

# Konserveringsmetoder for sjømat

## Muligheter for forlenget holdbarhet til laks

Bjørn Tore Rotabakk (Nofima) og Jørgen Lerfall (NTNU)





Nofima er et næringsrettet forskningsinstitutt som driver forskning og utvikling for akvakulturnæringen, fiskerinæringen og matindustrien.

Nofima har om lag 390 ansatte.

Hovedkontoret er i Tromsø, og forskningsvirksomheten foregår på fem ulike steder: Ås, Stavanger, Bergen, Sunndalsøra og Tromsø

Hovedkontor Tromsø:  
Muninbakken 9–13  
Postboks 6122 Langnes  
NO-9291 Tromsø

Ås:  
Osloveien 1  
Postboks 210  
NO-1433 ÅS

Stavanger:  
Måltidets hus, Richard Johnsensgate 4  
Postboks 8034  
NO-4068 Stavanger

Bergen:  
Kjerreidviken 16  
Postboks 1425 Oasen  
NO-5844 Bergen

Sunndalsøra:  
Sjølsengvegen 22  
NO-6600 Sunndalsøra

Alta:  
Kunnskapsparken, Markedsgata 3  
NO-9510 Alta

Felles kontaktinformasjon:

Tlf: 77 62 90 00

E-post: [post@nofima.no](mailto:post@nofima.no)

Internett: [www.nofima.no](http://www.nofima.no)

Foretaksnr.:

NO 989 278 835 MVA



Creative commons gjelder når ikke annet er oppgitt

# Rapport

<b>Tittel:</b> <b>Konserveringsmetoder for sjømat – Muligheter for forlenget holdbarhet til laks</b>	ISBN 978-82-8296-678-8 (pdf) ISSN 1890-579X
	<i>Rapportnr.:</i> 14/2021
<i>Title:</i> Preservation methods for seafood - Possibilities for extended shelf life for salmon	<i>Tilgjengelighet:</i> Åpen
<i>Forfatter(e)/Prosjektleder:</i> Bjørn Tore Rotabakk (Nofima), Jørgen Lerfall (NTNU)	<i>Dato:</i> 30. april 2021
<i>Avdeling:</i> Prosessteknologi	<i>Ant. sider og vedlegg:</i> 21
<i>Oppdragsgiver:</i> Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)	<i>Oppdragsgivers ref.:</i> FHF 901635
<i>Stikkord:</i> Konservering, holdbarhet, atlantisk laks	<i>Prosjektnr.:</i> 13101
<i>Sammendrag/anbefalinger:</i> <p>Det eksisterer flere metoder for å forlenge holdbarheten til laks. Den aller viktigste er å senke temperaturen, slik at bakterier vokser saktere og enzymatisk reaksjoner går tregere. Frysing er den teknologien som gir absolutt lengst holdbarhet. Riktig utført innfrysing, lagring, emballering og tining gir produkter som er sammenlignbar med ferske produkter. Superkjøling er en metode som senker temperaturen i laksen til eller under det initiale frysepunktet til laks, men der fisken fremdeles er fersk. Lengst holdbarhet er rapportert når superkjøling kombineres med superkjølt lagring. Metoden har også blitt suksessfullt kombinert med pakking i modifisert atmosfære. Modifisert atmosfærepakking (gasspakking, vakuumpakking og skin pack) er mye brukt, særlig i forbrukerpakker, men kan også brukes til større forsendelser.</p> <p>Av nyere prosesser, er høytrykksprosessering en teknologi som har stort potensiale til å redusere bakterietall i produkter. Det er dessverre lite anvendelig på fersk fisk, da det også fører til proteindenaturering og fargeendring. Elektromagnetisk og ioniserende stråling viser til dels god holdbarhetsøkning, men begrenses enten av overflatens utforming eller holdninger til kundene. Kald plasma, og naturlige tilsetningsstoffer og biokonservering er også omtalt. Dette er metoder som i stor grad ikke er lovlig i bruk, men er omtalt da disse i fremtiden kan brukes på laks.</p>	
<i>English summary/recommendation:</i> <p>This report review research that is relevant and include both technology that is implemented and technology that is still being developed. Temperature control is vital, and both freezing and superchilling is reviewed. Non thermal processes as high pressure processing, irradiation and cold plasma is also included and reviewed, together with packaging.</p>	

## **Forord**

Denne rapporten er en leveranse i FHF-prosjektet «Nye metoder for bedre holdbarhet og mer miljøvennlig transport av lakseprodukter» (FHF-prosjekt 901635). Dette er rapport nummer 2 i prosjektet, og er en litteraturgjennomgang av hvilke muligheter man har for å forlenge holdbarheten til laks. Målet er å komme frem til ny teknologi slik at man kan nå fjerntliggende markeder, uten å måtte bruke fly.

# Innhold

<b>1</b>	<b>Introduksjon .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Postmortale endringer i fisk .....</b>	<b>2</b>
2.1	Rigor mortis .....	2
2.2	Enzymatisk autolyse og proteolyse .....	3
2.3	Mikrobiell nedbryting .....	3
<b>3</b>	<b>Teknologier for å øke holdbarheten.....</b>	<b>5</b>
3.1	Temperaturkontroll.....	5
3.1.1	Frysing og tining .....	5
3.1.2	Superkjøling.....	7
3.2	Bakteriekontroll.....	9
3.2.1	Pakking i modifisert atmosfære .....	9
3.2.2	Høytrykksprosessering .....	10
3.2.3	Elektromagnetisk og ioniserende stråling .....	10
3.2.4	Kald plasma .....	11
3.2.5	Naturlige tilsetningsstoffer og biokonservering.....	12
<b>4</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Referanser .....</b>	<b>14</b>

# 1 Introduksjon

Norge er ledende i verden på produksjon av Atlantisk laks (*Salmo salar*). 55,3 % av all laks i verden produseres av norske produsenter (Iversen *et al.*, 2020). Eksport av sjømat er en viktig næring i Norge, og det ble eksportert 1,1 millioner tonn laks til en verdi av 72 milliarder kroner i 2020. Næringen har hatt en massiv vekst siden den første oppdrettslaksen ble slaktet i 1971, og videre vekst er målsatt å skulle nå en eksportverdi på 240 milliarder i 2050 (Midsund, 2021; Olafsen *et al.*, 2012).

Med økt produksjon følger økte utslipp av klimagasser, spesielt siden laks i hovedsak selges som et ferskt produkt (Winther *et al.*, 2020). I 2019 ble mer enn 75 % av laksen solgt som hel og sløyd (Head-on-gutted (HOG)) i ekspanderte polystyren (EPS) kasser med is. Dette innebærer at det er store mengder restråstoff, slik som hode og rygg, og dessuten is som blir transportert, og følgelig bidrar til økt utslipp av CO<sub>2</sub>. Tidligere i dette prosjektet har CO<sub>2</sub>-utslipp knyttet til transport av laks til Paris og Shanghai blitt studert (Rotabakk *et al.*, 2020). Her avdekket man at transportleddet mer enn doblet karbonavtrykket når man transporterte laks med fly til Shanghai. Ved trailertransport til Paris, øker det totale utslippet med cirka 10 %. Det er med andre ord rom for å redusere utslippene, særlig til de fjerntliggende markedene.

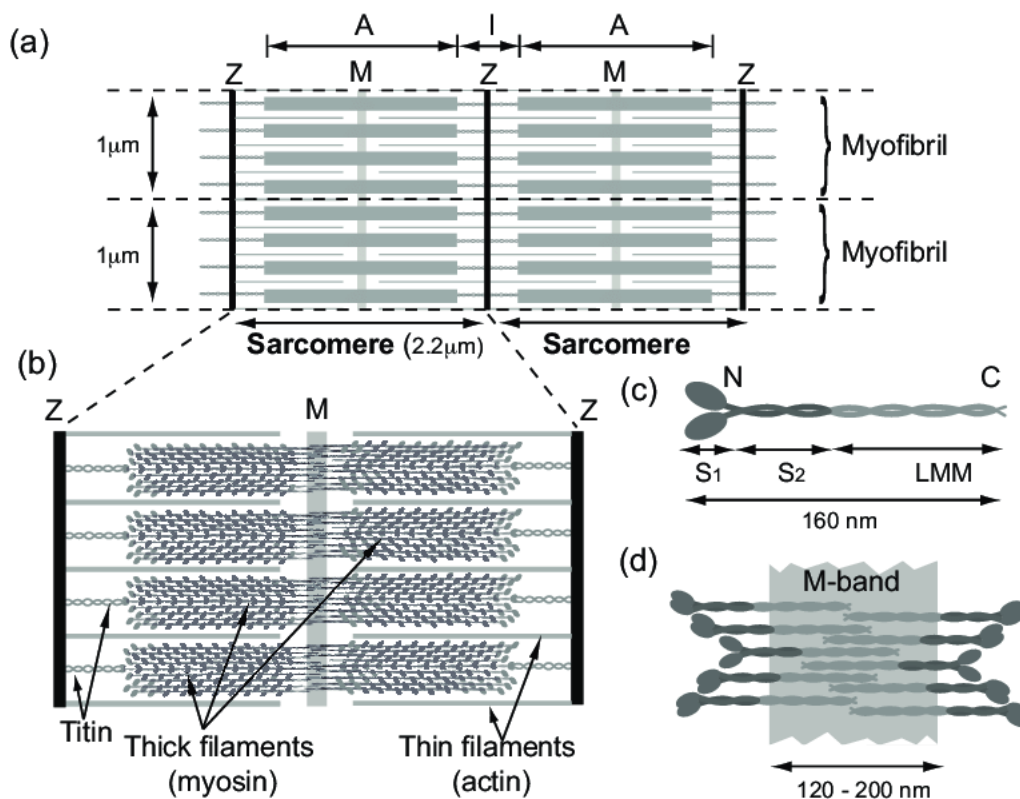
FN har lansert 17 bærekraftsmål som er en felles plan for hvordan man skal utrydde fattigdom, bekjempe ulikheter og stoppe klimaendringene innen 2030. Vi lever nå i en verden med en befolkning som nærmer seg 8 milliarder mennesker, og bærekraft vil være førende i fremtiden for hvordan maten høstes, foredles og transporteres. Dessuten vil redusert matsvinn og konservering av maten være essensielt for å sikre tilgang til nok og trygg mat for hele verdens befolkning.

Denne rapporten gir først en kort oversikt over hvilke endringer som skjer i fisk og spesifikt etter at den er slaktet og som fører til at fisken til slutt oppleves som bedervet, før man går gjennom hvilke metoder som er testet for å bremse denne prosessen. Her vil både metoder som er veletablert i lakseindustrien, samt mer eksperimentelle metoder bli diskutert.

## 2 Postmortale endringer i fisk

### 2.1 Rigor mortis

Etter at laksen er slaktet, starter nedbrytingen av muskelen umiddelbart, der tekstur, smak og lukt endres (Huss, 1995). *Rigor mortis*, kanskje bedre kjent som dødsstivhet, er en mekanisme der muskelen stivner etter at døden inntreffer (Van den Oever, 1976). I fisk starter *rigor mortis* normalt i halen, før muskelen fremover mot hodet stivner (Stroud, 1969). For å forstå hvordan *rigor mortis* fungerer, må man ha grunnleggende forståelse for hvordan laksemuskelen er bygd opp. Muskelen er bygd opp av myotomer, som er festet til bein og skinn med bindevev. Myotomene består av myofibriller, som igjen består av blant annet aktin og myosin (Figur 1).



Figur 1 Oppbygning av en fiskemuskel, med de viktige bevegelsesproteinene aktin og myosin (Recher et al., 2009)

For at muskelen skal kunne bevege seg, må det frigis  $\text{Ca}^{2+}$ -ioner som reagerer med aktinet. I levende celler kontrolleres konsentrasjonen av  $\text{Ca}^{2+}$ -ioner i muskelen av adenosintrifosfat (ATP) pumper. ATP er cellenes «energipakker», og produseres i muskelen av mitokondrier, som omdanner næringsstoffer til ATP. Når fisken dør, slutter mitokondriene å produsere ATP. Når ATP reservene til slutt er brukt opp, stopper også kontrollen av  $\text{Ca}^{2+}$ -ioner i muskelen, og muskelen stivner (Daskalova, 2019). Tiden det tar før fisken går inn i, og styrken til *rigor mortis*, er avhengig av tilgjengelig energireserve i muskelen når døden inntreffer (glykogenlager), temperatur i muskelen og helsetilstanden til fisken (Kamolka et al., 2020). Fisken vil gå ut av rigor når bindevevet mellom filamentene brytes ned.

## 2.2 Enzymatisk autolyse og proteolyse

Det skjer også andre reaksjoner i fisken etter at døden inntreffer, slik som reduksjon av pH, autolyse og proteinnedbryting. Alle disse har en betydelig påvirkning på fiskens kvalitet (Camacho *et al.*, 2020; Hong *et al.*, 2017). En reduksjon i pH skyldes at glykogenreservene i fisken blir anaerobt nedbrutt, siden fiskens respirasjon har stoppet. Anaerob nedbryting har melkesyre som sluttprodukt, og laksen kan gå fra en pH rundt 7,3 ved slaktetidspunkt og ned til 6,3 etter at *rigor* er avsluttet (Lerfall *et al.*, 2015).

Enzymatisk autolyse starter rett etter at døden inntreffer, og akselererer når fisken går inn i *rigor* og pH faller. Hastigheten til nedbrytingen er avhenging av temperaturen, og senkes ved lavere temperaturer. En endogen enzymgruppe som bryter ned proteiner i muskelen, er katepsiner. Disse enzymene antas å være inaktivert når ATP er tilstede (Hultin, 1984). Det eksisterer 13 ulike katepsiner, men det er bare B, D, H og L som kan relateres til nedbryting av muskelen. Det er vist sammenhenger mellom *pre mortem* stress, pH, katepsinaktivitet, muskelnedbrytning og tekstur på laks (Bahuaud *et al.*, 2010).

Det skjer samtidig en enzymatisk nedbryting av ATP til adenosin difosfat (ADP), adenosin monofosfat (AMP), inosin monofosfat (IMP), inosin (Ino) og hypoxantin (Hx) (Huss, 1995). Dette skjer når glykogenlagrene er oppbrukt og produksjonen av ATP stopper. Nedbrytningen fra ATP til IMP utføres hovedsakelig av endogene autolytiske enzymer, mens nedbrytningen fra IMP til Hx skyldes både endogene enzymer og bakteriell aktivitet (Gram & Huss, 1996). IMP er med å gi ønsket smak til fisken, og assosieres med en ettertraktet søt og salt smak, mens Ino og Hx assosieres med tap av ønsket smak, og tilførsel av uønsket bitter smak. En indikator for fersket, er K-verdi:

$$K (\%) = \frac{[Hx]+[Ino]}{[ATP]+[ADP]+[AMP]+[IMP]+[Ino]+[Hx]} \quad (1)$$

der fisk med en K=20 % er definert som fersk, 50 % medium fersk, og 70 % ikke fersk (Saito *et al.*, 1959).

## 2.3 Mikrobiell nedbryting

Kjøttet til frisk fisk inneholder i utgangspunktet ikke mikroorganismer, men kan bli rekontaminert ved slaktning og videre gjennom verdikjeden frem til forbruker. Skinn, gjeller og buk har derimot høyt bakterienivå, som er påvirket av miljøet laksen levde i, før den ble slaktet. I slakteprosessen kan sjømat bli kontaminert fra miljøet, fra kontakt med ulike overflater, og ved at ansatte bearbeider produktet. God hygiene og lav lagringstemperatur er viktig for å bevare den bakteriologiske kvaliteten til fisk (Gram & Huss, 1996). En rekke studier diskuterer utfordringer knyttet til biofilmdannelse i sjømatrelatert industri. En samling av disse studiene er oppsummert av Galié *et al.* (2018). Langsrud *et al.* (2015) studerte renholdsregimer ved tre ulike lakseslakterier i Norge og undersøkte blant annet tilstedeværelse av husmikrobiota etter vasking. De viste at en miks av mikroorganismer isolert fra transportbånd i fabrikkene hadde egenskaper til å danne biofilm. Evne til å danne biofilm medfører en økt risiko for kontaminering idet biofilm er vanskelig å fjerne med tradisjonelle rutiner for rengjøring. Utfordringer knyttet til biofilmdannelse hos aktører i sjømatnæringen er en utfordring både økonomisk, i forhold til produktenes holdbarhet og ikke minst mattrygghet (Galié *et al.*, 2018; Møretrø *et al.*, 2016). Møretrø *et al.* (2016) viste i en annen studie at prosessmiljøet i et slakteri, er en kilde til



kontaminering av *Pseudomonas* spp. og *Shewanella* spp., begge kjent som dominerende forringelsesorganismer i sjømat. For å kontrollere produktenes holdbarhet og mattrygghet gjennom verdikjeden, er preventive systemer som f.eks. *Good Hygiene and Manufacturing Practices* (GHP, GMP) og *Hazard Analysis Critical Control Point* (HACCP) viktige å iverksette. Ved å optimalisere de hygieniske forholdene i en prosesslinje, fant Møretrø et al. (2016) at det var mulig å oppnå en total reduksjon på 90 % av bakterier på en laksefilet.

Totalt aerobt kimtall blir ofte brukt som en indikator på produktenes holdbarhet, men i mange tilfeller vil det være mer nøyaktig å indentifisere og kvantifisere spesifikke forringelsesorganismer da dette vil gi et mer nøyaktig mål på produktets holdbarhet (Gram & Dalgaard, 2002). Fogarty *et al.* (2019) konkluderte med at vekst av sulfid produserende bakterier, melkesyrebakterier, *Pseudomonas* spp., *Brochothrix thermosphacta*, og *Photobacterium* spp. er de beste indikatorene for forringelse i atlantisk laks.

I de senere årene har holdbarhetsforlengende teknologier og kombinasjoner av teknologiske løsninger fått større oppmerksomhet. Felles for alle disse løsningene er at de har som mål å øke nølefasen og senke vekstraten hos forringende og patogene mikroorganismer. Noen eksempler på slik teknologi er; tradisjonell kjøling, superkjøling (Chan, Roth, Jessen *et al.*, 2020; Kaale *et al.*, 2011; Magnussen *et al.*, 2008; Sivertsvik *et al.*, 2003), høytrykksprosessering (Duranton *et al.*, 2014), modifisert atmosfære (Sivertsvik *et al.*, 2002), naturlige tilsetningsstoffer (Olatunde & Benjakul, 2018) og biokonservering (Ghanbari *et al.*, 2013; Singh, 2018; Wiernasz *et al.*, 2017).

### 3 Teknologier for å øke holdbarheten

De siste årene har det blitt studert mange ulike metoder for å oppnå forlenget holdbarhet hos sjømat. Nedbrytingen av laks starter allerede umiddelbart etter at døden inntreffer (Hong *et al.*, 2017). Enzymatisk nedbryting (autolysen) starter først, og akselererer når fisken går inn i *rigor mortis* og pH synker. Den bakteriologiske nedbrytingen starter senere, etter at fiskens endogene enzymer har begynt nedbrytingen og økt næringstilgangen til bakteriene (Huss, 1995). Alle konserveringsmetoder som er prøvd ut eksperimentelt, eller benyttes av lakseindustrien i dag, har som mål å utsette denne nedbrytingen så lenge som mulig, og de fleste påvirker hovedsakelig den mikrobiologiske forringelsen.

#### 3.1 Temperaturkontroll

For å redusere forringelsesgraden hos sjømat, er lav temperatur spesielt viktig. Temperatur er den viktigste faktoren for å forlenge holdbarheten, da lavere temperatur bremser både autolysen og mikrobiell vekst, og nedkjøling etter slakting er sett på som et kritisk steg for å oppnå optimal kvalitet. Ratkowsky *et al.* (1982) utviklet en modell for temperatur og holdbarhet, og i korte trekk viser den at ved å øke temperaturen fra 0 til 4 °C, omtrent halveres holdbarheten, mens senker man ned til -2 °C, økes den med 50 %. Av den grunn benytter sjømatindustrien og tilhørende logistiske løsninger lave temperaturer. I praksis betyr dette nedkjøling på is for ferske produkter (0 °C) og kjøleskaptemperatur for prosesserte produkter (2–4 °C). Spesifikt for laks, så kjøles den ned under utblødning og eventuelt etter sløyting, for å videre bli nedkjølt ved at is tilsettes kassene etter pakking.

Å opprettholde temperaturkontroll og å beholde en ubrutt kjølekjede er den viktigste faktoren for å ivareta god mikrobiologisk kvalitet hos lettbederlig sjømat. Selv om industrien vet dette er viktig, oppstår det jevnlig uforutsette hendelser gjennom verdikjeden (Mercier *et al.*, 2017). Det bør derfor settes et søkelys på systemer og teknologi som kan bevare en ubrutt kjølekjede og forhindre unødvendige reklamasjoner og tap av kvalitet gjennom verdikjeden.

I første rapport i prosjektet (Rotabakk *et al.*, 2020), ble det gjennomført en undersøkelse av dagens løsninger. Der kom det fram at standarden i dag er å pakke cirka 20 kg HOG i ekspanderte polystyren (EPS) bokser, og at det så ble tilført 3–5 kg med våtis. Våtisen har flere funksjoner; kjøle fisken ned til 0 °C, fungere som en forsikring mot brudd på kjølekjeden samt at den smeltende isen vasker med seg bakterier fra fisken og ut av kassen. Fisken holder høyere temperatur når den blir pakket i kassene, og det er ikke uvanlig at cirka 1/3 av isen går med til å senke fiskens temperatur i kassen til 0 °C. EPS-kasser er foretrukket på grunn av god isolerende evne, og god stablestyrke selv om den blir våt. Transporten av fisken skjer i containere eller lastebiler som holder maks 4 °C. Holdbarhet på HOG oppgis av de spurte produsentene til å være 16 til 17 dager ved lagring på våtis (0 °C).

Filet pakkes på en forholdsvis lik måte som HOG. Her legges det inn en plastpose som filetene ligger i, slik at de ikke kommer i direkte kontakt med isen eller smeltevannet. Holdbarhet på filet lagret på is (0 °C) ble av de spurte produsentene oppgitt til å være ca 12 dager.

##### 3.1.1 Frysing og tining

Frysing er en av de teknologiene som best bevarer råstoffets primære egenskaper samtidig som lang holdbarhet oppnås, og er en veletablert teknologi som benyttes til å konservere lett-bederlige

matprodukter, inklusiv fisk. Prosessen bevarer i stor grad produktenes kvalitet, og næringsverdien etter frysing og tining tilsvarer ofte ferske produkter. For å få et produkt med høy kvalitet etter tining, er det flere faktorer som spiller inn; innfrysingshastighet og tid; lagringstid og temperatur, og tinemetode (Ottestad *et al.*, 2011).

Den viktigste og mest selvsagte faktoren er kvaliteten på råstoffet. Kvaliteten etter tining kan ikke bli bedre enn kvaliteten på det som fryses inn, slik at frysingen må skje mens råstoffet er ferskt og har høy kvalitet.

En annen viktig faktor er hastigheten ved innfrysing. Dannelsen av iskrystaller under innfrysning og under langvarig fryselagring vil forårsaker fysiske endringer i matvarestrukturen med en påfølgende reduksjon i kvaliteten etter tining. I kjøtt og fisk resulterer dette ofte i økt drypptap ved tining. Rask nedfrysing gir små iskrystaller i fisken, og sikrer høy kvalitet (Dawson *et al.*, 2018). Innfrysningsteknologi som gir en rask frysing av produktet, er f.eks. kryogen frysing og impingement. Disse teknologiene er begge kjent for å resultere i dannelse av små intracellulære iskrystaller (Chevalier *et al.*, 2000). Matvarer fryses ofte ved å benytte en teknologi hvor kald luft som blåses rundt produktet, eller med kalde overflater som er i direkte kontakt med produktet, dypping i et kaldt medium eller en variant av kryogen frysing. Selv om kryogen innfrysning ofte betraktes som en egen teknologi, kan påføringsmetodene ofte variere (James *et al.*, 2015). Kryogen frysing kan gi problemer med at overflaten sprekker (Kim & Hung, 1994), så prosessen må designes til produkt. Impingement er en annen interessant teknologi med et stort potensial til innfrysning av fisk og sjømat. Teknologien er en av få nyvinninger som har blitt fullt implementert i industrien (Sarkar *et al.*, 2004; Sarkar & Singh, 2004). Impingement kan beskrives som en prosess der en luft- eller væskestråle ledes mot en fast overflate, i vårt tilfelle et sjømatprodukt. Den høye hastigheten til strålen (opp mot 50 meter per sekund) ligner prosessen som benyttes i jetmotorer og vil "bryte opp" det statiske laget med gass som omgir et matprodukt (James *et al.*, 2015). Det gir et mer turbulent media rundt produktet som vil gi en betydelig forbedret varmeoverføring. Dette vil gi en mer effektiv og vesentlig raskere frysing enn konvensjonelle luft- eller kontaktfrysere (James *et al.*, 2015). Teknologien er spesielt egnet for produkter med stor produktoverflate i forhold til vekt (dvs. tynne produkter som f.eks. burgere eller fiskefileter). Tidligere tester har vist at teknologien er mest effektiv på produkter med en tykkelse mindre enn 20 mm (Newman, 2001). Prosessen er også veldig attraktiv for produkter som krever veldig rask overflatefrysing, dvs. skallfrysing ved superkjøling.

Fryselagring tid og temperatur kan også ha stor innvirkning på kvaliteten. Anbefalt lagringstemperatur for frossen fisk er -35 °C (Tolstorebrov *et al.*, 2016), og sett fra et industrielt ståsted er ikke lavere temperatur nødvendig. Sørensen (1993) konkluderte med at fryselagringstemperaturen var den viktigste faktoren. -20 °C gav cirka 1 års sensorisk holdbarhet på hel laks, sammenlignet med 2 år på -30 °C og -47 °C. Det ble ikke påvist forskjeller mellom -30 °C og -47 °C. Laksen i dette forsøket ble glassert og vakuumert, og pakket i lystette kartongesker, og det ble ikke påvist harsk smak i noen av prøvene. Sensorisk analyse av hel laks lagret i 1 år ved -25 °C hadde en kvalitet som var sammenlignbar med fersk laks (Indergard *et al.*, 2014), men fargen var påvirket.

Tining av fisk utføres tradisjonelt i luft eller i sirkulerende vann. Disse teknologiene er tidskrevende, der lufttining tar lengre tid enn i vann. Dette skyldes prosessenes begrensede varmeoverføringspotensial. Varmeoverføringspotensialet kan økes ved å bruke for eksempel mikrobølger, ultralyd eller radiofrekvens (RF) varmeoverføring (Nagarajaroo, 2016). Av de nevnte teknologiene har RF-tining det største potensialet (Altemimi *et al.*, 2019; Gambuteanu & Alexe, 2015; Nagarajaroo, 2016). Denne

teknologien er også mye brukt i sjømatindustrien. Tiningstiden avhenger av flere faktorer, inkludert produktets ensartethet, samt faktorer som størrelse og dielektriske egenskaper. Generelt har studier vist at tiningstid ved bruk av RF er mye kortere enn konvensjonelle metoder (Stormo et al., 2020).

### 3.1.2 Superkjøling

Superkjøling er et relativt nytt alternativ til vanlig is, der hel fisk eller filet kjøles ned til rundt, eller rett under fiskens initiale frysepunkt. Initialt frysepunkt for de fleste matprodukter ligger mellom  $-0,5\text{ °C}$  og  $-2,8\text{ °C}$  (Duun & Rustad, 2007), der laks har et frysepunkt rundt  $-2,2\text{ °C}$  (Rahman & Driscoll, 1994). Superkjøling inhiberer de fleste enzymatiske og mikrobiologiske reaksjonene (Huss, 1995), og gir i de aller fleste tilfeller en raskere nedkjøling enn tradisjonell ising, alt etter valg av superkjølemetode (Wu et al., 2014). Den lavere temperaturen påvirker mikrobiologisk, kjemisk og sensorisk kvalitet positivt. Autolyse og bakteriell vekst senkes signifikant, slik at holdbarheten øker og man får bedre tid til prosessering og salg. Holdbarheten er betydelig kortere enn ved frysing, da det fortsatt er flytende vann tilgjengelig for autolytisk aktivitet. Noen fysiske og kjemiske endringer kan også skje raskere i superkjølte produkter, da konsentrasjonen av oppløste stoffer vil være høyere i det vannet som ikke er frosset ut (Kaale et al., 2011).

Det er viktig å klargjøre hva superkjøling (super-chilling) er, da det eksisterer mange ulike begrep som benyttes i forskning på dette området, slik som «deep-chilling», «sub-chilling», «ultra-chilling», «overflate frysing» og «delvis fryst». I tillegg kompliseres det hele av at man bruker ulike lagringstemperaturer, fra  $+4$  til  $-4\text{ °C}$  (Kaale et al., 2011). Superkjøling brukes som en samlebetegnelse på å bringe temperaturen under  $0\text{ °C}$ , uavhengig av slutt-temperaturen. Produsenter, slik som Skaginn 3X, har registrert et varemerke på «sub-chilling» som beskriver å bringe laksen så nært  $-1,5\text{ °C}$  som mulig. Sunwell, en produsent av slurry-isutstyr, bruker «deep-chilling» når fisk kjøles ned til mellom  $0,5$  og  $-1,5\text{ °C}$ . «Ultra-chilling» er brukt om å lagre mat i «ultra-chill» området mellom  $-3$  og  $-7\text{ °C}$ . Siden dette er en lavere temperatur enn frysepunktet for mat, så vil varer lagret ved disse temperaturene bli delvis frosset. Utstyr, som blastfrysere og kryogenefrysere, opererer ved temperaturer godt under frysepunktet, og vil gi en frosset overflate. Hvis slik fisk lagres ved ultra-chill betingelser, så vil overflaten forbli frosset. Lagrer man derimot ved vanlig kjøleromstemperatur, vil man etter hvert få et produkt uten is. Hovedforskjellen mellom alle disse termene, er om vannet fryses til is eller ikke. Ved lagring etter superkjøling, er det veldig viktig at man har god kontroll på temperaturen. Selv små endringer i temperaturen kan føre til store endringer i hvor mye av vannet i fisken som er frosset (Kaale et al., 2011; Mackie, 1993).

Superkjøling ble allerede omtalt i 1920 (Danois, 1920), og patentert for prosessering og lagring av fisk på fiskebåter. Som ved en tradisjonell kjølekjede, består superkjøling av to steg; nedkjøling og lagring. Under nedkjøling, fjernes varmen i produktet hurtig. Prosessen drives av temperaturforskjellen mellom produktet og kjølemediet som brukes. Rask nedkjøling er dermed mulig ved store temperaturforskjeller og/eller ved god varmeoverføring. F.eks. så er høy luftfartighet bedre enn stillestående luft, og is-slurry bedre enn luft. Har man brukt skallfrysing (kryogene frysere eller impingement), så vil fisken under lagring ha en utjevning av temperaturen ved at den varmere kjernen avgir energi til den frosne overflaten, og ved korrekt utført superkjøling, vil hele fisken/fileten få en temperatur rundt det initiale frysepunktet.

Det eksisterer et stort tilfang av teknologiske løsninger for hvordan superkjølingen kan utføres. Forsøk på fileter har ofte involvert kryogene frysere (Rotabakk et al., 2014) eller impingementfrysere (Kaale,

2014). Funksjonen til kryogene- og impingementfrysere er forklart i 3.1.1. Anvendelse av tørris (fast CO<sub>2</sub>) er også en mulighet, og blir brukt bl.a. på fisk som skal sendes med fly. Ved superkjøling av hel laks, så har RSW eller saltlaker blitt brukt, da dette både gir god energiovergang og temperaturer lavere enn 0 °C. Ulempen er at temperaturforskjellen er lav, slik at det tar lengre tid. RSW eller saltlake er tatt i bruk kommersielt på hvitfisktrålere på Island, der fisken superkjøles direkte etter fangst, mens de blør ut. Det er også tatt i bruk på slaktebåten Norwegian Gannet som slakter laks på merdkanten og transporterer den i RSW-tanker til Hirtshals i Danmark. Systemer for RSW-kjøling er også installert eller er i ferd med å bli installert på flere landbaserte lakseslakteri i Norge. I tillegg eksisterer det ulike systemer som lager saltvannsis, som ofte omtales som «fluid ice», «ice slurry», «nano ice» eller «liquid ice». Felles for disse systemene, er at salt tilføres for å gi en gitt fryse/smeltetemperatur på isen som er lavere enn 0 °C.

### Effekt på langringstid og kvalitet

Studier på superkjølt mat, viser at man får forlenget holdbarhet sammenlignet med konvensjonell kjøling. Laksefileter lagret i vakuum hadde meget god mikrobiologisk kvalitet etter 34 dager lagret ved -1,3 og -3,6 °C (Duun & Rustad, 2008). Sivertsvik *et al.* (2003) fant at superkjølt laks lagret ved -2°C og pakket i modifisert atmosfære (MA) hadde god mikrobiell kvalitet i mer enn 24 dager (< 10<sup>3</sup> log CFU/g), mens superkjølt lagret i luft gav 21 dagers holdbarhet. Ved kjøleromtemperatur hadde MA og luft 10 og 7 dagers holdbarhet. En av årsakene til at superkjøling fungerer godt, er en betydelig reduksjon i vekst av kuldetolerante forringelsesorganismer under superkjølte betingelser sammenlignet med tradisjonelle produkter kjølt på is (Hansen *et al.*, 2009). Superkjølt laks pakket i MA viste at nok kjølekapasitet var bygget inn i fisken under superkjølingen til at fisken holdt en temperatur under 0,0 °C transporten (Sivertsvik *et al.*, 2003). Den økte holdbarheten ved å kombinere disse to teknologiene skyldes at innløsningen av CO<sub>2</sub> øker når man går ned i temperatur, samt at den lave temperaturen også påvirker bakterievekst og enzymatisk aktivitet.

En studie med kombinasjonen MA, naturlige tilsetningsstoffer (rosmarinekstrakter) og superkjøling på laksefilet, viste at tilsetningsstoffene ikke hadde noen effekt, men kombinasjonen MA og superkjøling gav 22 dagers holdbarhet, basert på sensoriske, mikrobiologiske og kjemiske analyser. Kontrollen hadde til gjengjeld en holdbarhet på 11 dager (Fernandez *et al.*, 2009). Det har også blitt gjennomført et optimaliseringsstudium for kombinasjonen superkjøling og MA pakking med tanke på gassmiks, produkt vekt og forholdet gass/produkt (Fernández *et al.*, 2010). Zhang *et al.* (2011) fant at økningen i K-verdien for karpe gikk tregere under superkjølt lagring ved -3 °C sammenlignet med lagring ved 3 °C, noe som indikerer at superkjøling kan redusere aktiviteten til ATP-degraderende enzymer. Lignende resultater er også vist på andre fiskearter (Hong *et al.*, 2017; Wu *et al.*, 2014).

Korrekt utført superkjøling gir få utfordringer knyttet til drypptap. Duun & Rustad (2008) fant høyest drypptap i laks lagret ved -1,4 °C, men det gikk ikke over 1,6 %, noe som kan karakteriseres som lavt. Sivertsvik *et al.* (2003) fant heller ingen signifikant effekt av superkjøling på drypptap. I et studium av superkjølt *pre rigor* filetert laks, fant man at superkjøling gav økt drypptap og økt myobril ødeleggelse, men instrumentelt målt tekstur viste ingen forskjeller (Bahuaud *et al.*, 2008). Det ble i dette studiet konkludert med at superkjølingen må optimaliseres for å hindre dannelse av iskrystaller for å bevare premium kvalitet. Duun & Rustad (2008) viste at lagring ved -3,6 °C gav fileter med hardere tekstur sammenlignet med fileter lagret på is, ved -1,4 °C, eller fryselagret (Duun & Rustad, 2008). Sivertsvik *et al.* (2003) fant ingen negative effekter på tekturen ved superkjøling. Bahuaud *et al.* (2008) fant at superkjøling førte til at katepsin ble frigitt fra lysosym i superkjølt laks, mens Duun & Rustad (2008)

konkluderte med at superkjøling ikke påvirket total katepsin B og L aktivitet i laksefilet lagret ved henholdsvis -1,4 og -3,6 °C. Gallart-Jornet *et al.* (2007) sammelingnet kvaliteten til superkjølt lagret laks med islagret og frossen laks som utgangspunkt for å produsere røkt laks. Fysiokjemiske parametre som protein degradering og denaturering, alfa-glukoksidase aktivitet, tekstur og massetransport under salting ble målt. Salting minimerer forskjeller mellom lagringsbetingelser, men det ble vist at superkjølt laks på dag 9 hadde samme kvalitet som islagret laks ved dag 2, og at superkjølt laks ved dag 9 hadde høyest prosessutbytte etter salting og røyking. Dette indikerer at superkjøling kan være en god måte å bevare ferskhet i råvaren før videre prosessering.

Tradisjonelt har man superkjølt fisken etter at den har vært gjennom slakteriet umiddelbart før pakking. Superkjøling med RSW om bord i båt åpner derimot for nye muligheter. For eksempel slaktesbåten Norwegian Gannet superkjøler HOG under transport og leverer superkjølt fisk ved landing. En av de største fordelene med denne metoden er at den omgår flere trinn i verdikjeden, noe som forkorter tiden det tar fra fisken slaktes til den når markedet. I et pågående doktorgradsarbeid undersøkes effekten av båtens slakteteknologi og systemer for RSW-kjøling av fisk på en rekke viktige kvalitetsparametere. Dette inkluderer fiskens saltopptak, vannbindende egenskaper samt produktets farge, tekstur og mikrobiologisk holdbarhet. Det er også utført flere studier der fiskens prosesserings-egenskaper er undersøkt (e.g., filering, porsjonering, emballering, salting og røyking). Studiene så langt har vist at lagring av sløyd laks i RSW resulterer i en total vektøkning, bedre vannholdingskapasitet (WHC) og et høyere saltopptak sammenlignet med fisk lagret på is (Chan, Roth, Jessen *et al.*, 2020; Chan, Roth, Skare *et al.*, 2020; Skare *et al.*, 2021). Det ble derimot observert mindre forskjeller etter salting og røyking av fisk opprinnelig superkjølt med RSW sammenlignet med fisk lagret på is (Chan, Roth, Jessen *et al.*, 2020; Chan, Roth, Skare *et al.*, 2020). RSW-lagret fisk ga generelt fisk med god mikrobiologisk kvalitet og et lavere antall sulfidproduserende bakterier sammenlignet med fisk lagret på is.

## 3.2 Bakteriekontroll

Som vist, har temperatur stor påvirkning på både enzymatisk og bakteriell nedbrytning og forringelse. Det finnes også metoder som i hovedsak forlenger holdbarheten ved å påvirke veksthastigheten til bakterier. I dette kapittelet vil et utvalg relevante teknologier bli gjennomgått.

### 3.2.1 Pakking i modifisert atmosfære

Pakking i atmosfære med forhøyet CO<sub>2</sub> hemmer vekst av forringelsesbakterier og sopp, oftest kombinert med lav mengde O<sub>2</sub> (Sivertsvik *et al.*, 2002). Holdbarheten har direkte sammenheng med mengde CO<sub>2</sub> som løses i produktet (Devlieghere & Debevere, 2000; Devlieghere *et al.*, 1998), som igjen er avhengig av pakkegass, størrelse på pakken og temperatur (Rotabakk *et al.*, 2008). Effekten av MA pakking har blitt vist i utallige forsøk, og resultater for sjømat er oppsummert av Sivertsvik *et al.* (2002), som igjen er avhengig av pakkegass, størrelse på pakken og temperatur (Rotabakk *et al.*, 2008). Effekten av MA pakking har blitt vist i utallige forsøk, og resultater for sjømat er oppsummert i en review av Sivertsvik *et al.* (2002), og viser at sjømat får mellom 30 og 60 % forlenget holdbarhet med MA. MA-pakking er mye brukt ved tilvirking av forbrukerpakker, men det finnes også løsninger for å pakke i MA under forsendelse. I tillegg finnes det alternativer for å øke mengden CO<sub>2</sub> i pakken ved å tilføre ekstra CO<sub>2</sub>, enten ved å løse inn CO<sub>2</sub> før pakking (soluble gas stabilization (SGS)) (Rotabakk *et al.*, 2006; Sivertsvik, 2000), eller ved å bruke ulike CO<sub>2</sub>-emittere (Janjarasskul & Suppakul, 2018). (Rotabakk *et al.*, 2006; Sivertsvik, 2000), eller ved å bruke ulike CO<sub>2</sub>-emittere (Janjarasskul & Suppakul, 2018).

Andre alternativer er pakking i vakuum eller i skin-pack (Chan *et al.*, 2021). Begge har til hensikt å beskytte mot oksygen, og hemmer dermed bakterievekst og harskning (DeWitt & Oliveira, 2016). Beskyttelse mot oksygen er viktig for laks, siden innholdet av flerumettede fettsyrer gjør laksen sårbar for oksidativ harskning. Dette er særlig viktig under fryselagring, da harskingsprosesser ikke hemmes av frysing (Dawson *et al.*, 2018). Kombinasjonen glasering og vakuumpakking av hel laks gav god beskyttelse mot harskning, selv etter et år ved -25 °C (Indergard *et al.*, 2014).

### 3.2.2 Høytrykksprosessering

Høytrykksprosessering (HP) kan brukes til å redusere antallet bakterier i produkter som behandles. Høytrykksbehandling var tidligere forbeholdt flytende og semiflytende produkter, som juice og syltetøy, men blir nå brukt på en stor mengde ulike matvarer. Høytrykksprosessering gir en volumendring i produktene (Martínez-Monteagudo & Balasubramaniam, 2016): Volumendringen påvirker alle cellulære komponenter og denne volumendringen skjer samtidig i hele produktet, uavhengig av størrelse og form (Smelt, 1998). Volumendringen påvirker særlig svake bindinger, slik som hydrogenbindinger, van der Waals krefter, elektrostatiske og hydrofobiske interaksjoner (Tauscher, 1995). Dette betyr at proteiner, inkludert enzymer, polysakkarider og nukleinsyrer (DNA og RNA) kan få endret struktur og funksjon, mens aminosyrer, vitaminer, smakskomponenter og andre mindre molekyler forblir uendret (Patterson, 2014). Evnen til å redusere bakterienivået i produkter mens kvaliteten bevares er en av hovedfordelene til HP sammenlignet med tradisjonell varmebehandling. HP har vist seg å være en effektiv metode for å redusere bakterietall i en rekke sjømatarter (Truong *et al.*, 2015), og 300 MPa ved romtemperatur i noen minutter er foreslått som en passende behandling for å redusere vegetative bakterier i en rekke matvarer (Farkas & Hoover, 2000). Forsøk med laks viser at proteinet i fisken denatureres allerede ved 200 MPa, samt at fargen påvirkes negativt ved at laksen blir lysere og mindre rød og teksturen blir hardere (Christensen *et al.*, 2017). 350 MPa i 5 minutter ved 20 °C viste ingen signifikant effekt på bakterietall og holdbarhet på laks (Arnaud *et al.*, 2018). HP kan kombineres med MA, og forsøk har vist at 150 MPa kombinert med 100 % CO<sub>2</sub> i pakken reduserte enzymaktiviteten i Coho-laks (*Oncorhynchus kisutch*), noe som resulterte i bedre bevaring av tekstur uten å gi fargeforskjeller (Perez-Won *et al.*, 2020). Det ble derimot ikke funnet noen bakteriereduserende effekt av HP ved det trykket. En annen mulighet er å HP-behandle frossen laks. Forsøk på frossen albakor tunfisk (*Thunnus alalunga*) har vist at HP like før tining gav signifikant mindre dypptap under tining (Cartagena *et al.*, 2020). Tunfisk som var fryselaagret i 45 dager i -20 °C og HP-behandlet ved 200 MPa i 6 minutter like før tining, hadde cirka 2,4 % dypptap, sammenlignet med 5 % før kontrollen. Kun neglisjerbare endringer i tekstur, farge og lipidoksidasjon ble funnet. Dette er ikke prøvd på laks, så langt vi vet.

### 3.2.3 Elektromagnetisk og ioniserende stråling

Ulik elektromagnetisk bestråling har blitt brukt til å redusere bakterievekst på fisk. UV-stråling har helt siden 1930-tallet blitt brukt til desinfeksjon. UV-lys kategoriseres gjerne i ulike bølgelengde intervaller; UV-A med 320–400 nm, UV-B med 280–320 nm, og UV-C med 200–280 nm. UV-C har den beste effekten på bakteriedrap (Bintsis *et al.*, 2000). Energien som frigis under UV-behandling, påvirker og endrer DNA'et (Lee *et al.*, 2015). Holck *et al.* (2018) fant en reduksjon på 0,2–1,1 log på *L. monocytogenes* på både røkt og rå laks med UV-C og pulserende UV-lys, mens det ikke ble funnet noen effekt av UV-C på den naturlige bakteriefloraen på laks (Miks-Krajnik *et al.*, 2017). Pulserende lys (PL) er lys med bølgelengde mellom 200 og 1100 nm, og 1000 til 1.000.000 Hz. Man antar at drapeseffekten skyldes UV-C (Gómez-López *et al.*, 2007). Forsøk med reker og laks inokulert med *L.*

*monocytogenes*, viste en reduksjon på henholdsvis 2,2 og 1,9 log CFU/g etter PL i 350 sek (Cheigh *et al.*, 2013). Dette viser et av hovedproblemene med UV og PL, nemlig inntrengningsdyben til lyset. Bakteriene kan «gjemme seg» i den ujevne overflaten til fisken, og får beskyttende skygge mot lyset. UV-lys er også kjent for å kunne føre til harskning, men mild behandling har ikke vist å medføre harskning i regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) (Rodrigues *et al.*, 2016). Det ble heller ikke påvist noen signifikante endringer i farge på laks (Cheigh *et al.*, 2013) grunnet PL.

Bestråling av mat er blitt beskrevet som den mest studerte prosesseringsmetoden for mat gjennom tidene, og er meget effektiv til å hindre både sykdomsfremkallende bakterier og spoleringsbakterier uten å degradere kvaliteten (Arvanitoyannis *et al.*, 2008). Bestråling av mat skjer i ferdigemballert vare, gjerne i bulk, der produktene utsettes for enten gamma-, elektron- eller røntgen-stråler. Stråledosen omtales som Gray (Gy), og 1 kGy er en energimengde som tilsvarer 1 joule/kg. Gammabestrålt saltet og vakuumert ferskvannsrørret fikk firedoblet sensorisk holdbarhet (fra 7 til 28 dager) etter 2kGy gammabestråling (Savvaidis *et al.*, 2002). 5kGy på natriumacetat behandlet rørret viste tendens til å øke harskningen (Moini *et al.*, 2009). Elektronbestråling (E-stråling) er også et alternativ. Forsøk med laks viser at bakterietallene slås ned med log 4 ved 3kGy, men det påvirket farge og TVB-N-verdiene negativt (Yang *et al.*, 2014). E-stråling har vist seg å denaturere astaxanthin (Yagiz *et al.*, 2010), og det har blitt vist en signifikant nedgang i rødfarge på laks ved økende dose fra 1–3 kGy (Yagiz *et al.*, 2009). Regelverket for hvilke matvarer som er lov å bestråle varierer fra land til land. I Norge er det bare tørkede aromatiske urter, krydder og vegetabiliske smaksgivere som er lov å bestråle ([www.mattilsynet.no](http://www.mattilsynet.no)). I EU er det bare Belgia og Tsjekkia som har åpnet for bestråling av sjømat og fisk, og da med doser opp til 3 kGy (EU-direktiv 2009/C 283/02). Forbruket av bestrålt mat i EU viser i midlertid en nedadgående trend (Withworth, 2021).

#### 3.2.4 Kald plasma

Begrepet «plasma» refererer til en fjerde tilstand materie kan innta, og ble først oppdaget i 1928 (Saklani *et al.*, 2019). Det er en delvis ionisert gass som kan bli generert på to måter: 1) ved å varme opp en gass til ekstreme temperaturer (1 000–10 000 °C), som lager termisk plasma. 2) ved å la en gass passere gjennom et høy-energisert elektrisk felt, som forstyrrer og bryter ned likevektstilstanden til gassen ved dannelse av ioner og elektroner. Dette kalles kald plasma (Kulawik & Tiwari, 2019). Dette skjer nært romtemperatur, og gjør den bedre egnet til skånsom teknologi for behandling av mat (Misra *et al.*, 2015). Når gasser, typisk oksygen, nitrogen, argon, atmosfærisk luft eller en blanding av disse blir elektrifisert, dannes det et utall ioner, elektroner og frie radikaler. Det er disse elementene som gir mikrobiell inaktivering (Olatunde & Benjakul, 2018). Mekanismen bak kald plasma er ikke fullt forstått, men man antar at oksidativ degradering av cellekomponenter, slik som for eksempel membraner skader og dreper bakteriene (Kulawik & Tiwari, 2019). Dette er også en av hovedutfordringene med å bruke kald plasma på sjømat, nemlig den oksidative effekten. Forsøk på å øke holdbarheten på sushi av laks ved bruk av kald plasma viste ingen effekt på total aerobt kimtall, men man så en økt score på harskning (Kulawik *et al.*, 2018). På makrell fant man en reduksjon av melkesyrebakterier og *Pseudomonas*, men her også førte kald plasma til økt score på harskning (Albertos *et al.*, 2017). Kald plasma er en relativt kostnadseffektiv prosess som potensielt kan eliminere bakterier og sporer. Teknologien har blitt gjenstand for økt interesse i ulike forskningsgrupper i verden, men praktisk implementering i matindustrien og spesielt sjømatindustrien er begrenset, da denne teknologien ikke er godkjent for bruk i EU (Bourke *et al.*, 2018), men blir spådd til å bli en viktig teknologi i fremtiden (Jermann *et al.*, 2015).



### 3.2.5 Naturlige tilsetningsstoffer og biokonservering

Tilsetning av planteekstrakter, essensielle oljer, kitosan, bioaktive peptider, og lignende, omtales ofte som naturlig konservering. Felles for disse forbindelsene er at de kan ha antimikrobielle- og eller antioksidative egenskaper som virker hemmende på forringelse og resulterer i et mer lagringsstabil produkt (Olatunde & Benjakul, 2018). Naturlige forbindelser kan i mange tilfeller være et fullgodt alternativ til syntetiske tilsetningsstoffer. Ofte brukes de i sin originale form, eller bearbeidet i form som tørket eller som et ekstrakt.

Biokonservering har som mål å øke et produkts holdbarhet og mattrygghet ved å tilsette naturlig tilstedeværende mikroorganismer og eller deres antimikrobielle metabolitter i en kontrollert konsentrasjon (Ghanbari *et al.*, 2013). En av de vanligste organismene er melkesyrebakterier. Disse er en del av den naturlige mikrobiotaen i sjømat, og karakteriseres generelt som trygge organismer (Ghanbari *et al.*, 2013). Melkesyrebakterier produserer en rekke antimikrobielle forbindelser som f.eks. organiske syrer (melkesyre, eddiksyre og propionsyre), baktericider (nisin, hydrogenperoksid, karbondioksid og diacetyl), og fettsyrer (Ghanbari *et al.*, 2013). Flere studier har vist en positiv effekt av disse forbindelsene på både Gram-negative og Gram-positive bakterier (Ghanbari *et al.*, 2013; Stupar *et al.*, 2021). For å benytte melkesyrebakterier som en konserverende teknologi må flere kriterier og forhåndsregler ivaretas (Ghanbari *et al.*, 2013). Disse er; 1) være trygge for forbrukeren 2; demonstrere en antimikrobiell effekt mot et bredt spekter av matbårne patogener og eller forringende mikroorganismer; 3) ikke selv bidra til forringelse eller negative kvalitetsendringer i produktet, og 4) melkesyrebakteriene må overleve og eller vokse under de lagringsbetingelsene som blir brukt. Ofte kan biokonservering være en ekstra sikring mot negative konsekvenser av en brutt kjølekjede. En annen tilnærming til biokonservering er å benytte genetisk modifiserte bakteriofager. For at disse skal kunne implementeres i en kommersiell verdikjede må eventuelle negative effekter kartlegges grundig (Singh, 2018).

Mesteparten av disse løsningene er på forsøksstadiet, og er ikke tilgjengelig eller lovlig. Det mest tilgjengelige kommersielt, er askorbinsyre (Vit-C) og sitronsyre, samt deres salter. Disse er lovlig brukt på ubearbeidet fisk i henhold til «Forskrift om tilsetningsstoffer til næringsmidler» (2011).

## 4 Konklusjon

Som vist i kapitel 3, finnes det godt utprøvde teknologier og løsninger, samt nye teknologier som viser potensiale til å bidra til å øke holdbarheten på laks.

En enkel inndeling av de metodene som er beskrevet, er å se på hvor lang holdbarhet de kan gi. Frysing er uten sammenligning den metoden som gir lengst holdbarhet. Korrekt utført innfrysing, lagring, emballering og tining, gir holdbarhet på over ett år med en kvalitet på det tinte råstoffet som er rapportert til å være godt og sammenlignbart med fersk laks. Det er flere næringskjeder av sjømat som benytter denne teknologien, bl.a. pelagisk sektor, hvitfisk, og laks. I 2020 ble 16,5 % av all laks eksportert fra Norge, eksportert i frossen tilstand (SSB).

Skal man øke holdbarheten på fersk laks, er det mye å hente ved å superkjøle laksen. Dette kan utføres både på HOG og fillet. Lengst holdbarhet er rapportert ved å holde en lagringstemperatur som er kaldere enn det initiale frysepunktet til fisken, men dette krever meget god temperaturkontroll og kun små svingninger i temperatur for å forhindre at iskrystaller vokser, som igjen fører til utfordringer med drypptap og tekstur. Superkjøling er en prosess som enkelt kan kombineres med andre teknologier. Kombinasjonen superkjøling og MA viser seg å ha ytterligere effekt utover det de to teknologiene gir hver for seg. Det eksisterer teknologiske løsninger i dag som kan tas i bruk for å kunne sende både fillet og HOG superkjølt alene eller kombinert med MA pakking, og en dobling av holdbarhetstiden er mulig ifølge litteratur omtalt i denne rapporten. MA pakking vil kunne være både gasspakking og bruk av vakuum. Det er også mulig å kombinere superkjøling med tilsetningsstoffer. Fordelen til superkjøling og MA, er at dette oppfattes som naturlig av kundene. Bruk av tilsetningsstoffer er å gå et steg videre i prosessering som vil kunne føre til at kunder sitt syn på ferskt råstoff blir utfordret. Bruken av tilsetningsstoffer på fersk fisk er lite brukt i Norge, selv om det finnes tilsetningsstoffer som er lovlig og som det ikke er satt noen øvre grense for, da de er naturlige for fisk.

Flere av teknologiene som er omtalt i denne rapporten er ikke anvendelige på det nåværende tidspunkt. Kald plasma er en av disse. Den er i dag ikke lov å bruke på fisk, men har blitt tatt med i rapporten, da dette er en teknologi som det forskes mye på, og som er spådd og bli en viktig teknologi i europeisk matindustri. Bestråling av mat er en annen. Litteraturen viser til dels særs lange holdbarhetsøkninger ved bestråling, og påvirkningen av maten er liten hvis den utføres rett med ikke for store doser. I Norge er bestråling av fisk ikke lovlig, og det er en til dels sterk motstand blant forbrukere mot bestrålt mat, da dette oppleves som skummelt siden den assosieres med radioaktivitet. Studier støtter ikke denne bekymringen. Å øke holdbarhet for å kunne transportere varer på en mer bærekraftig måte er et fokus for fremtiden. Med det fokuset, så vil bestråling av laks være en aktuell teknologi i fremtiden, da det kan gi en økning i holdbarheten som muliggjør transport av fersk laks til store deler av verden med båt.

Av de teknologiene som gjenstår, så peker frysing og superkjøling seg ut som de teknologiene som vil kunne gi den holdbarhetsøkningen som er nødvendig for å kunne senke klimautslippene for transport av laks. Begge teknologiene kan kombineres med andre teknologier, slik som f.eks MA i kombinasjon med superkjøling. Det er også pekt på en mulighet for å høytrykksprosessere frossen fisk for å redusere drypptap etter tining.

## 5 Referanser

- Albertos, I., A.B. Martín-Diana, P.J. Cullen, B.K. Tiwari, S.K. Ojha, P. Bourke, C. Álvarez & D. Rico (2017). Effects of dielectric barrier discharge (DBD) generated plasma on microbial reduction and quality parameters of fresh mackerel (*Scomber scombrus*) fillets. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **44**, pp. 117–122.
- Altemimi, A., S.N. Aziz, A.R.S. Al-Hilphy, N. Lakhssassi, D.G. Watson & S.A. Ibrahim (2019). Critical review of radio-frequency (RF) heating applications in food processing. *Food Quality and Safety*, **3**:2, pp. 81–91. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyz002>
- Arnaud, C., M. de Lamballerie & L. Pottier (2018). Effect of high pressure processing on the preservation of frozen and re-thawed sliced cod (*Gadus morhua*) and salmon (*Salmo salar*) fillets. *High Pressure Research*, **38**:1, pp. 62–79. <https://doi.org/10.1080/08957959.2017.1399372>
- Arvanitoyannis, I.S., A. Stratakos & E. Mente (2008). Impact of Irradiation on Fish and Seafood Shelf Life: A Comprehensive Review of Applications and Irradiation Detection. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **49**:1, pp. 68–112. <https://doi.org/10.1080/10408390701764278>
- Bahuaud, D., T. Morkore, O. Langsrud, K. Sinnes, E. Veiseth, R. Ofstad & M.S. Thomassen (2008). Effects of -1.5 degrees C Super-chilling on quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) pre-rigor Fillets: Cathepsin activity, muscle histology, texture and liquid leakage. *Food Chemistry*, **111**:2, pp. 329–339. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.075>
- Bintsis, T., E. Litopoulou-Tzanetaki & R. K. Robinson (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - A critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **80**:6, pp. 637–645.
- Bourke, P., D. Ziuzina, D. Boehm, P.J. Cullen & K. Keener (2018). The Potential of Cold Plasma for Safe and Sustainable Food Production. *Trends in Biotechnology*, **36**:6, pp. 615–626. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.11.001>.
- Camacho, N., E. Marquez Rios, F. Castillo-Yáñez, S. Ruiz-Cruz, A. Flores, W. Arreola, J. López, S. Hurtado & V. Higuera (2020). Changes on the Development of Rigor Mortis in Cultured Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fed with a Mixture of Plant Proteins. *Journal of Chemistry*, **2020**, pp. 1–9. <https://doi.org/10.1155/2020/5934193>
- Cartagena, L., E. Puértolas & I.M. de Marañón (2020). Application of High Pressure Processing After Freezing (Before Frozen Storage) or Before Thawing in Frozen Albacore Tuna (*Thunnus alalunga*). *Food and Bioprocess Technology*, **13**:10, pp. 1791–1800. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02523-9>
- Chan, S.S., B. Roth, F. Jessen, T. Løvda, A.N. Jakobsen & J. Lerfall (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>
- Chan, S.S., B. Roth, M. Skare, M. Hernar, F. Jessen, T. Løvda, A.N. Jakobsen & J. Lerfall (2020). Effect of chilling technologies on water holding properties and other quality parameters throughout the whole value chain: From whole fish to cold-smoked fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, **526**, 735381. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735381>
- Chan, S.S., M. Skare, B.T. Rotabakk, M. Sivertsvik, J. Lerfall, T. Løvda & B. Roth (2021). Evaluation of physical and instrumentally determined sensory attributes of Atlantic salmon portions packaged in modified atmosphere and vacuum skin. *LWT*, **146**, 111404. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111404>

- Cheigh, C.-I., H.-J. Hwang & M.-S. Chung (2013). Intense pulsed light (IPL) and UV-C treatments for inactivating *Listeria monocytogenes* on solid medium and seafoods. *Food Research International*, **54**:1, pp. 745–752.
- Chevalier, D., A. Sequeira-Munoz, A. Le Bail, B.K. Simpson & M. Ghoul (2000). Effect of freezing conditions and storage on ice crystal and drip volume in turbot (*Scophthalmus maximus*): Evaluation of pressure shift freezing vs. air-blast freezing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **1**:3, pp. 193–201. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564\(00\)00024-2](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S1466-8564(00)00024-2)
- Christensen, L.B., M.B. Hovda & T.M. Rode (2017). Quality changes in high pressure processed cod, salmon and mackerel during storage. *Food Control*, **72**, pp. 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.037>
- Daskalova, A. (2019). Farmed fish welfare: stress, post-mortem muscle metabolism, and stress-related meat quality changes. *International Aquatic Research*, **11**:2, pp. 113–124. <https://doi.org/10.1007/s40071-019-0230-0>
- Dawson, P., Al-Jeddawi, W., & Remington, N. (2018). Effect of Freezing on the Shelf Life of Salmon. *International Journal of Food Science*, **2018**, 1686121. <https://doi.org/10.1155/2018/1686121>
- Devlieghere, F. & J. Debevere (2000). Influence of dissolved carbon dioxide on the growth of spoilage bacteria. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie - Food Science and Technology*, **33**:8, pp. 531–537. ISI:000166519300002 R:\publikasjoner i pdf\Devlieghere and Debevere 2000.pdf (IN FILE)
- Devlieghere, F., J. Debevere & J. Van Impe (1998). Concentration of carbon dioxide in the water-phase as a parameter to model the effect of a modified atmosphere on microorganisms. *International Journal of Food Microbiology*, **43**:1–2, pp. 105–113. ISI:000076033200013 file://R:\publikasjoner i pdf\develieghere et al 1998-2.pdf (IN FILE)
- DeWitt, C.A.M. & A.C.M. Oliveira (2016). Modified Atmosphere Systems and Shelf Life Extension of Fish and Fishery Products. *Foods*, **5**:3, Article Unsp 48. <https://doi.org/10.3390/foods5030048>
- Durantón, F., H. Simonin, C. Guyon, S. Jung & M. de Lamballerie (2014). High-Pressure Processing of Meats and Seafood. In D.-W. Sun (Ed.) *Emerging Technologies for Food Processing (second edition ed.)*. Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411479-1.00003-6>.
- Duun, A.S. & T. Rustad (2007). Quality changes during superchilled storage of cod (*Gadus morhua*) fillets. *Food Chemistry*, **105**:3, pp. 1067–1075. WOS:000249061700024 (NOT IN FILE)
- Duun, A.S. & T. Rustad (2008). Quality of superchilled vacuum packed Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets stored at -1.4 and -3.6 degrees C. *Food Chemistry*, **106**:1, pp. 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.051>
- Farkas, D.F. & D.G. Hoover (2000). High pressure processing. *Journal of Food Science*, **65**:Supplement 8, pp. 47–64.
- Fernandez, K., E. Aspe & M. Roeckel (2009). Shelf-life extension on fillets of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) using natural additives, superchilling and modified atmosphere packaging [Article]. *Food Control*, **20**:11, pp. 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2008.12.010>
- Fogarty, C., P. Whyte, N. Brunton, J. Lyng, C. Smyth, J. Fagan & D. Bolton (2019). Spoilage indicator bacteria in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) stored on ice for 10 days. *Food Microbiology*, **77**, pp. 38–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.08.001>
- Forskrift om tilsetningsstoffer i næringsmidler (2011). [FOR-2011-06-06-668], hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2011-06-06-668>.

- Galié, S., C. García-Gutiérrez, E.M. Miguélez, C.J. Villar & F. Lombó (2018). Biofilms in the Food Industry: Health Aspects and Control Methods. *Frontiers in microbiology*, **9**, pp. 898–898. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00898>
- Gallart-Jornet, L., T. Rustad, J.M. Barat, P. Fito & I. Escriche (2007). Effect of superchilled storage on the freshness and salting behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets. *Food Chemistry*, **103**:4, pp. 1268–1281. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.040>
- Gambuteanu, C. & P. Alexe (2015). Comparison of thawing assisted by low-intensity ultrasound on technological properties of pork Longissimus dorsi muscle. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, **52**:4, pp. 2130–2138. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1204-7>.
- Ghanbari, M., M. Jami, K.J. Domig & W. Kneifel (2013). Seafood biopreservation by lactic acid bacteria – A review. *LWT - Food Science and Technology*, **54**:2, pp. 315–324. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.039>
- Gómez-López, V.M., P. Ragaert, J. Debevere & F. Devlieghere (2007). Pulsed light for food decontamination: A review. *Trends in Food Science and Technology*, **18**:9, pp. 464–473.
- Gram, L. & H.H. Huss (1996). Microbiological spoilage of fish and fish products. *International Journal of Food Microbiology*, **33**:1, pp. 121–137. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)01134-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)01134-8).
- Gram, L. & P. Dalgaard, P. (2002). Fish spoilage bacteria--problems and solutions. *Curr Opin Biotechnol*, **13**:3, pp. 262–266.
- Hansen, A.A., T. Morkore, K. Rudi, O. Langsrud & T. Eie (2009). The combined effect of superchilling and modified atmosphere packaging using CO<sub>2</sub> emitter on quality during chilled storage of pre-rigor salmon fillets (*Salmo salar*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **89**:10, pp. 1625–1633. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3599>
- Holck, A., K.H. Liland, M. Carlehog & E. Heir (2018). Reductions of *Listeria monocytogenes* on cold-smoked and raw salmon fillets by UV-C and pulsed UV light. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **50**, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.007>
- Hong, H., J.M. Regenstein & Y. Luo (2017). The importance of ATP-related compounds for the freshness and flavor of post-mortem fish and shellfish muscle: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **57**:9, pp. 1787–1798. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001489>.
- Hultin, H.O. (1984). Postmortem biochemistry of meat and fish. *Journal of Chemical Education*, **61**:4, p. 289. <https://doi.org/10.1021/ed061p289>
- Huss, H.H. (1995). Quality and quality changes in fresh fish. FAO fisheries technical paper (348). <http://www.fao.org/docrep/v7180e/V7180E00.HTM#Contents>
- Indergard, E., I. Tolstorebrov, H. Larsen & T.M. Eikevik (2014). The influence of long-term storage, temperature and type of packaging materials on the quality characteristics of frozen farmed Atlantic Salmon (*Salmo Salar*). *International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid*, **41**, pp. 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2013.05.011>.
- Iversen, A., F. Asche, Ø. Hermansen & R. Nystøyl (2020). Production cost and competitiveness in major salmon farming countries 2003–2018. *Aquaculture*, **522**, 735089. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735089>
- James, C., G. Purnell & S.J. James (2015). A Review of Novel and Innovative Food Freezing Technologies. *Food and Bioprocess Technology*, **8**:8, pp. 1616–1634. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1542-8>
- Janjarasskul, T. & P. Suppakul (2018). Active and intelligent packaging: The indication of quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **58**:5, pp. 808–831. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1225278>

- Jermann, C., T. Koutchma, E. Margas, C. Leadley & V. Ros-Polski (2015). Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **31**, pp. 14–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.06.007>.
- Kaale, L.D. (2014). Modelling and ice crystallization/recrystallization of foods in superchilling technology, Superchilling of atlantic salmon (*salmo salar*). (Publication Number 2014:40 NTNU).
- Kaale, L.D., T.M. Eikevik, T. Rustad & K. Kolsaker (2011). Superchilling of food: A review [Review]. *Journal of Food Engineering*, **107**:2, pp. 141–146. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.004>
- Khan, M.Y. & A. Mittal (2017). Freezing of food products: a review. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, **6**:9, pp. 353–358.
- Komolka, K., R. Bochert, G.P. Franz, Y. Kaya, R. Pfuhl & B. Grunow (2020). Determination and Comparison of Physical Meat Quality Parameters of PERCIDAE and Salmonidae in Aquaculture. *Foods*, **9**:4. <https://doi.org/10.3390/foods9040388>
- Kulawik, P. & B.K. Tiwari (2019). Recent advancements in the application of non-thermal plasma technology for the seafood industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **59**:19, pp. 3199–3210.
- Kulawik, P., C. Alvarez, P.J. Cullen, R. Aznar-Roca, A.M. Mullen & B.K. Tiwari (2018). The effect of non-thermal plasma on the lipid oxidation and microbiological quality of sushi. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **45**, pp. 412–417.
- Langsrud, S., B. Moen, T. Møretrø, M. Løype & E. Heir (2015). Microbial dynamics in mixed culture biofilms of bacteria surviving sanitation of conveyor belts in salmon-processing plants. *J Appl Microbiol*, **120**:2, pp. 366–378. <https://doi.org/10.1111/jam.13013>
- Lee, E.-S., S.Y. Park & S.-D. Ha (2015). Effect of UV-C light on the microbial and sensory quality of seasoned dried seafood. *Food Science and Technology International*, **22**:3, pp. 213–220.
- Lerfall, J., B. Roth, E.F. Skare, A. Henriksen, T. Betten, M.A. Dziatkowiak-Stefaniak & B.T. Rotabakk (2015). Pre-mortem stress and the subsequent effect on flesh quality of pre-rigor filleted Atlantic salmon (*Salmo solar* L.) during ice storage. *Food Chemistry*, **175**, pp. 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.111>
- Li, B. & D.W. Sun (2002). Novel methods for rapid freezing and thawing of foods - a review. *Journal of Food Engineering*, **54**:3, pp. 175–182. Article Pii s0260-8774(01)00209-6. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(01\)00209-6](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(01)00209-6)
- Mackie, I.M. (1993). THE EFFECTS OF FREEZING ON FLESH PROTEINS. *Food Reviews International*, **9**:4, pp. 575–610. <Go to ISI>://WOS:A1993MJ63800007
- Magnussen, O.M., A. Haugland, A.K. Torstveit Hemmingsen, S. Johansen & T.S. Nordtvedt (2008). Advances in superchilling of food – Process characteristics and product quality. *Trends in Food Science & Technology*, **19**:8, pp. 418–424. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.04.005>
- Martínez-Monteaugudo, S.I. & V.M. Balasubramaniam (2016). Fundamentals and applications of high-pressure processing technology. In V.M. Balasubramaniam, G.V. Barbosa-Cánovas & H. Lelieveld (Eds.), *High Pressure Processing of Food: Principles, Technology and Applications*, pp. 3–17. Springer.
- Mercier, S., A. Villeneuve, M. Mondor & I. Uysal (2017). Time–Temperature Management Along the Food Cold Chain: A Review of Recent Developments. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **16**:4, pp. 647–667. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12269>
- Midsund, B. (2021). Fiskeoppdrett. Retrieved 01.03 from <https://snl.no/fiskeoppdrett>

- Miks-Krajnik, M., L.X.J. Feng, W.S. Bang & H.G. Yuk (2017). Inactivation of *Listeria monocytogenes* and natural microbiota on raw salmon fillets using acidic electrolyzed water, ultraviolet light or/and ultrasounds. *Food Control*, **74**, pp. 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.11.033>.
- Misra, N., A. Segat & P.J. Cullen (2015). Atmospheric-pressure non-thermal plasma decontamination of food. In R.V. Ravishankar (Ed.), *Advances in Food Biotechnology*. John Wiley & Sons Ltd.
- Moini, S., R. Tahergorabi, S.V. Hosseini, M. Rabbani, Z. Tahergorabi, X. Feas & F. Aflakii (2009). Effect of Gamma Radiation on the Quality and Shelf Life of Refrigerated Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Fillets. *Journal of Food Protection*, **72**:7, pp. 1419–1426. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-72.7.1419>
- Møretrø, T., B. Moen, E. Heir, A.Å. Hansen & S. Langsrud (2016). Contamination of salmon fillets and processing plants with spoilage bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, **237**, pp. 98–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.08.016>
- Nagarajarao, R.C. (2016). Recent Advances in Processing and Packaging of Fishery Products: A Review. *Aquatic Procedia*, **7**, pp. 201–213. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2016.07.028>
- Newman, M. (2001). Cryogenic impingement freezing utilizing atomized liquid nitrogen for the rapid freezing of food products Rapid Cooling of Food, Meeting of IIR Commission C2, Bristol (UK),
- Olafsen, T., U. Winther, Y. Olsen & J. Skjermo (2012). Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. <https://www.sintef.no/siste-nytt/2012/verdiskaping-basert-pa-produktive-hav-i-2050/>
- Olatunde, O.O., & S. Benjakul (2018). Natural Preservatives for Extending the Shelf-Life of Seafood: A Revisit. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **17**:6, pp. 1595–1612. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12390>
- Ottestad, S., G. Enersen & J.P. Wold (2011). Effect of Freezing Temperature on the Color of Frozen Salmon. *Journal of Food Science*, **76**:7, pp. S423-S427. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02313.x>
- Patterson, M.F. (2014). Food technologies: High pressure processing. In Y. Motarjemi (Ed.), *Encyclopedia of food safety* (Vol. 3: Foods, materials, technologies and risks, pp. 196–201). Academic press.
- Perez-Won, M., R. Lemus-Mondaca, C. Herrera-Lavados, J.E. Reyes, T. Roco, A. Palma-Acevedo, G. Tabilo-Munizaga & S.P. Aubourg (2020). Combined Treatments of High Hydrostatic Pressure and CO(2) in Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*): Effects on Enzyme Inactivation, Physicochemical Properties, and Microbial Shelf Life. *Foods*, **9**:3. <https://doi.org/10.3390/foods9030273>
- Rahman, M. S., & Driscoll, R. H. (1994). FREEZING POINTS OF SELECTED SEAFOODS (INVERTEBRATES). *International Journal of Food Science and Technology*, **29**:1, pp. 51–61. <Go to ISI>://WOS:A1994NF71600007
- Ratkowsky, D.A., J. Olley, T.A. McMeekin & A. Ball (1982). Relationship Between Temperature and Growth-Rate of Bacterial Cultures. *Journal of Bacteriology*, **149**:1, pp. 1–5. ISI:A1982MX09200001 (NOT IN FILE)
- Recher, G., D. Rouède, P. Richard, A. Simon, J.J. Bellanger & F. Tiaho (2009). Three distinct sarcomeric patterns of skeletal muscle revealed by SHG and TPEF microscopy. *Opt Express*, **17**:22, pp. 19763–19777. <https://doi.org/10.1364/oe.17.019763>
- Rodrigues, B.L., T.S. Alvares, G.S.L. Sampaio, C.C. Cabral, J.V.A. Araujo, R.M. Franco, S.B. Mano & C.A. Conte Junior (2016). Influence of vacuum and modified atmosphere packaging in combination with UV-C radiation on the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets. *Food Control*, **60**, pp. 596–605.

- 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. E881–E886. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12437>
- Rotabakk, B.T., J. Wyller, O.W. Lekang & M. Sivertsvik (2008). A mathematical method for determining equilibrium gas composition in modified atmosphere packaging and soluble gas stabilization systems for non-respiring foods. *Journal of Food Engineering*, **85**:4, pp. 479–490. WOS:000251843400001 (NOT IN FILE)
- Rotabakk, B.T., K. Bergman, F. Ziegler, T. Skåra & A. Iversen (2020). Climate impact, economy and technology of farmed Atlantic salmon. Report 44/2020, Nofima, Tromsø.
- Rotabakk, B.T., S. Birkeland, W.K. Jeksrud & M. Sivertsvik (2006). Effect of modified atmosphere packaging and soluble gas stabilization on the shelf life of skinless chicken breast fillets. *Journal of Food Science*, **71**:2, S124-S131. ISI:000236445200039 (NOT IN FILE)
- Saito, T., K. Arai & M. Matsuyoshi (1959). A new method for estimating the freshness of fish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **24**, pp. 749–750.
- Saklani, P., S. Siddh, Kishor Das, S. Kumari Das, S.K. Ghosh & S.M. Singh (2019). Recent development of non-thermal cold plasma technology for safe and sustainable seafood processing: A review. *International journal of current microbiology and applied sciences*, **8**:11, pp. 2459–2476.
- Sarkar, A. & R.P. Singh (2004). Air impingement technology for food processing: visualization studies. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie-Food Science and Technology*, **37**:8, pp. 873–879. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.04.005>
- Sarkar, A., N. Nitin, M Karwe & R.P. Singh (2004). Fluid flow and heat transfer in air jet impingement in food processing. *Journal of Food Science*, **69**:4, pp. R113–R122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb06315.x>
- Savvaidis, I.N., P. Skandamis, K.A. Riganakos, N. Panagiotakis & M.G. Kontominas (2002). Control of natural microbial flora and *Listeria monocytogenes* in vacuum-packaged trout at 4 and 10 degrees C using irradiation. *Journal of Food Protection*, **65**:3, pp. 515–522. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-65.3.515>
- Singh, V.P. (2018). Recent approaches in food bio-preservation - a review. *Open Vet J*, **8**:1, pp. 104–111. <https://doi.org/10.4314/ovj.v8i1.16>
- Sivertsvik, M. (2000). Use of soluble gas stabilisation to extend shelf-life of salmon. In S. A. Georgakis (Ed.), Proceedings of 29th WEFTA-meeting, October 10-14, 1999, Leptocarya, Pieria, Greece (pp. 79-91). Greek Society of Food Hygienists and Technologists. (Reprinted from IN FILE)
- 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. 1467–1472. ISI:000183070600056 file://R:\publikasjoner i pdf\sivertsvik et al 2003.pdf (IN FILE)
- Sivertsvik, M., W.K. Jeksrud & J.T. Rosnes (2002). A review of modified atmosphere packaging of fish and fishery products - significance of microbial growth, activities and safety. *International Journal of Food Science and Technology*, **37**:2, pp. 107–127. ISI:000174218400001 file://R:\publikasjoner i pdf\sivertsvik2002.pdf (IN FILE)
- Skare, M., S.S. Chan, S.O. Handeland, T. Løvdal, J. Lerfall & B. Roth (2021). A comparative study on quality, shelf life and sensory attributes of Atlantic salmon slaughtered on board slaughter vessels against traditional land-based facilities. *Aquaculture*, **540**, 736681. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736681>
- Smelt, J.P.P.M. (1998). Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Trends in Food Science and Technology*, **9**:4, pp. 152–158.



- Stroud, G. (1969). Rigor in Fish the Effect on Quality. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Torry Research Station.
- Stupar, J., I.G. Holøymoen, S. Hoel, J. Lerfall, T. Rustad & A.N. Jakobsen (2021). Diversity and Antimicrobial Activity towards *Listeria* spp. and *Escherichia coli* among Lactic Acid Bacteria Isolated from Ready-to-Eat Seafood. *Foods*, **10**:2, p. 271. <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/2/271>.
- Tauscher, B. (1995). Pasteurization of food by hydrostatic high pressure: Chemical aspects. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung*, **200**:1, pp. 3–13.
- Tolstorebrov, I., T.M. Eikevik & M. Bantle (2016). Effect of low and ultra-low temperature applications during freezing and frozen storage on quality parameters for fish. *International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid*, **63**, pp. 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.11.003>
- Truong, B.Q., R. Buckow, C.E. Stathopoulos & M.H. Nguyen (2015). Advances in high-pressure processing of fish muscles. *Food Engineering Reviews*, **7**:2), 109-129.
- Van den Oever, R. (1976). A review of the literature as to the present possibilities and limitations in estimating the time of death. *Med Sci Law*, **16**:4, pp. 269–276. <https://doi.org/10.1177/002580247601600411>
- Wiernasz, N., J. Cornet, M. Cardinal, M.-F. Pilet, D. Passerini & F. Leroi (2017). Lactic Acid Bacteria Selection for Biopreservation as a Part of Hurdle Technology Approach Applied on Seafood [Original Research]. *Frontiers in Marine Science*, **4**:119. <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00119>
- Winther, U., E.S. Hognes, S. Jafarzadeh & F. Ziegler (2020). Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017. [https://www.sintef.no/contentassets/25338e561f1a4270a59ce25bcbc926a2/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017\\_final\\_040620.pdf/](https://www.sintef.no/contentassets/25338e561f1a4270a59ce25bcbc926a2/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017_final_040620.pdf/)
- Withworth, J. (2021, 24.03.2021). EU food irradiation report shows continued decline.
- Wu, C.-h., C.-h. Yuan, X.-q Ye, Y.-q Hu, S.-g Chen & D.-h Liu (2014). A Critical Review on Superchilling Preservation Technology in Aquatic Product. *Journal of Integrative Agriculture*, **13**:12, pp. 2788–2806. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60841-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60841-8)
- Yagiz, Y., H.G. Kristinsson, M.O. Balaban, B.A. Welt, S. Raghavan & M.R. Marshall (2010). Correlation between astaxanthin amount and a\* value in fresh Atlantic salmon (*Salmo salar*) muscle during different irradiation doses. *Food Chemistry*, **120**:1, pp. 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.086>
- Yagiz, Y., M.O. Balaban, H.G. Kristinsson, B.A. Welt & M.R. Marshall (2009). Comparison of Minolta colorimeter and machine vision system in measuring colour of irradiated Atlantic salmon. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **89**:4, pp. 728–730. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jsfa.3467>
- Yang, Z., H.Y. Wang, W. Wang, W.Y. Qi, L. Yue & Q.F. Ye (2014). Effect of 10 MeV E-beam irradiation combined with vacuum-packaging on the shelf life of Atlantic salmon fillets during storage at 4 degrees C. *Food Chemistry*, **145**, pp. 535–541. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.095>
- Zhang, L., X. Li, W. Lu, H. Shen & Y. Luo (2011). Quality predictive models of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) at different temperatures during storage. *Food Control*, **22**:8), pp. 1197–1202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.01.017>

Council directive 2009/C 283/02 «List of Member States' authorisations of food and food ingredients which may be treated with ionising radiation (According to Article 4(6) of Directive 1999/2/EC of the European Parliament and of the Council on the approximation of the laws of the Member States concerning foods and food ingredients treated with ionising radiation) (This text cancels and replaces the text published in Official Journal C 112 of 12 May 2006, p. 6)

