</sup> til ca 200m<sup>3</sup>. Dette er størrelser vi ser at flåten foretrekker (basert på undersøkelse utført i prosjektet), i forbindelse med kvalitet og kjøling.



Figur 10: Konsept tegninger av nytt design (MMC Tendos, 2010)

## 7.2 Kjøleteknikk

Tradisjonelle RSW-anlegg benytter sirkulasjonspumpen(e) om bord til å suge vannet ut fra topprister i tankene, sender dette gjennom kjøling for så å presse vannet tilbake igjen gjennom bunnrister, sigarer eller lignende. Man oppnår ikke større sirkulasjon enn hva pumpene klarer å suge ut av toppen i tankene. Sirkulasjonsgraden har også en tendens til å avta jo mer fyllingsgrad man benytter seg av i tankene. RSW tankene er også sammenkoblet med utjevningrør for å unngå nivåendringer når pumpene suger mer fra en tank enn de andre. Når man sirkulerer sjøvann på mange tanker samtidig, så kan man ikke med sikkerhet si hvor pumpene henter vannet fra, idet vannet alltid går letteste vei, og utjevningrørene vil sikre likt nivå i tankene.

I nybygget "Christina E" benytter man 2 separate lagertanker / buffertanker for nedkjølt sjøvann som sirkulasjonspumpene suger fra. Vannet presses inn gjennom bunnrister i tankene med en perforeringsgrad som ikke overstiger arealet i tilførselsrøret, noe som vil skape en bedre fordeling over hele innløpet. Samtidig benyttes det ikke suging fra toppristen i tankene, men fortrenging, slik at tankene vil ha overløp mot lagertanker/buffertanker for kjølt vann. Dette betyr at vannet presses inn i bunnen, og vil renne fritt ut gjennom toppen av RSW-tankene om bord. Med en slik løsning sikrer man at vannet alltid går gjennom fisken og renner ut i overløpet til vanntankene.

Alle tankene overvåkes kontinuerlig om bord med tanke på strømning. Det er montert egne flow målere for hver fisketank. Dersom systemet oppdager at en tank i systemet har dårligere gjennomstrømning enn ønsket, så omdirigerer systemet mer vann til denne tanken, slik at man tvinger gjennom større sirkulasjon der det er behov. Temperaturen ut av hver tank måles også, slik at høyere temperatur får mer vann inntil alle er like.

## 8 Oppsummering

Tidligere utført arbeid innen tankdesign og kjøleprinsipper for RSW-anlegg om bord er studert. Søkelyset er rettet mot nybygg i næringen, og erfaringer herfra. Det rettes også fokus mot andre næringer, som løser noen av de samme utfordringene vi her står ovenfor, men på andre måter.

Fra 1960-tallet har fangstbehandlingen av pelagisk fisk endret seg fra manuell ishåndtering til mekaniske kjølesystemer. Med innføringen av RSW-systemer om bord kunne lastene gå fra å være råstoff til mel og oljeindustrien, til å levere høykvalitetsråstoff til humant konsum.

Dagens båter har kjøleanlegg med god kapasitet, noe som gjør de i stand til en effektiv nedkjølingstid på ca 0,5 – 1,5°C i timen. Utfordringen ligger imidlertid i å skape en jevn kjøling av hele lasten. For å løse dette finnes det ulike teorier med hensyn til størrelse og utforming av tankene og hvorledes sirkulasjonssystemet bør være for å takle alle fiskeslag og situasjoner. Laste og lossesystemene har også en innvirkning på kvaliteten, og det gjennomføres for tiden tester med nye løsninger. I rapporten er det rettet et spesielt søkelys mot nybygget "Christina E". Teknologien som er tatt i bruk på dette nybygget er det nyutviklede og patenterte (2011) konseptet med undertrykklasting og trykklossing fra MMC Tendos. På bakgrunn av dette valget har "Christina E" ingen behov for bruk av tradisjonell fiskepumpe. Ved å ta en nærmere titt på teknologien som benyttes om bord i dette nybygget, i kombinasjon med den tankdesignen de har valgt å ta i bruk, er dette et spennende fartøy å følge med på i tiden fremover. Da med spesiell fokus på kjøling og kvalitet på råstoffet de leverer, sammenlignet med tradisjonelle fartøy i flåten.

Innenfor området modellering av tankløsninger er det gjort noe arbeid mot brønnbåt sektoren. Disse resultatene kan ikke direkte adopteres av pelagisk sektor. For det første er det død fisk man skal kjøle og tettheten er mange ganger større ved kjøling av pelagisk fisk. Samtidig kan man også tenke seg at strømningene vil varieres fra fiskeslag til fiskeslag på tankene, da det er ulike fisk med forskjellig fysiologi som skal behandles (med og uten svømmeblære). Samtidig har vi likevel valgt å sette litt fokus på brønnbåtsektoren, da de er kommet langt innenfor områder med fiskehåndtering, strømninger (fisk / vann), hygiene og skipsdesign. Dette er områder det kan være lurt å trekke lærdom av, og se på muligheter for å tilpasse noen av teknologien mot morgendagens pelagiske flåte. Blant annet er i dag et mindre antall fiskebåter utstyrt med brønnbåt-teknologi, som muliggjør levende føring av villfanget fisk. Dette har kommet som følge av et ønske om å kunne tilby fersk fisk (spesielt torsk) utenfor sesong. Torsken fanges med vanlige fiskeredskaper (vanligvis snurrevad), og tas deretter så skånsomt som mulig om bord i båten, før den slippes ned i vannfylte brønner med god sirkulasjon.

I prosjektet har vi også valgt å se mot andre anvendelser og teknikker for å kontrollere / skape strømningsmønstre i tanker. En relevant sammenligning her er vindtunneler og strømningstanker brukt i areo- og hydrodynamisk FoU. Dette har vi gjort ved å se på nærmere på teknikkene som benyttes ved SINTEF Fiskeri og havbruks storskala strømningstank i Hirtshals, Danmark.

Denne tanken brukes primært til uttesting av modeller av trål og oppdrettsnøter. Prinsippet er det samme for vindtunneler. I en slepetank derimot slepes objektet gjennom stille vann. Relativhastigheten mellom vann og objekt er den samme, og i prinsippet er derfor fast montering i en uniform strøm, og jevn sleping gjennom stille vann to likeverdige prinsipp. En forutsetning for dette er imidlertid at strømningen i strømningstanken er jevn (uniform), og at turbulens og virvler dempes ut.

## 9 Videre arbeid

Det bygges for tiden er rekke nybygg, der man prøver å tilegne seg økt kunnskap rundt hva som faktisk skjer i RSW-tankene ombord. Gjennom spørreundersøkelser utført i prosjektet, med mål om å kartlegge driftsrutiner, kommer det frem at det er noe usikkerhet rundt dette med kjøling, og jevn fordeling av vann på RSW –tanker. Per i dag finnes det ikke et entydig svar på dette. Resultatet av dette er at det bygges nybygg med ulike strategier for hvordan man skal bedre kjølingen av fangsten. Samtidig er det en felles forståelse i flåten om at høy kvalitet på råstoffet er viktig, og at videre forskning på området er viktig for å ytterligere heve kvalitet og pris fremover.

For å oppnå en øket kunnskap rundt denne problemstillingen er det viktig å se på fartøy og fangst i sin helhet. Det vil derfor være behov for videre arbeid der man retter fokus mot følgende tema:

- 1. Fartøy, redskapsbruk, fiskehåndtering og tankutforming**
  - I. Identifisere og anbefale beste håndtering og kjøleløsninger for fartøyene i pelagisk fiskeri og utarbeide en anbefaling for drift, renhold og hygiene.
- 2. Fiskeslagenes egenskaper og oppførsel i tankene**
  - I. Utvikle kunnskap om flyteegenskapene til aktuelle fiskeslag og finne tiltak, system og teknologi som sikrer gjennomstrømning og sikker kjøling og temperaturstyring
- 3. Kuldeanlegg og systemer om bord**
  - I. Utarbeide retningslinjer og anbefalinger om kuldeløsninger og ytelsesbehov ved RSW-anlegg med fokus på drift, temperaturforhold og energiforbruk
- 4. Modellering og dimensjonering av dagens tanker og fremtidens tanker**
  - I. Gjennom modellering og simulering gi forslag til endringer i eksisterende tanker for å forbedre strømningsmønsteret samt utvikle den optimale tankutforming med hensyn til strømningsforhold.
- 5. Fremtidens RSW-fartøy**
  - I. Utarbeide anbefalinger om valg av systemer og driftsopplegg for nye kulde- og systemløsninger for kjøling og lagring av pelagisk fisk i sjø eller ferskvann.
- 6. Prosjektledelse**
  - I. Sikre koordinering av aktivitetene og FHF's referansegruppe for å få effektiv ressursutnyttelse og kunnskapsoverføring i Pelagisk næring

Gjennom fokusert FoU-aktivitet innen de felt nevnt i punkt 1-5 vil man være i posisjon til å bygge tilstrekkelig med kunnskap rundt emnet, og deretter være i stand til å komme med anbefalinger på design og driftsrutiner. Dette både på dagens og fremtidige fartøy i pelagisk fiskeri.

## 10 Referanser

- Aursand, I. G. et al. (2011-2012). Ny tankutforming og laste/lossesystem for pelagisk fartøy, FHF-Prosjektnummer 900553.
- Aursand, I. G., & Bondø, M. (2009). Evaluation of technology for receiving of pelagic fish on board. *SINTEF report SFH80 F095016. Confidential.*
- Aursand, I. G., & Bondø, M. (2010). New design of water separator for improved handling of pelagic fish on board – effect on raw material quality. *SINTEF report F105032. Confidential.*
- Aursand, I. G., & Gallart-Jornet, L. (2008). Gentle pumping of pelagic fish from purse seine to vessel – Comparison of two pumping technologies. *SINTEF report SFH80 F085028 Confidential.*
- Aursand, I. G., & Senneset, G. (2006). Transport of pelagic fish. *SINTEF report SFH80A063013.*
- Aursand, I. G., Mathiassen, J. R., Bondø, M., & Toldnes, B. (2011). Technology for improved handling of pelagic fish on board. *SINTEF report SFH80 F18949. Confidential.*
- FHF. (2009). Bruk av CO2 som kuldemedium i anlegg for nedkjøling av sjøvann (RSW) om bord på fiskefartøy, FHF prosjektnummer 900242.
- Gidaspow, D. J. (2002). Hydrodynamics of fluidization using kinetic theory: an emerging paradigm. *Flour-Daniel lecture, Review article, Powder technology, Vol 148, Issues 2-3, 123-141.*
- Heide, M. A. (2008 - 2011). Utvikling av fremtidens brønnbåtteknologi, MAROFF prosjektnummer 188941.
- INAQ Management. (2010). Optimalisering av lasteromssystemer i pelagisk fiskeflåte, FHF prosjektnummer 900513.
- Johansen, H. L. (1998, May 17 - 22). “Computer simulation of bubble formation in a gas-fluidized bed”, FLUIDIZATION IX Durango (Colorado).
- Laux, H. (1997). “*Modeling of dilute and dense dispersed fluid-particle flow*”. Trondheim: Dr.Ing Thesis, The Norwegian University of Science and Technology.
- Midling, K. Ø. (2008). Slakting av oppdrettslaks på båt, direkte fra oppdrettsmerd. *NOFIMA Rapport 6/2008.*



Teknologi for et bedre samfunn  
[www.sintef.no](http://www.sintef.no)