Rapport 21/2022 • Utgitt Oktober 2022

Økonomiske og miljømessige effekter av superkjøling av laks

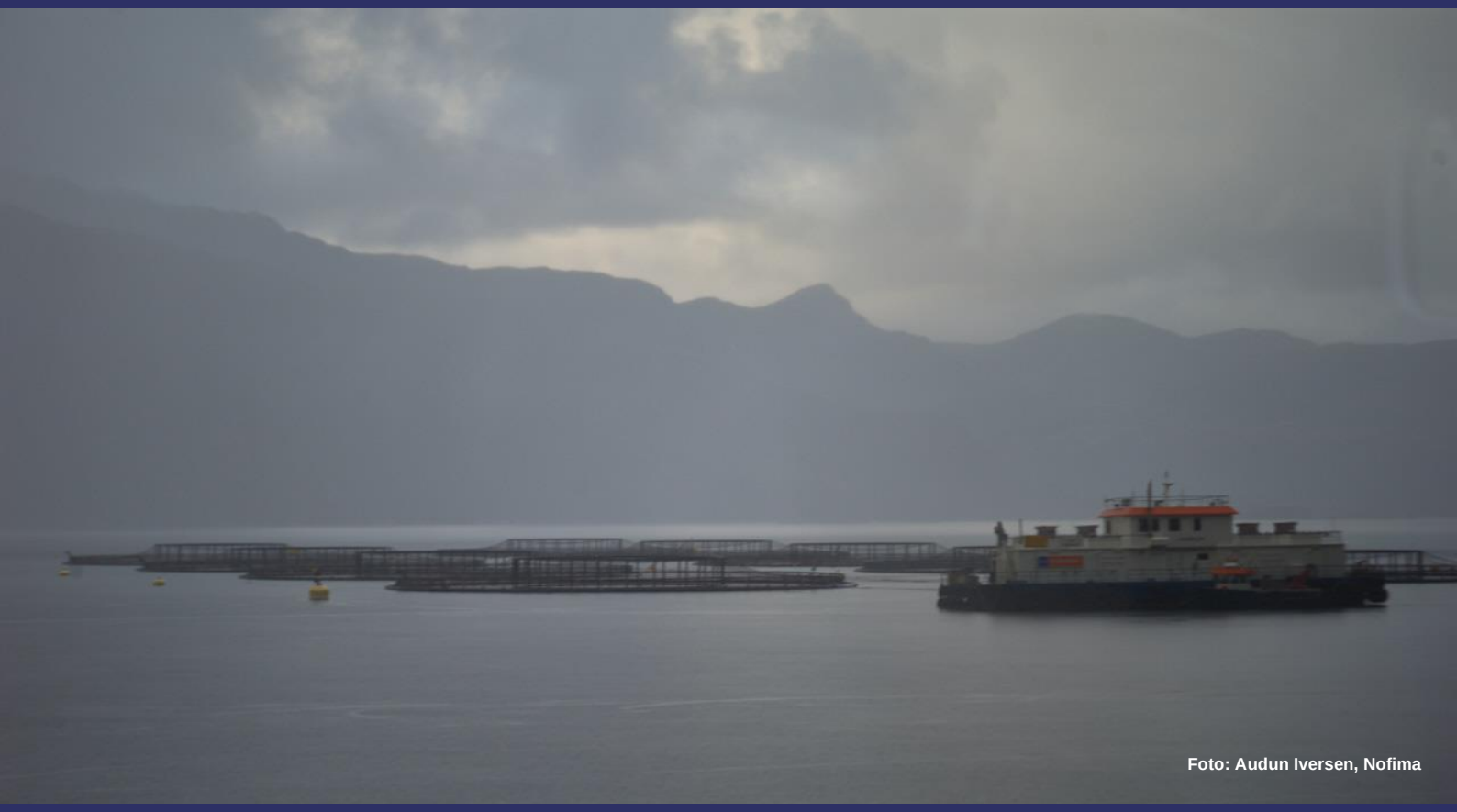


Foto: Audun Iversen, Nofima

Audun Iversen (Nofima), Friederike Ziegler (RISE) og Bjørn Tore Rotabakk (Nofima)

Nofima er et ledende matforskningsinstitutt som driver med forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien. Vi leverer internasjonal anerkjent forskning og løsninger som gir næringslivet konkurransefortrinn langs hele verdikjeden.

«Bærekraftig mat til alle» er vår visjon.

Kontaktinformasjon

Telefon: 77 62 90 00

post@nofima.no

www.nofima.no

NO 989 278 835 MVA

Hovedkontor Tromsø

Muninbakken 9–13

Postboks 6122

NO-9291 Tromsø

Stavanger

Måltidets hus

Richard Johnsensgate 4

Postboks 8034

NO-4068 Stavanger

Sunndalsøra

Sjølsengvegen 22

NO-6600 Sunndalsøra

Ås

Osloveien 1

Postboks 210

NO-1433 ÅS

Bergen

Kjerreidviken 16

Postboks 1425 Oasen

NO-5844 Bergen

Rapport

Rapportnummer:	ISBN:	ISSN:
21/2022	978-82-8296-723-5	1890-579X
Dato:	*Antall sider + sider vedlegg:*	*Prosjektnummer:*
1. november 2022	19	13101

Tittel:

Økonomiske og miljømessige effekter av superkjølig av laks

Title:

Economic and environmental effects of subchilling of salmon

Forfatter(e):

Audun Iversen (Nofima), Friederike Ziegler (RISE) og Bjørn Tore Rotabakk (Nofima)

Avdeling:

Næringsøkonomi

Oppdragsgiver:

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)

Eksternt prosjektnummer/Oppdragsgivers ref.:

FHF 901635

Stikkord:

Laks, superkjøling, klimaavtrykk og økonomi

Sammendrag/anbefalinger:

Denne rapporten undersøker økonomiske og miljømessige effekter av superkjøling av laks. Effektene belyses gjennom eksempler på to viktige varestrømmer, laks til Europa med trailer og flyfraktet laks til Asia.

Superkjøling av laks kan bidra til reduserte utslipp av klimagasser og betydelige kostnadsbesparelser ved at man reduserer bruk av is. Ved å eliminere behovet for is i kassene kan kassene fylles med inntil 20 % mer fisk. Utslippene og kostnadene til emballasje og transport kan dermed reduseres tilsvarende. I første omgang kan utslipp og kostnader reduseres for de store volumene som går til Europa med trailer og med fly til Asia og USA, men superkjøling kan også i fremtiden erstatte en større del av flyfrakten til USA, og muligens Asia, om holdbarheten forlenges tilstrekkelig. Økt kvalitet og økt holdbarhet styrker argumentene for superkjøling ytterligere.

English summary/recommendation:

Sub-chilling of salmon can contribute to reduced emissions of greenhouse gases and reduced costs by reducing the production of ice, and reduced transport and use of packaging material. The main focus of this report is on supercooling of salmon to Europe, but we will also show simple calculations of possible savings related to reduced use of air transport to Asia as well. By eliminating the need for ice in the boxes, the boxes can be filled with up to 20% more fish. Emissions and costs for packaging and transport can thus be reduced accordingly. Initially, emissions and costs can be reduced for the large volumes that go to Europe by trailer and by plane to Asia and the USA, but supercooling may also in the future replace a larger part of the air freight to the USA, and possibly Asia, if the shelf life might be sufficiently extended.

Innhold

1	**Innledning**	**1**
1.1	Bakgrunn	1
1.2	Fordeler og ulemper ved superkjøling av laks	2
1.3	Ulike metoder for superkjøling	4
1.3.1	Skallfrysing («crust freezing»)	4
1.3.2	Tørris i kasse	4
1.3.3	Kjøling i sjøvannstanker (RSW)	4
1.4	Metodebruk og datatilgang	5
2	**Endringer i energibruk og klimaavtrykk ved superkjøling av laks**	**7**
2.1	Forutsetninger og metodiske betraktninger	7
2.2	Eksport til Europa	8
2.3	Eksport til Asia	9
3	**Økonomiske effekter ved overgang til superkjøling av laks**	**11**
3.1	Forutsetninger for beregningene	11
3.2	Økonomiske beregninger	13
4	**Diskusjon**	**15**
4.1	Usikkerheter ved beregningene	15
4.2	Enda større effekter ved filetering og/eller frysing?	16
5	**Konklusjoner**	**18**
6	**Referanser**	**19**

1 Innledning

Denne rapporten er en leveranse i FHF-prosjektet «Nye metoder for bedre holdbarhet og mer miljøvennlig transport av lakseprodukter» (FHF 901635). Rapporten vil sammenligne både kostnader og energibruk i produksjon og distribusjon av superkjølt laks med dagens dominerende produksjon, hvor laksen pakkes og transporteres i kasser med is. Prosjektet ledes av Nofima, ved Bjørn Tore Rotabakk, mens RISE har ansvar for de miljømessige beregningene i denne rapporten.

Norsk oppdrettslaks er stadig mer populær i mange land, det ble satt ny eksportrekord i 2021, og det vil det nok bli i 2022 også. Norsk oppdrettslaks eksporteres over hele verden, og mens hovedmarkedene finnes i Europa, eksporteres det også mye til Asia og Amerika. Laksen eksporteres hovedsakelig som fersk og som hel, sløyd fisk, og transporteres med trailer (og litt tog) til Europa og med fly til Asia og Amerika.

Laks kan med de riktige forutsetninger ha veldig lavt karbonavtrykk. Dette er for eksempel tilfellet når man bruker marine fôringredienser fra et effektivt fiske, eller med vegetabilske råvarer fra land som ikke avskoger for å produsere soya. Men selv om lakseprodusenter internasjonalt kåres til de mest miljøvennlige proteinprodusenter[1], har lakseoppdrett to «problemområder» når det gjelder klimapåvirkning. Det ene er altså fôrproduksjonen, hvor en økende andel vegetabilske ingredienser i fôret, fra land med ekspanderende jordbruksarealer (Winther et al., 2020), har gjort at det er fôret som dominerer klimapåvirkningen til laksen, selv når man tar hensyn til hele distribusjonskjeden. Det andre er flyfrakten av rundt 200 000 tonn laks, som er den eneste transportformen som utgjør en stor andel av laksens karbonavtrykk. I en tidligere rapport i prosjektet anslo vi flyfraktens CO_2-utslipp til å være omtrent på nivå med hele den innenlandske norske flytrafikken, eller rundt 800 000 tonn CO_2 (Rotabakk et al., 2020). Med siste års økning i flyfrakten kan dette ha økt til nærmere 1 million tonn.

Potensialet for å redusere klimautslipp knyttet til distribusjon av laks kan dermed være betydelig. Selv om de største utslippene er knyttet til flyfrakt, vil vi også undersøke potensialet for å redusere klimaavtrykkene fra trailertransport, hvor de største volumene tross alt går. Her studerer vi potensialet for å redusere laksens CO_2-utslipp gjennom superkjøling, som begynner å bli tatt i bruk i norske lakseslakterier.

1.1 Bakgrunn

Selv om klimapåvirkningen fra lakseprodukter i butikken er sterkt dominert av fôrproduksjon, og at mye av mulighetene for reduserte klimautslipp derfor ligger i nye fôringredienser og mer effektiv bruk av laksefôr (Winther et al., 2020), kan også potensialet for reduksjon av utslipp etter slakting være betydelige, spesielt når en del av frakten er interkontinental flytransport av fersk laks. Winther et al. (2020) modellerte klimapåvirkningen av eksport av ni lakseprodukter i fersk og frossen tilstand, hel og sløyd, til både Europa og Asia. I en tidligere rapport i prosjektet (Rotabakk et al., 2020) sammenlignet vi et utvalg av de viktigste produktene ved å bruke en litt annen metodikk. Anvendelse av restråstoffbruk etter eksport (dvs. det som i Winther et al. (2020) kalles restråstoffbruk i markedet (by-product use in market/BUiM)) ble antatt å være null for å klare å isolere effekten av ulik prosessering og produktform. Målet var å anslå hvor mye klimautslippene i de dominerende kjedene kunne reduseres kun ved bruk av eksisterende teknologi. Det ble beregnet et potensial på opptil 60 % reduksjon ved transport av laks som filet og som fryst, ettersom det da er mulig med langsommere og mindre energikrevende transport. Sjøveistransport i stedet for fly til Asia og trailer til europeiske markeder, og eksport av fileter i stedet for hel fisk, viste seg å kunne gi betydelige reduksjoner i utslipp.

[1] https://www.fairr.org/index/

Det utvikles imidlertid også nye prosessteknologier, hvorav noen er i ferd med å bli tatt i bruk i industrien, som superkjøling. Laksen bevarer kvalitetsfordelene til fersk fisk, kombinert med betydelig forlenget holdbarhet (Rotabakk & Lerfall, 2021). Med superkjøling mener vi hurtig kjøling av fisk ned til under 0 °C. I praksis er det ønskelig at fisken forlater slakteriet med en temperatur på mellom -0,5 °C og -1,5 °C. Dette betyr at fisken må kjøles ned fra en temperatur som gjerne ligger på 4–6 °C når fisken er slaktet. For laks som ikke superkjøles, og som transporteres med is i kasse, vil det ta cirka 1 døgn før den kommer ned i en temperatur på 0 grader (Rotabakk et al., 2014).

For superkjøling av hel fisk vil vi vurdere superkjøling i saltvanns-slurry/RSW (for økonomidelen har vi også kort sett på investerings- og driftskostnadene til både kryogen- og impingementfrysing av filet). Dette vil bli sammenlignet med dagens løsninger for kjøling og transport av fersk hel fisk (HOG) og fersk filet. De økonomiske vurderingene vil også omfatte investeringer i nødvendig utstyr for superkjøling. Vi vil i rapporten legge størst vekt på superkjøling i RSW, ettersom det er mer utbredt enn de andre metodene, slik at man begynner å få litt erfaringsdata. De viktigste fordelene ved superkjøling er de samme for alle metodene, slik som besparelser knyttet til transport, sparte kostnader til is, emballasje osv. Det vil imidlertid være noen forskjeller knyttet til investeringskostnader samt kostnader og energibruk til nedkjøling.

Priser på transport og kostnader knyttet til alternative pakke- og transportmetoder vil estimeres i samarbeid med oppdrettsbedrifter, utstyrsprodusenter og transportører.

1.2 Fordeler og ulemper ved superkjøling av laks

Fordelene ved superkjøling er mange, både for miljø og økonomi, men ikke alle er like enkle å tallfeste. I dette avsnittet vil vi peke på en del fordeler med superkjøling, og gjøre kort rede for hvilke fordeler og ulemper vi i dette prosjektet vil beregne miljøeffekter og økonomiske effekter for.

Superkjølt fisk vil ikke ha behov for is under transport. Ved å bruke mindre is sparer man kostnader og utslipp knyttet til å produsere is, til å holde isen nedkjølt og ikke minst til å transportere den helt fram til markedet. Uten is i kassene kan hver kasse inneholde mer fisk. Det gir i sin tur mulighet for å fylle bilene med mer fisk, og dermed behov for færre trailere eller traller (som er en betegnelse på lastedelen av en semitrailer). Dette vil også redusere emballasjebruken og redusere fraktkostnadene. Fisk uten is gir heller ingen avrenning fra smeltevann på trailer; det er en trafikksikkerhetsmessig og omdømmemessig stor fordel, men den har vi heller ikke forsøkt å kvantifisere eller verdsette her.

En annen fordel med superkjøling er at kvaliteten kan bli bedre, selv om det foreløpig gjenstår å dokumentere en del av disse effektene. Rigor blir ikke så kraftig når laksen er kaldere, det betyr også at laksen går seinere i rigor, altså at den bruker lenger tid. Dette gir igjen mindre gaping (Thordarson *et al.,* 2015). Våre informanter melder også om mindre reklamasjoner på gaping og bløt fisk. Det meldes også om gode tilbakemeldinger på smak, hvor enkelte mener at dette har sammenheng med høyere saltinnhold grunnet superkjøling i saltvanns-slurry. I tillegg til bedre fileter med filetering på -1 °C, er det flere som indikerer bedre utbytte også. Kokeutbytte (cooking yield) er også vist å være høyere (Thordarson et al., 2015).

Drypptap i iskjølt filet er vist til å være 0,18 % per dag (Rotabakk et al., 2018). For filet som superkjøles peker forsøk i ulik retning. Sløyd laks som superkjøles har nærmest ingen drypptap første fire-fem døgn, mens én studie viste at superkjølt filet (dog i vakuum) har mindre drypptap enn kjølt filet (Kaale et al., 2014).

Generelt vil fisk gjennomgå fire faser mot spolering, hvorav svak lukt er til stede i fase 3 og H_2S er lett gjenkjennelig i fase fire. Fordelen med superkjøling er at den kan bidra til å forlenge fase 1, hvor fisken holder topp kvalitet, og hvor det ikke finnes tydelige tegn på spolering. Holdbarheten for laks kjølt med

is er rundt 20 dager, mens den for superkjølt laks kan være over 30 dager med lagring ved -2 °C. Holdbarheten kan forlenges ytterligere ved modifisert atmosfære, avhengig av hvor mye CO_2 man kan løse i produktet. Det er god synergieffekt av superkjøling og MAP-pakking; lav temperatur senker vekst av bakterier og gir tregere biokjemiske reaksjoner, samtidig med at lavere temperatur gjør at man får løst inn mer CO_2, som ytterligere hemmer bakterievekst. MAP kan forlenge holdbarheten betydelig. Forsøk med lagring av superkjølt laks i MAP har vist at man nesten ikke hadde bakterievekst i 25 dager (forsøket stoppet dessverre der) (Sivertsvik et al., 2003). Et annet forsøk viste en dobling av holdbarheten på superkjølt vakuumert filet, fra 17–21 dager på vanlig kjølt filet til 34–42 dager ved lagring på -1,4 og -3,6 °C (Duun & Rustad, 2008).

Når biokjemisk og mikrobiell levetid forlenges betyr dette i praksis at hylletiden i butikk kan bli lenger, og eventuelt at en mindre mengde fisk må kastes i butikk eller hos forbruker. Alternativt kan mer tid brukes på transport uten at hylletiden blir kortere enn i dag. Hvor lang økning i hylletid vi snakker om avhenger blant annet av temperaturen som holdes gjennom hele kjølekjeden. En av produsentene av superkjølingsutstyr, Skaginn3X, hevder en økning i hylletid på 6–7 dager. Økt hylletid har en verdi for kjøper, men den verdien har det ikke vært mulig innenfor rammene av dette prosjektet å tallfeste. Det er et poeng at selv om mikrobiologien er god, så trenger ikke de sensoriske egenskapene å være det. Det mangler fortsatt en del kunnskap både om hva som er potensiell holdbarhet, og hva den økte lagringen betyr for spiseopplevelsen.

Ifølge våre informanter er det også noen faktorer som begrenser bruken av superkjøling i dag:

1) En utfordring med superkjølt laks er at den er stivere, slik at den kan få mer skader gjennom linja og bli vanskeligere å legge i kasse. Det er mulig at man må bygge om deler av linjene for å få mindre dropp eller rettere løp, men det eventuelle investeringsbehovet til dette ser vi bort fra i denne omgang. Vi har senere antatt at man uten is i kassene kan ha mer fisk i hver kasse, men det har blitt uttrykt en bekymring for at en kaldere og stivere fisk gjør det vanskelig å utnytte dette potensialet, spesielt for større fisk. Et spørsmål næringsaktørene stiller seg er om laksen kunne blitt mindre stiv ved litt mindre kaldt vann. Det er noe som burde vært undersøkt. I dette tilfellet ville superkjølingen ha tatt lengre tid, ettersom tidsbruken er direkte koblet til temperaturforskjellen mellom fisken og slurryen. Det ville også gitt behov for større kjøletank for samme kapasitet, og dermed økt investeringsbehovet.
2) Det er usikkert hvordan ulike kundegrupper vil vurdere kvaliteten på superkjølt fisk. Mange kjøpere har vent seg til bruk av visuelle indikatorer for kvalitet, og uten kunnskap om effektene av superkjøling vil nok superkjølt laks tenne noen varsellamper hos kjøpere: superkjølt laks vil ha lysere eller nærmest grå gjeller og de vil ha mattere øyne. Salg av superkjølt fisk krever derfor at man må bearbeide markedet. Med større kunder kan man enkelt legge opp til opplæring og dialog rundt dette, i de tilfeller hvor fisken skal selges rundt til grossister, restauranter og så videre vil opplæringen være en større jobb.
3) Om man ikke har is i kassene vil det være større risiko for spolering ved brudd i kjølekjeden. Det kan også være vanskelig å holde stabil temperatur i resten av kjølekjeden, om kjølekjeden skal holde fisken «superkjølt», det vi si ned mot frysepunktet for laksen. Kjølesystemene vil slå seg av og på rundt frysepunktet, og det vil være fare for at repeterte sykluser av innfrysing og tining vil svekke opplevd kvalitet på fisken. Hvis temperaturen heller bare holdes rundt null grader, er dette ikke noe problem, men da reduseres holdbarhetsfordelen av superkjølingen. Dette vil likevel gi nok tid som superkjølt til at man får transportert fisken med trailer ut til neste ledd i verdikjeden for eksempel til videreforedlingsbedrifter i Europa.

1.3 Ulike metoder for superkjøling

Superkjøling kan gjennomføres på ulike måter, med ulike fordeler og ulemper. I dette avsnittet gjør vi rede for de viktigste metodene, før vi begrunner avgrensningene i våre analyser.

1.3.1 Skallfrysing («crust freezing»)

«Skallfrysing» er en metode hvor fisken blir raskt nedkjølt ved å utsette overflaten for ekstremt lave temperaturer over kort tid. Under den raske nedkjølingen blir det dannet et islag i det ytterste laget på fisken. Når fisken flyttes til kjølelager eller settes på bil sprer temperaturen seg innover i fisken. Skallfrysing passer best for filet, som vil oppnå en jevn temperatur i løpet av cirka en time.

Prosessen fører ikke til vesentlig redusert kvalitet, men det ytterste laget kan være merket av frysingen. Det er også meldt om at skallfrysing kan føre til litt høyere drypptap (men ikke fra selve skallet).

Skallfrysingen kan gjøres med flytende nitrogen eller «air impingement», som er kjøling med kald luft og høy lufthastighet. Air impingement innebærer at laksen utsettes for små jetstrømmer med høy hastighet og med temperaturer på 35–40 minusgrader, i opptil fire minutter. Denne metoden gir lite krystallisering på fileten. Frysing med flytende nitrogen, eller kryogenisk frysing, er også en hurtig og skånsom måte for nedkjøling. Når nitrogen sprayes på fileten fordamper det, og fryser umiddelbart ned skallet på fileten.

Skallfrysing krever litt investeringer, hvor gassfryser er rimeligst i innkjøp av de nevnte metodene. De har også kostnader til drift, hvor gassen til nitrogenfrysing ventelig vil koste mer i drift enn impingement.

1.3.2 Tørris i kasse

En annen mulighet for nedkjøling i kasse er bruk av tørris. Tørris er CO_2 som er fryst ned til minus 78,5 grader. Tørris har vært brukt en del til flyfrakt, der har det fordelen at det ikke gir avrenning. Det er nok med 1 kg tørris i kassen, og når CO_2 går over i gassform før fisken når flyplassen, gir tørris heller ikke økt vekt ved transport.

For produsenten er dette en rask og enkel prosess, de lager CO_2-snø, legger i kassa, og får kassa på bilen. Der skjer sublimasjonen (overgangen fra fast form til gassform) på kort tid, mens fisken blir superkjølt etter noen timer. Med tørris tar det imidlertid noe lenger tid før fileten oppnår superkjølt temperatur. Den lave temperaturen på tørrisen, og dermed stor forskjell mellom is og laks, gir mer ujevn frysing/nedkjøling.

I tillegg medfører bruk av tørris en HMS-utfordring: 1 kg tørris gir 500 liter med ren CO_2-gass når den smelter. Dette kan potensielt utsette mennesker for kvelningsfare, og må fortynnes med 1/200 for at nivået ikke skal overstige 0,5 %[2].

1.3.3 Kjøling i sjøvannstanker (RSW)

Den formen for superkjøling som kanskje er den enkleste å ta i bruk er kjøling i sjøvann (vi kommer til å bruke RSW (refrigerated sea water) om denne metoden, ettersom det er innarbeidet «stammespråk» i næringen). De fleste slakterier har i dag installert utblødningstanker med RSW. For superkjøling etter sløying må temperaturen i vannet være lavere, og tankene må være større enn en vanlig utblødningstank, ettersom fisken trenger mer tid på å komme ned til ønsket temperatur. Disse tankene refereres også gjerne til som Helix-tanker, ettersom fiskens oppholdstid reguleres av en skrue i hele tankens lengde, som skrur fisken gjennom tanken. Nedkjøling i RSW er en langsom form for nedkjøling.

[2] Dette er grenseverdien som er for CO_2-forurensing i arbeidsatmosfæren (Forskrift 6. desember 2001, Forskrift om tiltaks- og grenseverdier).

Vi har tatt utgangspunkt i kjøletid på 90 minutter (men denne kan være 1–3 timer, avhengig av temperatur).

All energioverføring er drevet av temperaturforskjell, hvor større differanse gir hurtigere kjøling. Jo kaldere vann, jo raskere kjøling. Kaldere vann krever imidlertid mer energi, mens lenger tid i tanken krever større tanker, og dermed større investeringskostnader. Saltinnholdet kan også økes for å kunne ha lavere temperatur. Temperaturen tas gjerne ned til -3 eller -3,5 °C, saltinnholdet er gjerne på 7 %. Nedkjøling av vannet foregår med varmeveksler på tanken. Det brukes glykol som kjølemiddel, som holder minus 6–7 grader i lukket system, og vannet sirkulerer 6–7 ganger volumet i tanken per time.

En produsent nevner at målsettingen er at fisken skal ha -1,2 °C i kjernetemperatur. Dette kan gjerne bety at kjernetemperaturen er på rundt -0,8 °C når den forlater kjøletanken, temperaturen i fisken vil utjevnes over noen timer. Andre er litt mindre ambisiøse, og peker på -0,3 °C kjernetemperatur når fisken forlater kjøletanken, slik at fisken har rundt -1 °C etter en tid i kassen.

Flere slakterier har begynt å ta i bruk kjøletanker fra Skaginn3X. Prinsippet for tankene er prøvd i ulik skala på hvitfisk, fra store trålere til sjarker ned til 12–15 meter. I større tanker er det også mulig å legge opp til seksjoner med ulik temperatur, hvor utblødning skjer på 0 °C, mens superkjøling gjøres i en annen del av tanken etterpå.

1.4 Metodebruk og datatilgang

Dette prosjektet baserer seg på data innhentet både gjennom intervjuer med aktuelle utstyrsprodusenter og slakterier, samt på tilgjengelig informasjon i skriftlige kilder. Vi beregner energibruk, klimautslipp og økonomisk effekt av overgang til superkjølt laks, både hel fisk og filet, til Europa og Asia.

Data for superkjøling ved bruk av nedkjølt sjøvann (RSW) ble samlet inn fra en produsent av utstyret og fra flere brukere. Det ble stilt spørsmål om ekstra ressursbruk for å superkjøle fisken og besparelser gjennom redusert behov for is, samt eventuelle endringer i den påfølgende distribusjonskjeden. I situasjoner hvor teknologien kun var delvis implementert, valgte vi å modellere superkjøling slik den er ment å fungere fremfor hvordan den praktiseres i en overgangsfase.

Forutsetningene for henholdsvis klimamessige og økonomiske beregninger er presentert i kapittel 2 og 3.

To rimelig representative case for eksport av norsk laks til henholdsvis det europeiske og det asiatiske markedet ble identifisert og kalt «Basis» for henholdsvis Asia og Europa (Tabell 1). For det asiatiske markedet har vi tatt utgangspunkt i hel, fersk, sløyd laks eksportert med fly til Shanghai og for det europeiske markedet hel, fersk, sløyd laks transportert med trailer til Paris. Basisalternativene er de dominerende produkt- og transportformene i henholdsvis Europa og Asia i dag.

Tabell 1 Oversikt over case for miljømessige vurderinger

Case	Produkt form	Prosess	Transportmiddel	Destinasjon
Asia - Basis	Sløyd med hode	Fersk	Fly	Shanghai
Asia - Alt. 2	Sløyd med hode	Superkjølt (RSW)	Fly	Shanghai
Europa - Basis	Sløyd med hode	Fersk, kjølt med is	Trailer	Paris
Europa - Alt. 2	Sløyd med hode	Superkjølt (RSW)	Trailer	Paris

For beregningene av effekter av ulike andeler av filetproduksjon har vi tatt utgangspunkt i Fiskeri-direktoratets omregningsfaktorer, se Tabell 2.

Tabell 2 Omregningsfaktorer mellom ulike foredlingsgrader (Fiskeridirektoratet 2021)[3]

Fra produktform	Til produktform	Utbytte
Rundvekt (WFE)	Sløyd (HOG)	0,889
Levendevekt	Sløyd	0,83
Levendevekt	B-trim filet	0,59
Levendevekt	E-trim filet	0,45
B-trim filet	Spiselig (= E-trim filet)	0,76

[3] Fiskeridirektoratet 2021 Norske omregningsfaktorer. Versjon VII. Valid from 14.01.2021. Online on fiskeridir.no

2 Endringer i energibruk og klimaavtrykk ved superkjøling av laks

I dette avsnittet vil vi presentere beregninger av endringer i klimaavtrykk ved innføring av superkjøling av laks, både til Europa, med Paris som case, og til Asia (Shanghai).

2.1 Forutsetninger og metodiske betraktninger

For superkjølte kjeder ble det antatt at det ikke ble brukt is og det ble antatt at i stedet for å frakte 4,5 kg is per 21,5 kg fisk, kunne det lastes 5 ekstra kilo fisk i hver EPS-kasse. I virkeligheten brukes det i dag noe is fordi noen kunder etterspør det, uten at det er nødvendig for kjølingens del. Hvor mye ekstra fisk som kan lastes i kassene når man utelater is er et kritisk spørsmål for analysen. Hvor mye ekstra man kan få i hver kasse avhenger av størrelse på fisken og begrenses av utformingen av EPS-boksene.

Oppsummert ble følgende data brukt til superkjøling:

Ekstra energibruk knyttet til kjøling og drift av skruen tanken utgjør om lag 7 kWh per tonn produsert laks. Dette er beregnet med utgangspunkt i produktark fra et anlegg under montering med en kapasitet på 30 tonn per time, hvor maksimal energibruk til kjøling er 150 kW og drift av skrue i tanken samt øvrig energibehov er på rundt 30 kW. Beregnet energibruk er for et anlegg som kjører på maksimal kjølekapasitet, i realiteten vil anlegget bruke mindre energi når vannet har nådd superkjølingstemperatur og bare skal kjøle fisken. Det er tatt høyde for tre timer med nedkjøling av vann før produksjonsstart.

Energibruken til isproduksjon varierer med størrelsen på ismaskin, og kan ligge fra 50–150 kWh per tonn is produsert, vi har antatt et snitt på 100 kWh per tonn is produsert, og følgende bruk av is per kilo laks transportert:

4) Basis-case Asia: 4,5/21,5 = 0,209 kg is/kg fisk
5) Superkjølt Asia: 0/26= 0 kg is/kg fisk
6) Basis-case Europa: 4,5/21,5= 0,209 kg is/kg fisk
7) Superkjølt Europa: 0/26= 0 kg is/kg fisk

Bedriften sparer dermed 21 kWh per tonn til isproduksjon for superkjølt fisk, slik at det blir en netto reduksjon i strømforbruket på 14 kWh per tonn produsert. I tillegg kom økt bruk av salt (52,5 kg/tonn laks) og ekstra vann (1500l/tonn laks). Alle kalkulasjoner av miljøeffekter er gjort med en antagelse om 26 kg laks per EPS-kasse i stedet for 21,5.

Vi har forutsatt samme restråstoffanvendelse etter eksport som i Winther et al., 2020, det vil si 20 % for basis-case Asia och 80 % for basis-case Europa. At ”svinnet” er større i Asia fører til at en større del av utslippene fra produksjon og transport henføres til den spiselige del av produktene, og at beregnede utslipp dermed øker. Svinnet er det samme for basis-casene og deres respektive superkjølte variantene.

Bakgrunnsdata for transport og energiproduksjon (elektrisitetsforbruk ble antatt å være europeisk produksjon, ettersom det nordeuropeiske el-markedet i stor grad er sammenkoblet) ble i hovedsak hentet fra databasene Ecoinvent, AgriFootprint og NTM for flyfrakt. For lakseoppdrett ble data fra Winther et al. (2020) brukt.

Den funksjonelle enheten som ble brukt som sammenligningsgrunnlag for klimaberegningene var ett kilo spiselig laks ved levering til markedet, det vil si ved ankomst til havnen eller flyplassen i den valgte byen. Resultatene presenteres per kg spiselig mengde for å kunne sammenligne matproduksjon på tvers av ulike verdikjeder. Dette betyr at resultatene for hel laks ble konvertert til spiselig mengde ved hjelp av en standard konverteringsfaktor, uten faktisk å legge til prosesseringstrinnet for å gjøre denne

konverteringen. Miljøpåvirkningen for hele verdikjeden, inklusive fôrproduksjon, ble dermed fordelt per mengde spiselig vare. Filetutbytte og andel spiselige deler er hentet fra Fiskeridirektoratet (Tabell 2).

For beregning av klimagassutslipp er det tatt utgangspunkt i standard utslippsfaktorer for hver type transportmiddel, se Tabell 3.

Tabell 3 Utslippsfaktorer for ulike former for laksefrakt (for detaljer se Winther et al., 2020)

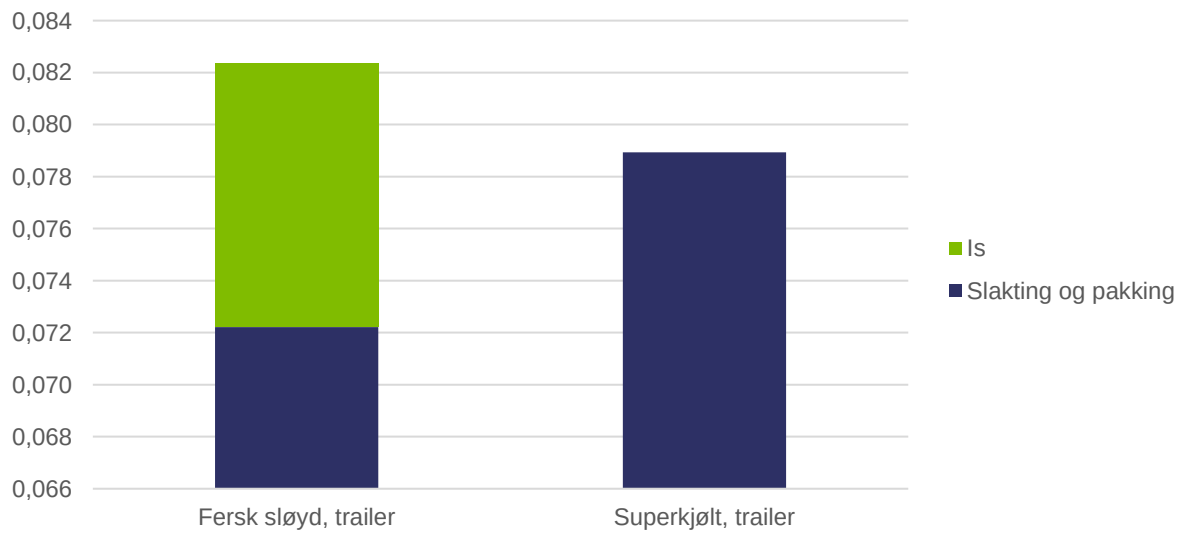
Transportform	Klimagassutslipp (kg CO_2e/t*km)
Sjøfrakt, Europa	0,057
Oversjøisk shipping	0,022
Oversjøisk flyfrakt	0,480
Trailer	0,090

2.2 Eksport til Europa

Innføring av superkjøling vil påvirke klimautslippene knyttet til slakting/foredling og transport av laks. Før vi går nærmere inn på disse kan det være greit å påpeke at utslippene til slakting og foredling utgjør en liten del av de totale utslippene knyttet til laks som konsumeres i Europa, vel 1 % for slakting og pakking og 5 % for transport. De høye utslippene til produksjon skyldes i stor grad utslippene knyttet til fôr-produksjon, som utgjør omtrent tre fjerdedeler av de samlede utslippene (Winther et al., 2020). For å synliggjøre effektene av superkjøling har vi i de neste to figurene konsentrert oss om utslippene knyttet til slakting, pakking og transport.

Merk at for alle produkter, uavhengig av produktform, er den funksjonelle enheten som sammenlignes 1 kg spiselig laks levert til markedet.

Ved superkjøling ser vi hovedsakelig to klimaeffekter i slakting og pakking, som går i to ulike retninger: Man sparer energibruk til isproduksjon, mens energibruken til kjøling øker. Økningen i energi brukt til kjøling er imidlertid mye mindre enn den sparte energien til isproduksjon. Vi har regnet ut at spart energi til isproduksjon er på 21 kWh per kilo produsert, mens økt energibruk er beregnet til 7 kWh. Uten isproduksjon faller isolert sett energibruken til slakting og pakking med 12 %, men som Figur 1 viser, er nettoeffekten for slakting og pakking på 4 %.



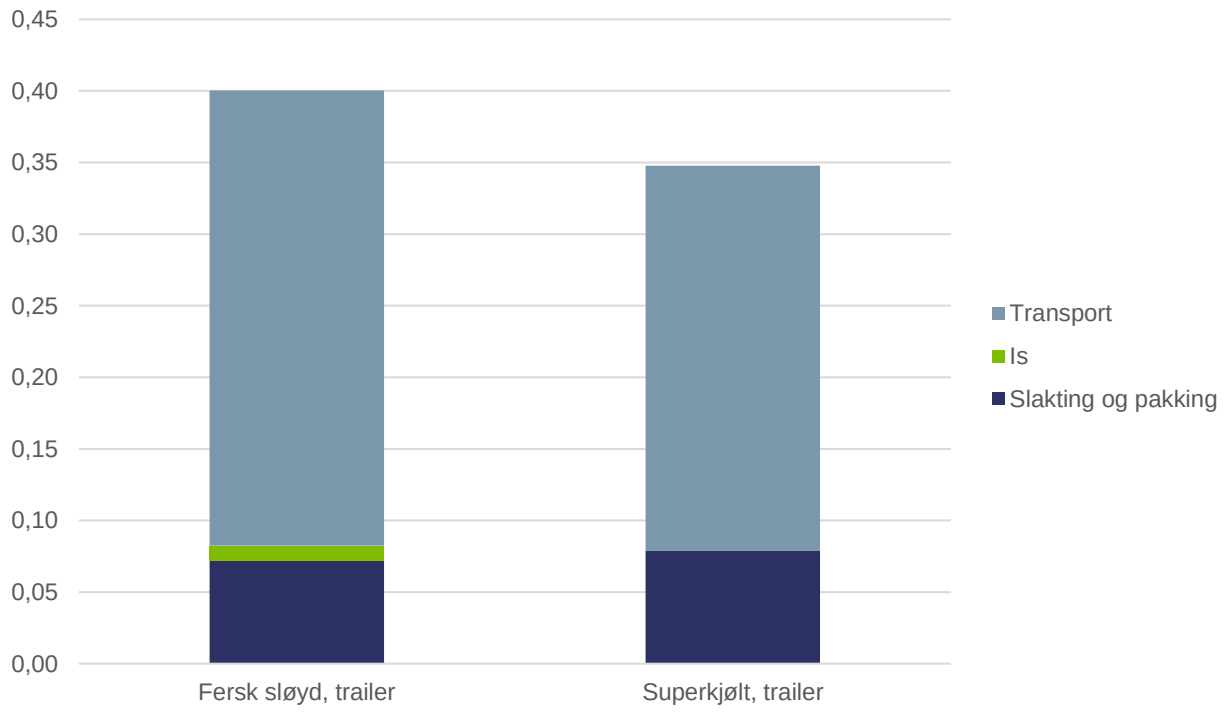
Figur 1 Klimagassutslipp til slakting og pakking av laks til Europa (henholdsvis kjøling med is og superkjøling med RSW før pakking), kilo CO_2-ekvivalenter per kilo laks produsert.

Klimaeffekten er dermed noe mindre enn energibesparingen skulle tilsi, da klimaeffekten består av mer enn energiforbruk; RSW-superkjøling gir økt bruk av kjølemidler, vann, salt og andre ressurser i slakteriet. Se Winther et al. (2020) for komplett redegjørelse for data som går inn i beregningene.

Effekt på slakting, pakking og transport

Når det ikke brukes is til kjøling av fisk i kassene, reduseres også behovet for transport og emballasje. Samlet sett er energibruken derfor avhengig av hvor mye man klarer å redusere transporten. Endringen i klimagassutslipp ved overgang til superkjøling, for slakting, pakking og transport, er illustrert i figuren under.

Vi har her brukt dagens dominerende transportform som utgangspunkt, *fersk, sløyd laks på trailer*. Ved overgang til superkjøling av sløyd fisk, fortsatt transportert med trailer, reduseres utslippene til transport med vel 15 %. Utslippene knyttet til slakting reduseres også, men effekten av redusert transportbehov er mye større enn den effekten man ser direkte i slakting og pakking, se figur 2.



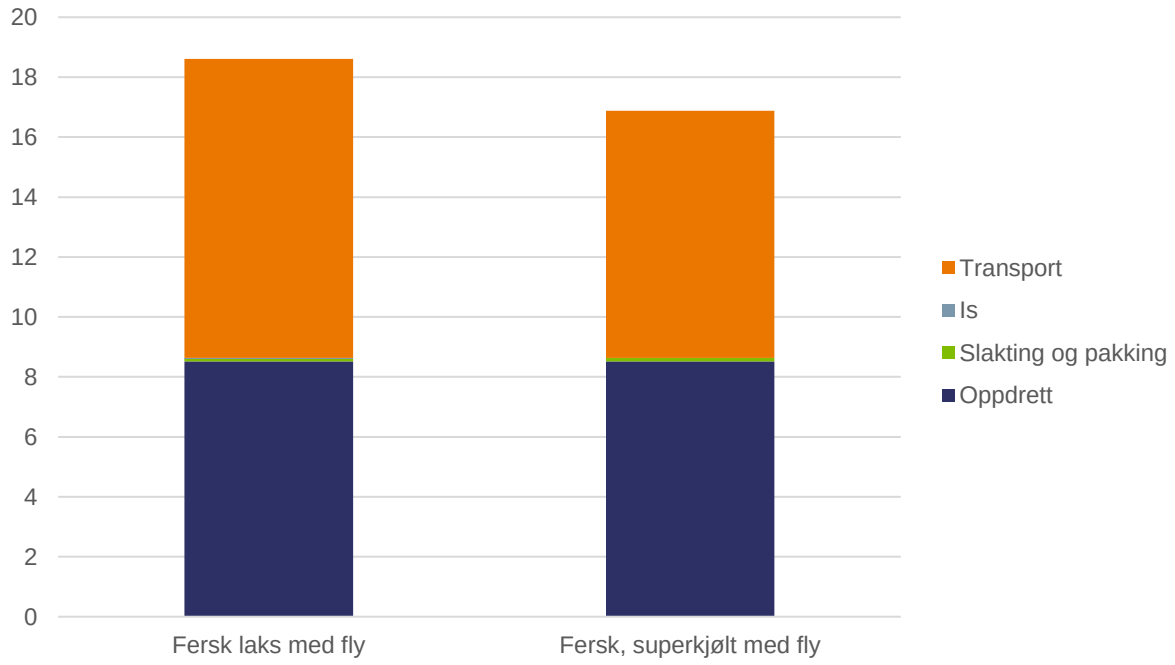
Figur 2 Klimagassutslipp knyttet til slakting, pakking og transport av laks til Europa (kilo CO_2-ekvivalenter per kilo laks produsert).

Når utslippene til slakting, pakking og transport utgjør en såpass liten del av de totale utslippene, så vil en overgang til superkjøling selvfølgelig også gi små utslag på de totale utslippene fra laks. De totale klimautslippene for sløyd laks på trailer til Europa reduseres med på 0,5 % som følge av reduksjonene knyttet til slakting, pakking og transport.

2.3 Eksport til Asia

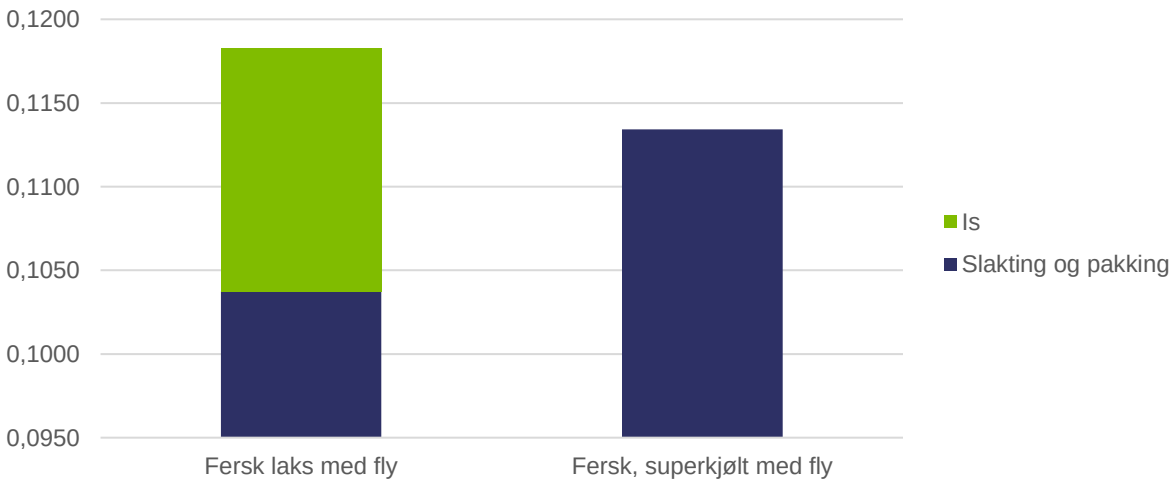
For det asiatiske markedet er flyfrakt den dominerende transportmåten, med klimagassutslipp som vist ved *Fersk laks med fly* i Figur 3. Superkjøling (til høyre) viser at utslippene til transport kan reduseres med 17 %, hovedsakelig på grunn av reduksjon i transportert mengde is med det som jo er en svært ressurskrevende flyfrakt.

Med flyfrakt av laks utgjør transporten til markedet en stor del, 54 %, av de samlede klimagassutslippene for fersk, sløyd laks til Asia. Med reduserte utslipp fra transport påvirkes også samlede utslipp merkbart, med en beregnet samlet reduksjon på nesten 10 %. Merk at den funksjonelle enheten som sammenlignes er 1 kg spiselig laks levert til markedet. Det forutsettes at restråstoffutnyttelsen etter eksport til Asia er 20 %.



Figur 3 Klimagassutslipp fra produksjon og transport av sløyd laks til Asia (Shanghai), kilo CO_2-ekvivalenter per kilo spiselig produkt i markedet.

For flyfraktet laks utgjør utslippene fra slakting og pakking en enda mindre del enn for laks på trailer, bare 0,6 %, vi har derfor vist dem i Figur 4 for bedre å illustrere de ulike effektene av superkjølingen. Effektene er veldig like dem for laks til Europa, med redusert energibruk til isproduksjon, noe økte utslipp knyttet til energi, salt og vann for superkjølingen, men netto redusert klimagassutslipp fra slakting og pakking ved superkjøling.



Figur 4 Klimagassutslipp fra slakting og pakking av sløyd laks (kilo CO_2-ekvivalenter per kilo spiselig produkt i markedet).

3 Økonomiske effekter ved overgang til superkjøling av laks

I denne delen vil vi gjøre rede for ulike faktorer som påvirker både investeringskostnader, driftskostnader og fraktkostnader knyttet til superkjølt laks. Beregningene tar utgangspunkt i gjennomsnittlige slakte- og pakkekostnader som identifisert i Fiskeridirektoratets lønnsomhetsundersøkelser, samt en mer nedenfra-opp-tilnærming, hvor vi estimerer kostnader til ulike kostnadselementer og kalkulerer endringer i slakte- og pakkekostnader basert på disse.

3.1 Forutsetninger for beregningene

Det er gjort beregninger både for et «modellslakteri» og næringen samlet. Beregningene omfatter både kjøling, pakking og transport. Vi har for regneeksemplene tatt utgangspunkt i et mellomstort slakteri, med en årlig produksjon estimert til 30 000 tonn. Kostnadene blir beregnet som kostnad per kilo slaktet fisk, og de fleste av de variable kostnadene (is, emballasje osv) er uavhengig av størrelsen på slakteriet. Noen av kostnadene kan variere med størrelsen på slakteriet, men den viktigste grunnen til å ta utgangspunkt i en gitt størrelse til regneeksemplene er å kunne få hentet inn noenlunde konkrete anslag på investeringskostnader. En gitt størrelse kan også være nyttig for å kunne eksemplifisere en del av effektene. I pakkekostnadene inngår kostnader til EPS-kasse (kjøpt eller produsert), eventuell kartong, paller, is, andre kjølemedier og medgåtte arbeidstimer per tonn ved pakking av ulike produktkategorier. Det vil også bli beregnet investeringskostnader per kilo produsert, forutsatt en levetid for kjøleanlegget på 10 år.

Transport. Transportkostnader er basert på intervjuer med både kjøpere (slakterier) og leverandører av transporttjenester. Vi har forholdt oss til gjennomsnittlige transportkostnader for hvert transport-middel, hvor kostnadsbesparelse kommer frem ved redusert transportmengde på grunn av mindre is og mer fisk i kassene. Et slakteri for 30 000 laks vil ved å kutte ut bruken av is transportere rundt 5000 tonn mindre. Bare for dette slakteriet vil transportbehovet for laks bli redusert med rundt 250 trailere per år. For landet som helhet ville dette bety 15 000 færre trailerturer, tur-retur, fra laksenæringen. Slakteriet vil i dette tilfellet bruke 220 000 kasser mindre, og med mindre kassene lages lokalt, vil redusert kassebruk også føre til mange færre trailerturer fra kasseprodusent til slakteri. En trailer med tomme kasser har med seg 1014 kasser, slik at det spares 217 trailere til vårt modellanlegg. Disse transportene er generelt over kortere avstand enn laksetransporten, ettersom kasser produseres mange steder i landet. Mange av de større lakseslakteriene produserer også sine egne kasser, da er antallet trailere som kommer inn med råstoff til kassene nede på kanskje 5 % av kassetransporten, som jo ellers er transport av mye luft.

Kasser. Uten is i kassene vil det være realistisk å ha mer sløyd fisk i kassene. Med 4,5 kilo is som tas bort, kan det i prinsippet være plass til like mye ekstra fisk. For større fisk kan det imidlertid være vanskelig å utnytte dette potensialet fullt ut. For fisk i størrelse 2–3 bør det gå an å øke antallet med 2 fisker (fra 8–9 til 10–11), 1–2 fisker i størrelse 3–4 (opp fra 6 til 7, for eksempel), og kanskje én i størrelse 4–5 (opp fra 5 til 6). For større fisk er det mer usikkert om mindre is kan gi plass til flere fisker i kassen. Dette betyr i praksis at man i regnestykkene ikke alltid kan regne like mye ekstra fisk som man tar bort is. Uten is i kassene kunne det også være et realistisk alternativ å stable 10 kasser i høyden. Det er spesielt aktuelt for større fisk, hvor det ikke er like enkelt å fylle kassene med flere fisk når man dropper is, og hvor kassene ofte er lettere enn med mindre fisk. Det er høyde nok i bilene til å stable 10, men med isoporkasser kan det også være et vektproblem: de nederste kassene kan lettere ødelegges med 10 i høyden (og det blir søl…). Vi forutsetter i de videre regnestykkene at det er realistisk å legge til 4,5 kilo ekstra fisk per kasse.

Trailer. Om vi forutsetter 21,5 kilo fisk per kasse, 27 kasser per palle og 33 paller per tralle/semitrailer, så går det 19 tonn fisk og 4 tonn is per tralle. Om vi da forutsetter at all isen erstattes med fisk, så går det cirka 21 % mer fisk på hver trailer. Det betyr igjen at mer enn hver sjette trailer kan tas bort fra

veiene. Det ble slaktet 1,65 millioner tonn laks i 2021, omregnet til sløyd vekt utgjør dette 1,47 millioner tonn, som går på trailer i alle fall et stykke av veien. Med 19 tonn per trailer er det snakk om nesten 87 000 trailerturer, til og fra slakteriene, hvorav rundt 15 000 kan spares med superkjøling. Med en antatt pris på 25 000 per trailer kan dermed 380 millioner i trailertransport spares. For transporten fra vårt modellanlegg har vi regnet følgende: Normal transportkostnad har vært 25 000 NOK for en last på 19 tonn, det vil si 1,32 kroner per kilo. Med 1/6 av transportbehovet borte betyr dette en spart transportkostnad per kilo produsert på 23 øre.

Flyfrakt. Pris ved flyfrakt har variert mye de siste to årene, hvor flytrafikken har vært preget av Covid-19. Vi har tatt utgangspunkt i at prisbildet kan komme tilbake der det var før pandemien, og har antatt et snitt på 13 kroner per kilo transportert med fly. Om man øker innholdet i kassene fra 21,5 til 26 kilo, og forutsetter samme transportkostnad, vil kostnader per kilo transportert reduseres fra 13 til 10,75 kroner per kilo transportert.

Emballasjekostnad. Vi har estimert samlede kostnader for kasse/palle/stropp. Prisene på emballasje har økt betydelig etter at Covid-19-pandemien satte inn. En standard kasse kostet før Covid cirka 26 kroner, etter Covid cirka 33 kroner. En flykasse (inkludert absorbent) kostet 37 kroner før covid, etter covid cirka 47 kroner. For denne beregningen forutsetter vi 15 % flykasser, og snitt mellom pre- og post-covid-priser. Det gir en gjennomsnittlig kassepris på 31,5 kroner, eller rundt 35 kroner inklusive palle. En palle som tar 27 kasser koster cirka 110 per palle nå mot 55 før covid. En økning fra 21,5 til 26 kilo per kasse gir reduksjon i kostnad for kasse og palle fra 1,63 kroner til 1,35 kroner, eller 28 øre per kilo produsert.

Investeringer. Investeringsbeslutningen kan være litt avhengig av om man skal bygge nytt eller om alternativet er å bygge om et eksisterende kjøleanlegg.

Moderne slakterier har allerede kjølesystemer for å kjøle ned laksen. Nedkjølingen gjøres i utblødnings-fasen, hvor fisken blør ut i en skrutank og samtidig kjøles ved hjelp av RSW.

Flere slakterier (ikke alle) har også kjøletank etter sløying og der kjøles fisken ytterligere ned til mellom 0,5 og 2 grader ved hjelp av RSW, og ned til -1 grad ved hjelp av superkjøling.

Superkjøling tar cirka 90 minutter, avhengig av fiskens temperatur inn til tanken. Jo høyere temperatur på fisken før kjøling, jo lenger tid tar det, og jo større må tanken være. Med utgangspunkt i 15 tonn per time så kreves det et tankvolum på cirka 50 m^3 når kjøletiden er 90 minutter.

Ved installering av nytt anlegg er investeringen for superkjøling høyere enn ved en tilsvarende tank for «normal» kjøling etter sløying. For vårt modellanlegg, som produserer 30 000 tonn, forutsetter vi at man behøver en tank på 50 m^3 til superkjøling, dette gir en kapasitet på rundt 15 tonn i timen. Ved superkjøling må man altså investere i en større tank for kjøling etter slakting, og man må investere i ekstra utstyr til superkjølingen. Dette er utstyr som ellers kan brukes på både utblødningstank og til kjøling etter slakt. For vårt modellanlegg betyr det at man kan velge alternativ 1) i tabellen nedenfor for vanlig kjøling, mens man behøver alternativ 5) i tabellen for superkjøling. Tilleggsinvesteringen blir da om lag 4 millioner for tank med kjøleanlegg.

Tabell 4 Investeringsbehov for ulike størrelser på kjøletanker

Tankstørrelse	Kjøleanlegg med RSW til normal kjøling	Nytt anlegg med superkjøling		Arealbehov
25 m^3	4–5 millioner	4)	6–7 millioner	100 m^2
50 m^3	5–6 millioner	5)	8–9 millioner	120 m^2
100 m^3	7–9 millioner	6)	12–14 millioner	150 m^2

En større tank vil også kreve mer av bygget. Dette er kompakte, men relativt tunge installasjoner, slik at fundamentene må være solide, men at arealbehovet for en litt større tank ikke er mye større. For en tank på 50 m^3 behøver man gjerne et areal på 4 x 16 meter for selve tanken, og litt areal rundt, la oss anta 6 x 20 meter, eller 120 m^2. Om vi regner 20 000 NOK per m^2 utgjør dette 2 400 000 i arealkostnad. For en mindre eller større tank snakker vi et par hundre tusen opp eller ned i investeringskostnad. Om vi antar at en 25 m^3 tank krever 100 m^2 vil ekstrainvesteringen være på 400 000.

Ekstrainvesteringen for tank og areal utgjør dermed samlet 4 400 000. Fordelt på 30 tusen tonn i 10 år utgjør dette cirka 1,5 øre per kilo produsert.

Vektøkning og mindre drypptap. Fisk som kjøles i RSW vil ha en viss vektøkning. Forsøk har vist at fisk som har vært kjølt i sjøvann over fire dager har hatt inntil 1 % vektøkning. Med en kjøling på 90 minutt antar vi en liten vektøkning. I tillegg kommer det at sløyd laks som superkjøles nærmest ikke har drypptap første fire-fem døgn. Ulike forsøk viser litt ulik størrelse av disse effektene (Chan et al., 2020; Rotabakk et al., 2018) slik at her velger vi konservativt å anta at samlet effekt av vektøkning og redusert drypptap gir en positiv vekteffekt på 0,2 %. Vi ser at selv små vekteffekter gir relativt store økonomiske utslag. Drypptapet kan også være mindre på filet, men her peker ulike forsøk i ulike retninger, slik at vi i denne sammenhengen har valgt å se bort fra mulig endring i drypptap på filet.

Reduserte kostnader til is. Våre informanter har estimert kostnadene knyttet til is å være 36 øre per kilo is produsert. Med 4,5 kg is per kasse, og 21,5 kilo fisk per kasse, så gir dette cirka 7 øre per kilo laks produsert. For vårt modellslakteri, med en produksjon på 30 000 tonn, kan man spare drøye 2,1 millioner kroner på å ikke bruke is. Om man bruker et halvt kilo is i kassen, «for syns skyld», eller for å gi kundene en sikkerhet for at kjølekjeden har vært holdt, så vil kostnader ligge på cirka 1,9 millioner.

Salt. For nedkjøling av vann i RSW-tanken blir det tilsatt mer salt enn det som finnes i sjøvann, slik at vannet inneholder 6–7 % salt. Det brukes rundt 1 tonn om dagen, eller 225 tonn i året. Saltkostnaden utgjør da omtrent 1 øre per kilo produsert.

Strøm. Kaldere vann i RSW-tankene krever en del ekstra strøm. Det blir også en del mer prosessvann som må renses. For vårt modellanlegg regner vi at ekstra energibehov knyttet til superkjøling er på vel 7 kWh per tonn, mens man sparer omtrent 21 kWh på å ikke bruke is (forutsatt 100 kWh per tonn for å produsere is, og 0,21 kilo is per kilo transportert laks). Netto sparer man 14 kWh per tonn produsert fisk. Vi har i beregningene antatt en pris per kWh på 3 kroner, da blir det cirka 1 240 000 spart i strøm for 30 000 tonn, eller 3 øre per kilo produsert.

3.2 Økonomiske beregninger

I dette avsnittet presenterer vi beregnede endringer i kostnader per kilo produsert for å gi et bilde av hvordan dette påvirker de totale produksjonskostnadene per kilo. Vi tar utgangspunkt i sløyd laks med hode, og forutsetter her for enkelhets skyld lik investeringskostnad for alle typer superkjøling (ettersom kapitalkostnad utgjør en veldig liten del av kostnaden ved overgang til superkjøling).

Vi ser av Tabell 5 at den økonomiske effekten ved overgang til superkjøling er en reduksjon av kostnadene med 68 øre per kilo produsert for fisk transportert med trailer. De økte kostnadene knyttet til investeringer og salt er små sammenlignet med kostnadsbesparelsene knyttet til redusert behov for emballasje og transport. For flyfraktet laks er besparelsen beregnet til 2,70 kroner per kilo.

Knappe sytti øre per kilo høres kanskje ikke mye ut, men med på en produksjon i 2021 på 1,47 millioner tonn (sløyd med hode) utgjør det omtrent 1 milliard kroner. Vi forutsetter at dette gjelder hele volumet, ettersom den flyfraktede fisken må transporteres på trailer til flyplass. For en flyfrakt på cirka 200 000

tonn utgjør den mulige besparelsen 540 millioner kroner i året. Samlet besparelse utgjør altså i størrelsesorden 1,5 milliarder norske kroner i året.

Tabell 5 Kostnadsendringer ved overgang til superkjøling

	Sløyd laks med hode, kr/kg produsert	Filet, B-trim, kr/kg produsert	Filet, E-trim, kr/kg produsert
Produksjon:			
Kapitalkostnad	0,02	0,02	0,03
Isproduksjon	-0,07	-0,10	-0,13
Salt	0,01	0,01	0,02
Strøm	-0,03	-0,04	-0,06
Vektøkning	-0,09	-0,13	-0,17
Frakt:			
Emballasje	-0,28	-0,39	-0,52
Trailertransport	-0,23	-0,32	-0,43
Flytransport	-2,25	-3,17	-4,2
Økonomisk effekt:			
Ved trailertansport	**-0,68**	**-0,95**	**-1,26**
Ved flytransport	**-2,70**	**-3,79**	**-5,03**

Det meste av besparelsene er som vi ser knyttet til emballasje og redusert transportbehov ved å slippe å transportere is. Det er derfor interessant også å illustrere mulige effekter av ytterlig reduserte transportbehov, gjennom økt andel filetering før eksport. Det er antageligvis B-filet som er mest aktuelt å produsere ved norske slakterier, da bearbeiding ut over dette krever mye manuell arbeidskraft. Vi tar likevel med beregninger for E-filet også, for å synliggjøre potensialet. Omregningsfaktor fra sløyd laks med hode til B-filet er på 0,71, og 0,46 til E-filet. Filetproduksjon gir enda større besparelser, men henholdsvis 0,98 og 1,28 kroner per kilo for B- og E-filet som transporteres med trailer. Om fileten transporteres med fly, kan besparelsen være nesten 4 kroner for B-filet og 5 kroner for E-filet.

4 Diskusjon

Effekten av superkjøling kan kort oppsummeres gjennom fire fordeler: økt kvalitet og lengre holdbarhet, som oppnås med lavere klimautslipp og til lavere kostnader.

Superkjøling reduserer ressursbruken i slakting og pakking, samtidig som behovet for transport reduseres, hovedsakelig fordi det ikke behøves is i transporten. Samlet reduksjon av klimautslippene ved bruk av superkjøling (effekter både i slakting, pakking og transport) er beregnet til 13 % for fisk som går på trailer til Europa, mens den er beregnet til 17 % for fisk som går med fly til Asia.

Det er det reduserte transportbehovet ved superkjøling som utgjør det meste av de reduserte klima-utslippene; superkjøling fører til en reduksjon av utslippene til transport på henholdsvis 15 % og 17 % for Europa og Asia.

Når laksen fraktes med fly utgjør transporten en stor del av de samlede utslippene for hele laksens livssyklus, fra produksjon av innsatsfaktorer og til grossist. En slik reduksjon i utslippene knyttet til transport som det her er tale om reduserer dermed de samlede livssyklusutslippene med 9 %, mens reduksjonen i samlet klimaavtrykk for laks til Europa, hvor transporten bare utgjør en mindre del (5 %), er på rundt 1 %.

4.1 Usikkerheter ved beregningene

Det er, som det ofte er med ny teknologi, en del usikkerhet knyttet til disse beregningene og de underliggende dataene. Noen av våre informanter hadde fortsatt ikke tatt teknologien i bruk fullt ut, slik at antakelser om hvordan den ville bli brukt og prestere når teknologien var ferdig implementert og oppskalert måtte gjøres av både dem og av oss. En viktig forutsetning for beregningene er at det er mulig å transportere mer fisk i hver kasse når man ikke lenger transporterer is. Størrelsen på det reduserte transportbehovet vil være avhengig av i hvilken grad man faktisk klarer å fylle kassene. Hvor mange kilo is og fisk som går i kassene i dag varierer også en del fra slakteri til slakteri, og det varierer litt hvor mange kilo is de bruker. Anslagene på besparelser knyttet til transport må derfor ses på som nettopp det: anslag.

Det er også viktig å minne om at RSW-teknologien ikke brukes til filet, så beregningene for filet er gjort med den forutsetning at energibehovet til skallfrysing er sammenlignbart med energibehovet for RSW-superkjøling. Hvorvidt denne forutsetningen holder, har vi ikke hatt rom til å undersøke i dette prosjektet. Selv om energimengden til kjøling skulle være noe annerledes, så vil de viktigste klimaeffektene, knyttet til lavere transportmengde, likevel være de samme. Det er også viktig å merke seg at det forutsettes at EPS-bokser fylles med mer spiselig laks ved lasting av E-trim i stedet for B-trim-fileter (og B-trim i stedet for sløyd laks), som er hovedforklaringen til forskjellene mellom disse alternativene. Forskjellen i utbytte fra levende vekt mellom B- og E-trim er 24 % (dvs. utbyttet av E-trim fra B-trim er 0,59/0,83 = 76 %).

I våre intervjuer om superkjøling kom det fram en oppfatning om at filetutbyttet av superkjølt er høyere enn ferskt, men dette er i liten grad dokumentert. I så fall ville det forbedre ytelsen til superkjølt filet, spesielt i tilfeller med lav utnyttelse av restråstoffer etter eksport. Økt utnyttelse av restråstoff, enten det skjer før eller etter eksport, vil kunne redusere klimapåvirkningene. Høyere drypptap fra superkjølt enn annen fersk laks vil derimot redusere ytelsen til superkjølt laks i forhold til annen fersk laks. Dette er et annet område hvor lite data er tilgjengelig for det som ser ut til å være akseptert kunnskap.

4.2 Enda større effekter ved filetering og/eller frysing?

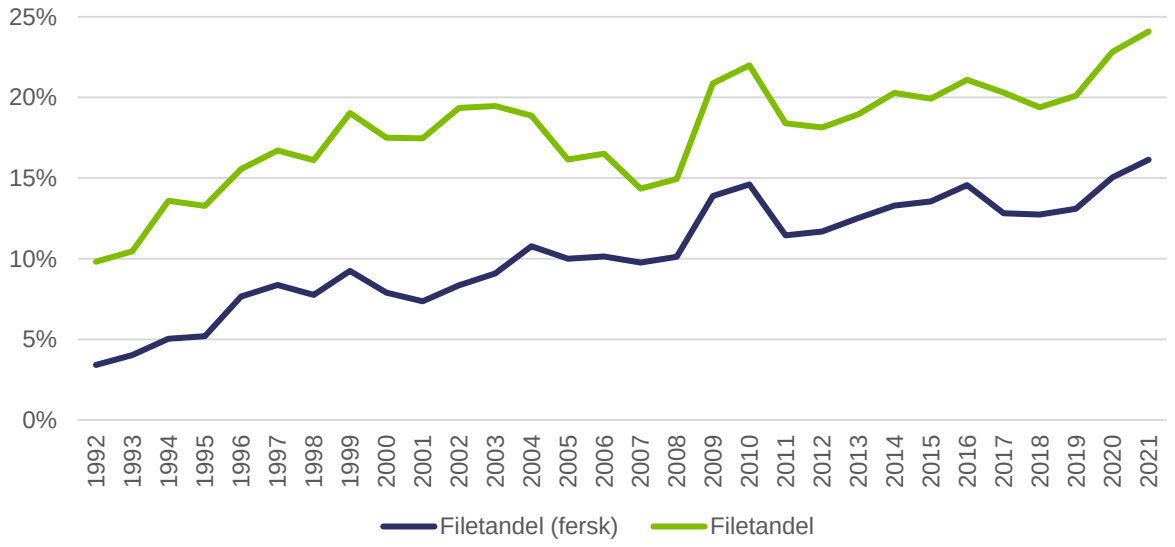
I en tidligere rapport fra prosjektet (Rotabakk et al., 2020), diskuterte vi effektene av frysing, filetering og restråstoffbruk på klimaeffektene, der ble det vist at:

- En overgang fra hel, sløyd laks til filet kunne redusere livssyklusutslippene av klimagasser for laks på trailer til Paris med 24 %.
- En overgang til å sende fryst laks til Asia, slik at man kan sende laksen med båt til Asia, kunne redusere utslippene med 54 %.

Samlet viser disse resultatene at effekten av superkjøling er størst for flyfrakt, men også at et skifte i transportmåte eller bearbeidingsform generelt har større effekter for klimautslippene enn det superkjøling har. La oss se litt nærmere på effekten av økt bearbeiding kombinert med superkjøling. I dag fileteres rundt 20 % av laksen før eksport. Denne andelen økte gjennom 90-tallet, men har vært nokså stabil siden århundreskiftet. Det meste av fileten eksporteres fersk (18 av 21 %), mens resten er fryst filet. Den lave filetandelen har sammenheng både med det norske kostnadsnivået og toll på foredlede produkter til EU.

Hva om denne andelen økes? Til det dobbelte, eller 40 %, for eksempel?

Å transportere filet heller enn hel laks vil ikke bare påvirke klimaavtrykket fra selve transporten, men også gjennom endringene i restråstoffanvendelse. I Norge vet vi at restråstoffet blir tatt vare på og brukt til olje, mel eller andre anvendelser. I utlandet vet vi at dette også er tilfellet for europeisk foredlingsindustri, men for det som går inn i HoReCa, ferskvarehandel og annet, både i Europa og andre markeder, er restråstoffanvendelsen usikker, men antageligvis mye lavere. I de tilfeller hvor restråstoffet ikke anvendes, blir klimaavtrykket i våre analyser fordelt på mengden spiselig laks som når markedet. Hvor restråstoffet brukes til nye produkter, regner vi det som en del av det nye produktets anvendelse.



Figur 5 Filetandel for norsk lakseeksport (andel av fersk laks og andel av all (fersk og fryst) laks (Kilde: SSB)

Med superkjølt filet i kassene antar vi at man vil kunne pakke 26 kilo i hver kasse. Om man går fra å transportere sløyd fisk med hode til å eksportere filet av E-trim, vil man for hvert kilo filet spare transport av 1,84 kilo sløyd hodekappet laks[4]. Transportbehovet blir dermed nesten halvert, til 54 %. For vårt modellslakteri på 30 000 tonn betyr en økt filetandel fra 20 til 40 % at 6 000 tonn ekstra fileteres. For

[4] Etter Fiskeridirektoratets omregningsfaktorer, i tabell 2, vil sløyd fisk ha 83 % av vekten til levende fisk, mens E-filet har 0,45. Omregning fra sløyd til E-filet gir dermed 0,83/0,45 = 1,8444.

disse 6 000 tonn vil transportbehovet reduseres med 46 %, eller fra 300 til 160 trailere. Om man i tillegg superkjøler disse filetene, slik at man kan pakke 26 kilo per kasse, så vil man kunne redusere dette ytterligere til 134 trailere. Ved kombinasjonen av en filetandel på 40 % og superkjøling av disse filetene, vil transportbehovet for disse 6 000 tonnene dermed bli redusert med 55 %.

Dette regnestykket kan også anvendes på hele næringen. Om filetandelen, inklusive superkjøling, økes fra 20 til 40 % for hele den norske lakseproduksjon, så vil antallet trailerlaster som går med til å transportere denne fisken (280 000 tonn) gå ned fra 14 000 til 6 300, eller en besparelse på 7 700 trailerlaster (eller nesten 200 millioner kroner).

Regnestykket kan selvsagt også tas lenger: om hele næringen skulle gå over til å filetere all laks i Norge, og superkjøle den før transport, ville transportbehovet bli redusert fra dagens 87 000 trailere til 37 700, eller nesten 50 000 trailere.

Som vist til over kan fryste produkter av laks ville kunne ha enda lavere utslipp. Overgang til sjøveis transport av frossen fisk fører til betydelige utslippsreduksjoner (Rotabakk et al., 2020), og gjør at laksens livsløpsavtrykk er rundt 50 % lavere enn for flyfraktet laks.

Å selge fryst laks har imidlertid vært oppfattet som vanskelig, med sterke forbrukerpreferanser for fersk laks. I en annen rapport i prosjektet (Heide, 2022) har vi undersøkt mulighetene for større aksept av fryste lakseprodukter. Forbrukerundersøkelser viste at forbrukerne fra USA og Japan hadde ulike assosiasjoner og holdninger til fersk og tint laks, og at betalingsvilligheten for tint laks var 30 % lavere i begge markedene. En segmenteringsanalyse viste imidlertid at det finnes en gruppe miljøbevisste forbrukere i begge markedene som ønsket laks med lavt karbonavtrykk. Dette segmentet virker å være svært interessant som målgruppe for tint laks.

Omtrent samme klimaeffekt som med frysing kunne man også oppnådd om man med superkjøling kunne få lang nok holdbarhet til at transporten kan foregå med båt. Forskjellen mellom disse to alternativene er at man ved superkjøling bruker mer energi til nedkjølingen ved slakting, mens den fryste fisken krever mer energi under transport. Å sende superkjølt fisk med båt er foreløpig ikke et aktuelt alternativ til Asia, ettersom det tar for lang tid. Dette kan endre seg med åpning av en nordlig sjørute (reduksjon fra 30 til 20 dager transport). Frakt av fersk fisk med båt til USA er imidlertid et realistisk alternativ. Det foregår allerede transport av fersk laks med båt fra Færøyene og Island. Transporten tar 9 dager fra Færøyene og 7 fra Island. Med større volum, og dermed større båter, vil seilingstiden ifølge transportøren kunne reduseres med et døgn eller to i fremtiden. På båt transporteres laksen med en temperatur på en til to minusgrader.

5 Konklusjoner

I denne rapporten rapporterer vi modellering av både utslipp av klimagasser og økonomi ved overgang til superkjøling av norsk laks.

Superkjøling eliminerer behovet for is i kassene, og gir dermed rom for mer laks i hver kasse. Mer fisk i kassen reduserer transportbehovet, og gir dermed lavere energibruk og lavere kostnader til transport. Det gir også betydelig reduksjon i bruk av emballasje. Den ekstra energien som går til superkjøling er betydelig mindre enn energibruken til isproduksjon, slik at klimaeffekten er positiv. Det er imidlertid redusert mengde transport og emballasje som gir den viktigste klimaeffekten av superkjøling. Superkjøling kan redusere bruken av emballasje og transport med inntil 20 %. Det betyr at omkring 15 000 trailerlaster med laks, og like mange trailere i retur, kan tas bort fra veiene. I tillegg kommer transporten av kasser fra kassefabrikker til slakteriene. I tillegg til de økonomiske og miljømessige effektene gir dette positive effekter for trafikksikkerhet og næringens omdømme.

Superkjøling kan redusere utslippene av klimagasser knyttet til slakting, pakking og transport til europeiske markeder med rundt 15 %. For asiatiske markeder, hvor utslippene knyttet til transport utgjør omtrent halvparten av alle laksens utslipp, betyr en reduksjon på 15 % i transportutslippene at også de samlede livsløpsutslippene til laksen som går til Asia reduseres merkbart, med 7–8 %.

Superkjøling vil redusere kostnadene knyttet til pakking og distribusjon med nær 70 øre per kilo laks som går med trailertransport til Europa. Om hele norsk lakseproduksjon ble superkjølt før transport kunne næringen spart rundt 860 millioner på denne transporten. Ved flytransport er besparelsene også store: rundt 2,50 per kilo eller over en halv milliard for hele næringen.

Superkjøling og filetering i Norge. Det kanskje største potensialet for utslippsreduksjon i laksens distribusjonskjeder ligger i at laksen foredles før eksport. Foredling i Norge gir høyere utnyttelse av restråstoffet, og eliminerer behovet for å transportere restråstoffet ut i markedene, og gir dermed lavere klimaavtrykk per kilo spiselig laks. Dette gjorde vi beregninger på i en tidligere rapport i prosjektet (Rotabakk et al., 2020), superkjøling kan gjøre denne effekten enda større.

Superkjøling eller frysing? Enda større reduksjoner enn ved superkjøling kan oppnås ved å gå over til distribusjon av fryst laks. Dette krever imidlertid arbeid for å endre forbrukernes oppfatninger om kvaliteten på fryste produkter. Det er diskutert i andre rapporter i dette prosjektet.

Superkjøling gir et bedre produkt. Selv om man skulle vurdere klimaeffekten av superkjøling som liten i den store sammenhengen, så er det et viktig poeng at man gjennom superkjøling kan levere et produkt med både høyere kvalitet og bedre holdbarhet, og at dette oppnås med reduserte utslipp og til lavere kostnader.

6 Referanser

Chan, S. S., Roth, B., Jessen, F., Løvdal, T., Jakobsen, A.N., & Lerfall, J. (2020). A comparative study of Atlantic salmon chilled in refrigerated seawater versus on ice: from whole fish to cold-smoked fillets. *Scientific Reports*, **10**(1), 17160. https://doi.org/10.1038/s41598-020-73302-x

Duun, A.S. & T. Rustad (2008). Quality of Superchilled Vacuum Packed Atlantic Salmon (Salmo Salar) Fillets Stored at -1.4 and -3.6°C. *Food Chemistry,* **106**:1, pp. 122–31. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.051.

Heide, M., A.V. Skuland & B.T. Rotabakk (2022). Forbrukeroppfatninger om fersk og tint laks. Rapport 12/2022, Nofima, Tromsø.

Kaale, L.D., T.M. Eikevik, T. Rustad & T.S. Nordtvedt (2014). Changes in Water Holding Capacity and Drip Loss of Atlantic Salmon (Salmo Salar) Muscle during Superchilled Storage. *LWT - Food Science and Technology*, **55**:2, pp. 528–35. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.021.

Rotabakk, B.T., K. Bergman, F. Ziegler, T. Skåra & A. Iversen (2020). Climate Impact, Economy and Technology of Farmed Atlantic Salmon Documentation of the Current State for Fresh and Frozen Products Exported to Asia and Fresh Products to Europe. Tromsø. https://nofimaas.sharepoint.com/sites/public/Cristin/Rapport 44-2020.pdf?originalPath=aHR0cHM6Ly9ub2ZpbWFhcy5zaGFyZXBvaW50LmNvbS86Yjovcy9wdWJsaWMvRWJNZ1NQbFNWMTFKcl9nYmtQa2wxdDhCUWJ6SWo0Wk93a0o0Q2JPS3V3VFB3dz9ydGltZT14MWM4WEgtNDJFZw.

Rotabakk, B.T. & J. Lerfall (NTNU) (2021). Konserveringsmetoder for Sjømat. Muligheter for forlenget holdbarhet til laks. Rapport 14/2021, Nofima, Tromsø

Rotabakk, B.T., G. Melberg & J. Lerfall (2018). Effect of Season, Location, Filleting Regime and Storage on Water Holding Properties of Farmed Atlantic Salmon (Salmo Salar L.). *Food Technology and Biotechnology*, **56**:April. https://doi.org/10.17113/ftb.56.02.18.5346.

Rotabakk, B.T., H. Bleie, L.H. Stien & B. Roth (2014). Effect of Blood Removal Protocol and Superchilling on Quality Parameters of Prerigor Filleted Farmed Atlantic Cod (Gadus Morhua). *Journal of Food Science*, **79**:5, pp. 881–86.

Sivertsvik, M., J.T. Rosnes & G.H. Kleiberg (2003). Effect of Modified Atmosphere Packaging and Superchilled Storage on the Microbial and Sensory Quality of Atlantic Salmon (Salmo Salar) Fillets. *Journal of Food Science,* **68**:4, pp. 1467–72. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb09668.x.

Thordarson, G., M. Karlsdottir, R. Pedersen, M. Johannsson & A. Hognason (2015). Sub-Chilling of Salmon. Reykjavik.

Winther, U., E.S. Hognes, S. Jafarzadeh & F. Ziegler (2020). Greenhouse Gas Emissions of Norwegian Seafood Products in 2017.