



SINTEF

HAV
KJØLESYSTEMER

Rapport

Klimavennlig og energieffektiv kjøling i små fiskefartøy

Forfattere:

Lukas Köster, Hanne Dalsvåg, Guro M. Tveit, Alex Reimer,
Kristina N. Widell, Sigmund Jenssen

Rapportnummer:

2025:00462 - Åpen

Oppdragsgiver:

RFF Trøndelag

SINTEF Ocean AS
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 40005100
info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 937357370 MVA

Rapport

Sluttrapport klimavennlig og energieffektiv kjøling i små fiskefartøy

EMNEORD

Kjøling, naturlige
kjølemedier, fiskebåt,
sjømat

VERSJON

1

DATO

2025-05-09

FORFATTER(E)

Lukas Köster, Hanne Dalsvåg, Guro M. Tveit, Alex Reimer, Kristina N. Widell, Sigmund Jenssen

OPPDRAGSGIVER

RFF Trøndelag

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

349748

PROSJEKTNUMMER

302007958

ANTALL SIDER

21

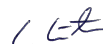
SAMMENDRAG

Små fiskefartøy utgjør majoriteten av den norske fiskeflåten, men få benytter aktive kjøleløsninger om bord, til tross for at temperatur er avgjørende for å bevare fiskens kvalitet. Prosjektet hadde som mål å utvikle klimavennlige og energieffektive kjøleanlegg basert på RSW-teknologi (Refrigerated Seawater), der sjøvann kjøles ned og sirkuleres om bord for å opprettholde fangstkvaliteten. Løsningene benytter naturlige kuldemedier som CO₂ for å redusere miljøpåvirkningen og forbedre energieffektiviteten. Systemene er utviklet for å være kompakte, pålitelige og tilpasset små fartøy. Målet er å fremme bærekraftig fiske og øke kvaliteten på fangsten.

UTARBEIDET AV

Lukas Köster

SIGNATUR



KONTROLLERT AV

Tom Ståle Nordtvedt

SIGNATUR


Tom S. Nordtvedt (May 9, 2025 09:33 GMT+2)

GODKJENT AV

Kirsti Greiff

SIGNATUR


Kirsti Greiff (May 8, 2025 11:43 GMT+2)

COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 • ISO 14001
ISO 45001

RAPPORT NR.

2025:00462

ISBN

978-82-14-07493-2

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Motivasjon og bakgrunn	3
2	Ulike metoder for fangstkjøling	3
3	Krav til kjøling og holdbarhet av ulike arter	5
3.1	Torsk	7
3.2	Sei	8
3.3	Makrell.....	8
3.4	Taskekrabbe	8
3.5	Sjøkreps	9
4	Klimavennlig kjøleanlegg	10
4.1	Første prototype av kjøleanlegg levert fra HAV Kjølesystemer	10
4.1.1	Eksperiment	11
4.1.2	Resultater fra test av første prototype	12
4.2	Andre prototype	13
4.3	Tredje Prototype installert på Odd-Angel	15
5	Videreføring i hovedprosjekt	16
5.1	Mulig videre finansiering.....	16
5.2	Innhold hovedprosjekt	16
6	Gjennomførte kommunikasjonsaktiviteter	17
7	Referanser	18
A	Populærvitenskapelig artikkel i Gemini (replisert i TU, Kystmagasinet og Sagat fisk).....	19

1 Motivasjon og bakgrunn

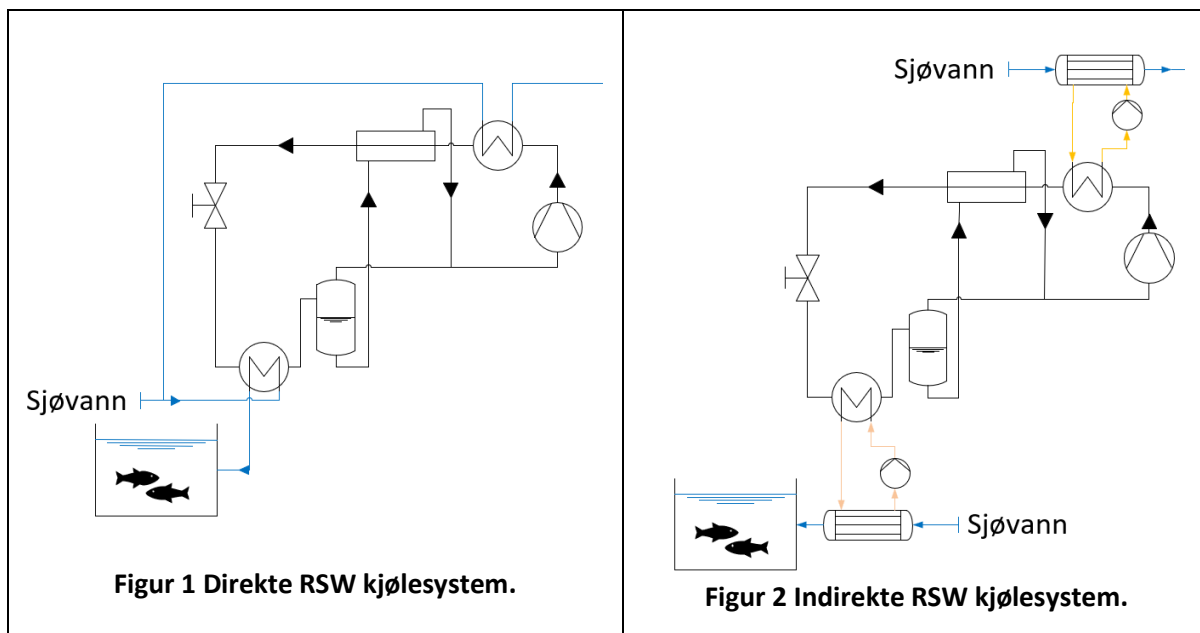
Nesten 80 % av de totalt 5600 aktive fartøyene i den norske fiskeflåten for 2021 var under 11 meter og de stod for ca. 11% av levert torsk. Av volumet fisk som landes fra dette segmentet oppgir **kun 5% at fangsten har vært aktiv kjølt**, det vil si ved bruk av is eller mekaniske kjølesystemer. I enkelte tilfeller lagres fisken i lave lufttemperaturer, til og med under frysepunktet, men dette regnes ikke som aktiv kjøling. Samtidig vet man at temperatur er den viktigste kontrollerbare faktoren for å opprettholde god kvalitet på fangsten. Årsakene til at det ikke benyttes aktive systemer for nedkjøling av fangsten om bord kan være ulike fra fartøy til fartøy. Ett aspekt er at de tradisjonelt ikke har hatt kjølesystem om bord, samt at det antas at det ikke er behov å kjøle ned fisken i perioder av året hvor lufttemperaturen er lav og fisketurene korte. Dette er en misforståelse, siden fisken har en temperatur lik sjøvannstemperaturen som i perioder av året er betydelig høyere enn lufttemperaturen. Eksempelvis kan **holdbarheten til torsk øke med 6 dager** ved å senke temperaturen fra 5 til 1°C (se Figur 4). Et annet aspekt kan være tilgang på teknologi, dvs. kjølesystemer som er dimensjonert og tilpasset små fartøy. Tradisjonelt har det ikke vært levert slike anlegg med kapasiteten slike fartøy har behov for. Kjøleanlegg er plasskrevende, og fiskerne må avveie hvordan de best mulig utnytter plassen om bord. Hvis økt kvalitet ikke blir belønnet ved salg av fisken (førstehåndsomsetning), så vil det heller ikke være lønnsomt investere i kjøleanlegg.

Det er derfor **nødvendig å utvikle klimavennlige energi- og kostnads-effektive kjøleanlegg til bruk i små fiskefartøy**. De må være kompakte og enkle i bruk. For at de skal være klima- og miljøvennlige er det videre viktig å benytte **naturlige kuldemedier** som har svært lav eller ingen påvirkning på klima og miljø dersom en lekkasje oppstår. Anlegg om bord på fartøy har gjerne en høyere lekkasjefrekvens sammenlignet med anlegg på land pga. røffere driftsforhold. Til sammenligning med hydrofluorkarboner (HFK) og noen av 4. generasjons hydrofluorolefiner (HFO), er naturlige kuldemedier den gruppen som er mest fremtidssikker, da disse ikke vil bli omfattet av reguleringer (ref. PFAS, F-gas forordningen etc.). Det er også et behov for å synliggjøre hvordan de systemene kan lages for å sikre mest mulig energieffektiv drift.

2 Ulike metoder for fangstkjøling

Fangstkjøling kan gjennomføres ved kjøling med is, kjøling med kaldt vann, i kjølerom eller ved frysing av fangsten. Fangstemengder varierer i løpet av en sesong, og det er vanskelig å bedømme hvor mye knust is det er behov for å ta med om bord på fiskefartøyene når de går fra land. Dersom isen om bord ikke brukes opp, kan det føre til unødvendig høyt drivstofforbruk (man tar med høyere vekt enn nødvendig). På den andre siden kan for lite is føre til forringelse av produktkvalitet.

RSW-systemer som er installert om bord på fiskefartøy gir mulighet til å tilpasse seg fangststørrelsen og redusere kvalitetsforringelse av fangsten. Som nevnt tidligere må kjølesystemene være basert på naturlige kjølemedier for å unngå skadelige effekter på miljøet (stikkord: PFAS, potensial for global oppvarming osv.). Systemintegrasjonen av kjølesystemer om bord kan klassifiseres i direkte og indirekte systemer, som vist i Figur 1 og 2.

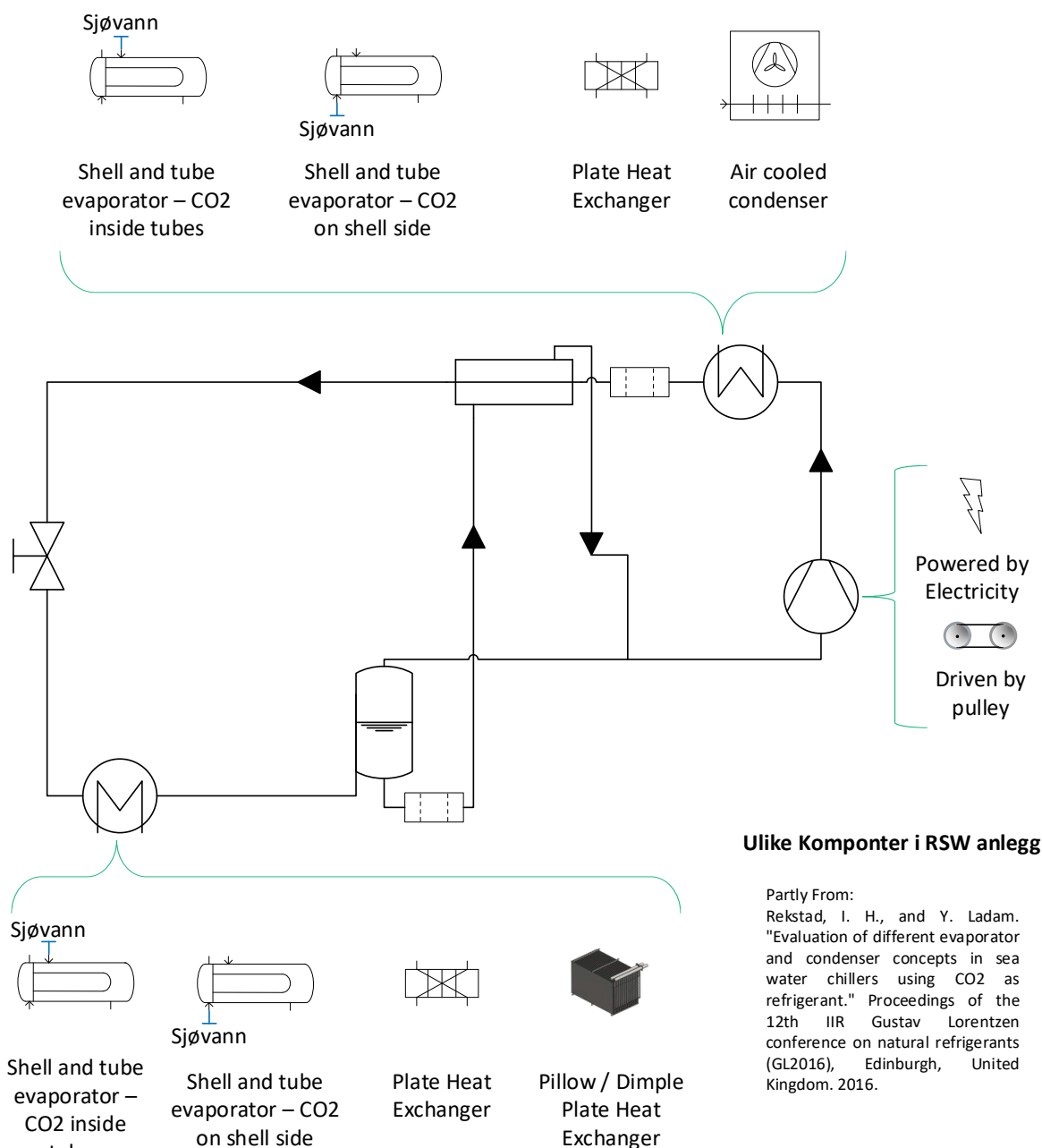


Indirekte systemer bruker en sekundær væske mellom kjølemediet og sjøvannet/omgivelsene, og Tabell 1 viser en sammenligning av direkte og indirekte systemer.

Tabell 1 Sammenligning av direkte og indirekte systemer.

Direkte	Indirekte
• Høyere effektivitet på grunn av lavere trykkforhold og høyere fordampningstemperaturer • Mer kompakt • Lavere driftskostnader	• Vedlikehold av komponenter i kontakt med sjøvann er lettere å rengjøre (begroing) • Lavere fylling av kjølemiddel mulig • Ingen begrensning av kjølemiddel-varmevekslernes toleranse for sjøvann

Det finnes dessuten flere ulike muligheter når det gjelder komponentene i et kjølesystem om bord. Som det vises i Figur 3, kan kompressoren drives av elektrisitet eller gjennom en mekanisk forbindelse, for eksempel en remskive som er koblet til motoren. Videre er det typen varmeveksler som har størst variasjon i utformingen, ettersom den er avhengig av trykknivåene (direkte vs. indirekte systemer) og om den er i kontakt med sjøvann og dermed utsatt for begroing.



Figur 3 Ulike komponenter for et RSW anlegg.

3 Krav til kjøling og holdbarhet av ulike arter

Temperatur har en klar sammenheng med holdbarhet og visse kvalitetsparametere. Dersom RSW-anlegg med aktiv kjøling tas mer i bruk blant fartøy vil det kunne føre til at fangsten vil ha høyere kvalitet og holdbarhet. Dette vil ha flere positive konsekvenser. Økt holdbarhet kan føre til økt andel av fisk som når forbruker og dermed redusere matsvinn. Forbedret kvalitet vil også kunne bidra til prisdifferensiering som muliggjør økt lønnsomhet med premium produkter.

Kvalitet er et begrep som omfatter flere faktorer som til sammen sier noe om hvor egnet fisken er til menneskelig konsum. Dette innebærer blant annet utseende, lukt, smak og tekstur. En forverret

kvalitet kan for eksempel være at fisken har uønsket lukt eller har en eller flere skader i form av skjelltap, blodflekker, klemskader, og uønsket filettekstur. Hvor lenge en råvare beholder god kvalitet sier noe om råstoffets holdbarhet. Ifølge Nærings- og fiskeridepartementets forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer, skal råstoffet oppfylle flere krav for tilstrekkelig kvalitet, blant annet at fisken skal være i tiltakende (bøyelig, elastisk) eller fast (fast og hard) dødsstivhet. Lukt og smak skal være frisk og som forventet av art (uten hint av nedbrytningsprodukter). Fisken skal ikke ha misfarge eller avvik på farge (for eksempel på grunn av utilstrekkelig utblødning). Skinn, gjeller og øyne skal være friskt og klart. Temperatur er avgjørende for god holdbarhet og vedlikehold av de gode sensoriske egenskapene. (Forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer, 2013, §10)

Fra det øyeblikket fangsten kommer opp av havet, vil en rekke enzymer og bakterier starte en nedbrytningsprosess i fisken som vil ha en negativ påvirkning på kvalitet. Aktiviteten fører blant annet til biokjemiske endringer i fisken som forårsaker nye kjemiske forbindelser og nedbrytningsprodukter. Endringene fører til degradert kvalitet i form av for eksempel endret tekstur, utseende og ubehagelig lukt. Hvor raskt og langt nedbrytningsprosessen går, vil påvirkes av en rekke ulike faktorer, noen av disse har vi mulighet til å påvirke. En svært viktig faktor vil som nevnt være temperatur. I tillegg er fiskeredskap, håndtering, lagring, prosessering og pakking er eksempler på faktorer vi kan påvirke, mens for eksempel sesong og individvariasjon er faktorer som er utenfor vår kontroll (Erikson et al., 2021). Tapte kvalitet vil ikke kunne gjenopprettes, så det er viktig å begrense de faktorene man kan som vil redusere kvaliteten.

Det er en klar sammenheng mellom temperatur og kvalitet/holdbarhet av flere grunner. I hovedsak er dette fordi temperatur påvirker raten av mange kjemiske og mikrobielle prosesser. Fersk fisk er lett bederverlig, og mikrobiell ødeleggelse er den viktigste grunnen til kvalitetsforringelse. Lavere temperatur vil forsinke denne mikrobielle aktiviteten. I tillegg vil typiske enzymaktiviteter som forverrer kvaliteten reduseres. Fettoksidasjon som kan gjenkjennes av harsk og ubehagelig lukt er også en prosess som går saktere ved lavere temperaturer. Kvalitet og holdbarhet kan derfor forbedres ved hjelp av kjøling (ofte definert som 0-4 °C), superkjøling (-4-0 °C) eller frysing. (Huss, 1995; Widell, 2021)

Selv om temperatur på generelt grunnlag er viktig for kvalitet og holdbarhet, vil også ulike artes kvalitet og holdbarhet påvirkes noe ulikt av temperatur. Dette fordi ulike arter har ulik mikroflora og oppbygning. Derfor kan temperaturkravene være ulike for forskjellige arter. Eksempler på dette blir vist i de neste kapitlene. Selv om det kan være ulik holdbarhet for ulik fisk ved samme temperatur, har alle til felles at holdbarheten endrer seg på en gitt måte når temperaturen endres. Derfor finnes det noen modeller man kan bruke for å predikere hvordan holdbarheten vil endre seg med endret temperatur. (FAO). Eksempelvis kan en se til estimater fra Huss (1995) for å vise hvordan holdbarheten endres ulikt for ulike *start-holdbarheter* (Tabell 2). Eksempelvis vil en fisk som er holdbar i 18 dager ved 0 °C estimeres til kun 3 dager ved en lagringstemperatur på 15 °C.

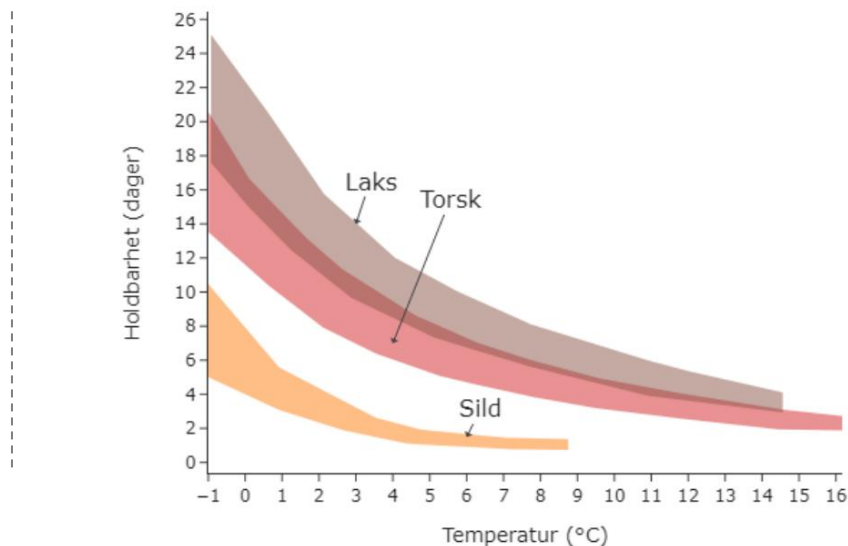
Tabell 2 Predikert holdbarhet av fisk ved endrede lagringstemperaturer. (Huss, 1995)

Holdbarhet (dager) av fisk lagret på 0 °C (is)	Holdbarhet ved kjølte temperaturer (dager)		
	5 °C	10 °C	15 °C
6	2,7	1,5	1
10	4,4	2,5	1,6
14	6,2	3,5	2,2
18	8	4,5	2,9

Som nevnt kan også superkjøling brukes for å kjøle fisk. Dette kan øke holdbarheten lengre enn ved vanlig kjøling. Ved matematiske modeller (*square root model*) kan man på samme måte som over

predikere at en råvare som har 14 dager holdbarhet når den lagres ved 0 °C vil ha 17, 22 og 29 dager holdbarhet dersom temperaturen synker til henholdsvis -1 °C, -2 °C og -3 °C. (FAO)

Hvordan holdbarhet er ulikt for ulike arter, samt endres i takt med endret temperatur er også illustrert av Magnussen (1993) slik Figur 4 viser.



Figur 4 Holdbarhet (dager) av artene sild, laks og torsk og hvordan den endrer seg ved endret temperatur. Figur hentet fra Widell (2021), opprinnelig tilpasset etter Magnussen (1993).

Oppsummert er altså lav temperatur svært viktig for god kvalitet av fersk fisk. Et viktig poeng i tillegg til lav temperatur er at fisken bør kjøles så raskt som mulig, samt holdes ved så jevn temperatur som mulig (FAO, SINTEF Faktaark). RSW tilbyr en hurtigere nedkjøling sammenlignet med å lagre på is (FAO). Hurtig (men skånsom) håndtering og nedkjøling, temperaturkontroll og hygienekontroll vil være avgjørende for ivaretagelse av kvaliteten.

3.1 Torsk

I norsk standard for «Fisk og fiskeprodukter — Norsk Fersk Torsk — Krav til kvalitet» (NS 9408:2009) defineres en rekke kvalitetskriterier spesifikt for norsk fersk torsk. I tillegg til å nevne håndtering (bløgging, utblødning, sløying), fysiske attributter (klemskader, andre mekaniske skader og slitasje), er også temperatur nevnt i kvalitetskriteriene. Kriteriet er at fisken skal «være godt nedkjølt før pakking, og temperaturen skal være mellom 0 °C og + 2 °C før utsending». (Standard Norge, 2009)

Ifølge en rapport av Matís og Nofima kan en torsk håndtert skånsomt og lagret på 0 °C ha en holdbarhet på opptil 15 dager (Pálsson, 2017). Dersom den lagres ved 5 °C halveres holdbarheten. Dette ser vi også i Figur 4, hvor torsk lagret ved 0 °C kan ha en holdbarhet på 13-15 dager.

Høy temperatur kan gi torsk en rask og sterk rigor mortis (dødsstivhet), noe som bør unngås da dette kan svekke bindevev og føre til spalting i fileten (Huss, 1995).

I et faktaark fra FHF-prosjektet «Temperaturstyring fra fangst til marked» (423074) oppsummeres holdbarhet for torsk som 14 dager ved 0° C, og 8 dager ved 4° C. Dette forutsetter for fisk av god **startkvalitet**. Faktaarket understreker også viktigheten av rask nedkjøling; fisk som bruker 100 timer på nedkjøling sammenlignet med fisk som bruker 5 timer, kan ha en 20% reduksjon i holdbarhet.

Samtidig mister man også egenskaper knyttet til bearbeiding, som vil føre til redusert utbytte ved videreforedling. (FHF og FHL, 2008)

3.2 Sei

Ifølge FAO vil holdbarheten av sei lagret ved 0 °C være tilnærmet lik som for torsk. (Smith and Hardy, 2001). I en rapport av Matís og Nofima nevnes det derimot sei håndtert og håndtert skånsomt og lagret på 0 °C ha en holdbarhet på opptil 18 dager (Pálsson, 2017).

3.3 Makrell

Makrell er en pelagisk fisk med høyt fettinnhold. Fet fisk er særlig mottakelig for harskning (lipidoksidering) som kan føre til store kvalitetsforringelser (Keay, 2001). Dette gjør at holdbarhetstiden generelt er lavere enn mager fisk, og at rask nedkjøling og temperaturkontroll under transport er avgjørende for kvaliteten ved lossing, noe RSW-kjøling kan. Også her vil kvaliteten påvirkes i stor grad av fangstbehandling og håndtering (Nordtvedt, 2012). Vanligvis brukes temperaturregulering ned til -1,5 °C for RSW-kjøling av makrell (Woll og Jakobsen, 2006).

SINTEF har tidligere jobbet i flere prosjekter som omhandler makrell og annen pelagisk fisk. I FHF-prosjektet «Optimal kjøling av pelagisk fisk i nedkjølt sjøvann (RSW) ombord: Del 1 (forprosjekt)» (901373) ble det innhentet informasjon om erfaringer fra pelagisk flåte, teknologi, strømningsmønstre og driftsrutiner, for å øke kunnskap om faktorer som har betydning for fiskekvaliteten. Bakgrunnen var at kravene til råstoffkvalitet i de best betalende marked er høye, og det ble sett at store fartøy og lange avstander til anlegg gjorde en gjennomgang nødvendig. Rapporten fant at de fleste pelagiske fartøy hadde kjøleanlegg med god kapasitet og effektiv nedkjølingstid (0,5-1,5°C i timen). Gode RSW-anlegg kan oppnå en stabil lagringstemperatur på -1,5 °C, noe som er viktig for økt kvalitet og holdbarhet. Rapporten gjennomgår også forholdene i tankene, og trekker særlig frem renhold av RSW-tanker og -system som viktig. Oppløsning av for eksempel fiskebiter, skjell og lignende vil sirkulere og gi gode vilkår for bakterievekst. (Nordtvedt, 2012)

Prosjektet ble videreført gjennom FHF's «Optimal kjøling av pelagisk fisk i nedkjølt sjøvann (RSW) ombord: Del 2 (forprosjekt)» (901183). Dette var en fortsettelse for å finne forbedringsmuligheter for kjøling av pelagisk fisk. Det ble sett på blant annet utforming og strømning i tank. Hovedfokuset var på kolmue, som er noe mer utfordrende enn for eksempel makrell, da det er et problem med «klumping». Rapporten understreker at fyllingsgraden har stor betydning for strømning og kjøling, som igjen vil kunne påvirke kvaliteten. (Nordtvedt, 2012)

FHF-prosjektet «Utvikling av beste praksis for pumping av pelagisk fisk» (901257) var en videreføring av SINTEF sitt arbeid rundt problematikken rundt kvalitetsutfordringene ved pumping av pelagisk fisk. Arbeidet var i hovedsak å se på pumping og overpumping av makrell, men prosjektet sammenfatter også noen generelle tiltak for lagring av makrell i et SINTEF-faktaark. Også her understrekes det effektiv nedkjøling, hvor temperaturen helst bør være mellom 0 og -1 grad. Anbefalt fyllingsgrad under lagring er 30/70 eller 40/50 makrell/vann. (Tveit, 2017) I et SINTEF-tokt ble det også funnet at fartøy med lagringstemperatur -0,6 °C hadde makrellfileter med noe bløtere konsistens og noe høyere filetspalting enn fartøyet som hadde en lagringstemperatur på -1,1 °C (Digre et al., 2014).

3.4 Taskekrabbe

Krav til temperatur under lagring er annerledes for taskekrabbe siden krabbe vanligvis transporteres **levende**. Dermed skal det tas hensyn til parametere som krabbens velferd, oksygenbehov, aktivitet og

utskillelse av ammoniakk. Det er ingen sammenheng mellom pris og kvalitet i taskekrabbe i dag, sett bort fra dødelighet.

For noen fartøy kan det gå noen dager før en får levert krabben til anlegg. Dermed er minimal dødelighet og opprettholdt kvalitet svært viktig for krabbelagring. Temperatur regnes som den viktigste faktoren for krabbenes velferd, ettersom både metabolisme og oksygenopptak øker med stigende temperatur – sammen med en økning i avfallsstoffer fra den metabolske aktiviteten. Sjøtemperaturene kan variere mellom 8-15 °C i sesong, og i starten av sesongen (sommer) kan høye luft- og sjøtemperaturer føre til forverret kvalitet og dårligere overlevelse. (Woll og Jakobsen, 2006)

RSW-anlegg kan gjøre det lettere å holde temperaturen på et ønsket nivå under transport og lagring. Vanngjennomstrømning og RSW kan øke kvalitet og redusere dødelighet, samt legge til rette for en forlenget lagringsperiode, noe som er særskilt aktuelt ved transport over lengre avstander. (Woll og Jakobsen, 2006)

Siden krabben er vekselvarm, er den spesielt sårbar for store og raske temperaturendringer, og forskjellen mellom sjøtemperatur og nedkjølt vann er ikke anbefalt å overstige 5 °C. Krabbens velferd er god ved 10-12 °C, mens den tar til seg minimalt med føde under 4 °C (synkende metabolisme, dvaleliggende tilstand). Økende temperatur gir også økt oksygenbehov. (Woll og Jakobsen, 2006) Optimal lagringstemperatur over flere døgn er 5-6 °C. (Uglow et al., 1986)

3.5 Sjøkreps

Fangst av sjøkreps (Norway lobster, *Nephrops norvegicus*) er av økende interesse, og har høy kommersiell verdi dersom den fraktes levende. På samme måte som for taskekrabbe, er velferd (og dødelighet), oksygenbehov, aktivitet og ammoniakkutskillelse viktige parametere. En utfordring er at sjøkreps er enda mer sensitiv enn krabbe for miljøforandringer, særlig temperatur. Etter fangst med teiner, lagres sjøkreps i dag ofte i lagringskasser med celler som forhindrer skader. (Wolff et al., 2019) En slik tørrlagring kan være utfordrende da sjøkrepsen er tilpasset et liv i vann, og transporten fører dermed til økt stress. I tillegg er tørrlagringen utfordrende ved for lave eller for varme lufttemperaturer. Minusgrader kan føre til økt stress og tap av klør hos sjøkrepsen. Økt lufttemperatur om sommeren fører til økt metabolisme, stress og sårbarhet for skader, noe som øker dødelighet slik Tabell 3 viser. Ved 19°C kan død inntreffe allerede etter 2 timer. På sommeren er også eksponering for sollys en kilde til dårlig velferd hos sjøkrepsen. Ved 2-5° kan sjøkreps overleve opptil 2 døgn (Woll et al., 2014). Lave temperaturer kan påvirke sjøkreps på samme måte som for taskekrabbe ved å senke aktivitetsnivå og redusere metabolisme.

Tabell 3 Sammenheng mellom lufttemperatur og dødelighet for sjøkreps tørrlagret om bord fartøy. Hentet fra Møreforskning (Woll et al., 2014).

Lufttemperatur (°C)	Første død (timer)	Død etter 24 timer
2-5°C		0%
10°C	12-16t	50%
15°C	7-8t	100%
19°C	2-4t	100%

På landanlegg mellomlagres sjøkreps i tanker med vannstrømning og sultes før de pakkes og transporteres (Wolff et al., 2019). Transport av sjøkreps i vann i stedet for luft kan være fordelaktig når det kommer til velferd og overlevelse, både om bord på fiskebåt og for videre transport til markedet. Her kan bruk av RSW være svært relevant, og en studie fra SINTEF så på bruk av RSW til transport av sjøkreps nedover Europa. (Wolff et al., 2019). Med en slik løsning vil kontroll av

oksygeninnhold være viktig. Økt temperatur vil gi økt oksygenbehov for krepsen, men gir også dårligere oksygenopptak i sjøvannet. Da sjøkrepsen lever på dyp hvor sjøtemperaturen er relativt stabil, regnes optimale sjøtemperaturer for sjøkreps regnes mellom 6 - 10 °C. (Woll et al., 2014). RSW-kjøling av kreps kan være en god løsning for mellomlagring av krepsen, og dette kan gi økt fleksibilitet i tidsramme for levering på mottak.

4 Klimavennlig kjøleanlegg

Mangel på kjøling om bord på små fiskefartøy gir motivasjon for å utvikle kuldesystemer for dette. Slike systemer skal være

- Enkle å installere og bruke
- Robuste å drifte, slik at de ikke går ut over arbeidsmiljø
- Effektive og holdbare
- Klimavennlige, med lave klimafotavtrykk

Ved bruk av sjøvann i kjøleanlegg trengs materialer som ikke ruster, og det er mulig å bruke materialer som rustfritt stål, titan eller plast. Videre må varmevekslerne være konstruert slik at små partikler i sjøvann ikke tetter varmeveksler. Tilkobling til energikilde for anlegg skal være enkelt med en normal husholdningsplugg, ettersom de fleste små fiskefartøyene har stikkontakter tilgjengelig.

4.1 Første prototype av kjøleanlegg levert fra HAV Kjølesystemer

For å kunne demonstrere at systemet fungerer, har HAV Kjølesystemer AS bygget en prototype av anlegget. Som en del av dette prosjektet ble det samlet inn måledata fra denne prototypen i SINTEF Ocean-laboratoriet. Det er besluttet å bruke CO₂ som kjølemedium på grunn av dets gode termodynamiske og miljøvennlige egenskaper. CO₂ som kjølemedium medfører høyt trykk i systemet, noe som gjør at rørene kan være mindre i diameter. Resultatet er et miljøvennlig og plassbesparende kjølesystem. Anlegget kan drives med vanlig 230 V strømtilkobling. Varmevekslerne er laget av titan og er utviklet av HAV Kjølesystemer. Figur 5 viser hvordan prototypen ser ut.



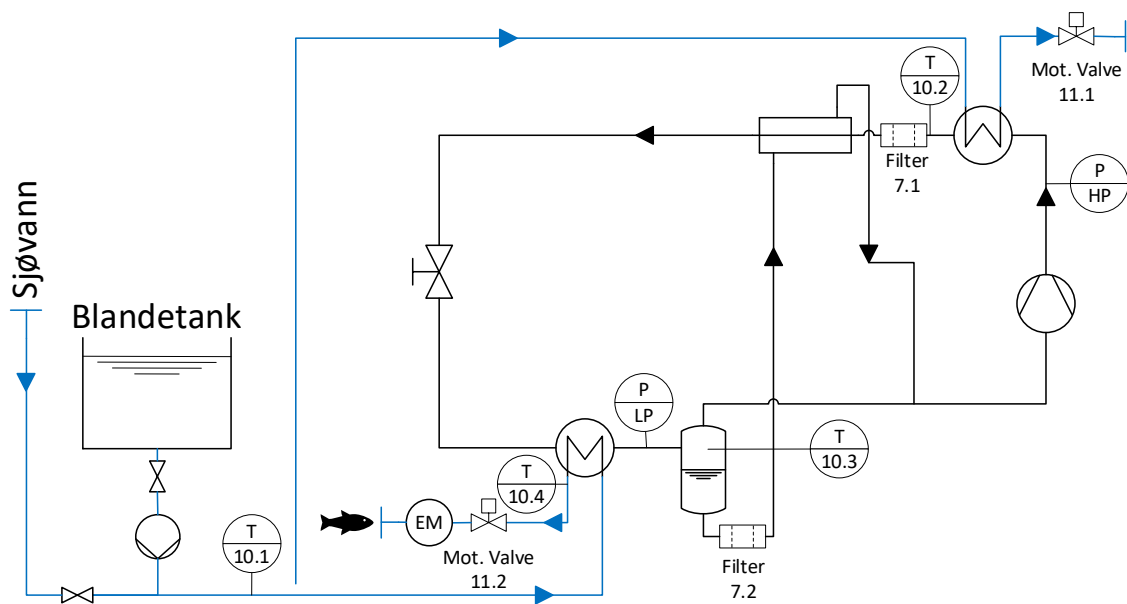
Figur 5 Prototype på kjøleanlegg fra HAV Kjølesystemer.

4.1.1 Eksperiment

Prototype 1 på RSW-anlegg fra HAV Kjølesystemer ble testet i SINTEF Ocean sine laboratorier for å bestemme effektivitet og innsatsområder. Hovedmålet for testene var:

- Oppnå vanntemperatur lavere enn 3 °C og stabil drift for sjøvannstemperaturer fra 7 til 25°C
- Bestemme laveste fordampertemperatur før frysing av sjøvann i fordamper
- Måle effektiviteten til kjøleanlegget

Testtriggen bestod av to store blandetanker: en tank var fylt opp med temperert sjøvann og fungerte som sjøvannskilde. Den andre tanken ble brukt for å fange opp brukt sjøvann. Dermed var det mulig med nær konstant drift av anlegget frem til at tanken med temperert sjøvann var brukt opp. Figur 6 viser prosessdiagram med instrumentering for CO₂ kuldeanlegget og hvor temperatursensorene var installert. Kompressoreffekten ble vist direkte på kompressorstyring og massestrøm av vann ble målt med manuell massestrømmåling.

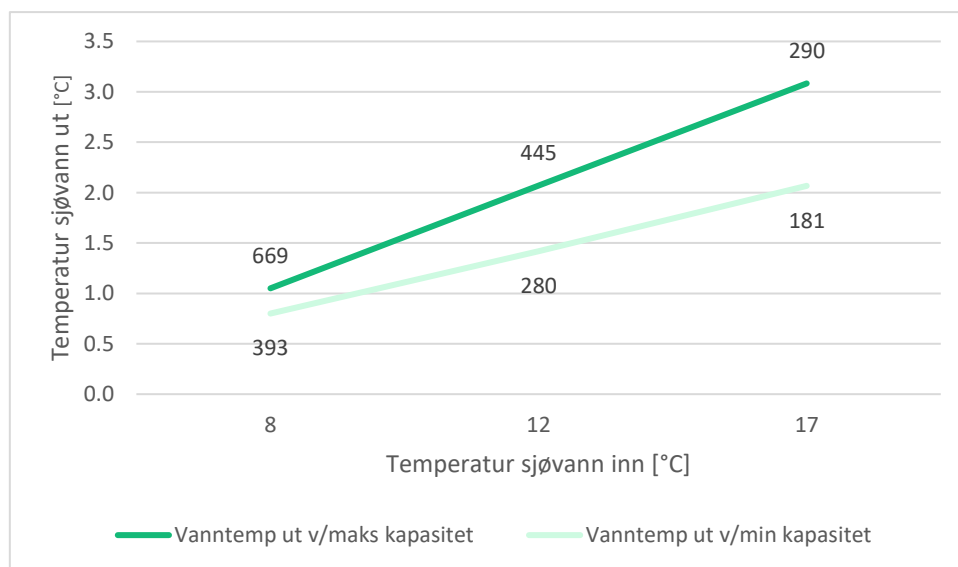


Figur 6 Prosessdiagram med instrumentering for CO₂ RSW anlegg.

Prototypen skal kunne installeres i små fiskefartøy og derfor skal sjøvannstemperaturer på mellom 7-17 °C kunne håndteres av anlegget. Videre skal kompressorkapasiteten kunne varieres mellom minimal- og maksimalfrekvens for å kunne bestemme bruksgrenser av anlegget.

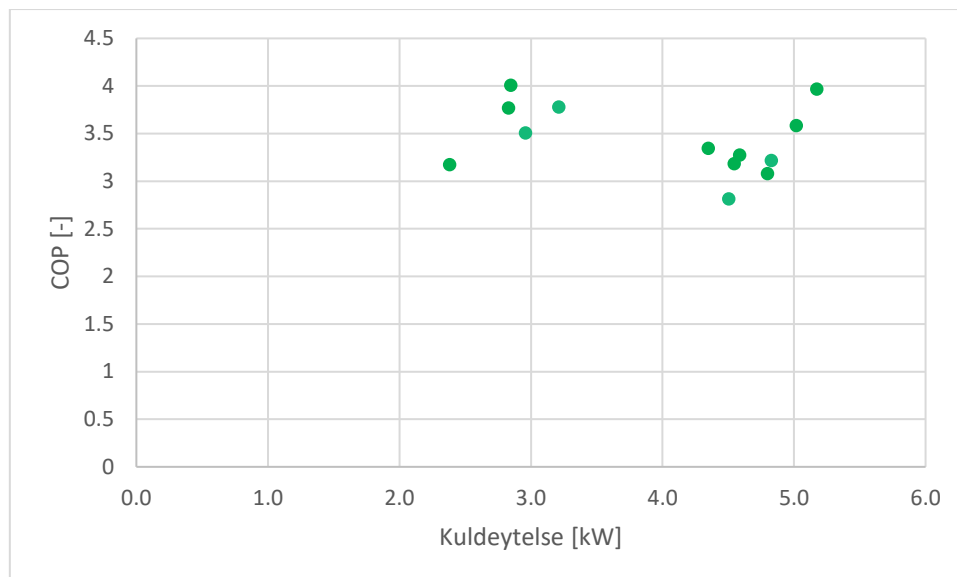
4.1.2 Resultater fra test av første prototype

Figur 7 viser de oppnådde utløpstemperaturene for sjøvannet fra fordamperen ved testing i laboratoriet. Temperaturene var alltid under 4 °C, noe som er ønskelig for å tilrettelegge for god lagring av fangsten. I tillegg ble strømningshastigheten av sjøvann i fordamperen tatt med (tallene i grafen viser L/h).



Figur 7 Temperatur av sjøvann inn og ut ved minimal- og maksimalfrekvens på kompressor.

Figur 8 viser den målte ytelseskoeffisienten (COP) i forhold til kjølekapasiteten. Kjølekapasiteten varierte på mellom 2,3 kW og 5,2 kW, mens COP ble målt til mellom 2,8 og 4,1.



Figur 8 COP over kuldeytelse for testene av første prototype.

Erfaringer fra testing av første prototype:

For at systemet skal kunne brukes om bord på små fiskefartøy, er det nødvendig med høyere kjølekapasitet for å oppfylle spesifikasjonene til fiskefartøyene. Den manuelle ekspansjonsventilen, som i dette tilfellet kun ble installert for eksperimentelle formål, må dessuten erstattes med en ekspansjonsmetode som er robust og ikke krever innsats fra fiskerne. I den andre prototypen ble det derfor planlagt å teste en åpningsplate som ekspansjonsanordning. Dette gjør det enklere å tilpasse strømningsarealet til arbeidsforholdene og kompressorstørrelsen, samtidig som det er robust og enkelt å bruke. Videre vil et fast strømningsareal kunne redusere COP under normale designforhold, men for bruk på fiskefartøy er robusthet og et redusert antall bevegelige deler å foretrekke.

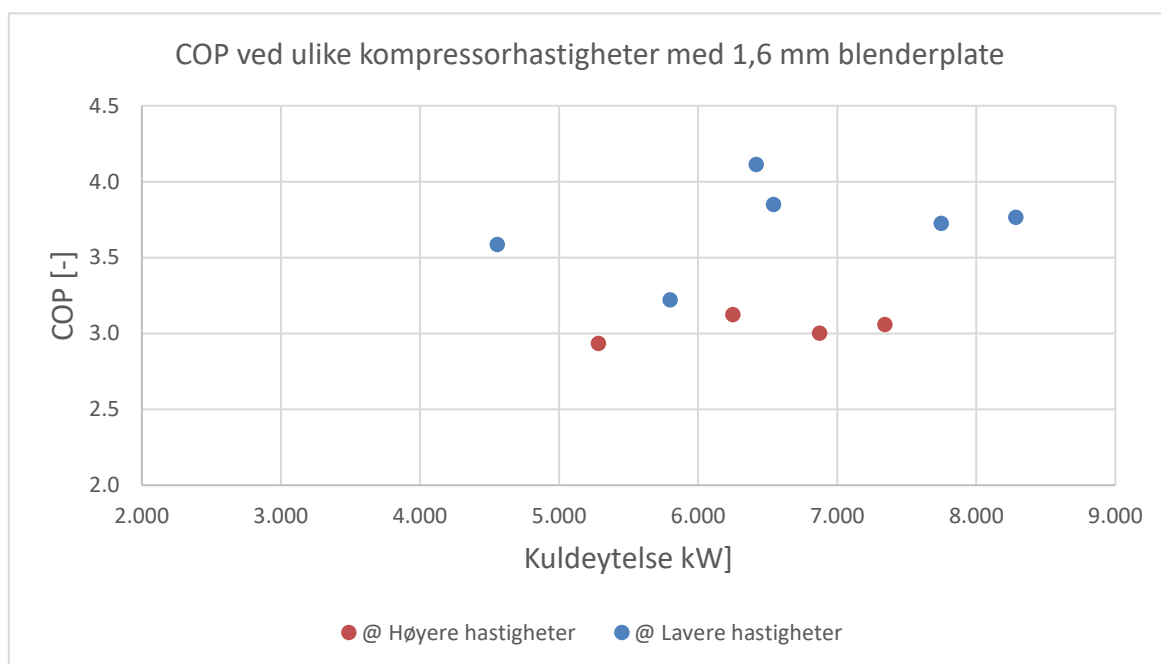
4.2 Andre prototype

Basert på resultatene fra testing av den første prototypen ble det bygget en ny, forbedret versjon. Den andre prototypen hadde en kompressor med økt kapasitet og mulighet for å teste tre ulike ekspansjonsanordninger: Et kapillarrør, en elektronisk ekspansjonsventil og en manuell ekspansjonsventil. Den manuelle ekspansjonsventilen kunne byttes ut mot en dyse. Dysen er interessant fordi den er en enda enklere versjon av en ekspansjonsenhet med tanke på kostnader, bevegelige deler og vedlikehold. Kompressoren som ble brukt, er av fabrikat Panasonic CO₂ roterende stempelkompressor C-CV303HOT. Det ble også testet ut åpningsplater med ulike diametere for norske forhold. Den andre prototypen er vist i Figur 9.



Figur 9 Andre prototype av RSW anlegg.

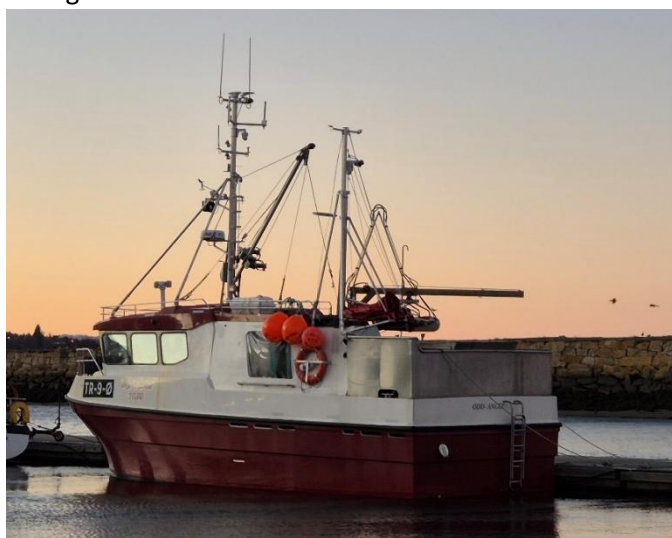
Figur 10 viser COP avhengig av kuldeytelse for ulike kompressorhastigheter og massestrømningshastigheter for sjøvann. Basert på de oppnådde resultatene ble systemet testet, og det ble tatt sikte på å integrere det i et fiskefartøy, noe som beskrives nærmere i neste kapittel.



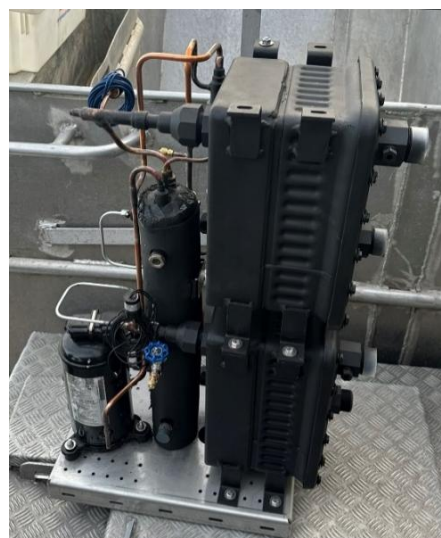
Figur 10 COP over kuldeytelse for testene av andre prototyp.

4.3 Tredje Prototype installert på Odd-Angel

Basert på funnene fra første- og andre prototype ble en tredje prototype bygget og installert om bord på det lille fiskefartøyet ODD-ANGEL (Figur 11). ODD-ANGEL er 10 meter lang og fisker etter sjøkreps i Trondheimsfjorden og ved kysten utenfor Hitra. Som beskrevet tidligere, er sjøkreps følsomme for temperaturendringer, noe som er spesielt utfordrende i sommerhalvåret. Om sommeren kan temperaturen ved overflaten være opp mot 20 grader, mens sjøkrepsene lever på bunnen av havet i kaldere temperaturer. Når sjøkrepsene fiskes og lagres om bord, opplever de en rask temperaturendring, noe som igjen kan ha en negativ effekt på kvalitet, velferd og dødelighet. Installasjonen av et RSW-system (Figur 12) vil derfor redusere den raske temperaturendringen og dermed, antas det, dødeligheten. I tillegg vil muligheten til å lagre sjøkrepsene levende ved riktig sjøvannstemperatur gjøre det mulig for fiskerne å være ute på fiskefeltet i lengre perioder. Dette vil redusere drivstoffkostnadene siden fiskerne kan redusere kjøring mellom fiskefeltene og landingssenter.



Figur 11: Odd-Angel i Trondheim havn



Figur 12: RSW anlegg installert på Odd-Angel

Systemet ble installert med en dysediameter på 1,6 mm, og vil bli testet i løpet av sommeren 2025, etter at prosjektet er ferdigstilt. Den tredje prototypen er vist på bildet over (Figur 12), og den trenger bare å kobles til sjøvannet og tankene, samt til strøm. Det er planlagt å måle systemets ytelseskoeffisient (COP) og kjølebelastning, samt å overvåke kvaliteten og dødeligheten til sjøkrepsene.

Det har blitt gjennomført et intervju med skipperen av Odd-Angel, for å få sluttbrukerens bilde av situasjonen. Skipperen ser store muligheter med å installere et RSW-anlegg om bord, spesielt med tanke på å øke antall fiskedøgn før levering, samt redusere dieselforbruk og CO₂-utslipp. Han fremhever også fordelene med et enklere røropplegg for sjøvann og fleksibiliteten anlegget vil gi. Ved å kunne regulere vanntemperaturen på båten, i samarbeid med mottakerne på land, kan kvaliteten på krepsen opprettholdes gjennom hele verdikjeden, noe som kan redusere dødeligheten. Han mener at dette vil forbedre holdbarheten og kvaliteten på fangsten, som er svært viktig for hans virksomhet. Når det gjelder barrierer, er det noen utfordringer knyttet til investering, vedlikehold og opplæring, men skipperen mener at fordelene vil oppveie disse. Han påpeker at dødeligheten på kreps kan være opptil 50% høyere om sommeren enn om vinteren, noe som understreker behovet for mer pålitelig temperaturkontroll om bord. Han er svært positiv til mulighetene som RSW-teknologi kan tilby, og er villig til å delta i prosjektet og bidra til testing av anlegget på sitt fartøy.

5 Videreføring i hovedprosjekt

Dette kvalifiseringsprosjektet har gitt oss muligheten til å utvikle et forslag på et lite kjøleanlegg, samt mulighet for å innhente kunnskap om anbefalinger for ulike arter. Med den informasjonen vi har så er dette et veldig godt utgangspunkt for å gå videre i et større prosjekt, hvor flere aktører også kan delta, for eksempel sluttbrukere. Vi har sett på noen ulike måter å finansiere et slikt prosjekt og de er beskrevet i avsnitt 5.1. Mulig innhold er skissert i avsnitt 5.2.

5.1 Mulig videre finansiering

- FHF – [Logistikk-løsninger for frakt av levende snøkrabbe](#) – Vi inkluderte vårt RSW-anlegg som en mulig del av dette prosjekt, dessverre fikk vi ikke prosjektet.
- FHF – nye utlysninger – det kan komme flere aktuelle utlysninger hvor vi kan videreføre det som er gjort. Eventuelt kan vi også foreslå dette som et tema til FHF.
- Forskningsrådet IPN – dette har vi vurdert, men vi trenger betydelig egeninnsats for dette og med partnerne i kvalifiseringsprosjektet så er dette ikke mulig.
- Forskningsrådet KSP – I samarbeid med andre partnere kan vi få til et kompetanseprosjekt. Det kan også være aktuelt å invitere utenlandske partnere.
- EU – Innovations in energy transition of fisheries and aquaculture – det er ikke noen utlysning på dette enda, men kan være veldig relevant hvis det kommer noe.
- UD/Norske ambassaden i India – vi har fått bevilget et stort prosjekt, INDEE3, sammen med norske og indiske partnere. I dette prosjektet ser vi for oss å bruke teknologi og metodikk utviklet i kvalifiseringsprosjektet, rettet mot indiske forhold.

5.2 Innhold hovedprosjekt

Målet med prosjektet er å identifisere og utvikle de beste alternativene for energieffektive og miljøvennlige kjøleanlegg tilpasset små fiskefartøy. Løsningene skal optimaliseres basert på bruksområde, båttype, størrelse og geografisk region, med mål om å forbedre fangstkvalitet, redusere klimafotavtrykket og støtte bærekraftige fiskeripraksiser.

Delmål

- Bygge og teste systemer: Utvikle og evaluere prototyper av klimavennlige kjøleanlegg med fokus på bruk av naturlige kuldemedier og høy energieffektivitet.
- Analyser av effekter: Kartlegge og dokumentere hvordan effektive kjøleanlegg påvirker fangstkvalitet og økonomi, inkludert miljømessige fordeler og identifisering av barrierer for implementering.

Arbeidspakke 1: Kartlegging

- Gjennomføre en omfattende kartlegging av eksisterende kjøleanlegg som brukes i små fiskefartøy.
- Identifisere teknologiske og økonomiske utfordringer, samt potensialet for forbedring.
- Lage en oversikt over hvilke naturlige kuldemedier som kan brukes, som CO₂, propan eller ammoniakk, og vurdere fordeler og begrensninger. Kartlegge regionale variasjoner i krav til kjøleanlegg basert på type fartøy, fangst og klima, for å tilpasse løsningene til spesifikke forhold.
- Utføre LCA for å vurdere de totale miljøpåvirkningene fra utvikling, drift og dekommisjonering av kjøleanleggene. Dette inkluderer karbonfotavtrykk, energiforbruk og ressursbruk.
- Evaluere hvordan alternative kjølesystemer bidrar til å redusere miljøpåvirkningen, samtidig som de ivaretar økonomiske og sosiale aspekter.

Arbeidspakke 2: Utvikling og testing av systemer

- Utvikle, bygge og teste prototyper av kjøleanlegg.
- Fokus på løsninger som gir høy energieffektivitet og som kan tilpasses ulike fartøystyper og operasjonsmønstre.
- Gjennomføre tester både i laboratorium og i felt for å evaluere ytelse, holdbarhet og klimafordeler.

Arbeidspakke 3: Temperatur og kvalitet

- Undersøke hvordan ulike temperaturer påvirker kvaliteten på forskjellige fiskearter og sjømat.
- Kartlegge optimale temperaturer og kjølestrategier for å opprettholde kvalitet og maksimere holdbarhet for fangsten.
- Utvikle retningslinjer for temperaturstyring om bord på små fiskefartøy.
- Inkludere feltstudier for å validere sammenhengen mellom temperaturkontroll og kvalitet.

Arbeidspakke 4: Involvering av sluttbrukere

- Engasjere fiskere, båtbyggere og kuldeanleggsprodusenter for å sikre at løsningene er brukervennlige og praktisk tilpasset deres behov.
- Arrangere workshops og intervjuer for å få tilbakemeldinger på prototypene.
- Vurdere økonomiske aspekter og barrierer for implementering, inkludert kostnader, vedlikehold og teknologisk modenhet.

Arbeidspakke 5: Prosjektledelse, kommunikasjon og formidling

- Sikre effektiv prosjektledelse og koordinering av alle arbeidspakker.
- Utarbeide en formidlingsplan for å spre resultater og innsikt til industrien, myndigheter og forskningsmiljøer.
- Publisere resultater i vitenskapelige tidsskrifter, fagblader og gjennom populærvitenskapelige kanaler.

Dette prosjektet skal bidra til mer bærekraftig fiskeri ved å redusere klimabelastningen fra kjølesystemer, forbedre fangstkvalitet og gi en bedre utnyttelse av ressursene.

6 Gjennomførte kommunikasjonsaktiviteter

Prosjektet har blitt og vil bli formidlet på følgende arrangementer:

- Nor-fishing 2024: [Nor-Fishing 2024 blir tredagersmesse - Nor-Fishing](#)
 - HAV kjølesystemer hadde stand, viste frem prototype
 - Kristina N. Widell hadde presentasjon på forskningstorget
- Effost conference 2024 [38th EFFoST International Conference 2024 | EFFoST](#)
 - Kristina N. Widell presenterte resultater fra prosjektet
- Norsk Kjølemøte 2025: [Velkommen til NKM 2025! - Norsk Kjøleteknisk Forening](#)
 - Lukas Köster og Alex Reimer presenterte prosjektet
- 1st IIR International Conference on Refrigeration Adapting to Rising Temperatures: [1st IIR International Conference on Refrigeration Adapting to rising temperatures](#)
 - Alex Reimer skal presentere prosjektet
- Populærvitenskapelig artikler
 - Gemini: [Kjøleanlegg i små fiskebåter kan minskematsvinn og gi bedre kår for fangsten](#)
 - Teknisk Ukeblad: [Kjøleanlegg i små fiskebåter kan minske matsvinn og gi bedre kår for fangsten](#)
 - Kystmagasinet: Tester kjøling av fangst for små båter
 - Sagat Fisk: Mer kjøling gir bedre kvalitet

I kontakt med bransjen, spesielt under arrangementer relatert til sjømatindustrien, ble det observert en stor interesse for klimavennlige og rene kjøleløsninger.

7 Referanser

Digre, H., Tveit, G. M., Solvang-Garten, T., Eilertsen, A., Schei, M. (2014). Overpumping av makrell (III) Effekt på fangstkvalitet, resultater fra tokt 2014. SINTEF-rapport A26559.

Erikson, U., Uglem, S., Greiff, K. (2021). Freeze-Chilling of Whitefish: Effects of Capture, On-Board Processing, Freezing, Frozen Storage, Thawing, and Subsequent Chilled Storage—A Review. *Foods*, 10:2661.

FHF of FHL (2008). Faktaark: Kjøling om bord i ferskisktrålere.

Forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer. (2013). FOR-2013-06-28-844. Lovdata.

Huss, H. H. (1995). *Quality and quality changes in fresh fish*. FAO. FAO Fisheries Technical Paper No. 348.

Keay, J. N. (2001). Handling and processing mackerel. Torry advisory note 66.

Magnussen, O. M. (1993). Energy consumption in the cold chain. In *Proceedings IIR – Commissions B1, B2, D1, D2/3*, Palmerston North, New Zealand.

Nordtvedt, T. S., Fossum, A. J., Heide, M. A., Erikson, U. Gjørund, S. H., Ladam, Y. (2012). "State of the art" innen teknologi, FoU og dagens drift av RSW-anlegg for pelagisk flåte

SINTEF-rapport A22121.

Pálsson, P. G., Viðarsson, J. R., Aðalbjörnsson, S. B. (2018). Viktigheten av god håndtering av fersk fisk om bord på fiskefartøy (E. H. Sanderson, Overs.). (Opprinnelig utgitt 2017)

Smith, J. G. M., Hardy, R. (2001). Handling and Processing Saithe. Torry Advisory Note nr 47.

Standard Norge. (2009). *Fisk og fiskeprodukter - Norsk Fersk Torsk - Krav til kvalitet* (NS 9408:2009)

Tveit, G. M. (2017). «Beste praksis» ved pumping og overpumping av rignotfangstet makrell for økt kvalitet. SINTEF-Faktaark.

Uglow, R. F., Hosie, D. A., Johnson, I. T., MacMullen, P. H. (1986). Live handling and transport of crustacean shellfish: an investigation of mortalities. Sea Fish Industry Authority, Technical Report No. 280.

Widell, K. N., Nordtvedt, T. S. (2016). Optimal kjøling av pelagisk fisk i nedkjølt sjøvann (RSW) ombord Del 2 (forprosjekt). SINTEF-rapport A27913.

Widell, K. (2021). Kjølekjeder. SINTEF-faktaark.

Wolff, R., Tveit, G. M., Widell, K., Erikson, U., Indergård, E., Nordtvedt, T. S. (2019). Live transport of Norway lobster with mobile RSW system for an international market. *Refrigeration Science and Technology*. Pages 3641-3648. Article number 422. 25th IIR International Congress of Refrigeration, Montreal, August.

Woll, A. K., Bakke, S., Larssen, W. E. (2014). Velferd og kvalitet i verdikjeden for levende sjøkreps og hummer. Møreforskning, rapport MA 14-02.

Woll, A. K., Jakobsen, A. (2006). Muligheten for bruk av RSW i sjarkflåten med fokus på krabbefisket. Møreforskning, rapport Å0604.

A Populærvitenskapelig artikkel i Gemini (replisert i TU, Kystmagasinet og Sagat fisk)



I dette krepsehotellet har hver enkelt enerom. I tillegg skal hotellet snart ned og bade i kjølig vann. Det gir bedre dyrevelferd – og bedre kvalitet på krepsen når den når middagsbordet. Foto: Ove Andreas Mandal

Kjøleanlegg i små fiskebåter kan minske matsvinn og gi bedre kår for fangsten

Kun fem prosent av små fiskebåter kjøler fangsten om bord. Det til tross for at temperatur spiller en avgjørende rolle når det kommer til kvalitet og holdbarhet.

Av [Henriette Krogness](#) - Publisert 31.03.2025

Små fiskebåter utgjør 80 prosent av de 5600 fiskefartøyene vi har her til lands. De leverer elleve prosent av totalfangsten av torsk i Norge, i tillegg til en betydelig andel krabbe og annen hvitfisk.

Men, kun fem prosent av fiskeriproduktene de leverer er nedkjølt. Til tross for at vi vet at temperatur er en av de viktigste faktorene for å kontrollere kvalitet og lang holdbarhet.

I prosjektet Klimavennlig og energieffektiv kjøling i små fiskefartøy har forskere nå testet to prototyper av et enkelt, og robust kjøleanlegg utviklet i av HAV kjølesystemer og Cadio AS.

– Vi vet allerede nå at torsk har seks dager lengre holdbarhet når den oppbevares ved 1°C, sammenlignet med 5°C, sier prosjektleder i SINTEF, Kristina Norne Widell.

En gladere kreps

På Skansen i Trondheim sitter fiskeskipper Roar Ervik om bord i båten Odd-Angel og viser hvor på kartet teinene hans er satt ut. Det er store avstander både mellom der teinene står og til fiskemottaket hvor fangsten skal leveres. Utenfor styrhuset er to installatører på vei ned i motorrommet, bærende på det som gjør at Roar er spent.



Krepsefisker Roar Ervik i havna i Trondheim. Han er svært fornøyd med sin nye investering, et kjøleanlegg i motorrommet på båten. Det gir en helt annen kvalitet på den ferske fangsten. Foto: Henriette Louise Krogness

Med trente fingre ruller han en rullings og skvetter til når han hører et dunk. Men, alt går bra. Litt dunk hører med ned trange trapperom. Men, grunnen til at det kanskje kiler litt ekstra i Roars mage i dag er at han har investert i et lite kjøleanlegg. Og selv om det ikke er stort og romslig inne i motorrommet, finner installatørene fra HAV kjølesystemer en plass hvor det både passer helt perfekt og ikke står i veien for noe annet.

Med anlegget kan jeg være flere dager på sjøen før jeg må dra til mottaket. Det betyr mindre dieselutgifter for meg og bedre vilkår for krepsen mens de er om bord, sier Ervik og ser på kjøleanlegget som har funnet sin naturlige plass.

Nå er vi fem personer som kan nyte synet nede i det overraskende rene motorrommet, mens Roar forteller hvorfor dette er en god ide. For når han får krepsen om bord blir de plassert i krepshotell, som han nå putter stående i store kar fylt med ferskt sjøvann. Kjøleanlegget kjøler ned og sirkulerer vannet, og skaper mye bedre forhold for krepsen om bord enn det den har uten kjøling.

– Krepsen jeg leverer vil ha bedre kvalitet og det vil nok føre til mindre dødelighet også, sier Ervik.

30 prosent svinn

Studier på oppdrag fra FNs organisasjon for ernæring og landbruk (FAO) viser at minst 30 prosent av fisk og sjømat globalt blir til matsvinn. Det tallet kan reduseres ved forbedret kjøling om bord.

For selv om alle store fiskebåter i den pelagiske fiskeflåten har kjøleanlegg om bord, finnes det ingen 'plug-and-play'-systemer tilgjengelig på markedet for de mindre båtene.

En eventuell investering krever prosjektering for hvert enkelt fartøy med de ekstra kostnader det medfører. Men, nå kan det være en løsning på vei. RSW-kjølesystemet som nå testes ut av Ervik kan også brukes av andre små fiskefartøy.

På Fosen skalldyr i Vallersund tar eier og daglig leder, Ove Andreas Mandal, imot kreps fra Roar og andre fiskere. Han forteller at krepsen ikke tåler temperatursvingninger særlig godt. Han er derfor positiv til kjøleanlegg om bord i de mindre båtene.