Faglig sluttrapport

Prosjekttittel: Utvikling og testing av RSW-tanker med fokus på effektiv sirkulasjon, hygienisk design og effektiv lossing.

FHF-prosjektnummer: 901730

Forfatter: Espen Ervik og Birgitte Grongstad Kvalsvik

Dato: 23.09.2025

Innhold

Sammendrag 3
2. Innledning 4
2.1 Faglig bakgrunn 4
2.2 Omfang 4
2.3 Organisering og roller 4
3. Problemstilling og formål 6
3.1 Resultatmål 6
3.1.1 Hovedmål: 6
3.1.2 Delmål: 6
3.2 Effektmål – Betydning for næringen og nytteverdi 6
4. Prosjektgjennomføring 7
4.1 Metodisk tilnærming 7
4.2 Gjennomføring 7
5. Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon 8
5.1 Oppnådde resultater 8
5.1.1 Konkretisere forslag til design av RSW-tank 8
5.1.2 Konkretisere forslag til design av Avsilingsrister 9
5.1.3 Konkretisere forslag til design av Bunnrister 11
5.1.4 Automasjon av laste- og lossesystem 12
5.2 Diskusjon 17
5.3 Anvendelsespotensial i næringen 21
5.4 Bidrag til bærekraft 21
5.5 Anbefalinger og videre arbeid 22
6.Hovedfunn 23
7. Referanser 23
8. Leveranser 24

Sammendrag

Dette prosjektet har hatt som mål å utvikle og teste nye løsninger for RSW-tanker (Refrigerated Sea Water) i pelagisk fiskeflåte, med særlig fokus på effektiv sirkulasjon, hygienisk design og effektiv lossing. Bakgrunnen for prosjektet er et dokumentert behov for teknologisk fornyelse i lasteromssystemene, hvor tidligere prosjekter har avdekket betydelige forbedringspotensialer knyttet til kjøleeffektivitet, fiskevelferd og hygiene. Prosjektet bygger videre på erfaringer fra fartøyet *Christina E*, som benytter et undertrykksbasert system og ovale tanker, og som har vist lovende resultater sammenlignet med konvensjonelle løsninger.

Prosjektet ble gjennomført som et bedriftsdrevet utviklingsprosjekt i samarbeid mellom rederi, teknologileverandører og designer. Den opprinnelige metodiske tilnærmingen basert på CFD-analyser ble forkastet grunnet lav validitet ved simulering av fiskemengder over 15 %. I stedet ble det utviklet en praksisnær metode basert på observasjoner og testing om bord i *Christina E*. Dette muliggjorde evaluering av nye designforslag og automasjonsløsninger under reelle driftsforhold.

Resultatene viser forslag til ny utforming av RSW-tanker, rister og vaskesystem, samt automasjonsarbeid. Automasjon av lasting og vask kan bidra til forbedret HMS og redusert behov for manuell innsats. I tillegg ble det identifisert tiltak som kan redusere energiforbruket, blant annet gjennom smartere rørsystemer og gjenbruk av nedkjølt vann. Sammenligninger med konvensjonelle fartøy indikerer at løsningene kan gi høyere råstoffkvalitet, lavere driftskostnader og økt lønnsomhet.

Diskusjonen i rapporten understreker at selv om prosjektet har levert verdifull innsikt, er det behov for videre forskning og fullskalatesting i nybygg for å validere løsningene og dokumentere effektene kvantitativt. Erfaringene fra *Christina E* gir likevel et grunnlag for videre innovasjon og implementering i næringen, og prosjektet vurderes som et viktig bidrag til en mer bærekraftig og effektiv pelagisk fiskeflåte.

2. Innledning

2.1 Faglig bakgrunn

Arbeidet med optimalisering av lasteromssystemer i den pelagiske fiskeflåten har pågått i en årrekke. Allerede i 2010 initierte FHF (Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering) et forprosjekt i samarbeid med INAQ under tittelen *«Optimalisering av lasteromssystemer i den pelagiske fiskeflåten»*. Dette og påfølgende prosjekter har avdekket betydelige forbedringspotensialer, og ikke minst motivasjon for en bredere og mer systematisk videreutvikling.

Hovedprosjektet på *Selvåg Senior*, *«Optimal kjøling av pelagisk fisk i nedkjølt sjøvann (RSW) ombord»*, demonstrerte at selv mindre tekniske tilpasninger kan gi gode resultater. Dette har skapt et faglig grunnlag og en tillit til at større gevinster kan realiseres gjennom et mer helhetlig grep, hvor man ikke begrenser seg til inkrementelle forbedringer i eksisterende løsninger, men i stedet vurderer nytenkning og grunnleggende redesigntiltak.

Til tross for at det allerede for over ti år siden ble utviklet teknologi basert på undertrykk og alternativ tankform, har dette i liten grad blitt tatt i bruk av verft og rederier. De fleste fartøy har fortsatt konvensjonelle systemer basert på sentrifugalpumper og tradisjonell tankgeometri. Dette til tross for at flere FHF-støttede prosjekter har vist at ny utforming av RSW-tanker, med fokus på hygienisk design – som rette flater og avrundede hjørner – kan gi både forbedret vaskbarhet og mulig gevinst på andre områder som sirkulasjon, skånsomhet og kvalitet på fangsten.

I lys av klimaendringer og økt værpåvirkning, vil det også stilles høyere krav til lastesystemenes robusthet og ytelse fremover. Behovet for kunnskapsbasert teknologiutvikling er derfor både presserende og strategisk viktig.

2.2 Omfang

Dette prosjektet hadde som mål å undersøke hvordan ny design av lasterom og kjølesystem, med utgangspunkt i hygienisk og funksjonell utforming, påvirker faktorer som fiskekvalitet, energieffektivitet, vaskbarhet, mekanisk påvirkning på fisken og operasjonell lønnsomhet.

Prosjektet tok utgangspunkt i tidligere funn fra blant annet *Selvåg Senior* og erfaringene knyttet til det unike undertrykksbaserte systemet brukt på *Christina E*. I stedet for å forsøke å forbedre eksisterende løsninger, tok prosjektet sikte på å utvikle en helhetlig ny løsning, spesielt tilpasset fremtidens krav og teknologi.

2.3 Organisering og roller

Prosjektet ble gjennomført som et bedriftsprosjekt i regi av FHF, med *Christina E AS* som hovedaktør og praksisarena for teknologitestingen. Tidligere erfaringer fra samarbeid mellom *MMC First Process*, Salt Ship Design og *Christina E AS* dannet et faglig og teknologisk fundament for videre utvikling.

I dette prosjektet bidro rederiet med operasjonell erfaring, praktisk testing og prosjektstyring. Teknologileverandører bisto med utvikling, tegning og tilpasning av nye løsninger.

Prosjektgruppen:

Espen Ervik - Christina E AS - Teknisk sjef og skipper

Helge Birkeland - MMC First Process AS - VP Design & Engineering

Per Gunnar Hauge – MMC First Process AS - AS Prosjektleder

Tor Eivinn Haaland - Salt Ship Design AS - Engineer

Birgitte Grongstad Kvalsvik- Christina E AS

Marko Polter - MMC First Process AS - FoU-leder

Rita Christina Sævik - Christina E AS - Daglig leder

Steinar Torvik - MMC First Process AS - Salgssjef, pelagiske fiskefartøy

Jan Petter Urke- MMC First Process AS - VP Cooling

Eivind Vinje - MMC First Process AS - VP R&D

Referansegruppen:

Espen Ervik - Christina E AS - Teknisk sjef og skipper

Tor Eivinn Haaland - Salt Ship Design AS - Engineer

Rita Christina Sævik - Christina E AS - Daglig leder

Jan Petter Urke - MMC First Process AS - VP Cooling

3. Problemstilling og formål

3.1 Resultatmål

Prosjektets hovedmål og delmål er som følger:

3.1.1 Hovedmål:

Utvikling og testing av RSW-tanker med fokus på effektiv sirkulasjon, hygienisk design og effektiv lossing.

3.1.2 Delmål:

- Konkretisere forslag til design av RSW-tank
- Forbedre kjøling, raskere og jevnere nedkjøling
- Forbedre effektivitet av lossing
- Forbedre sirkulasjon, spesielt ved høy fyllingsgrad
- Forbedre hygiene/renhold, redusere fare for listeriakontaminering
- Mer effektiv og skånsom lossing, også ved trykksetting av tank
- Forenkle vasking av RSW-tank, spare tid, vann og ressurser
- Forbedre HMS, tryggere arbeidsflyt, mindre eksponering for og bedre håndtering av eddiksyre
- Redusere energiforbruk
- Øke lønnsomheten gjennom økt pris og/eller reduserte kostnader
- Bygging og testing av prototype, både digitalt og i fullskala

Leveransene i prosjektet var planlagt å omfatte tekniske designforslag, simulerings- og testdata, praktiske vurderinger av løsningenes effekter om bord, og dokumentasjon av gevinster knyttet til kvalitet, HMS, lønnsomhet og bærekraft. Prosjektet la også til rette for at teknologien kunne tas i bruk i nybygg og videre tilpasses for andre fartøy i flåten.

3.2 Effektmål – Betydning for næringen og nytteverdi

Prosjektet hadde som overordnet mål å bidra til en teknologisk og funksjonell forbedring av RSW-systemene i den pelagiske fiskeflåten. Dette skulle gjøres gjennom utvikling og testing av nye tanker som kunne være mer hygieniske, energieffektive og som kunne gi bedre sirkulasjon og skånsom behandling av fangsten. En slik utvikling ville kunne gi flere konkrete og målbare gevinster for både næringen, samfunnet og miljøet.

Bedre kjøling og håndtering av fisken kan gi høyere kvalitet på råstoffet, mindre svinn og bedre pris. Tanker som er lettere å rengjøre reduserer bakterievekst og behovet for kjemikalier, og styrker matsikkerheten. Automatiserte løsninger forbedrer arbeidsmiljøet ved å redusere eksponering for kjemikalier og fysisk belastning. Mer effektiv kjøling gir lavere energiforbruk og reduserte utslipp. Samlet gir dette økt lønnsomhet, større investeringsvilje og økt etterspørsel etter norsk teknologi. Prosjektet bidrar også til verdiskaping i distriktene og en mer bærekraftig matproduksjon med lavt miljøavtrykk.

4. Prosjektgjennomføring

4.1 Metodisk tilnærming

Prosjektet ble opprinnelig planlagt med utstrakt bruk av CFD-analyser (Computational Fluid Dynamics) for å simulere og evaluere ulike design av RSW-tanker. Hensikten var å bruke digitale prototyper for å spare tid og kostnader, samt gi fleksibilitet i utviklingsprosessen. Deretter skulle det implementeres i et nybygg.

Underveis i prosjektet viste det seg imidlertid at CFD-analyser ikke ga valide resultater for simulering av fisk i tank, spesielt ved høy fyllingsgrad. Tester utført av Norconsult viste at det var utfordrende å simulere fiskemengder over 15 %, og at bevegelsesmønsteret til fisk som makrell ble for uforutsigbart til å gi pålitelige data. På bakgrunn av dette ble det besluttet å endre metodisk tilnærming.

I stedet for digitale simuleringer ble prosjektet skalert betydelig ned i omfang og det ble utviklet en alternativ metode basert på praktiske observasjoner om bord i fartøyet *Christina E*. Denne tilnærmingen har gjort det mulig å evaluere løsninger i reelle driftsforhold, med særlig fokus på automasjon, hygiene, effektiv kjøling og lossing.

4.2 Gjennomføring

Prosjektet har vært gjennomført i følgende hovedfaser:

1. **Kravspesifikasjon og designutvikling**
   Det ble gjennomført idédugnad og utviklet alternative design for RSW-tanker. Designene ble vurdert opp mot eksisterende løsninger, inkludert erfaringer fra *Christina E* og konvensjonelle fartøy. Det ble utarbeidet tegninger av ulike tankdesign Ervik, E. & Kvalsvik, B. (2024a).

2. **Praktisk testing og evaluering**
   I fravær av CFD-simulering ble det gjennomført praktiske forsøk om bord i *Christina E*. Fokusområder har vært:
   - Automasjon av lasting fra hekken
   - Evaluering av utforming og plassering av rister for bedre hygiene og effektiv nedkjøling
   - Evaluering av tankgeometri og vaskbarhet

3. **Videreutvikling av teknologi**
   MMC har arbeidet med å utvikle ny programvare for styring og optimalisering av RSW-systemet, basert på erfaringer fra *Christina E*.

4. **Kost-nytte-vurdering og dokumentasjon**
   Det ble gjennomført sammenligninger mellom *Christina E* og konvensjonelle fartøy for å vurdere forbedringspotensial og effekter av de nye løsningene. Fullskalatesting vil først være mulig ved kontrahering av nytt fartøy.

Gjennom hele prosjektet har det vært tett samarbeid mellom aktørene, og den samlede kompetansen har vært avgjørende for å finne praktiske og fremtidsrettede løsninger til tross for metodiske utfordringer.

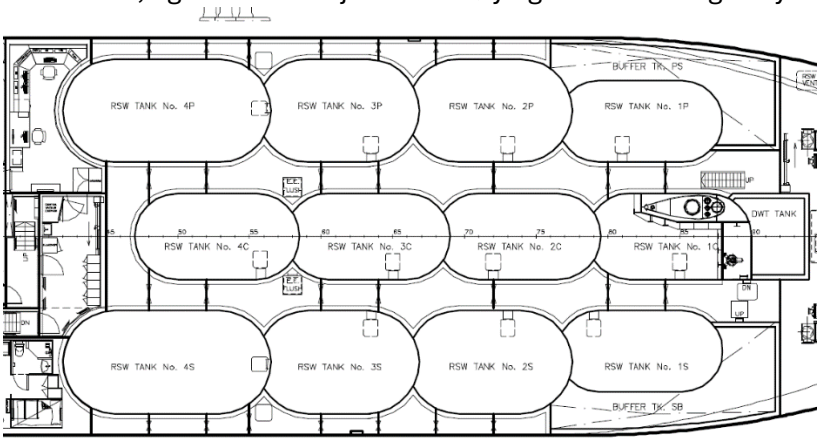
5. Oppnådde resultater, diskusjon og konklusjon

5.1 Oppnådde resultater

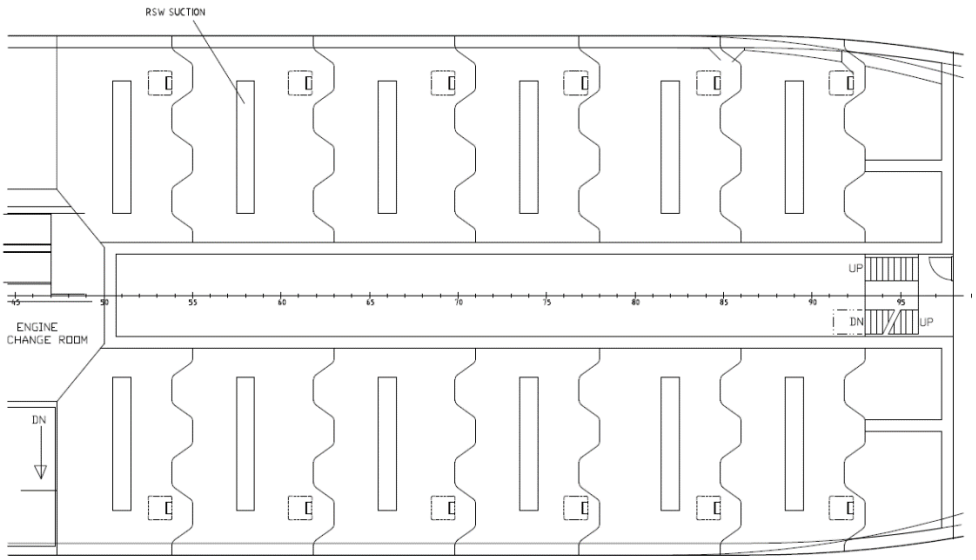
Det ble nødvendig med metodiske justeringer underveis, derfor vil ikke resultatene kunne svare konkret på alle delmål i prosjektet. Til tross for dette har prosjektet levert flere resultater som vil være verdifulle for videre arbeid og studier.

5.1.1 Konkretisere forslag til design av RSW-tank

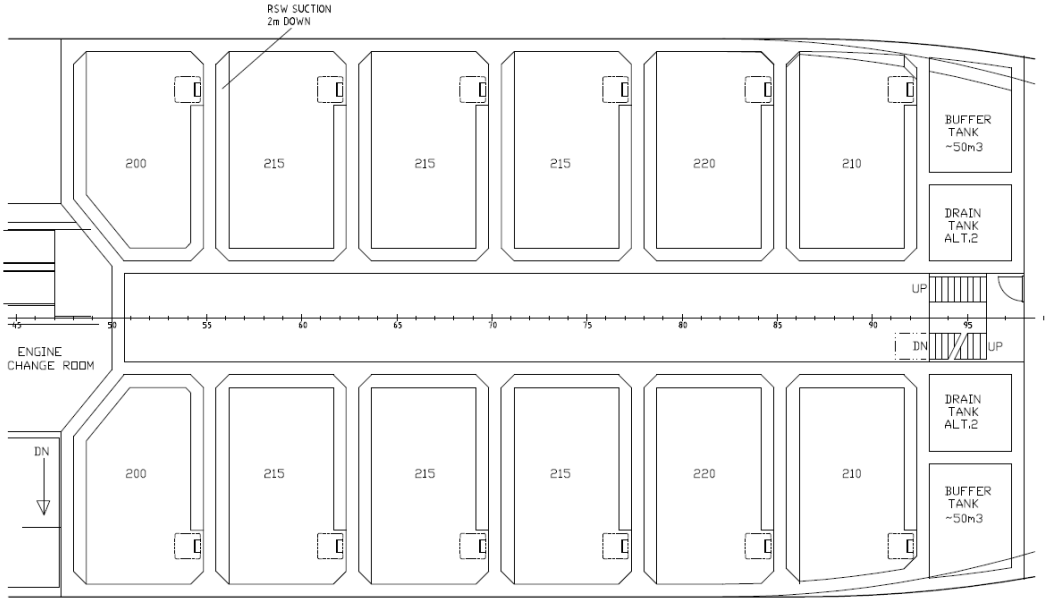
Det ble utviklet og evaluert flere alternative design av RSW-tanker (modell a, b og c tegnet av Salt Ship design), med fokus på sirkulasjon, hygiene og HMS. Dette ble sammenlignet med eksisterende løsninger på Christina E og konvensjonelle fartøy. Tekniske tegninger og skisser ble produsert og dokumentert i rapporten «Design av tank og Rister». Figur 1 viser tankutforming på christina E, figur 2 konvensjonelle fartøy og 3 viser forslag til ny utforming i framtidige fartøy.



Figur 1.Tankutforming Christina E



Figur 2 Tankutforming konvensjonelle fartøy

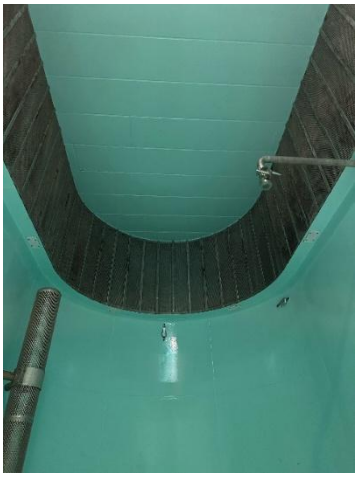


Figur 3. Tankutforming prosjektet

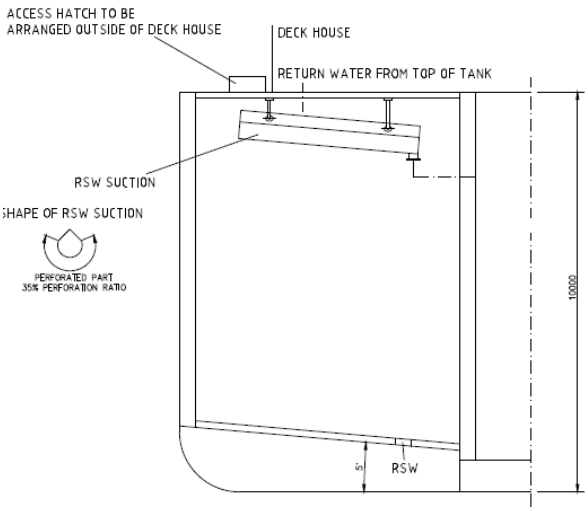
5.1.2 Konkretisere forslag til design av Avsilingsrister

Det ble utviklet og evaluert flere alternative design av avsilingsrister (modell a, b og c tegnet av Salt Ship design), med fokus på sirkulasjon, hygiene og HMS. Dette ble sammenlignet med eksisterende løsninger på Christina E og konvensjonelle fartøy. Tekniske tegninger og skisser ble produsert og dokumentert i rapporten «Design av tank og Rister».

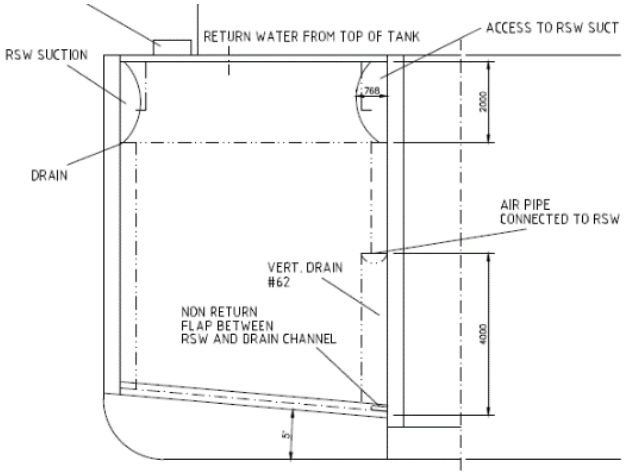
Figur 4. Tankutforming Christina E



Figur 5. Tankutforming Christina E



Figur 6. Avsilingsrist modell c)

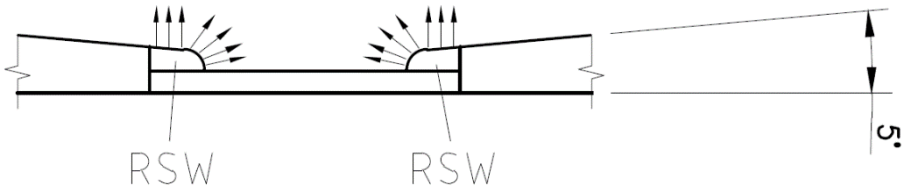


Figur 7. avsilingsrist modell a) og b)

5.1.3 Konkretisere forslag til design av Bunnrister

Det ble utviklet og evaluert flere alternative design av bunnrister (modell a, b tegnet av Salt Ship design), med fokus på sirkulasjon, hygiene og HMS. Dette ble sammenlignet med eksisterende løsninger på Christina E og konvensjonelle fartøy. Tekniske tegninger og skisser ble produsert og dokumentert i rapporten «Design av tank og Rister».

Figur 8 Bunnrister Christina E



Figur 9 Bunnrister modell b)

Figur 10 Bunnrister modell a)

5.1.4 Automasjon av laste- og lossesystem

Oversikt

Et undermål med prosjektet har vært å automatisere flere av prosessene i laste-lossesytemet for å gjøre det oversiktlig å bruke systemet, og å hindre brukerfeil. Systemet automatiserer nå de normale operasjonene *Filling*, *Chilling* og *Emptying*. For fiskebåter er det normalt å kjøle vann på noen lasterom i forkant av fiskeoperasjon, og videre overflytte kjølt vann til andre tanker under lasting av fangst. De neste avsnittene viser programmeringen og automasjonen som er utarbeidet.

Lasteplan

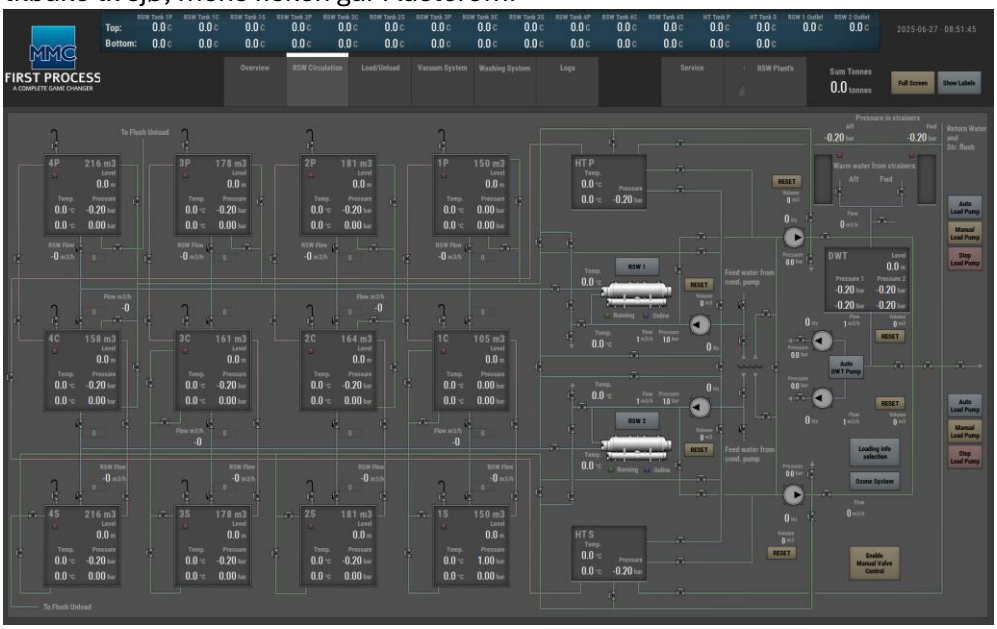
Det ble utarbeidet og oppgradert avansert lasteplanlegger om bord i Christina E, hvor operatør i forkant av lasting velger hvor mange tonn fisk man ønsker i hver tank. Dette blir utgangspunktet for den automatikken som har blitt utviklet for «*loading* prosessen». Alle tankene kan nå laste sammenhengende uten avbrudd.

Figur 11 Lasteplan

Sirkulasjon

Sirkulasjonssystemet er pumpe- og ventilsystemene som mulligjør «*Filling*, *Chilling* og *Emptying*», og som i dette prosjektet er gjort helautomatisk, men med kontrollert overstyring fra operatør dersom utstyr svikter.

Sirkulasjonssystemet har en egen avsilingstank (Dewater Tank DWT), som brukes under lasting av fangst. Det er nå automatisert slik at vann og fisk under lastingen blir skilt, og vann blir pumpet tilbake til sjø, mens fisken går i lasterom.



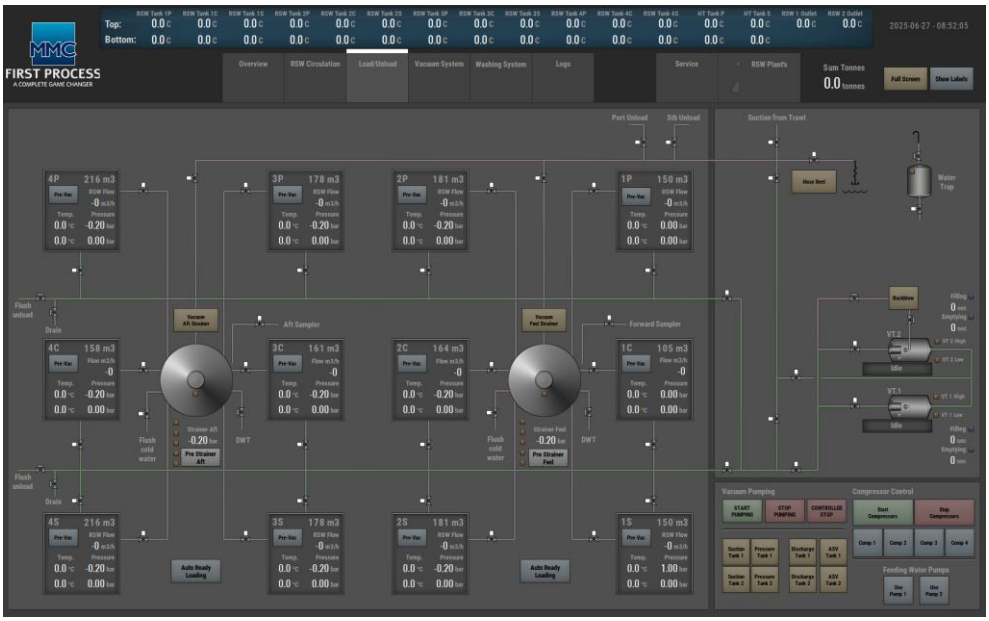
Figur 12 Sirkulasjon

Undertrykkslasting

To undertrykkstanker sørger for avsiling av vann under lasting. Lasteoperasjonen krever undertrykk i disse tankene, og gjennom bruk av vakuumkompressorer oppnår båten et undertrykk på rundt **-0.7 bar** for å effektivt skape sug i slange som ligger i sjøen.

Det ble utarbeidet program for prevakumering av undertrykkstankene som settes på i god tid før man er klar for lasting. Dette hindrer oppholdstid fra man legger slangen i sjøen til man er i gang med lasting, og har nå effektivisert prosessen.

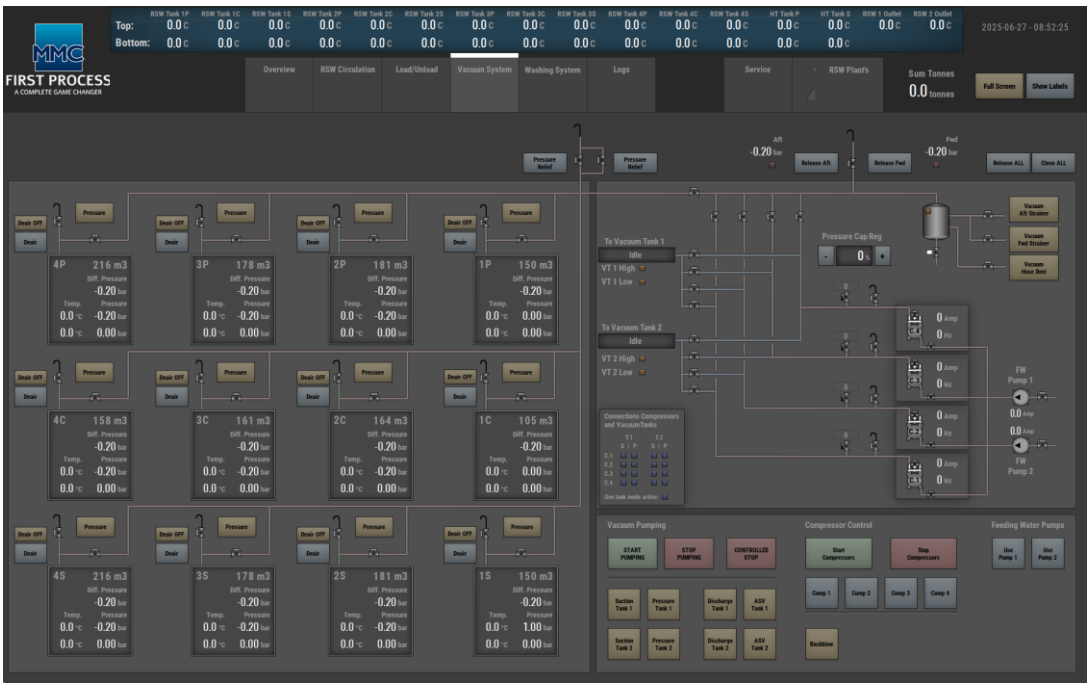
Ut fra lasteplan veksles lasterom nå automatisk, der det i hver veksling vil være forbindelse mellom undertrykkskammer og 2 lasterom. Det lasterommet som er i ferd med å avslutte sikres å få ønskelig nivå før det ferdigmeldes og blir satt under kjøling.



Figur 13 Undertrykkslasting

Overtrykkslossing

Ved overtrykkslossing åpnes nå forbindelse mellom lasterom og losselinjer. Når lasterommet er fullt og ved å påføre trykkluft via vakuumkompressorer, oppnår man nok overtrykk til å presse ut vann/fisk fra lasterommet. Under et gitt nivå går man over til tradisjonell vakuumpumping, det vakuumsystemet med vakuumtanker suger ut siste rest av lasterommet og pumper til land.



Figur 14 Overtrykkslasting

Oppsummering av resultater:

- **Automasjon av lasteoperasjoner fra trål**: Det ble utviklet og testet ny programvare som muliggjør helautomatisk lasting av trålfanget fisk om bord i *Christina E*. Dette kan gi bedre kontroll, reduserer behovet for manuell styring og forbedrer kvaliteten på fisken. Programvaren er også totalt gjennomgått slik at all lasting og lossing, samt kjøling og flytting til nye tanker går automatisk.

- **Design og evaluering av RSW-tanker**: Det ble utarbeidet og sammenlignet flere alternative tankdesign (modell a, b og c), med særlig fokus på sirkulasjon, hygiene og HMS. Designene ble vurdert opp mot eksisterende løsninger på *Christina E* og konvensjonelle fartøy.

- **Utvikling av forbedrede avsilings- og bunnrister**: Nye løsninger for topprister og bunnrister ble skissert, med mål om bedre vannfordeling, enklere renhold og redusert risiko for skader på fisken.

- **Praktisk testing og observasjon**: Feltforsøk under reelt fiske (bl.a. nordsjøsild) dokumenterte at automasjonsløsningen fungerte etter hensikten. Dette ble diskutert i rapport «Forbedring av automasjon ved pumping av trålfanget fisk om bord i Christina E»

- **Omlegging av metode**: Etter at CFD-analyser viste seg uegnet for simulering av fiskens bevegelse i tank, ble prosjektet dreid mot praktisk testing og observasjon om bord. Dette har gitt mer realistiske og anvendbare resultater.

5.2 Diskusjon

I løpet av prosjektets gjennomføring oppstod det behov for en metodisk justering, ettersom det ikke lot seg gjøre å gjennomføre de planlagte simuleringene. Dette medførte at prosjektet leverte færre konkrete resultater enn opprinnelig forutsatt. Som et alternativ ble det gjennomført sammenligninger med det eksisterende fartøyet *Christina E*, som i dag er utstyrt med et avansert og innovativt RSW-system, i kontrast til mer konvensjonelle fartøysløsninger.
Denne diskusjonen tar for seg hvert av prosjektets delmål og vurderer hvordan *Christina E* skiller seg fra tradisjonelle fartøy, både med hensyn til teknologiske løsninger og ytelse. Videre presenteres forslag til forbedringer basert på disse sammenligningene. Dette kan være verdifulle refleksjoner å ta med i videre arbeid og for oppsett av protokoller for praktisk testing. Diskusjonen danner også et grunnlag for videre arbeid, ettersom det identifiseres et behov for mer omfattende forskning og detaljerte tester innen dette fagområdet.

- **Gyldighet og presisjon**: Resultatene er basert på reelle driftsforhold og erfaringer fra mannskap og utviklere. Dette kan gi praktisk relevans, men lavere grad av statistisk generaliserbarhet.

- **Sikkerhet og pålitelighet**: Automasjonsløsningen ble testet i flere omganger og fungerer stabilt. Det er likevel behov for videre testing under ulike forhold og med ulike fiskeslag, samt kvantitative standardiserte målinger av fisk.

- **Metodisk avvik**: Prosjektet ble opprinnelig planlagt med CFD-analyser som sentral metode. Disse ble forkastet etter at Norconsult dokumenterte at simuleringer med mer enn 15 % fisk ikke ga valide resultater. Dette er et viktig avvik, men har samtidig ført til en mer praksisnær tilnærming.

- **Begrensninger**: Det ble ikke gjennomført kvantitative målinger av fiskekvalitet (f.eks. blødningsgrad, temperaturprofil), noe som kunne styrket dokumentasjonen ytterligere.

Diskusjon ut ifra de enkelte delmål i prosjektet:
Det refereres til rapport *Design av tank og rister: Sammenligning av konvensjonelle design og videreutvikling av tankdesign på Christina E* (Ervik & Kvalsvik, 2024a) og *Forbedring av automasjon ved pumping av trålfanget fisk om bord i Christina E* (Ervik & Kvalsvik, 2024b) i diskusjonen under. Mer utfyllende diskusjon finnes i rapportene som også er vedlagt.

1. Konkretisere forslag til design av RSW-tank

Gjennom prosjektets forløp ble det, i samarbeid med Salt Ship Design, utviklet og vurdert flere alternative tankdesign (modell A, B og C, jf. vedlagt rapport om tankdesign). Erfaringene fra fartøyet *Christina E*, som benytter ovale tanker, har vist at denne geometrien ikke bare gir god strukturell styrke, men også fremmer effektiv væskesirkulasjon. De ovale tankene ble opprinnelig valgt for å tåle høye trykkbelastninger, men har i praksis vist seg å være fordelaktige også med hensyn til vannstrøm og fiskevelferd.

Tidligere studier av *Christina E* dokumenterte at fartøyet oppnådde raskere nedkjøling av fangst (1–2 timer) sammenlignet med konvensjonelle fartøy, hvor tilsvarende prosess tok 2–8 timer. I tillegg ble det observert signifikant lavere forekomst av skader på fisk ved bruk av undertrykkslasting, sammenlignet med øvrige fartøy i studien (Aursand & Bondø, 2012). Design C vurderes å ha potensial for effektiv arealutnyttelse, men er preget av ujevne overflater. Dette antas å kunne vanskeliggjøre rengjøring og skape uønsket turbulens i

vannstrømmene. Dette støttes av tidligere studier hvor CFD-analyser har vist at sirkulære tanker og avrundede hjørner gir jevnere vannfordeling, redusert turbulens og bedre oksygendistribusjon. Det kan antas at tilsvarende effekter også gjelder for temperaturfordeling i vannet (Zhang et al., 2023). Dette er allikevel vanskelig å fastslå uten feltmålinger i RSW tankene.

Modellene A og B, som har glattere og mer symmetriske flater ble vurdert som bedre egnet for fremtidige nybygg. Disse designene åpnet også for muligheten til å føre rør langs en sentral midtgang, noe som kan forenkle både installasjon og vedlikehold. Glatte overflater kan redusere hydraulisk motstand og muliggjøre mer effektiv sirkulasjon, noe som kan være avgjørende for både kjøleeffektivitet og hygieniske forhold. Samtidig vil dette kunne bidra til en mer optimal utnyttelse av tilgjengelig areal om bord.

2. Forbedre kjøling – raskere og jevnere nedkjøling

Effektiv kjøling kan være en nøkkelfaktor for å bevare kvaliteten på fangsten. Praktiske tester om bord i Christina E viste at ny utforming av rister og tankgeometri kan gi bedre vannfordeling og dermed raskere og jevnere nedkjøling (Aursand & Bondø, 2012). Det kan antas at rør og konstruksjoner i tanken vil kunne hindrer vannstrømmen, da dette kan skape «døde soner» med redusert kjøleeffekt. Derfor ble det diskutert i vedlagt rapport om «design av rister og tanker» (Ervik, E. & Kvalsvik, B. (2024a) at det kan være viktig å designe alle rør, rister og elementer i tanken på en slik måte at det ikke hindrer vannstrøm og at det ikke skaper områder hvor fisk kan sette seg fast.

Plasseringen av rister kan også være avgjørende. Ristene bør utformet slik at vannet fordeles jevnt over hele tankvolumet, og at det ikke oppstår opphopning av fisk i enkelte områder. Selv om fullskalatesting av kjøleeffekt ikke ble gjennomført, indikerer observasjoner fra *Christina E* at de nye løsningene kan gi bedre kjøleeffektivitet enn konvensjonelle systemer (Aursand & Bondø, 2012).

3. Forbedre effektivitet av lasting og lossing

Effektiv lasting og lossing kan være avgjørende for både kvalitet og HMS. Plasseringen av lossetankene kan ha stor betydning for effektiviteten. Ved å plassere lossetanken lavere enn fisketankene kan man utnytte hevertprinsippet, som baserer seg på trykkforskjeller og tyngdekraft, for å oppnå naturlig væskeflyt og trykkutligning. Dette prinsippet er velkjent innen væsketransport og benyttes i flere maritime og industrielle sammenhenger. Dette kan redusere behovet for pumper og manuell håndtering. En selvtømmende tank reduserer også behovet for at mannskap må gå ned i tanken, noe som kan forbedre både sikkerhet og effektivitet.

4. Forbedre sirkulasjon, spesielt ved høy fyllingsgrad

Sirkulasjon i tankene kan være kritisk både for kjøling og fiskevelferd. Som tidligere diskutert vil sannsynligvis avrundede tankdesign gir bedre sirkulasjon, også ved høy fyllingsgrad.

Planlagte CFD-analyser ble forkastet etter at det ble dokumentert at simuleringer med mer enn 15 % fiskemengde ikke ga valide resultater. Dette understreker behovet for videre utvikling av simuleringsverktøy som kan håndtere komplekse, biologiske masser i bevegelse. Inntil slike verktøy er tilgjengelige, vil praktisk testing være den mest pålitelige metoden for å evaluere sirkulasjon i kommende studier.

5. Forbedre hygiene/renhold – redusere fare for listeriakontaminering

Utforming av tanker med rette flater og avrundede hjørner kan i betydelig grad forenkle rengjøringsprosessen, og en kan anta at dette også reduserer risikoen for bakterievekst, da det gir mindre innhuker hvor man ikke kommer til ved vask. Videre kan nye løsninger for topprister og bunnrister bidra til både enklere renhold og bedre tilgjengelighet ved inspeksjon og vedlikehold.

Plasseringen av vaskedyser kan være av avgjørende betydning for å sikre fullstendig dekning av tankens indre overflater, uten behov for manuell rengjøring. Ved å redusere antall rørføringer og innhuk i tankkonstruksjonen, økes dysenes rekkevidde, slik at hele tankvolumet kan dekkes effektivt. Det kan også være essensielt at avsilingsarealet i tankens øvre del blir tilstrekkelig dimensjonert og lett tilgjengelig, for å muliggjøre effektivt vedlikehold og enkel utskifting av anoder. Disse prinsippene er allerede implementert om bord på *Christina E*, hvor det ble observer betydelig forenklet rengjøringsarbeid som følge av dette.

Salt Ship Design har i sine alternative tegninger (se figur 7) foreslått en buet ristløsning, som både øker tilgjengelig areal og forbedrer sikkerheten ved rengjøring. Den buede utformingen gir plass til en person bak risten, noe som muliggjør rengjøring og anodeskift uten at man må entre tanken.

Det anbefales også videre arbeid med utforming av en buffertank mellom RSW-tanken og RSW-pumpen, med mål om å optimalisere både funksjonalitet og hygienisk standard.

6. Mer effektiv og skånsom lasting og lossing – også ved trykksetting av tank

Implementering av automasjonsløsninger muliggjør kontrollert og skånsom lossing, selv ved høy fyllingsgrad i tankene. Dette ble nærmere diskutert i rapporten om pumping fra hekken på *Christina E*. Automatisering kan bidra til å redusere risikoen for brukerfeil, gi kontinuerlig oversikt over fiskemengde i tankene, forbedre kvaliteten på fisken og kan bidra til raskere nedkjøling.
Feltobservasjoner indikerte at bruk av undertrykksbasert lasting medførte redusert fysisk skade på fisken sammenlignet med konvensjonelle fiskepumper (Aursand & Bondø, 2012; Ervik & Kvalsvik, 2024b).

Erfaringer fra *Christina E* viser at lasting til full tank gir god kontroll over fiskemengden gjennom hele prosessen, og eliminerte behovet for manuell peiling underveis. Det er installert flowmålere på hver enkelt tank, noe som muliggjør kontinuerlig måling av vannstrømmen i alle fisketanker parallelt, i motsetning til sekvensiell måling.
Ved full tanklasting skjer utløp av vann i samme hastighet som påfylling, noe som sikrer en konstant flow og gir presis kontroll over mengden fisk som lastes. Dette kan bidra til både effektivitet og forbedret fiskevelferd under håndtering.

7. Forenkle vasking av RSW-tank – spare tid, vann og ressurser

Effektiv rengjøring av RSW-tanker vil være viktig både for hygiene og ressursbruk. Ny tankgeometri og forbedrede ristdesign kan gi enklere tilgang og bedre rengjøring slik som beskrevet i punkt 5. Automatisert vask kan redusere behovet for manuell innsats og bruk av kjemikalier, noe som kan gi både miljømessige og økonomiske gevinster.

Ved å utforme tankene med færre hindringer og glatte flater, kan vaskedyser dekke hele tankvolumet. Dette gjør det mulig å gjennomføre fullstendig rengjøring uten at personell må gå ned i tanken, noe som også forbedrer HMS.

8. Forbedre HMS – tryggere arbeidsflyt, mindre eksponering for eddiksyre

Christina E har automatisert vask av tank, samt montering av kameraovervåkning, som gir bedre kontroll og reduserer behovet for at personell må gå ned på tanken. Dette minimerer risiko for fall og eksponering for kjemikalier. Ved montering av kamera kan tanken observeres fra kontrollrommet og det vil ikke være behov for personell i lukene. Fastmontert belysning forenkler renhold og eliminerer behovet for løse lamper, som kan være utsatt for slitasje og feil. Videre kan fast røropplegg for eddiksyre, distribuert via luftpumpe, redusere risiko for kontaminasjon og forbedre sikkerheten ved at personell ikke trenger håndtere denne direkte eller via løse slanger.

9. Redusere energiforbruk

Prosjektet har identifisert flere tiltak som kan bidra til å redusere energiforbruket i RSW-systemet. Sentralt er betydningen av separate rørsystemer for ulike funksjoner. *Christina E* er utstyrt med tre uavhengige rørlinjer: én for lensing, én for overføring mellom tanker, og én for kjøling. Denne funksjonelle inndelingen muliggjør samtidig gjennomføring av kjøling, overføring og tømming, uten at én prosess må avbrytes for å gi plass til en annen. Dette legger til rette for en mer stabil og kontinuerlig drift, og kan dermed redusere energitap knyttet til hyppige oppstarter og nedkjølingsfaser.

Fartøyet benytter i tillegg dedikerte buffertanker der sjøvannet kjøles ned før det overføres til fisketankene. Denne løsningen muliggjør rask og effektiv nedkjøling av fangsten, noe som kan være avgjørende for å bevare fiskens kvalitet og redusere fysiologisk stress. Hurtig nedkjøling kan også redusere behovet for langvarig drift av kjøleanlegget, og dermed gi ytterligere energibesparelser.

Et annet tiltak som allerede er implementert i Christina E, er overføring av kaldt vann fra en tank som tømmes under lasting, til neste tank som fylles. På denne måten gjenbrukes allerede nedkjølt vann, og energien som er brukt til kjøling bevares i systemet. Dette kan bidra til ytterligere reduksjon i energiforbruket.

Selv om tiltakene som er implementert om bord på *Christina E* viser tydelig potensial, vil det være behov for kvantitative målinger og sammenligninger med konvensjonelle systemer for å dokumentere den faktiske energibesparelsen. Dette bør inngå som en sentral del av videre arbeid.

10. Øke lønnsomheten gjennom økt pris og/eller reduserte kostnader

Det kan antas at forbedringer i både design og automasjon kan ha direkte og målbare effekter på lønnsomheten i pelagisk fiskerivirksomhet. For det første kan forbedret kjøleeffektivitet og mer skånsom håndtering av fangsten kunne bidra til høyere råstoffkvalitet. Dette kan igjen gi økt gjennomsnittspris per kilo levert fangst, samt redusere andelen fisk som nedklassifiseres til produksjon av mel og olje. En slik utvikling vil kunne øke konsumandelen og dermed verdien av fangsten.

Videre kan automatisering av prosesser som lasting og rengjøring bidra til reduserte driftskostnader. Automatisert vask reduserer behovet for manuell arbeidskraft og bruk av kjemikalier, samtidig som det kan forbedre helse, miljø og sikkerhet (HMS) om bord. I

tillegg kan redusert energiforbruk, som tidligere beskrevet, gi lavere drivstoffkostnader og dermed ytterligere økonomiske gevinster.

Samlet sett representerer disse faktorene et økonomisk insentiv for rederier til å investere i ny teknologi. En slik utvikling kan også stimulere etterspørselen etter norske teknologileverandører og bidra til økt verdiskaping i den maritime næringen.

11. Bygging og testing av prototype – digitalt og i fullskala

Prosjektet har gjennomført digital designutvikling og praktisk testing om bord i *Christina E*. Dette har gitt erfaringer med hvordan nye løsninger fungerer under reelle driftsforhold. Blant annet ble det testet ut ny programvare for automatisk lasting, dokumentert rister og tankdesign, samt tegnet mulig ytterligere forbedring av disse. Det ble også dokumenter løsninger for automatisert vask og overvåking.

Selv om diskusjonen i denne rapportert har gitt indikasjoner på forbedringspotensialet, vil det fortsatt være behov for fullskalatesting i et nybygg for å validere løsningene i en komplett og optimalisert konfigurasjon. Et nybygg vil også kunne integrere alle forbedringene fra starten av, noe som gir bedre grunnlag for helhetlig evaluering av effektene på kvalitet, HMS, energibruk og lønnsomhet

Videre arbeid bør derfor inkludere planlegging og gjennomføring av et nybyggprosjekt hvor teknologien kan testes i sin helhet, og hvor det kan gjennomføres systematiske målinger og dokumentasjon av effektene.

5.3 Anvendelsespotensial i næringen

- **Automasjon** kan gi bedre kvalitet, redusert personavhengighet og mer effektiv drift – særlig ved trålfiske.
- **Nytt tankdesign** med forbedrede rister og glatte flater kan gi bedre hygiene, enklere renhold og lavere risiko for listeria.
- **Redusert energibruk og vannforbruk** gjennom smartere sirkulasjon og vaskeløsninger bidrar til mer bærekraftig drift.
- **Forbedret HMS** gjennom redusert behov for manuell håndtering og eksponering for kjemikalier.

Flere av løsningene kan implementeres i nybygg eller ved ombygging av eksisterende fartøy.

5.4 Bidrag til bærekraft

Prosjektet støtter opp under flere bærekraftsmål:

- **Bedre fiskevelferd og kvalitet** gjennom skånsom håndtering og kjøling
- **Redusert ressursbruk** (vann, energi, kjemikalier) ved effektiv vask og kjøling
- **Bedre HMS** for mannskapet gjennom automatisering og enklere renhold
- **Økt lønnsomhet** gjennom høyere kvalitet og lavere driftskostnader

5.5 Anbefalinger og videre arbeid

Fordi CFD analyser ikke lot seg gjøre i dette prosjektet, krever flere områder ytterligere undersøkelse og dokumentasjon for å kunne realisere det fulle potensialet av de foreslåtte løsningene. Følgende anbefalinger foreslås for videre arbeid:

- **Eksperimentelle målinger av kjøling og sirkulasjon** i ulike tankdesign (modell a og b) bør gjennomføres for å dokumentere effekten av de foreslåtte geometriske endringene. Dette vil gi et mer presist grunnlag for valg av design i fremtidige nybygg.

- **Kvantitative kvalitetsmålinger av fisken**, inkludert temperaturprofil, blødningsgrad og holdbarhet, bør inngå i fremtidige forsøk. Slike data vil være avgjørende for å kunne vurdere hvordan de tekniske løsningene påvirker råstoffkvaliteten.

- **Langtidseffekter av automasjon** på drift, vedlikehold og mannskapets arbeidsbelastning bør dokumenteres systematisk over tid. Dette vil gi innsikt i både økonomiske og HMS-relaterte konsekvenser av teknologisk omstilling.

- **Analyse av energi- og ressursforbruk** ved ulike løsninger bør gjennomføres for å kvantifisere miljøeffektene og vurdere bærekraftspotensialet i et livsløpsperspektiv.

Videre anbefales det å gjennomføre en **komparativ studie mellom *Christina E* og konvensjonelle fartøy**, basert på både tekniske og operasjonelle data. En slik studie vil kunne styrke dokumentasjonsgrunnlaget og gi næringen et bedre beslutningsgrunnlag for implementering av ny teknologi.

Et **framtidig nybygg** vil representere en unik mulighet til å videreføre dette prosjektet ved å implementere og optimalisere flere av de tekniske løsningene som ble utviklet i prosjektet. Dette inkluderer både tankdesign, automasjonsløsninger og hygieniske forbedringer. Et nybygg vil også kunne fungere som en fullskala testarena for videreutvikling og validering av RSW-systemet under kontrollerte forhold.

I denne sammenheng anbefales det å gjennomføre **systematiske målinger av temperatur og kvalitet på fisken**, ved bruk av sensorteknologi og standardiserte kvalitetsparametere.

Sammenligninger mellom *Christina E* og referansefartøy vil kunne gi verdifull dokumentasjon på effektene av de nye løsningene, både med hensyn til kjøleeffektivitet, fiskevelferd og produktkvalitet.

Til tross for at det fortsatt finnes store forbedringspotensial, fremstår *Christina E* i dag som et av de mest avanserte fartøyene i den pelagiske flåten når det gjelder RSW-teknologi og hygienisk design. Erfaringene fra dette prosjektet gir et grunnlag for videre innovasjon og implementering i næringen.

6.Hovedfunn

- **Automasjon av lasting fra trål** har gitt bedre kontroll, redusert behov for manuell styring og forbedret kvalitet på fisken – spesielt ved å kunne laste på fulle RSW-tanker med nedkjølt vann.
- **Nytt design av RSW-tanker og rister** viser potensial for bedre sirkulasjon, enklere renhold og forbedret hygiene, med særlig fokus på HMS og effektiv vasking.
- **Praktisk testing, samt evaluering om bord i Christina E** har erstattet planlagte CFD-analyser og gitt mer realistiske og anvendbare resultater under reelle driftsforhold.
- **Utvikling av ny programvare** for styring av kjøle- og lossesystemer har gjort det mulig å optimalisere prosessene og redusere risiko for brukerfeil.
- **Sammenligning med konvensjonelle løsninger** viser at forbedringene kan bidra til bedre fiskevelferd, lavere energiforbruk og økt kvalitet og lønnsomhet i pelagisk flåte.

Det presiseres at resultatene i denne rapporten bygger på observasjoner fra fartøyet Christina E, samt vurderinger av hvilke forbedringer som bør gjøres i framtidige nybygg. Konkrete resultat vil ikke være mulig å oppnå uten å kjøre fullskalartesting eller implementere i et reelt nybygg.

7. Referanser

Ervik, E. & Kvalsvik, B. (2024a). *Design av tank og rister: Sammenligning av konvensjonelle design og videreutvikling av tankdesign på Christina E*.

Ervik, E. & Kvalsvik, B. (2024b). *Forbedring av automasjon ved pumping av trålfanget fisk om bord i Christina E*.

Zhang, S., Yu, G., Guo, Y. & Wang, Y (2023). *Modelling development and optimization on hydrodynamics and energy utilization of fish culture tank based on computational fluid dynamics and machine learning*.

Aursand, I. & Bondø, M. (2012)
Kvalitetseffekter på makrell og NVG sild ved bruk av ulike system for lasting og kjøling ombord. To ktrapport 2012

8. Leveranser

Rapport: *Design av tank og rister: Sammenligning av konvensjonelle design og videreutvikling av tankdesign på Christina E*.

Rapport*: Forbedring av automasjon ved pumping av trålfanget fisk om bord i Christina E*.

Statusrapport 1. 12.12.2022- Lone Petersen Sundgot

Statusrapport 2. 08.06.23 – Lone Petersen Sundgot

Statusrapport 3. 31.12.23 – Birgitte G. Kvalsvik

Statusrapport 4. 25.06.24 – Birgitte G. Kvalsvik

Delrapport 2. 30.06.24 – Birgitte G. Kvalsvik