



SINTEF

Finansiert av:



Delrapport

Veikart for energieffektivisering i hvitfisk- og rekesektoren

Potensialet for energieffektivisering i sjømatnæringen (PEIS)

Forfatter(e):

Eirik Starheim Svendsen, Tom Ståle Nordtvedt, Marco Bless, Ole Marius Moen, Frida Sæther, Eleni Patanou, Morten Lunde, Guillermo Berger

Rapportnummer:

2025:00041 - Åpen

Oppdragsgiver

FHF

PEIS

Potensialet for energieffektivisering i sjømatnæringen





SINTEF Ocean AS
Postadresse:
Postboks 4762 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 40005100
info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 937357370 MVA

Delrapport

Veikart for energieffektivisering i hvitfisk- og rekesektoren

Potensialet for energieffektivisering i sjømatnæringen (PEIS)

EMNEORD

Sjømat, hvitfisk, reke, energieffektivisering, konvensjonell

VERSJON

V3.0

DATO

2024-12-12

FORFATTER(E)

Eirik Starheim Svendsen, Tom Ståle Nordtvedt, Marco Bless, Ole Marius Moen, Frida Sæther, Eleni Patanou, Morten Lunde, Guillermo Berger

OPPDRAGSGIVER(E)

FHF

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

901905

PROSJEKTNUMMER

302007809

ANTALL SIDER

54

SAMMENDRAG

Denne delrapporten er en leveranse i prosjektet PEIS, og oppsummerer funn for hvitfisk- og rekesektoren og segmenter innunder disse.

For konvensjonell sektor anslås det et årlig, totalt energiforbruk på 54 GWh, mens tilsvarende tall for foredling av hvitfisk forøvrig er estimert til 26 GWh. Tørking til klippfisk og termiske prosesser som kjøling og innfrysing anses som de største forbrukerne i denne sektoren. For rekesektoren anslås det et årlig energiforbruk på 31-35 GWh med en fossil andel på minst 24-33%, der produksjon av industrireker er den aller største forbrukeren (~90%). Energikrevende prosesser inkluderer koking av reker, innfrysning og fryselager. Tilgjengelighet på energidata i disse sektorene gir stor usikkerhet i anslagene. Vi anser det generelle potensialet for effektivisering i sektorene som høyt basert på gjennomgang av befaringsrapporter, og vi har gjort beregninger på prosess-spesifikk energibesparelse for tiltak i kuldeanlegg, fryseri, HTHP, varmegjenvinning og mer.

UTARBEIDET AV

Eirik Starheim Svendsen

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Tom Ståle Nordtvedt

SIGNATUR

Tom S. Nordtvedt

Tom S. Nordtvedt (Jan 17, 2025 12:09 GMT+1)

GODKJENT AV

Kirsti Greiff

SIGNATUR

Kirsti Greiff

Kirsti Greiff (Jan 10, 2025 09:32 GMT+1)

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

RAPPORT NR.

2025:00041

ISBN

978-82-14-07425-3

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	6
1.1	Hvitfiskindustrien	6
1.1.1	Konvensjonell	7
1.1.2	Øvrig foredling	9
1.2	Rekeindustrien	11
1.2.1	Industrireke	11
1.2.2	Øvrig rekeproduksjon	13
1.3	Tidligere initiativer	13
2	Dagens status: energibruk og energimiks	15
2.1	Konvensjonell	16
2.2	Øvrig foredling	17
2.3	Rekeindustrien	19
3	Tiltak for energieffektivisering	21
3.1	Optimalisering av kuldeanlegg	21
3.2	Tiltak i fryseri	24
3.3	Fryse- og kjølelager	26
3.4	Passiv og aktiv nedkjøling av fersk fangst	26
3.5	Tining av råstoff	27
3.6	Driftsoptimalisering av tørker	29
3.7	Høy-temperatur varmepumpe for koking av industrireker	32
3.8	Varmegjenvinning – kilder og bruksområder	33
3.8.1	Oppvarming av varmtvann med CO ₂ varmepumper	34
3.8.2	Oppvarming av varmtvann direkte fra kuldeanlegget	35
3.8.3	Annen oppvarming med varmepumper	37
3.9	Generelle tiltak og teknologier	38
3.9.1	Vit hvor energistrømmene dine flyter	39
3.9.2	Termiske tiltak om energieffektivisering	39
3.9.3	Mekaniske og andre tiltak om energieffektivisering	44
4	Befaringsrapporter	45
4.1	Bedrift i rekeindustrien	45
4.1.1	Innledning	45
4.1.2	Delprosesser	45
4.1.3	Maskiner, utstyr og teknologi	46
4.1.4	SCADA & EOS	46
4.1.5	Observasjoner	46

4.2	Hvitfiskbedrift	46
4.2.1	Innledning	46
4.2.2	Delprosesser	46
4.2.3	Maskiner, utstyr og teknologi.....	47
4.2.4	SCADA & EOS	47
4.2.5	Observasjoner.....	47
4.2.6	Konklusjon	47
5	Oppsummering	48

Tabell over figurer

Figur 1: Sesongvariasjon i de viktigste hvitfiskartene. Basert på fangstdata for 2022 ¹	6
Figur 2: Oversikt over antall produksjonsanlegg i konvensjonell sektor basert på godkjenninger fra Mattilsynets register.....	7
Figur 3: Produksjonsflyt for salt- og klippfiskproduksjon	8
Figur 4: Produksjonsflyt for tørrfisk.....	9
Figur 5: Utvikling i antall bedrifter i hvitfiskindustrien, 2000-2021. Produsert på data fra Nofimas lønnsomhetsanalyser	9
Figur 6: Produksjonsflyt for foredling/filetering av hvitfisk, frossen og fersk.	10
Figur 7: Rekefisket i perioden 2020-2023, landet volum i tonn rundvekt, gruppert etter nord/sør 62° og konserveringsmåte. Data fra fiskeridir.no.....	11
Figur 8: Utvikling i antall rekefabrikker (oransje kurve) og pillemaskiner (blå stolper) i Nord-Norge, 1984-2006. Reprodusert fra Alm og Finstad (2018) ⁸	12
Figur 9: Produksjonsflyt for industrireke	12
Figur 10: Forventet energireduksjon summert på de ulike segmentene	14
Figur 11: Massebalanse for torskefisk og flatfisk/annen bunnfisk, basert fangst-, import-, oppdrett- og eksportdata for 2022, gruppert etter landingstilstand (fersk, frossen) og anvendelse. Tall i hele tusen tonn.	15
Figur 12: Massebalanse for dypvannsreke, basert på fangst-, import- og eksportdata for 2022, gruppert etter landingstilstand (fersk, frossen, kokt), og anvendelse. Tall i tonn.	16
Figur 13: Energibruk ved et foredlingsanlegg for hvitfisk, fordelt på typiske energiposter, basert på målinger fra 3 bedrifter	19
Figur 14: Antall energieffektiviseringstiltak som er relevante for anlegg i disse segmentene, gruppert etter kategori. Figuren er basert på befaringsrapporter (n=12)	21
Figur 15: Kapasitetsregulering på skruekompressorer, frekvensomformer vs sleideregulering og ideell kurve	23
Figur 16: Effekt på spesifikk energibruk ved redusert fyllingsgrad/kapasitetsutnyttelse i frysetunnel og spiralfryser. Prosentene ved markørene viser relativ økning i spesifikk energibruk.	25
Figur 17: Klassifisering av tiningsmetoder, basert på Archer m.fl. (2008), Svendsen m.fl. (2022) og Ragnarsson m.fl. (2017).	28
Figur 18: Spesifikk energibruk i klippfiskproduksjon, variasjon mellom torske, sei og størrelser. Reprodusert fra FHF 900662 "Rasjonell klippfisktørrking"	29
Figur 19: Ulike tørkemetoder, torske 1.9-2.5 kg, tid og vanninnhold. Reprodusert fra Indergård m.fl (2014) 30	
Figur 20: Høytemperatur-varmepumpe system i kaskade for å utnytte overskuddsvarme fra kuldeanlegg til damp for koking av reker, basert på pentan og ammoniakk	33
Figur 21: CO ₂ -transkritisk varmepumpe, Venstre: COP og energibesparelse, høyre: Prinsippskisse	35
Figur 22: Prinsippskisse med mulig energikilder fra NH ₃ kuldeanlegg	36
Figur 23: Energibesparelse ved utnyttelse varme på 60, 70 og 80 °C fra overhetningsvarmeveksler og eller oljekjøler for ulike oppvarmingstemperaturbehov	37
Figur 24: Eksempel på COP og energibesparelse oppnådd for ulike oppvarmingsformål ved bruk av NH ₃ varmepumpe sammenlignet med direkte elektrisk oppvarming.....	38

Tabell over tabeller

Tabell 1: Eksportvolum for utvalgte torskearter, basert på eksportdata for 2022, produktvekt tonn	7
Tabell 2: Identifiserte aktører i øvrig rekeproduksjon, kjøpere over 100 tonn (2022)	13
Tabell 3: Nøkkeltall på Enova-støttede prosjekter i hvitfisk- og rekesektoren	13
Tabell 4: Energibruk i konvensjonell sektor, gruppert etter produkt, basert på ekstrapolering av råstofftilførsel og spesifikk energibruk	16
Tabell 5: Energibruk i hvitfisksektor, gruppert etter produksjonsform, basert på ekstrapolering av råstofftilførsel og spesifikk energibruk	17
Tabell 6: Energibruk i rekesektoren, gruppert etter produksjonsform, basert på ekstrapolering av råstofftilførsel og spesifikk energibruk	19
Tabell 7: Forhold mellom sugetrykk og kondensasjonstrykk, målt i relativ endring i COP i forhold til et trykkforhold -40/+20 °C. Beregnet med CoolPack, R717, 70% isentropisk virkningsgrad, 1-trinn	22
Tabell 8: Spesifikk energibruk for ulike innfrysingsmetoder, basert på data fra litteratur	24
Tabell 9: Potensial for energieffektivisering i tørking av klippfisk. Før-tall er hentet fra industrielle målinger utført i «Rasjonell klippfisktørking» ³²	32
Tabell 10: Eksempel på type varmebehov, varmekilder og temperaturer	34
Tabell 11: Varmemengder fra kuldeanlegg med kuldeytelse på 1000 kW ved ulike kondensasjonstemperaturer	36
Tabell 12: Varmegjenvinningssystemer: typiske varmekilder og sluker	43
Tabell 13: Oppsummerte resultater fra dagens status på energibruk i hvitfisk- og rekesektoren	50
Tabell 14: Oppsummering av beskrevne tiltak og markering av hvilke segmenter tiltaket er aktuelt for (grønn bakgrunn, i tillegg til utregning av potensial for utvalgte)	51
Tabell 15: Resultater for beregninger på innfrysing i tunnel	52
Tabell 16: Resultater for beregninger på innfrysing i spiral	53

1 Introduksjon

Denne delrapporten gir en oversikt på hvitfisk- og rekesektoren. Rapporten er bygget opp med en beskrivelse av sektoren i kapittel 1, vår evaluering av dagens energibruk i kapittel 2, mens det i kapittel 3 diskuteres tiltak for å forbedre energieffektiviteten. Kapittel 4 presenterer en befaringsrapport, mens kapittel 5 oppsummerer rapporten inkl. våre anbefalinger.

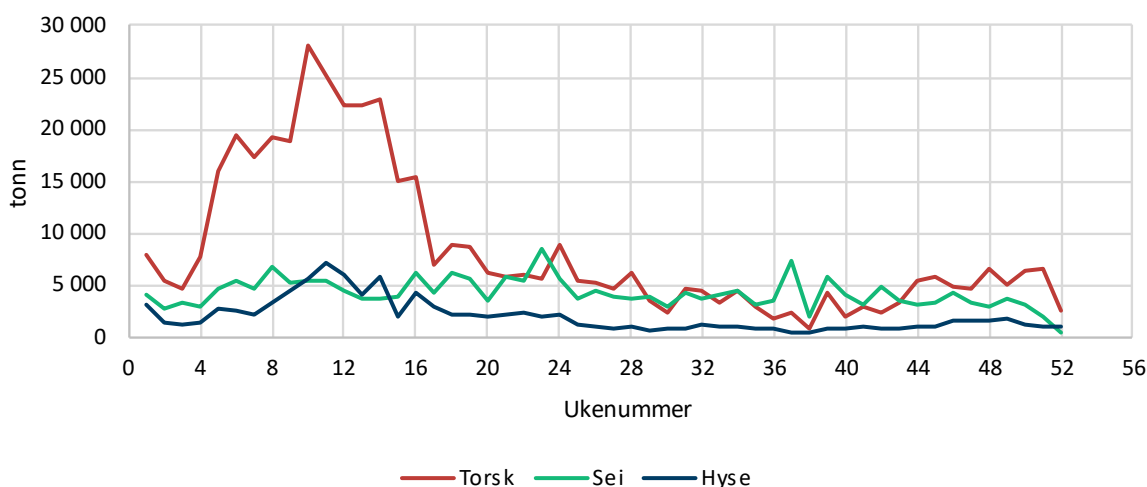
1.1 Hvitfiskindustrien

Norge har en unik tilgang på store havområder, noe som gir et solid grunnlag for hvitfisknæringen. Torskeartede fisker utgjør en betydelig del av de årlige fangstene og står som den nest største kategorien etter pelagisk fisk. Mellom 729 000 og 820 000 tonn torskefisk ble fangstet og landet hvert år i perioden 2020–2023, tilsvarende omtrent hver fjerde fisk målt i volum. Blant de viktigste artene finner vi torsk, sei og hyse, men andre arter som lange og brosme fangstes og foredles i landet til en viss grad.

Fisket skjer både langs kysten og ute på åpent hav, av ulike fartøytyper og redskap. Omtrent halvparten av fangsten leveres i frossen tilstand, hovedsakelig fra den havgående trålflåten. Enkelte trålere har fabrikker om bord som produserer filetprodukter (volum i 2022 var ca. 14 000 tonn rundvekt ifølge fangstdata¹ fra fiskeridirektoratet), men som regel fryses torsken sløyd i blokker på 25–50 kg. Selv om det leveres råstoff jevnt gjennom hele året, er perioden februar til april preget av en intensiv ferskfisk-sesong, særlig med fiske etter skrei (se Figur 1). En stor andel av ferskfisken blir levert rund til land, men sløyd og hodekappet fisk dominerer hvitfiskleveransene – både frossen og fersk.

Sesongvariasjon i fangst

rundvekt per uke, 2022



Figur 1: Sesongvariasjon i de viktigste hvitfiskartene. Basert på fangstdata for 2022¹

Hvitfisk utgjør en betydelig del av Norges sjømateksport og store volum eksporteres av både fersk, frossen og filetert fisk. Konvensjonelle produkter som klippfisk, saltfisk og tørrfisk har lange eksporttradisjoner, med Portugal, Brasil, Den Dominikanske Republikk, Italia og Kongo som de største markedene. For frossen og fersk hvitfisk går eksporten primært til land som Danmark, Kina, Storbritannia, Polen, Litauen og Nederland. Tabell 1 viser eksportvolum for utvalgte produkter og arter, og er med på å danne et bilde av hvilken foredling som foregår innenlands, da det for enkelte produkter enten eksporteres alt som produseres.

¹ [Fangstdata \(seddel\) koblet med fartøydata \(åpne data\) | Fiskeridirektoratet](#)

Tabell 1: Eksportvolum for utvalgte torskearter, basert på eksportdata for 2022², produktvekt tonn

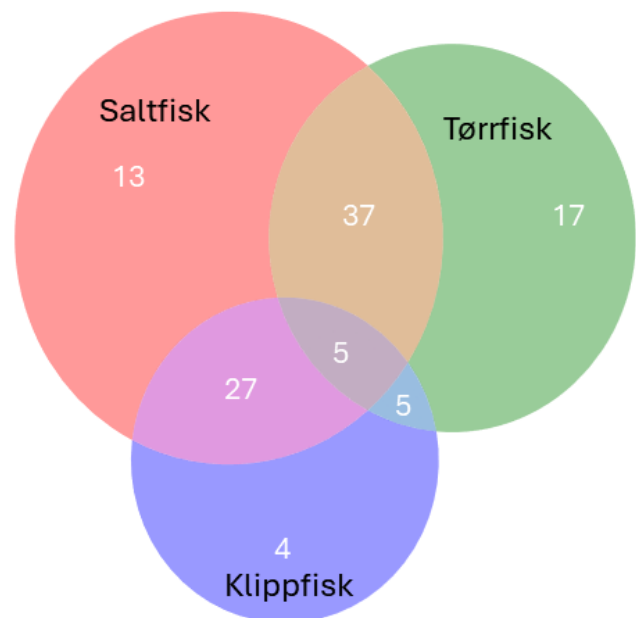
Produkt	Torsk	Sei	Hyse	Andre arter	Delsum
Frossen hel/sløyd	67 032	40 918	40 193	2 242	150 385
Frossen filet	9 583	2 467	994	0	13 044
Fersk hel/sløyd	50 214	17 221	16 954	4 043	88 432
Fersk filet	3 779	781	619	72	5 251
Klippfisk	29 089	47 224		8 635	84 948
Saltfisk	22 933	2 357	214	3 313	28 817
Tørrfisk	2 930	513	0	425	3 868
Annet	4 543	32	0	13 828	18 403
Delsum	190 103	111 513	58 974	32 558	393 148

Det importeres også hvitfisk ifølge data fra FAO³ ca. 19-23 000 tonn årlig. Det er primært frossen sløyd torsk (8-13 000 tonn/årlig) og sei (3-4 000 tonn/årlig), men også en del filet (5-6 000 tonn/årlig). Det finnes ingen register som har oversikt på hva denne fisken benyttes til, men det er kjent at f.eks. konvensjonell industri importerer frossent råstoff til sin produksjon.

1.1.1 Konvensjonell

Konvensjonell produksjon omfatter fremstilling av saltfisk, klippfisk og tørrfisk ved hjelp av tradisjonelle metoder som salting og tørking. Disse metodene ble historisk brukt for å øke holdbarheten på fangstet fisk, og produktene er i dag viktige og verdifulle eksportvarer for Norge. I 2022 eksporterte Norge klippfisk, saltfisk og tørrfisk til en verdi av over 8 mrd. NOK, tilsvarende en mengde rundt 117 000 tonn (Tabell 1). Det er lite innenlands konsum, som betyr at vi eksporterer bortimot alt vi produserer, med unntak av noe videreforedling til f.eks. ferdigretter av bacalao, boknafisk og lutefisk, men dette antar vi er små volum sammenlignet med totalen. Unntaket er lutefisk, der vi konsumerte ca. 2300 tonn i 2023, som tilsvarer ca. 600 tonn tørrfisk.

Ifølge Mattilsynets registre finnes det 377 anlegg som har godkjenning til å produsere enten klippfisk, saltfisk, tørrfisk eller en kombinasjon av disse. Vi har gjort en manuell gjennomgang og filtrert ut det vi mener er en rekke små aktører, og har kommet frem til at om lag 108 av disse anleggene står for hoveddelen av produksjonen (da teller vi anlegg, og ikke bedrifter). De fleste av anleggene har kombinert produksjon med minst to former for konvensjonell produkter, og en betydelig andel har også kombinert produksjon med annen hvitfiskproduksjon. En oversikt over anleggene vi har kartlagt er illustrert i et venn-diagram i Figur 2. Figuren viser at det er 82 anlegg som har godkjenning for saltfiskproduksjon, 64 tørrfisk og 41 klippfisk, men at det kun



Figur 2: Oversikt over antall produksjonsanlegg i konvensjonell sektor basert på Mattilsynets register

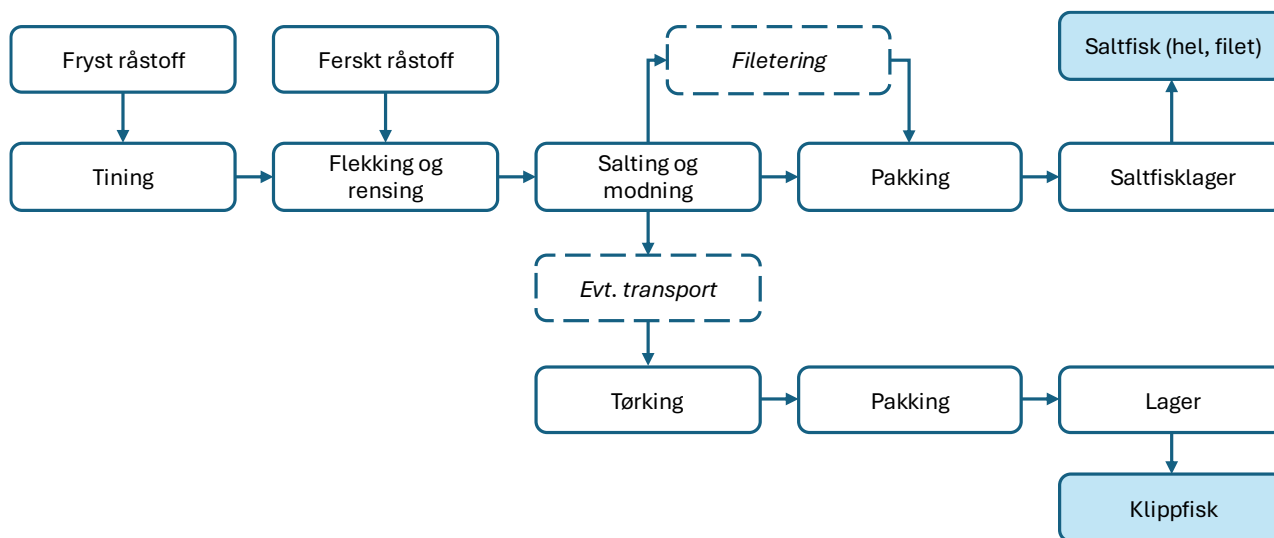
² Markedsinnsikt, Norges Sjømatråd. Data for 2022. [Årlig eksport fra Norge](#)

³ Fisheries and Aquaculture statistics (FishStat), FAO. Data for 2020-2022. [FishStat - Fisheries and Aquaculture](#)

er fem anlegg som har godkjenning for alle produksjonsformene. Disse fem er Jangaard Export sine anlegg i Averøy, Karlsøybruket, Peder B. Sørvik og

Torsvågbruket. Videre er det 27 anlegg som produserer både saltfisk og klippfisk, mens det er 13 anlegg som kun produserer saltfisk («salterier») og 4 anlegg som kun produserer klippfisk. Tørrfisk produseres på mange av anleggene, mens det er 17 anlegg som oppgir å kun produsere tørrfisk. Disse er lokalisert hovedsakelig i Lofoten og Finnmark, hvor sterke tradisjoner for denne typen produksjon er godt etablert. Når det kommer til produksjonsvolumer, er det store forskjeller fra anlegg til anlegg. På klippfisk-siden er det spesielt 4 aktører som er store: Fjordlaks AS, Jangaard Export AS, AS Møre Codfish Company og Brødrene Sperre AS. Fjordlaks AS har oppgitt på sine nettsider at de har en produksjonskapasitet på rundt 22 000 tonn klippfisk per år⁴, som utgjør omtrent en fjerdedel av det totale eksportvolumet i 2022.

Produksjon av saltfisk og klippfisk er vist forenklet i Figur 3, og vi ser at klippfisk er tørket saltfisk. Produksjonen baserer seg på ferskt og frossent råstoff, dvs. blokkfrossen fra den havgående fiskeflåten eller import. I sesong benyttes ferskt råstoff. Det er hovedsakelig torsk og sei som benyttes, ikke nevneverdig mye hyse, men også en del lange og brosme. Første del i prosessen er tining. Produksjonsutbyttet henger sammen med bl.a. temperatur etter tining og inn i flekkinga, som betyr at tineprosessen foregår kontrollert, gjerne tining i sjøvann med temperaturkontroll og styring på sirkulasjon. Neste steg er fjerning av ryggbein (flekking) som foregår i flekkemaskiner. Deretter følger salting, og det finnes ulike metoder for dette: picklesalting, tørrsalting, lakesalting eller injeksjonssalting. Mest vanlig er pickle- og lakesalting i kar som står i 2-3 uker før kassene vendes og fisken lagres på pall for modning i kjølelager i 2-3 måneder. Etter dette går fisken enten til klippfiskproduksjon eller til saltfiskproduksjon – hel eller filetert. Fisken tørkes så, og dette foregår stort sett i varmepumpe tunnel-tørker ved 20-24°C i 2 til 6 døgn avhengig av sort fisk og størrelse. Fisken tørkes fra normalt 55-60% vann til 45-50% vann. Uavhengig av tørkemetode er dette det leddet i produksjonen som har det mest betydelige energiforbruket. Ferdige saltfiskprodukter lagres gjerne på egne kjølelager pga høy fuktighet, mens klippfisk lagres på tørrere kjølelager.

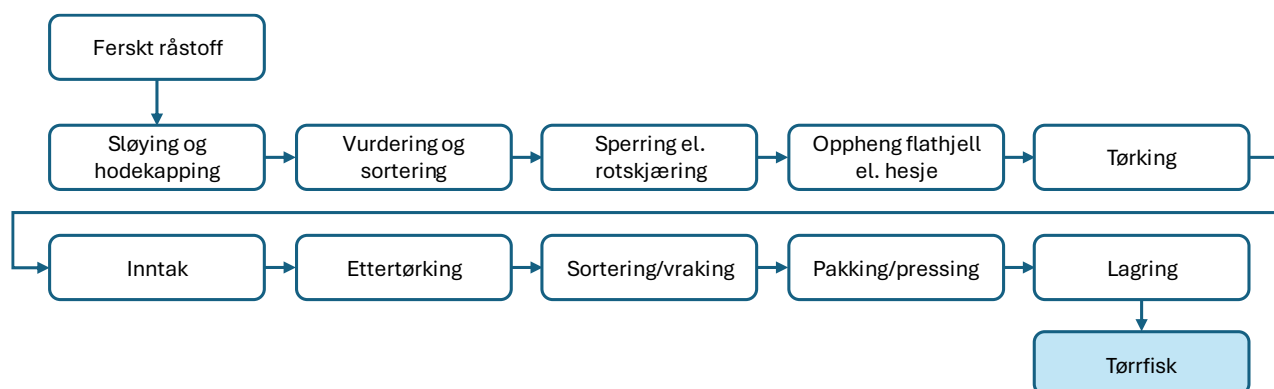


Figur 3: Produksjonsflyt for salt- og klippfiskproduksjon

Produksjon av tørrfisk er basert på ferskt råstoff, og da med høye krav til kvalitet siden produktet er helt naturlig uten tilsetning av andre stoffer. Første ledd i prosessen er evt. sløyning og hodekapping hvis dette ikke er gjort om bord fiskebåten, påfulgt av en vurdering av kvalitet og størrelsessortering på fisk som kan gå til tørrfiskproduksjon. Fisken må da sperres, som vil si at to og to fisk med noenlunde lik størrelse festes med sperregarn om sporene på en slik måte at de henger sammen. Alternativet er rotskjæring, som er en

⁴ Fjordlaks - Klippfisk, Saltfisk og Restråstoff - Klippfisk

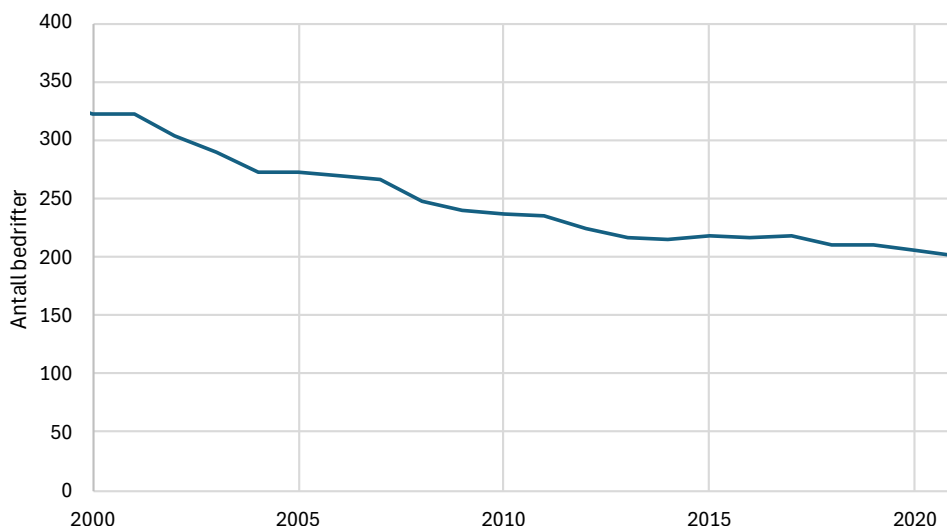
måte å splitte en fisk på slik at filetene er adskilt, men henger sammen i sporen. Begge metoder er ment for at fisken skal kunne henges opp, som er neste steg. Det er vanligst å benytte flathjeller eller hesjer, og valget er som regel bundet i tradisjon. Tørkeperioden er avhengig av klimatiske forhold som vind, luftfuktighet, nedbør og sol. Dette sammen med størrelse på fisken og fiskeslaget har stor innvirkning på tørkeperioden og ikke minst kvaliteten på sluttproduktet. Vanligvis varer perioden i månedsvis, fra oppheng i februar/mars til inntak i mai/juni, og det foregår jevnlig inspeksjoner underveis i perioden. Etter inntak legges fisken på pall, og den ettertørkes innendørs i godt ventilerte lokaler, evt. assistert av vifter. Deretter sorteres (vrakes) fisken i ulike klasser, og de ferdige produktene pakkes og presses på pall før lagring og distribusjon. I det store og hele er prosessen i stor grad preget av manuelt arbeid, og lite innsats av energi i form av elektrisitet, siden tørkingen foregår naturlig utendørs. Det er derimot 5-6 anlegg som prosjektgruppen kjenner som tørker innendørs med prosessutstyr. I tillegg har det blitt mer vanlig å ha klimalager for lagring av produkt, altså styring på temperatur og fuktighet, som gir noe økt energiforbruk.



Figur 4: Produksjonsflyt for tørrfisk

1.1.2 Øvrig foredling

Øvrig foredling inkluderer fryserier, ferskpakking, filetering og videreforedling av hvitfisk og andre arter. Dette er en industri som består av mange små aktører, og med en stor skala av produksjonsformer og varianter av disse. Utviklingen i hvitfiskindustrien er vist i Figur 5, og det har vært en jevn nedgang siden 2020 i antall aktører.

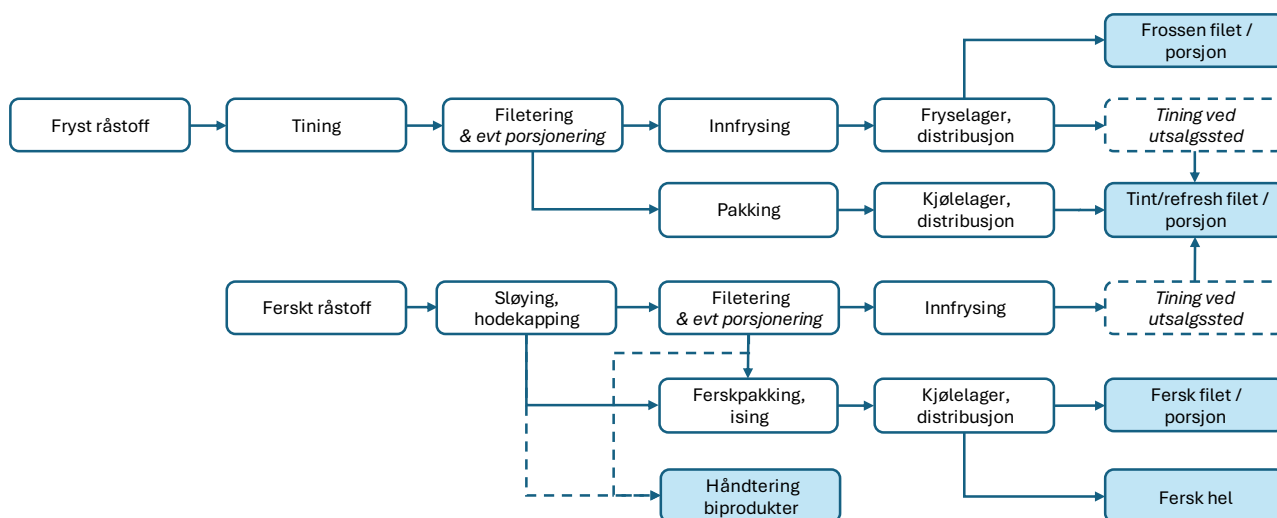


Figur 5: Utvikling i antall bedrifter i hvitfiskindustrien, 2000-2021. Produsert på data fra Nofimas lønnsomhetsanalyser⁵

⁵ [Lønnsomhetsanalyser for fiskeindustrien | Nofima](#)

Forklaringen til dette er sammensatt, men kan nok delvis forklares i særnorske konkurranseulemper som høyt lønnsnivå og tollnivået på eksport av bearbeidet sjømat. Siden toppen på 90-tallet har kvantumet bearbeidet hvitfisk som eksporteres falt fra nesten 80 til 50 %, og reduksjonen skyldes nedgangen i filetproduksjon, både av fryst og fersk filet. Det har i samme periode vært en økning på eksportert volum av sløyd hel fisk, både fryst og frosset. En betydelig andel av torsken eksporteres sløyd og hodekapper uten videre bearbeiding, enten fryst eller iset i kasser.

Det er mange små aktører i næringen, og det er noen store som Myre Fiskemottak, Lerøy Norway Seafoods, Insula og Nergård-konsernet som seg imellom har i rundt 30 mottak og fabrikker med ulik produksjon. Typiske produksjonsformer kan være ferskfisk som fileteres og porsjoneres, og enten ferskpakkes eller innfryses før distribusjon, 'refreshed'-produksjon av blokkfrosset råstoff, eller videreføring til f.eks fiskekaker og annen fiskemat. I tillegg håndterer industrien stadig større volum med restråstoff, da utnyttelsesgraden har steget fra 30% i 2013 til 67% i 2022⁶. I senere tid har det også vært fokus på økt utnyttelse av bifangst, som kan sikre jevnere produksjon for fabrikkene⁷. Oppsummert foregår det svært mange prosesser og ulike produksjonsformer ved de ulike anleggene, og vil være en konsekvens av blant annet tilgjengelighet av råstoff (sesong og kvoter) og etterspørsel i markedet. Det er gjort et forsøk på å generalisere produksjonsflyten for dette segmentet i Figur 6. I et energiperspektiv er det flere krevende prosesser, som tining, kjøling, produksjon av is og spesielt innfrysing. I tillegg antas det å være et generelt oppvarmingsbehov, delvis til tineprosess, men hovedsakelig for oppvarming av vaskevann og lokaler.



Figur 6: Produksjonsflyt for foredling/filetering av hvitfisk, frosset og fersk.

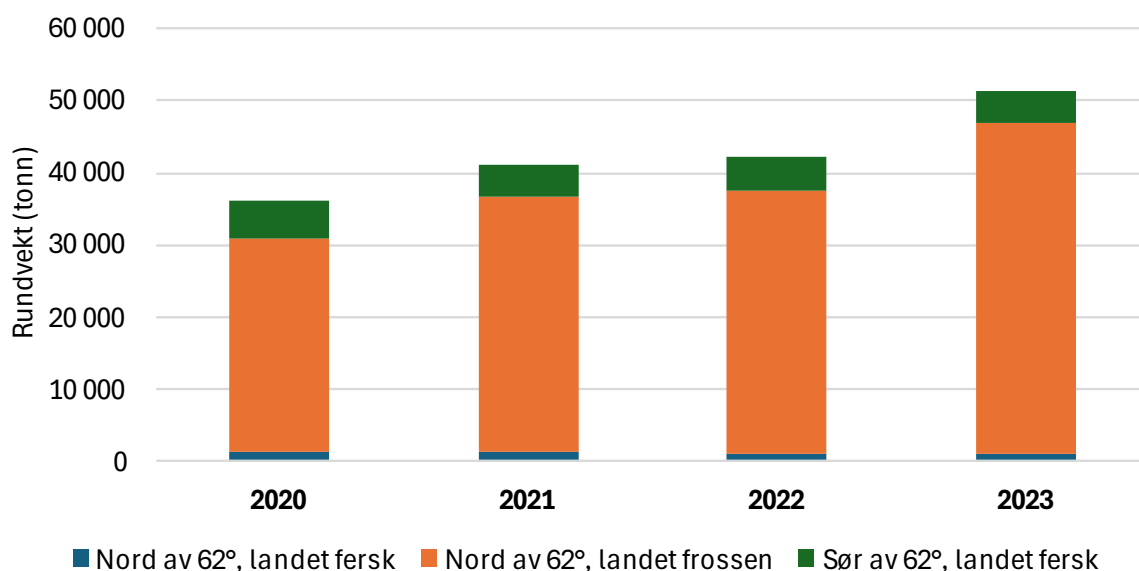
⁶ Myhre, M., Richardsen, R., Nystøyl, R., Strandheim, G., 2023. Analyse marint restråstoff 2022 (No. 2023:01209). SINTEF Ocean.

⁷ Uglem, S., Dalsvåg, H., Grimsmo, L., Tveit, G.M., Nordtvedt, T.S., 2022. Fersk linefanget brosme som råstoff til filetproduksjon (No. 2022:01074). SINTEF Ocean

1.2 Rekeindustrien

Rekefiske i Norge begynte på slutten av 1800-tallet i Oslofjorden og Skagerrak, og spredte seg gradvis vestover og nordover langs kysten. I starten var det et kystfiske som resulterte i årlige landinger på noen 100 tonn, men på 1920- og 30-tallet ble trålfisket introdusert i Skagerrak slik at volumene steg til 2-3000 tonn årlig. Etter krigen begynte industrielt fiske for fullt, og fangstmengdene økte, men det var først når man oppdaget store rekeforekomster i Barentshavet på midten av 1970-tallet at veksten tok av, med fangstvolum helt oppi 90 000 tonn.

Ifølge fangstdata (fdir.no) er det fortsatt en stor årlig variasjon i hvor store volum av dypvannsreken som landes i Norge. Det er sammensatte årsaker til dette. Det er vanlig å gjøre et skille på rekefiske sør og nord av 62°. Gjør vi det så er det den havgående flåten som opererer i Barentshavet som står for mesteparten av landet volum, og at dette fangstes hovedsakelig i perioden april-september og leveres frossent (se Figur 7). Figuren viser også at det årlige volumet er på tur oppover, en trend som ser ut til å fortsette i inneværende år (2024).

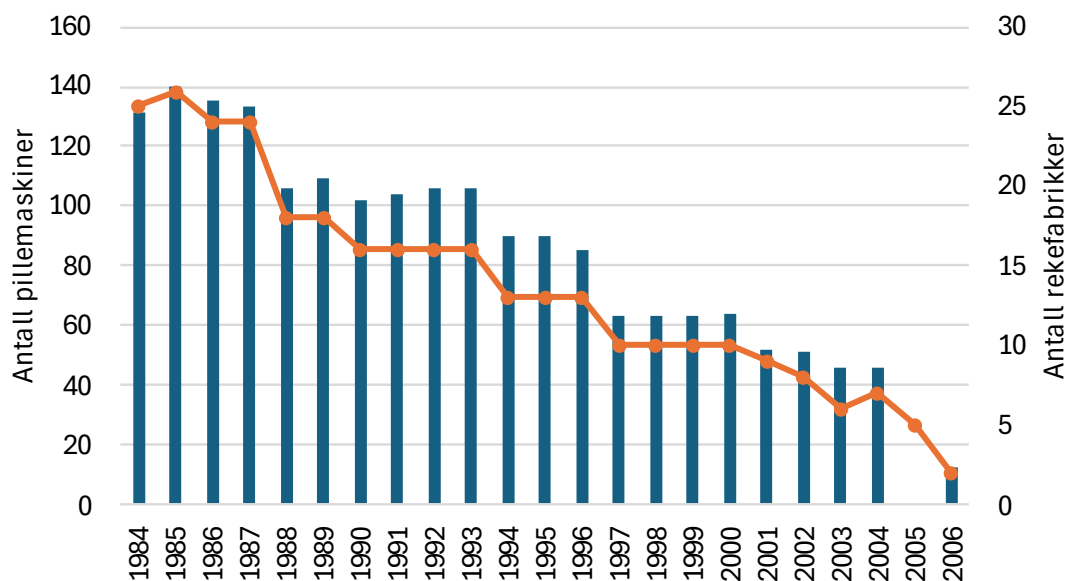


Figur 7: Rekefisket i perioden 2020-2023, landet volum i tonn rundvekt, gruppert etter nord/sør 62° og konserveringsmåte. Data fra fiskeridir.no.

1.2.1 Industrireke

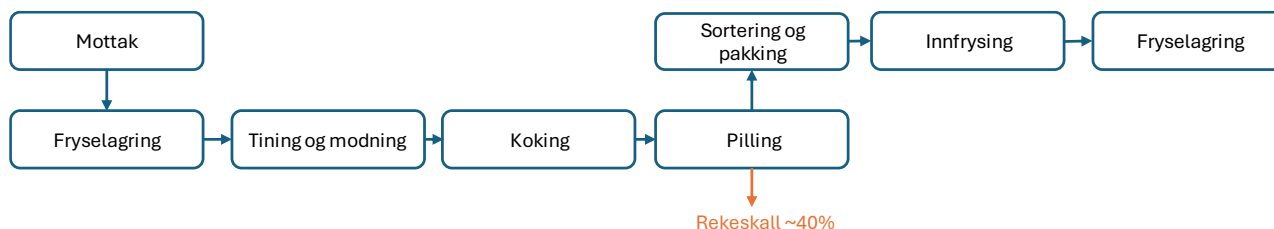
Den norske rekeindustrien er en viktig del av landets sjømatnæring, og har lang historie knyttet til utnyttelsen av ressursene i Norges kystområder og ishavet i nord. Industriell produksjon av reke er spesielt sterkt tilknyttet Nord-Norge, i et historisk perspektiv, og tok for alvor av på 1970-tallet da maskinell pilling erstattet arbeidskrevende håndpilling. Det var en vekst i antall fabrikker og antall pillemaskiner frem til en topp midt på 80-tallet, og deretter en avvikling som følge av modernisering, konkurranse og nedgang i ressurser⁸. Figur 8 viser utviklingen i antall fabrikker og pillemaskiner fra 1984 til 2006.

⁸ Alm og Finstad (2018). Vekst, fall og nye muligheter. Rekefiske og rekeindustri i Nord-Troms, 1975-2015. Orkana Akademisk (ISBN 978-82-8104-286-5)



Figur 8: Utvikling i antall rekefabrikker (oransje kurve) og pillemaskiner (blå stolper) i Nord-Norge, 1984-2006. Reprodusert fra Alm og Finstad (2018)⁸

I dag gjenstår det 2 fabrikker som produserer det som kalles industrireke, Stella Polaris og Coldwater Prawns Production, med tilhørighet i Kårvikhamn og Senjahopen. Fabrikkene produserer i all hovedsak kokte, pillede og frosne reker, og kokte, frosne skallreker, levert i poser fra 100 gram til 5 kg. Det er en verdifull eksportvare, hvor Storbritannia, Sverige, Finland og Nederland er store kjøpere. I 2022 ble det eksportert ca. 7200 tonn industrireke ifølgende eksportdata.



Figur 9: Produksjonsflyt for industrireke

Produksjonsflyt for industrireke vises i Figur 9 og består av følgende trinn:

- **Mottak:** Produksjonen er i all hovedsak basert på blokkfrosne, rå reker som leveres i 25 kg blokker. Det gjennomføres en standardisert kontroll før blokkene settes på fryselager.
- **Tining:** Det brukes ulike løsninger av tineutstyr i industrien, hvor fokuset er effektiv tining av blokk og singulering av reker, samtidig som man gjennomfører det så skånsomt som mulig for å redusere brekkasje
- **Modning:** Modning av reker foregår typisk i 1000liters-kar, der de tinte, single rekene tilsettes modningslake og toppes med is. Modningen tar ca. 1 døgn i produksjonslokaler
- **Koking:** Etter modning dumpes karene og reke føres på rullebånd gjennom koker (damp eller vann)
- **Pilling:** Maskinell (mekanisk) pilling etterfulgt av foto/røntgen og evt. blåsing for å fjerne skallrester. Skallfraksjon
- **Innfrysing:** Reke singlefryses før de pakkes og settes på fryselager i påvente av distribusjon

I tillegg har Stella Polaris produksjon av rekeskallmel. Rekeskallfraksjonen etter pilling går gjennom en skruepresse for fjerning av vann, og deretter en mølletørke som tilføres varm luft fra propanbrenner før tørket mel pakkes i sekk.

1.2.2 Øvrig rekeproduksjon

Øvrig rekeproduksjon omfatter hovedsakelig produksjon av pillede lakereker, og videresalg av ferske sjøkokte reker. De største aktørene er antatt å være Finny Sirevaag AS og Lyngen Reker AS, som produserer maskinpillede lakereker. Lerøy tilbyr opptinte, kokte og ferdigpillede reker i forbrukerpakninger, og Domstein Sjømat er stor som distributør på storkjøkkenmarkedet, og har også håndpillede reker. Andre aktører som håndpiller reker, er f.eks Nord-Reker AS. Forutenom disse aktørene virker det å være liten grad av prosessering og bearbeiding av rekene, og at det i stor grad er snakk om mottak og utsalg av ferske reker. En gjennomgang av fangstdata for 2022 viser at det var 33 kjøpere som handlet inn over 10 tonn reke, primært fersk sjøkokt, og 15 som handlet inn over 100 tonn (se Tabell 2). For å håndtere dette segmentet har vi sett på fangstdata, og gjort noen antagelser basert på konserveringsmåte (frossen, fersk og/eller kokt) og til hvilken anvendelse fangsten er levert. Metode og resultater er oppsummert i avsnitt 2.3. I tillegg bemerkes det at minst 2 aktører forsøker seg på rekeoppdrett i Norge. Den ene bedriften er Norwegian King Prawns, tidligere Happy Prawns, som satser på oppdrett av kongereker i Sirevåg. Den andre er ShrimpVision som satser på landbasert oppdrett av 'bærekraftig scampi' ved å bruke spillvarme fra annen industri. Ingen av disse har kommet i gang med produksjon.

Tabell 2: Identifiserte aktører i øvrig rekeproduksjon, kjøpere over 100 tonn (2022)

Kjøpere av reker, 100+ tonn i 2022

Lyngen Reker As	Fiskernes Salgslag
Fjordfisk As Avd Utgårdskilen	Fonn Egersund As Avd Egersund
Fiskelaget As	Langesundfisk As
Domstein Sjømat As Avd Kristiansand	Fonn Egersund AS
Fiskesalg As Avd Gravane	Reinhartsen Engros As
Brødr Berggren As	Hidra Fiskemottak As
Arendal Fiskemottak As	
Sirevaag As	

1.3 Tidligere initiativer

I perioden 2013-2023 har Enova støttet sjømatnæringen med 1,04 milliarder kroner fordelt på 572 prosjekter ifølge en kartlegging vi har gjort i prosjektet (se faglig sluttrapport for fullstendig analyse). Disse prosjektene har til sammen forventet å redusere energibruk med 677 GWh og klimautslipp med 127 000 tonn CO₂-ekvivalenter. Samlet sett er det 21 hvitfisk- og rekebedrifter som har mottatt 29,5 MNOK i støtte fordelt på 42 prosjekter i perioden.

Tabell 3: Nøkkeltall på Enova-støttede prosjekter i hvitfisk- og rekesektoren

Undersektor	Antall prosjekter	Total støtte (MNOK)	Energireduksjon per prosjekt (GWh)	Utslipsreduksjon per prosjekt (tonn CO ₂ -ekv)
Hvitfisk - Foredling	18	6,5	0,34	12
Hvitfisk - Konvensjonell	15	9	1,07	275
Reke - Industrireke	9	14	1,47	223



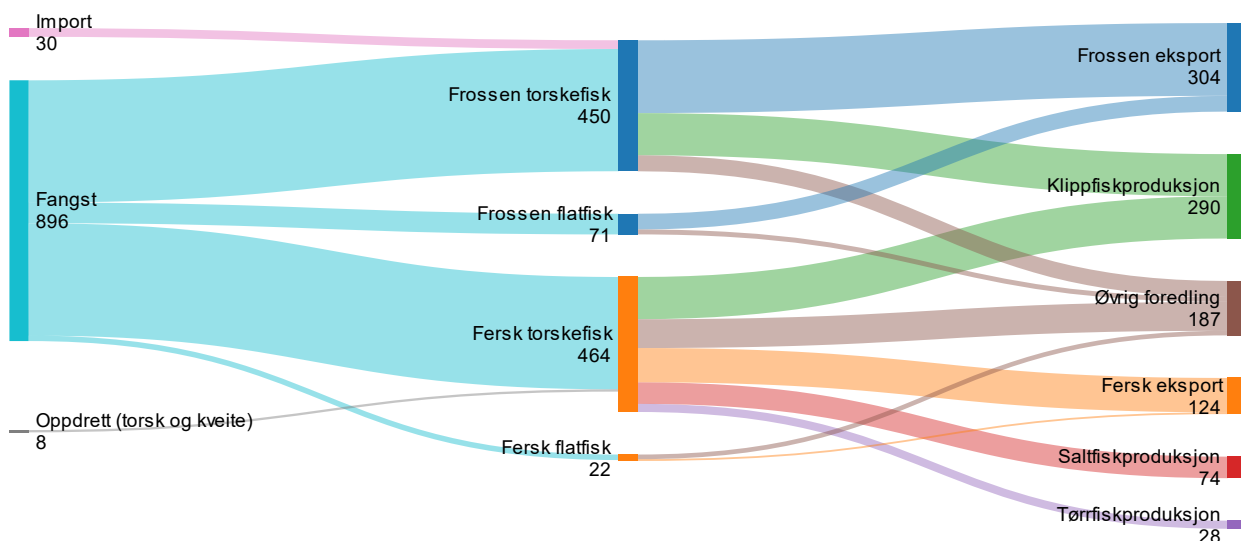
Figur 10: Forventet energireduksjon summert på de ulike segmentene

Segmentet 'Hvitfisk, foredling' er den som har mottatt minst støtte og samtidig også har de laveste energi- og klimaresultatene per prosjekt, slik det vises i Tabell 3 og Figur 10 - også sammenlignet med andre deler av sjømatnæringen. Åtte av de atten prosjektene som har fått støtte dreier seg om innføring av energiledelse, som representerer en tidlig innsats for energieffektivisering. Disse er relativt små prosjekter med en maksimal støtte på 200 kNOK. De resterende prosjektene omhandler i stor grad optimalisering og installasjon av mer effektive kuldeanlegg, samt enkelte prosjekter på varmegjenvinning hvor årlige energieresultater varierer mellom 170 og 890 MWh. I den konvensjonelle sektoren omfatter mange prosjekter energiledelse, effektivisering av kjøleanlegg og varmegjenvinning. Enkelte prosjekter har klimaresultater estimert til 1000-2000 tonn CO₂-ekvivalenter, som øker snittet for denne undersektoren betydelig.

Sektoren for industrireker er svært eksklusiv, med kun to eksisterende anlegg. Disse har samlet mottatt 14 MNOK i støtte til gjennomføring av ni prosjekter siden 2013. Begge bedriftene har innført energiledelse og gjennomført tiltak for utnyttelse av spillvarme fra kjøleanlegg og fyrhus. Dette har resultert i relativt store resultater per prosjekt, med nesten 1,5 GWh og 223 tonn CO₂-ekvivalenter.

2 Dagens status: energibruk og energimiks

Dette kapitlet presenterer det beste tilgjengelige kunnskapsgrunnlaget om energibruken i hvitfisk- og rekesektoren, og er basert på data tilgjengeliggjort for prosjektgruppen, data fra åpne datakilder, gjennomgang av relevant faglitteratur og tidligere prosjekter, samt egne modelleringer. Det er varierende grad av datakilder for de ulike segmentene, noe som gjør anslagene i energibruk utfordrende. Dette gjelder spesielt foredlingsleddet på hvitfisk og bedrifter som opererer med ferske rekeprodukter. Her har vi begrenset innsyn i tilførte råstoffmengder, prosesser og antall lokaliteter. Vi har tatt utgangspunkt fangstdata for 2022 fra fiskeridirektoratet⁹ og studert artsgruppene torskefisk (torsk, hyse, sei m.fl.), flatfisk og annen bunnfisk (kveite, uer m.fl.) og dypvannsreke, i tillegg til import- og oppdrettsdata fra FAO¹⁰ og eksportdata fra Norges Sjømatråd¹¹, og vi har tilbakeregnet alle vekter til rundvekt basert på offisielle omregningsfaktorer. Omregningen fører nok til små avvik, men vår vurdering er at det ikke påvirker helhetsbildet og dermed gir en relativ god oversikt på hva som går inn og ut av landet. Derimot finnes det ingen god oversikt på hva som skjer innad i landet, og her har vi lagt noen antagelser til grunn. I tillegg tar ikke disse balansene hensyn til råstoff som allerede er lagerført fra et år til et annet, og det kan være betraktelige volumer. Våre kartlagte massebalanser er vist i Figur 11 og Figur 12.

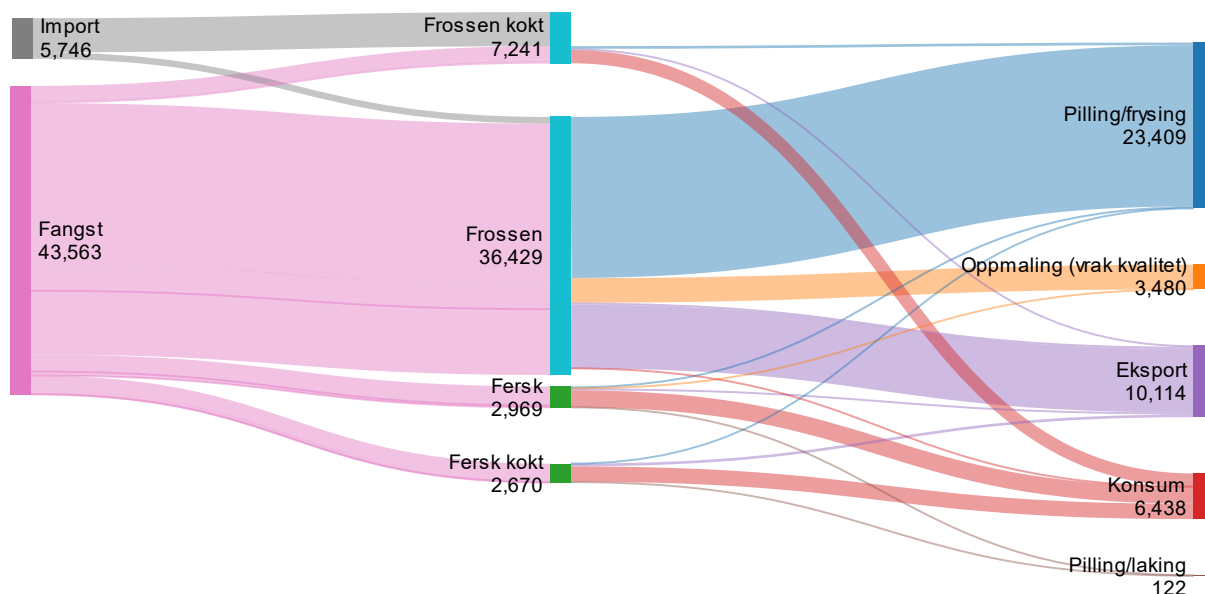


Figur 11: Massebalanse for torskefisk og flatfisk/annen bunnfisk, basert fangst-, import-, oppdrett- og eksportdata for 2022, gruppert etter landingstilstand (fersk, frossen) og anvendelse. Tall i hele tusen tonn.

⁹ [Fangstdata \(seddel\) koblet med fartøydata \(åpne data\) | Fiskeridirektoratet](#)

¹⁰ [FishStatJ - Software for Fishery and Aquaculture Statistical Time Series - Fisheries and Aquaculture](#)

¹¹ [Markedsinnsikt](#) ved Norges Sjømatråd



Figur 12: Massebalanse for dypvannsreke, basert på fangst-, import- og eksportdata for 2022, gruppert etter landingstilstand (fersk, frossen, kokt), og anvendelse. Tall i tonn.

2.1 Konvensjonell

Vi estimerer at konvensjonell sektor har et totalt årlig energiforbruk på ca. 54 GWh, men med stor usikkerhet (29 – 78 GWh). Tallene er basert på ekstrapolering av massebalansen vist i Figur 11 og ulike verdier for spesifikk energibruk som oppsummert i Tabell 4. Denne modellen inkluderer kun elektrisk energi, med unntak av høy verdi for tørrfisk, som inkluderer diesel-forbruk ifb. utheng og inntak.

Tabell 4: Energibruk i konvensjonell sektor, gruppert etter produkt, basert på ekstrapolering av råstofftilførsel og spesifikk energibruk.

Produkt	Tilført råstoff (tusen tonn)	Eksportvolum 2022 (tusen tonn)	Spesifikk energibruk (kWh/tonn råstoff)	Årlig energibruk (GWh)
Klippfisk	290	85	89-206	26-60
Saltfisk	74	29	33-133	3-10
Tørrfisk	28	3,8	33-293	1 -8

Anslagene for tilført råstoff er basert på eksportvolum, med en antagelse om at all produksjon eksporteres, bortsett fra tørrfisk hvor det er tatt hensyn til innenlandsk konsum av lutfisk. Dette betyr at volumene vi har benyttet i analysen kan være noe lav, i tillegg til mindre avvik som følge av omregning til rundvekt, men vi anser likevel disse som pålitelige og representative for næringen. Den spesifikke energibruken for hver produksjonsform er forbundet med betydelig større usikkerhet. For å estimere denne er to tilnærminger benyttet. Den første er en 'bottom-up'-tilnærming, hvor hver produksjonsform er delt inn i delprosesser (mottak, tining, sløying, flekking osv.), hver med sitt tilhørende spesifikke energibruk. Resultatet fra denne tilnærmingen representerer den lave enden av skalaen i tabellen, og kan betraktes som ideell ettersom den kun inkluderer energiforbruk knyttet til prosessering. Den andre tilnærmingen baserer seg på innhentede data fra faglitteratur, tidligere rapporter og tilgjengelige data, og utgjør den høye enden av skalaen. Disse verdiene inkluderer sannsynligvis også energiforbruk knyttet til andre forhold enn selve produksjon.

Klippfiskproduksjon er den mest energikrevende produksjonsformen innen konvensjonelle produkter. Dette er også den største kategorien blant de konvensjonelle produktene, hvor tørking er en energikrevende delprosess. Kartlagte verdier viser at tørkeprosessen alene kan kreve mellom 176 og 311 kWh/tonn tørket fisk, avhengig av faktorer som art, størrelse og driften av tørketunneler. En betydelig andel av råstoffet tilføres som frossent og må tines under kontrollerte forhold for å sikre høyt utbytte. Til dette brukes ofte tanker med temperaturregulert sjøvann og agitasjon (mekanisk eller luft). Vi har ikke inkludert eventuell internttransport i sektoren, som for eksempel bilfrakt av saltfisk til tørkeri. Slik transport antas å være dieseldrevet og kan utgjøre et merkbart forbruk, særlig fordi produksjonen ikke alltid foregår på ett og samme anlegg.

Saltfiskproduksjon benytter også betydelige volumer råstoff, men prosessen er langt mindre energiintensiv enn klippfiskproduksjon. Samtidig antar vi at energiforbruket varierer betydelig mellom anlegg, ettersom saltfisk ofte produseres ved kombinasjonsanlegg. I vår modell har vi basert oss på kartlagte verdier for foredling av ferskfisk generelt, med en forutsetning om at all produksjon baserer seg på fersk fisk uten innfrysing. Fjordfisk, som er en stor produsent av både saltfisk og klippfisk, rapporterte produksjonsforhold og energibruk for 2022 som tilsvarer et spesifikt energibruk på 511 kWh/tonn produkt (se appendiks A.2).

Tørrfiskproduksjon skiller seg ut som en tradisjonell produksjonsform med relativt lite energikrevende maskineri. Vi har antatt at produksjonen baserer seg utelukkende på fersk fisk og at det årlig tilføres ca. 28 000 tonn råstoff. Dette gir en produksjon på ca. 4300 tonn tørrfisk, hvorav 3800 tonn eksporteres og ca. 500 tonn videreføres til lutfisk (vi har ikke inkludert energi tilknyttet lutfiskproduksjon i dette arbeidet). Kartlagte verdier fra litteraturen indikerer et svært høyt energiforbruk, men dette skyldes sannsynligvis at dataene er basert på et enkelt anlegg hvor dieselforbruk til utheng og inntak ble inkludert, samt energibehov til dedikert tørrfisklager¹². Vi har begrenset oversikt i hvor utbredt sistnevnte er i næringen, men vurderer at det representative energiforbruket for tørrfisksektoren ligger i den lave enden av skalaen.

2.2 Øvrig foredling

Vi estimerer at foredlingssektoren har et totalt årlig energibruk på ca. 26 GWh, men med en betydelig variasjon (14 – 38 GWh/år), knyttet til usikkerhet i både produksjonsvolum og spesifikke energitall. I tillegg estimerer vi at eksport av ubearbeidet frossent og ferskt råstoff har et årlig energiforbruk på ca. 13 GWh (10-16 GWh/år). Tallene er basert på ekstrapolering av massebalansen vist i Figur 11 og ulike verdier for spesifikk energibruk som oppsummert i Tabell 5.

Tabell 5: Energibruk i hvitfisksektor, gruppert etter produksjonsform, basert på ekstrapolering av råstofftilførsel og spesifikk energibruk.

	Tilført råstoff (tusen tonn)	Spesifikk energibruk (kWh/tonn råstoff)	Årlig energibruk (GWh)
Foredling, frossen	61	143 – 407	9-25
Foredling, fersk	124	52 - 133	7-17
Frossen eksport	304	17-34	5-10
Fersk eksport	125	36-46	5-6

En betydelig andel av fisken som landes blir eksportert uten noen form for bearbeiding, og for referanseåret 2022 utgjorde dette nesten 50%. I vår modell har vi tillagt eksporten noe energibruk, det vil si vi har antatt at frossent produkt blir oppbevart 1-2 måneder på fryseterminal før eksport. Vi har lagt til grunn at fryselager

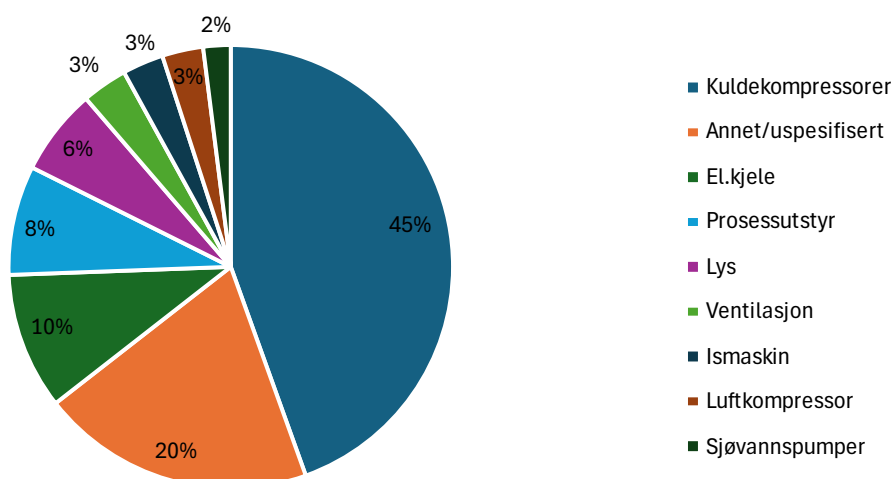
¹² Høyli, R., Aars, K.G., 2022. En analyse av energibruk på fangst- og mottaksleddet i kystfiskeflåten (No. 2022:00185). SINTEF Nord.

bruker 61,9 kWh/m³/år i snitt basert på en studie av Evans m.fl. (2011)¹³, men det antas å kunne være en variasjon blant de norske fryseterminalene. For fersk eksport av ubearbeidet fisk er det en liten andel som leveres direkte til andre land med båt, men ifølge vår oversikt går mesteparten via norske mottak. Her har vi antatt at fisken ises, ompakkes og ligger kort tid på kjøll før videre transport. Eksport av fersk filet er inkludert i kategorien 'fersk foredling'. Vi har ikke medregnet dieselforbruk knyttet til selve transporten ut av landet, selv om det kan antas å utgjøre en betydelig andel, da dette er definert utenfor prosjektets systemgrenser. I vår modell er det da produksjon av is som utgjør det største energibruket, og vi har benyttet kartlagte verdier fra litteratur, dvs. 40-150 kWh/tonn is produsert og ising på 30%.

For den fisken vi videreforedler er det lagt til grunn en råstofftilførsel på ca. 185 000 tonn av både ferskt og frossent råstoff, men sannsynligvis er tilførselen enda høyere da vi har begrenset analysen til å omfatte utvalgte arter, og vi ikke tar hensyn for produksjon på lagerført frossent råstoff. Det betyr i så fall at våre anslag er undervurderte. Videre har vi antatt at råstoffet fordeler seg 33/67% på frossen og fersk produksjon. Innfrysing er den mest energiintensive delprosessen i segmentet, og dermed er produksjon av frosne produkter også mest energiintensivt. Basert på fryseteknologi som er anvendt i dag har vi regnet med spesifikk energibruk på 143 kWh/tonn i vår analyse, mens verdier fra litteratur er så høye som 407 kWh/tonn. For fersk foredling er det også en stor variasjon. Kartlagte verdier fra litteraturen viser varierer fra 65-87 kWh/tonn (modellering), målinger spenner fra 97 – 363 kWh/tonn, og i vår modell har vi estimert ca. 50 kWh/tonn. (se appendiks A.2). Vår vurdering er at modellerte verdier er lave og prosess-spesifikke, mens målinger gjerne inkluderer andre forhold, og at dette forklarer den store variasjonen. Vi har valgt å sette høyeste verdi på 133 kWh/tonn i vår analyse, basert på funn av Høyli og Aars (2022)¹². Samtidig anser vi det som realistisk at det er en stor spredning i spesifikk energibruk, fra anlegg til anlegg, avhengig av både produksjonsform, teknisk stand, alder, rutiner og tilgang på råstoff.

Til tross for den antatt store variasjonen i type anlegg i sektoren, har vi satt opp et eksempel på hvordan energibruken kan fordele seg på anlegg i denne sektoren. Vi vurderer at det største forbruket er knyttet til termiske operasjoner, som kjøling, ising og innfrysning, men også oppvarmingsystemer til vaskevann, tining og oppvarming av lokaler. Figur 13 viser hvordan energiforbruket fordeler seg på typiske energiposter, og er basert på målinger fra 3 bedrifter i segmentet. Bedriftene har ulike produksjonsformer med ulikt produksjonsutstyr, og den spesifikke energibruken varierer mellom 350 til 975 kWh/tonn produkt. Allikevel er det noen fellestrekk på hva energien går til. Kompressorene i kuldeanlegg er den desidert største energibrukeren, og er knyttet til alle prosesser som krever kjøling og innfrysing. I tillegg vil alle anlegg som har kjøle- og/eller fryselager ha en grunnlast året rundt for å holde temperaturen på disse. Merk at posten på ismaskin (3%) refererer til strømbruk utenom tilført kulde, altså energi som må tilføres for å skrape av isen under produksjon. For to av de tre bedriftene benyttes elektrisk kjel for oppvarming av blant annet vaskevann, gulvvarme og temperert vann til tineutstyr, mens den siste bedriften har installert varmepumpe for å dekke tilsvarende behov. Elektrisk oppvarming av vann utgjør en stor energiforbrukspost sammenlignet med varmepumpe.

¹³ Evans, J., Huet, J.-M., Reinholdt, L., Fikiin, K., Zilio, C., Houska, M., Bond, C., Scheurs, M., 2011. Cold store energy usage and optimisation. Presented at the ICR, Prague.



Figur 13: Energibruk ved et foredlingsanlegg for hvitfisk, fordelt på typiske energiposter, basert på målinger fra 3 bedrifter

2.3 Rekeindustrien

Vi anslår at rekesektoren samlet sett har et totalt årlig energibruk på ca. 31-35 GWh, hvor fossil andel er minst 24-33% (propan). Anslaget er basert på en ekstrapolering av massebalansen vist i Figur 12 og spesifikke energitall. Fossil andel er kun basert på kjente tilfeller, og kan være høyere. Industrireker ('pilling/frysing') utgjør 28-31 GWh av det samlede energibruket ifølge vår analyse. Resultater fra analysen er oppsummert i Tabell 6.

Tabell 6: Energibruk i rekesektoren, gruppert etter produksjonsform, basert på ekstrapolering av råstofftilførsel og spesifikk energibruk.

	Tilført råstoff (tonn)	Spesifikk energibruk (kWh/tonn råstoff)	Årlig energibruk (GWh, MWh)
Pilling/frysing	23 409	1 210 – 1 332	28-31 GWh
Frossen eksport	10 114	17 - 34	172-343 MWh
Konsum			
Frossen kokt	1 861	17 - 34	32-63 MWh
Fersk	2 414	1 059 - 1 361	2,6-3 GWh
Fersk kokt	2 163	15 - 30	32-65 MWh
Pilling/laking	122	52 - 97	6-12 MWh
Oppmaling	3 480	17 - 34	59-118 MWh

I segmentet industrireker er det Stella Polaris og Cold Water Prawns of Norway som er eneste aktører, og førstnevnte har de 3 siste årene hatt en årlig, total energibruk på 12,6-15,1 GWh, fossil andel (propan) på ca. 60% og en råstofftilførsel på 10-12 000 tonn årlig, ifølge data fra norskeutslipp.no. Dette tilsvarer et spesifikt energibruk på 1 200 - 1 300 kWh/tonn, og med utgangspunkt i at det ble prosessert ca. 23 000 tonn i referanseåret 2022 (Figur 12), betyr det et samlet årlig energiforbruk på ca. 28-31 GWh. Det foregår både tining, koking, innfrysing og fryselagring i dette segmentet, alle energiintensive prosesser, og det antas at dampproduksjon til koking utgjør det største energibehovet, etterfulgt av innfrysing. Stella Polaris produserer også rekeskallmel av skallfraksjonen via avvanningskrue og mølletørke (varmluft). Bedriftene kjøper inn ca. 2/3 av tilgjengelig råstoff (blokkfrosne, rå reker), mens den siste tredjedelen eksporteres

ubearbeidet, for det meste til pilleindustrien på Island. For denne andelen har vi antatt at blokkene ligger lagret på fryseterminal i 1-2 måneder, og det spesifikke energibruket er tilknyttet lagring på fryseterminaler. Totalt energibruk for dette volumet anslås til 172 – 342 MWh.

For volumet med ferske råreker antar vi at det er 2 bedrifter som håndterer mesteparten, Finny Sirevaag AS og Lyngen Reker AS. Finny Sirevaag har innrapportert energidata til norskeutslipp.no, og har de siste 3 årene rapportert en årlig, total energibruk på 1,8-2 GWh, fossil andel (propan) ca. 57% og en råstofftilførsel på 1 300-1 900 tonn. Dette tilsvarer et spesifikt energibruk på 1 050-1 300 kWh/tonn, som er sammenlignbart med bedriftene i segmentet for industrireker. I vår analyse tilfaller resten av volumet til Lyngen Reker AS, og vi antar et totalt energibruk for disse på 2,6-3 GWh. Hovedproduktet til begge bedriftene er pillede reker i lake. Prosjektgruppen kjenner ikke til den spesifikke prosesseringen ved disse anleggene, men basert på åpen informasjon så har begge bedrifter pillemaskiner, og det antas koking vha. damp ved Finny Sirevaag pga. innrapportert propanforbruk.

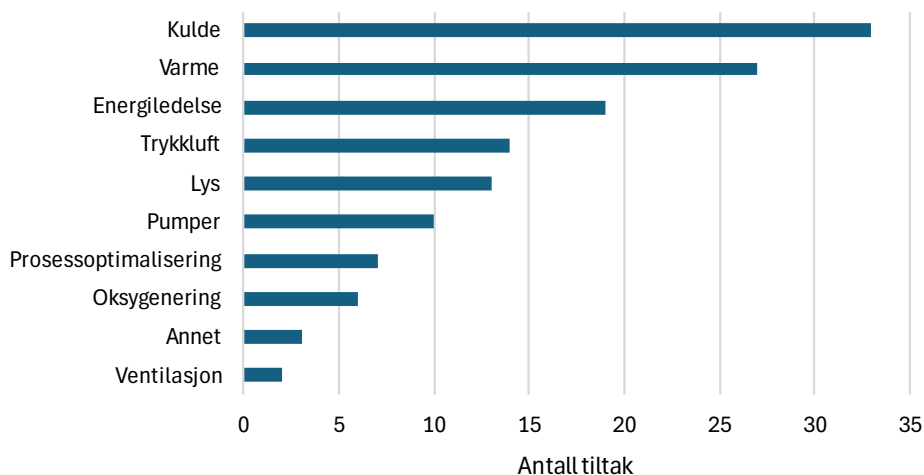
For konsumsegmentet mottas det både ferske råreker, ferske sjøkokte reker og frosne kokte reker. Den siste gruppen antar vi er ferdig prosessert på båt, og understøttes delvis av fangstdata (ca. halve volumet leveres frossen og 'emballert'). Det vil si vi antar ingen videre foredling av dette volumet, og spesifikk energibruk er tilknyttet fryselagring. Ferske sjøkokte reker antar vi selges som dem er gjennom fiskehandlere og evt. ved kaisalg. For dette volumet antar vi at det går med energi til isproduksjon, anslagsvis et sted mellom 15-30 kWh/tonn reke. For pilling/laking antar vi det er snakk om håndpillede reker som legges i lake, i en prosess som har lite innslag av energikrevende utstyr. Det er snakk om små volum av fersk sjøkokt reke som tilføres dette segmentet, og vi har antatt et spesifikt energibruk tilsvarende små ferskfisk foredlere. Det siste volumet går til oppmaling, og det er ukjent hvordan dette behandles, men ifølge fangstdata landes dette i frosset. Vår antagelse er at det ligger på fryselager en periode (1-2 måneder) før det blir transportert til f.eks. ensilasjeproduksjon. Samlet sett utgjør alle disse segmentene et årlig energibruk på 129 – 258 MWh, men det er knyttet stor usikkerhet til disse verdiene på bakgrunn av de beskrevne antagelsene.

Tidligere rapporterte medlemsbedrifter energidata og produksjonsforhold til Enovas industrinettverk, og en gjennomgang av rapportene for perioden 2002-2004 viste at i segmentet 'skalldyrbedrifter' var det spesifikke energiforbruket på 918 – 1 068 kWh/tonn (se appendiks A.2).

3 Tiltak for energieffektivisering

Dette kapittelet presenterer og belyser potensielle tiltak som kan forbedre energieffektiviteten i prosesser eller systemer som er relevante for hvitfisk- og rekesektoren. En del av tiltakene vil være aktuelle for flere av segmentene og er derfor organisert som egne avsnitt. I tillegg er det beskrevet et eget kapittel med generelle tiltak og teknologier som vi anser som relevant for hele sjømatnæringa.

Vår erfaring fra befaringsrapporter og en gjennomgang av befaringsrapporter tilgjengeliggjort for prosjektgruppen viser at det mange tiltak som er fokusert på kuldeanlegget, og det er en del av samme type tiltak som går igjen (se Figur 14). Det antas at det er en del eldre anlegg som drifter på HFK-kuldemedier, og siden det i nyere tid har kommet strengere krav til bruk og etterfylling¹⁴, vil det bety at sektoren må fornye seg i kommende tid. Alternativene er da å konvertere over til såkalte lav-GWP kuldemedier, eller erstatte til nytt kuldeanlegg som bruker naturlige kuldemedier. I tillegg er det en del tiltak som er rettet mot varmesystemer, som f.eks avlaste bruk av el. kjeler ved installasjon av varmpumpe, isolere varmtvannsrør eller det tiltaket som går oftest igjen – gjenvinning av spillvarme. Tiltak som er rettet mot trykkluftsystemer går i stor grad ut på driftsoptimalisering og vedlikehold (tetting av lekkasjer). Til sist ser vi at lys er en gjenganger, og det beror seg i stor grad på enten å konvertere til mer energieffektive LED-lys, eller bedre rutiner og systemer for automatisk slukking av lys.



Figur 14: Antall energieffektiviseringstiltak som er relevante for anlegg i disse segmentene, gruppert etter kategori. Figuren er basert på befaringsrapporter og gjennomgang av befaringsrapporter (n=12). Merk: inkluderer ikke bedrifter med tørking

3.1 Optimalisering av kuldeanlegg

Holdbarhet og kvalitet i fisk og reker er svært sensitiv for temperatur og det er viktig å opprettholde en lav temperatur gjennom hele verdikjeden for å unngå forringing på tur til matfatet. Et konkret eksempel på dette ble avdekket under befaringsrapportering (se 4.2 Hvitfiskbedrift), der bedriften i senere tid hadde installert RSW-anlegg for å kjøle ned fersk fisk umiddelbart etter leveranse fra båter. Deres erfaring var at båter i varierende grad hadde tilstrekkelig kjøling, og at dette tiltaket medførte en betraktelig reduksjon i vraket råstoff. Andre kjølebehov ved denne typen anlegg kan være ismaskiner, annet nedkjølingsutstyr, frysetunneler, spiralfrysere og kjøle- og fryselagre. Optimalisering av kuldeanlegget vil vil gagne alle segmenter, men det vil

¹⁴ Miljødirektoratets sider om fluorholdige gasser: [Krav til anlegg med fluorholdige gasser \(f-gass\) - miljodirektoratet.no](https://www.miljodirektoratet.no/tema/fluorholdige-gasser)

være ulike forutsetninger og potensialer. Generelt er det vårt inntrykk at det er i bruk mange ulike typer kuldeanlegg i sektoren.

En fellesnevner er at kuldeanlegget er en stor energibruker ved denne type bedrifter, og som vist i Figur 13 kan dette sammen med ismaskin utgjøre over 50% av den totale energibruken. Dette er basert på anlegg som foredler hvitfisk, men det er grunn til å anta at det samme gjelder anlegg som produserer ferske rekeprodukter. Det antas å være variasjon i type kuldeanlegg, da basert på at ved noen anlegg behandles det kun fersk fisk eller reke, mens andre leverer innfrysede produkter, og samtidig en variasjon grunnet alder på anlegg. En vanlig «gammeldags» løsning for fryseri kan være 1-trinns ammoniakk-anlegg med skruekompressorer, split-enheter for kjøling og separate ismaskin-enheter. Det er også liten grad av varmegjenvinning fra denne type anlegg, og da primært fra oljekjølere, mens resten av varmebehov dekkes på tradisjonelt vis. En moderne løsning vil være et sentralisert anlegg som jobber på flere trinn og dermed dekker behov for både kjøling (ca. -6 °C) og innfrysning (ca. -40 °C), med evt. varmegjenvinning på topptrinnet med dedikert varmepumpe. Potensialet for energieffektivisering vil naturlig nok avhenge av utgangspunktet, men det følgende avsnittet er en redegjøring for tiltak som kan gi effekt.

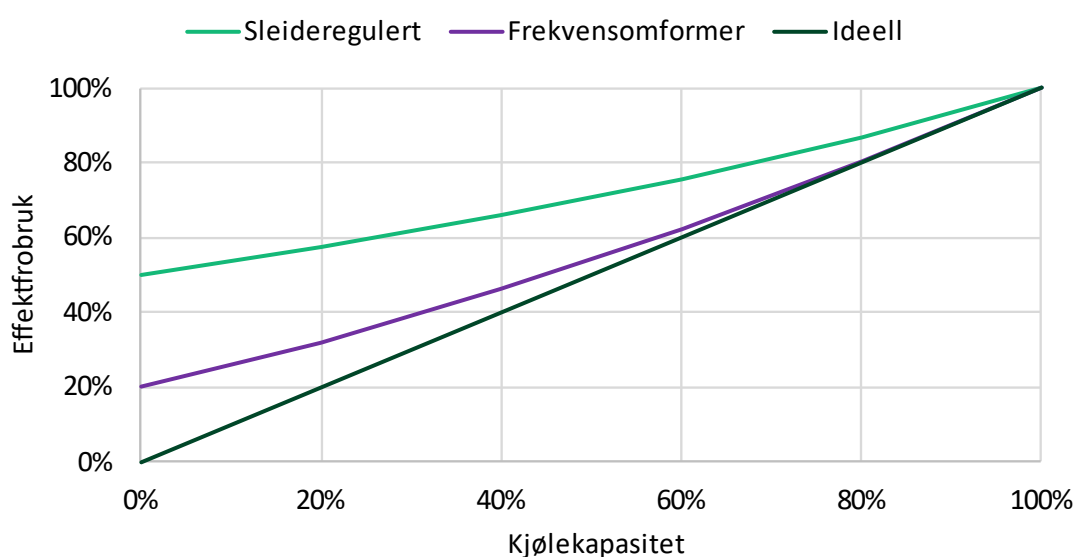
Sugetrykk og kondensasjonstrykk er viktige betingelser som i stor grad påvirker hvor mye energi som må tilføres kuldeanlegget, og uavhengig av type kuldeanlegg og nivåer, vil det stort sett alltid være gunstig å kunne redusere forholdet mellom sugetrykk og kondensasjonstrykk da det øker virkningsgrad (COP) til anlegget. Det er flere måter å oppnå dette på. Hvis utgangspunktet er at varme avgis over tak i luftkjølte kondensatorer vil det sannsynligvis kunne oppnås en ganske stor reduksjon ved å gå over til sjøvannskjøling, fordi sjøvannet har typisk en mye lavere og mindre varierende temperatur enn uteluft. Men det vil også kreve investering i anlegg for sjøvannspumping og valg av dyrere komponenter (f.eks, sjøvannsvexler i titan for å unngå rust). Det er også mulig å oppnå reduksjon i kondenseringstrykket gjennom vedlikehold, dvs. rensing av varmevekslere, og bedre innjustering og regulering av trykknivåer. På sugetrykket kan det oppnås gevinster ved å integrere mer effektive varmevekslere på kald side, eller bedre styring av sugetrykket. Hvis det benyttes sekundærkretser med f.eks glykol vil det være mulig å heve sugetrykket hvis det er mulig med direkte kjøling med kuldemedium. Tabell 7 viser hvordan dette påvirker et kuldeanleggs COP, eksemplifisert for et 1-trinns ammoniakkanlegg. Den viser at senking av kondenseringstrykket med 1 °C betyr en COP-økning på 2%, og at å heve sugetrykket med 1 °C betyr å øke COP med 3%. Ved bruk av anlegg som kjører på CO₂ oppnår man som regel mye bedre varmeoverføring i fordampere pga. kuldemediets egenskaper, og det er viktig å utnytte denne egenskapen fordi trykk-temperatur-forholdet er av større betydning for CO₂.

Tabell 7: Forhold mellom sugetrykk og kondensasjonstrykk, målt i relativ endring i COP i forhold til et trykkforhold -40/+20 °C. Beregnet med CoolPack, R717, 70% isentropisk virkningsgrad, 1-trinn

		Kondensasjonstrykk		
		20°C	19°C	18°C
Sugetrykk	-40°C	-	2%	4%
	-39°C	3%	5%	7%
	-38°C	6%	8%	11%

Kapasitetsregulering av frysekompressorer er viktig, og spesielt valg av metode for skruekompressorer er spesielt viktig. Figur 15 viser forholdet mellom kjølekapasitet og effektforbruket på en skruekompressor, regulert med sleide eller frekvensomformer. Figuren viser at skruekompressorer med sleideregulering er svært ineffektive når de kjøres på dellast, f.eks. ved 20% dellast så kjører fortsatt kompressoren med 60% effektforbruk. Det ideelle er et 1:1 forhold, men dette er ikke mulig. Det nærmeste man kan komme er å installere frekvensomformer, da får man en ytelseskurve tilsvarende den lille kurven. Ved 20% dellast vises

det i dette tilfellet ca. 30% effektforbruk inn. Det vil si at hvis man sammenligner hvor effektivt kompressoren virker ved 20% delast, så vil frekvensomformer bety 30% redusert energibruk sammenlignet med bruk av sleideregulering. Merk at figuren bare viser prinsipiell forskjell, og den faktiske energibesparelsen er avhengig av kompressormodell og reelle effektkurver. En annen fordel med frekvensomformere er at de reduserer slitasje på kompressorer, som igjen øker levetiden og kan redusere vedlikeholdskostnader. For stempelkompressorer fungerer det noe annerledes, da disse reguleres ved å 'koble ut' en og en sylinder, og man får en trappe-formet kurve som er tilnærmet ideell (men med noe tap). Dette betyr derimot at man har en trinnvis regulering fremfor en glidende. Dette eksempelet viser bare effekten på en kompressor, og siden vi i anleggene har flere kompressorer som kjører sammen, med ulike størrelser og typer, så vil det være viktig å optimalisere regulering i et helhetlig perspektiv. Det vil si at man i en kompressorpark f.eks. unngår å la flere kompressorer kjøre samtidig på delast, og heller optimerer kjøringen av kompressorer der det samlede energibruket er målet for optimalisering.



Figur 15: Kapasitetsregulering på skruekompressorer, frekvensomformer vs sleideregulering og ideell kurve

For bedrifter med fryseri vil det kunne være mer effektivt å bruke sentraliserte anlegg der man deler opp kompresjon (og/eller ekspansjon) i flere trinn. Dette kan løses med f.eks. kaskadeanlegg med CO₂ i bunnkretsen, og ammoniakk i toppkretsen, og evt. varmegjenvinning på topp. Et slikt system vil utnytte de gode egenskapene til CO₂ i bunn: god varmeoverføring, små dimensjoner på komponenter, lav fordampningstemperatur, kan pumpes direkte til fordampere. I tillegg vil man redusere den totale fyllingsgraden av ammoniakk, som kan være i fokus.

Kontinuerlig oppfølging av vedlikehold av kuldeanlegg er generelt viktig for å opprettholde effektiviteten, da denne avtar med tiden: kondensatorer må renses, isolasjon på rør og i vegger forringes, kuldemedium kan lekke osv. Som nevnt er det en rimelig antagelse at det er stor variasjon i type kuldeanlegg som er i bruk i denne sektoren, inkl. teknisk stand og alder, og det er slik sett vanskelig å tallfeste potensialet for energibesparelse. Noe forenklet kan vi anta at i snitt så opererer anleggene med en Carnot-virkningsgrad på 50% (vanlig er 40-60%). Hvis vi antar at det er mulig å heve denne til 55% gjennom innføring av beskrevne tiltak, **så tilsvarer dette en relativ energibesparelse i kuldeanlegget på ca. 9%**. Dette tilsvarer ca. 1 GWh for bedrifter som foredler hvitfisk, gitt at 45% av energien går til kuldeanlegg (ref. Figur 13). For saltfiskproduksjon gjør vi samme antagelse, og dette utgjør 0,3 GWh. For klippfiskproduksjon har vi ikke kartlagt fordeling av energibruk, og vi vet tørking utgjør sannsynligvis brorparten. Hvis vi antar kuldeanlegg utgjør 25%, utgjør besparelsen ca. 1 GWh. Teknologien og tiltakene som er beskrevet er modne, og

kostnaden vil variere fra svært lav til moderat avhengig av tiltak (optimalisering/ending av setpunkt vs investering i f.eks. frekvensomformere). Kostnaden ved driftsoptimalisering er knyttet til egeninnsats ved bedriften, frekvensomformere kan typisk koste 1000 kr/kW, mens ny kompressor kan variere mye etter størrelse, type og kapasitet, men fra 150 000,- og opp.

3.2 Tiltak i fryseri

Det anvendes et bredt spekter av ulike typer utstyr for innfrysning i industrien i dag, og valget er gjerne basert på mange faktorer som krav til produksjonsrate og innfrysningstid, type produkter og emballering, og produksjonsforhold som kontinuerlig produksjon eller batch-vis innfrysning. I tillegg vil valg av metode og teknologi i stor grad påvirke energibruken da det er store forskjeller på hvor effektive de ulike metodene er. Tabell 8 viser spesifikk energibruk for ulike innfrysingsmetoder, og viser et spenn mellom 53 og 158 kWh/tonn.

Tabell 8: Spesifikk energibruk for ulike innfrysingsmetoder, basert på data fra litteratur

Metode og beskrivelse	Spesifikk energibruk (kWh/tonn)
Lakefrysing av makrell, målte verdier ¹⁵	53
Lakefrysing hvitfisk, teoretisk ²⁵	80
Lakefrysing, teoretisk ¹⁶	77
Tunnelfrysing, teoretisk ¹⁷	106
Tunnelfrysing, teoretisk ¹⁶	158
Tunnelfrysing, kartong m/filet, teoretisk ¹⁸	131
Platefrysing, kartong m/filet, teoretisk ¹⁸	64
Platefrysing, teoretisk ¹⁶	79
Platefrysing, -50 °C CO ₂ , teoretisk ¹⁹	74
Spiralfryser, 1 tonn/time, teoretisk ¹⁷	109

Lakefrysing er den meste effektive metoden målt i energibruk, og det er en konsekvens av at varmetransporten mellom produktet og laken er mye mer effektiv sammenlignet med luft, og at temperatur på laken typisk er høyere sammenlignet med frysetemperatur i luft og plate (bedre driftsforhold for kuldeanlegg). Dette til tross er ikke lakefrysing særlig anvendt i industrien, med unntak for krabber og også reker internasjonalt. Forklaringer kan være bundet i tradisjon, og tidligere utfordringer knyttet til lakesøl og korrosjon. Det er også andre effekter av lakefrysing som må inkluderes i beslutningsgrunnlaget. Larssen m.fl. (2022)²⁵ viser til at filet fra lakefrost torsk hadde høyere filetutbytte sammenlignet med tradisjonell fryst torsk, men også økning av saltinnhold i muskel og gul misfarging i nakke/buk. Misfarging og saltopptak kan hindres ved emballering av fisk før innfrysing, men danner også en barriere som sannsynligvis forlenger innfrysningstiden og øker energibruken, i tillegg til økt plastforbruk (ved vakuumering). Platefrysing er anvendt i industrien i dag. Vertikale platefrysere er standard om bord fisketrålere, mens horisontale platefrysere i større grad anvendes ved landindustrien, da for innfrysing av filet/porsjonerte produkter og restfraksjoner/biprodukter. Platefrysing er også en effektiv metode sammenlignet med tunnel, men fordrer

¹⁵ Østvik, S.O. m.fl., 2018. Utvikling av teknologi og metode for lakefrysing av makrell (FHF 901290)

¹⁶ Kolbe, E., Kramer, D., 2007. Planning for Seafood Freezing. Alaska Sea Grant.

¹⁷ Magnussen, O.M., Nordtvedt, T.S., 2006. ENØK i kuldeanlegget (Teknisk rapport No. TR A6287). SINTEF Energiforskning.

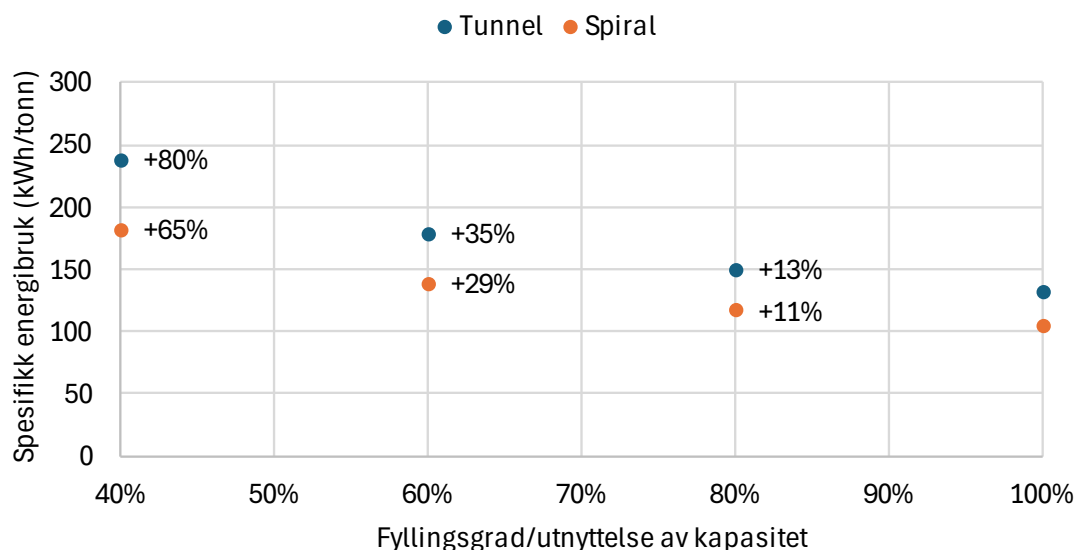
¹⁸ Cleland, D.J., Valentas, K.J., 1997. Prediction of Freezing Time and Design of Food Freezers, in: Handbook of Food Engineering Practice (ISBN 0-8493-8694-2)

¹⁹ Verpe, E.H., Tolstorebrov, I., Sevault, A., 2019. Cold thermal energy storage with low-temperature plate freezing of fish on offshore vessels. <https://doi.org/10.18462/iir.icr.2019.1168>

god kontakt mellom plater og produkt, og kan også gi utfordringer ved mekanisk deformasjon av fisk. Hvis vi tar utgangspunkt i en hvitfiskbedrift som i dag benytter tunnelfrysere, vil den spesifikke besparelsen ved overgang til platefrysere eller lakefrysere bety en **energibesparelse på ca. 40% (131 vs ~80 kWh/kg), hvis man ser isolert på innfrysingsprosessen**. Ekstrapolert for produsenter av frosne produkter og bruk av gjennomsnittsverdier (se Tabell 5) tilsvarer det en årlig besparelse fra 17 til 13,5 GWh.

For industrireke antas det at det i dag benyttes IQF-maskineri for innfrysing av reker. Lakefrysing er et alternativ som benyttes i andre land, og vil tillate rask, singelfrysing med et spesifikt energibruk som sannsynligvis ligger i den lave enden av 53- 80 kWh/tonn. Hvis vi antar at det i dag benyttes IQF utstyr til formålet, er det mulig å redusere det **spesifikke energibruket i innfrysinga fra 109 til 53 kWh/tonn – en prosess-spesifikk besparelse på over 50%**. I vår analyse tilføres det 23 000 tonn til fabrikkene, og med et antatt utbytte på ca. 40% så utgjør det en årlig energibesparelse på ca 0,5 GWh.

De fleste av verdiene i Tabell 8 er teoretisk beregnet, og tar utgangspunkt i 100% kapasitetsutnyttelse av utstyret. Det er ikke uvanlig at det er perioder med ujevn tilførsel av råstoff til de enkelte anlegg, som betyr at fryseri operer med redusert kapasitet, og dette påvirker også energibruken. Magnussen & Nordtvedt (2006)¹⁷ viser at den spesifikke energibruken for spiralfryser økes fra 109 til 160 kWh/tonn hvis fryseren bare utnyttes 50%, og tilsvarende vil det være for annet utstyr da det er en grunnlast (tilknyttet vifter eller pumper) som må dekkes uavhengig av fyllingsgrad. Dermed vil også god drift av fryseri og gode rutiner for innfrysing være et viktig energieffektiviseringstiltak, men vil selvsagt være begrenset på tilførsel av råstoff. For å illustrere dette har vi tatt utgangspunkt i metoden som beskrevet av Magnussen & Nordtvedt (2006)¹⁷, og beregnet økning i spesifikk energibruk ved tunnelfrysing og spiralfrysing ved redusert fyllingsgrad/utnyttelse av kapasitet (se appendiks A.1 for metode). Resultatene er plottet i Figur 16.



Figur 16: Effekt på spesifikk energibruk ved redusert fyllingsgrad/kapasitetsutnyttelse i frysetunnel og spiralfryser. Prosentene ved markørene viser relativ økning i spesifikk energibruk.

Beregningene viser at ved 80% fyllingsgrad, så øker den spesifikke energibruken med 11-13% sammenlignet ved full drift, og ved 40% fyllingsgrad har spesifikk energibruk økt med hele 65-80%. Gitt at man har en tunnelfryser med 20 tonn kapasitet, så vil innfrysing av 20 tonn kreve 2650 kWh ved innfrysing i én batch, eller 4061 kWh ved innfrysing i 2 batcher à 10 tonn. Det varierer nok i hvor stor grad det fryses inn med redusert kapasitet, og det vil nok være stor forskjell fra bedrift til bedrift. Store bedrifter, som kanskje også prosesserer lagerført frossent råstoff, har mye bedre forutsetninger for å legge opp til og planlegge jevn produksjon som inkluderer bedre kapasitetsutnyttelse av produksjonslinjene. Noen anlegg fryser inn for

andre produsenter, og har således også bedre forutsetninger for å fylle opp fryseriet. Et konservativt anslag er at fyllingsgraden i dag er gjennomsnittlig på 80%, og med mulighet for å øke til 95%. **Det vil si en energibesparelse på 7-9% i innfrysingsprosessen.** For bedrifter som produserer frosne hvitfiskprodukter tilsvarer det en årlig besparelse på ca. 0,7 GWh. Et slikt tiltak krever ingen investering, kun omlegging av rutiner, men krav til produksjonshastigheter og råstofftilførsel kan begrensede faktorer som er vanskelig å kontrollere.

3.3 Fryse- og kjølelager

En studie fra 2014 gjorde en gjennomgang av 38 frys- og kjølelager over hele Europa for å avdekke tiltak som kunne føre til energibesparelser²⁰, og fant ut at det var potensial for å redusere spesifikk energibruk med 8-72% og at majoriteten av tiltak hadde en tilbakebetalingstid på under 3 år. De problemområdene som gikk oftest igjen var for dårlig kapasitetsregulering av kompressorer og for høyt kondensasjonstrykk – adressert i tidligere avsnitt – men også avrimingsrutiner.

Avriming av fordampere på lager, spesielt fryseler, er viktig for at kuldeanlegget skal drives effektivt. Over tid så vil vandamp i luften kondensere på fordampere og fryse på overflaten, og dette er med på å redusere effektiviteten på flere måter: frostlaget er isolerende og hindrer optimal varmeoverføring, og tykk frost vil begrense luftstrømmen. Resultatet er økt energiforbruk siden systemet vil jobbe hardere for å levere kulde, f.eks ved redusert sugetrykk etc. Avrimingen avbøter dette, men bidrar også i seg selv en varmelast som systemet må håndtere. Derfor er det viktig å utføre avrimingen effektivt, f.eks vil avriming med varmgass typisk være mer energieffektiv enn elektrisk, men samtidig noe mer komplekst som betyr at det kan være vanskelig å etter-installere. Det kan også være vel så viktig med gode avrimingsrutiner. For fryse- og kjølelager er det også viktig med gode rutiner, f.eks. redusere døråpninger/bruk av klaffdører/luftgardiner og tetting av lekkasjer, for å unngå tilsig av fukt som er med på å øke avrimingsbehovet. Utstyr for avfuktning på lager kan også vurderes, men i et energiperspektiv må man balansere evt. besparelse for kuldeanlegget opp mot bruk i avfuktningssystemet. Frostdannelse er mer vanlig på fryseler enn på kjølelager pga. temperaturnivåer, som tilsier hyppigere avrimingsfrekvens. Fuktighet påvirker også dette, og f.eks. kjølelager for saltfisk kan vurdere hyppigere avrimingsfrekvenser for mer effektiv drift av systemene.

Det er praksis i rekeindustrien å lagre mottatt råstoff på fryseler i 3-4 måneder før prosessering, da erfaring viser at det kan være positivt for pilleutbytte. En tidligere kartlegging viste at temperaturen på lagrene lå rundt -24 til -28 °C i industrien. Et forsøk utført i prosjektet 'Teknologiutvikling i rekenæringen' (FHF 900703) viste at det var ingen klar sammenheng mellom fryseleringstemperaturen (testet på -20, -30 og -40 °C), tid på fryseler og pilleutbytte²¹. Tid på fryseler kan være vanskelig å styre av logistiske hensyn, men justering av temperaturen kan gi umiddelbar energibesparelse. Basert på beregninger med CoolPack²² vil man kunne øke COP²³ fra ca. 2,5 til 3,2 ved å heve sugetrykket fra -33 til -25 °C (tilsvarende -28 og -20 °C lufttemperatur), **som tilsvarer en relativ energibesparelse tilknyttet fryselerne på ca. 21%.**

3.4 Passiv og aktiv nedkjøling av fersk fangst

Under befaring ble det avdekket at bedriften tidligere hadde utfordringer der de måtte vrake en stor andel av det ferske råstoffet fordi kjølingen om bord leverende fiskebåt ikke var tilstrekkelig. Noen mottak løser dette ved ising eller issørpe/slurry, dvs. de tilsetter store mengder is sammen med fisken for å kjøle den ned,

²⁰ Evans, J.A., Hammond, E.C., Gigiel, A.J., Fostera, A.M., Reinholdt, L., Fikiin, K., Zilio, C., 2014. Assessment of methods to reduce the energy consumption of food cold stores. Applied Thermal Engineering 62, 697–705. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.10.023>

²¹ Lorentzen m.fl. (2014). Fryselering av reker (AP2). 5/2014, NOFIMA

²² CoolPack - IPU

²³ Parametre for beregning: 1-trinns ammoniakkanlegg, ingen underkjøling eller overheting, isentropisk virkningsgrad 70%

mens andre mottak bruker dedikerte løsninger, som egen RSW-rigg. Det krever mer energi å produsere is enn å kjøle ned vann, og det forbrukes gjerne mer is enn nødvendig i isingen, noe som gjør dedikerte, aktive kjølesystemer til både mer energieffektive og bedre for ivaretagelse av kvalitet. Aktiv kjøling tidlig i prosesseringen kan også redusere is-behovet (mengden is) ved ferskpakking av fisk. Hvis vi antar at fisk som blir levert med utilstrekkelig kjøling holder en temperatur på 8 °C, så bør denne temperaturen reduseres så raskt som mulig for å unngå forringelse. Hvis vi antar at fisken bør oppnå 2 °C innen 2 timer, så tilsvarer dette en varmelast på $Q = 1000\text{kg} \cdot \frac{3,8\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 6\text{K} = 7,5\text{ kWh}$ per tonn fisk, som er tilsvarende det latente varmeinnholdet i 81 kg is. Derimot er det vanlig å bruke større mengder, gjerne 30% ising, så det vil si 300 kg i dette eksempelet. Det går med ca. 15 kWh å produsere denne mengden is. Et normalt bra RSW-anlegg bør operere med en COP i området 3 til 5, og tidligere målinger viser at fisken utgjør ca. 85% av den totale varmelasten²⁴, som betyr at energibruken er i området 1,8-3 kWh, altså en **energibesparelse på 80-88%**. Det finnes kommersielt tilgjengelig RSW systemer med kapasitet til formålet med naturlige kuldemedier. En investeringskalkyle må også kvantifisere kostnaden ved ivaretatt fisk, primært, og evt. energibesparelser sekundært.

3.5 Tining av råstoff

Tining er et viktig steg i prosesseringen av både hvitfisk og industrireke. Sløyd og hodekappet blokkfrossen torsk utgjør ca. 50 % av råstoffet til klippfiskindustrien²⁵, samt det er kjent at en del av foredlingsindustrien også produserer på frossent råstoff. Den frosne fisken fryses vanligvis i blokker på 25 kg eller 50 kg. For å kunne bearbeide fisken videre, må den først tines. Ved tining er bevaring av produktkvaliteten høyeste prioritet. Produktkvaliteten påvirkes sterkt av temperaturen og tiden som kreves for opptining²⁶. Balansen er derfor å holde fisken så nær frysepunktet, helst nært 0°C eller ned mot -1°C med så utjevnet temperatur²⁷ som mulig og samtidig tilføres så mye energi som mulig for å tine fisken raskt²⁸. Av de ulike tinemetodene er tining gjennom nedsenking i vann den mest brukt (Ragnarsson et al. 2017, Haugland 2002²⁹, Archer et al. 2008), men det finnes også andre tineteknologier som kan være aktuelle (Se Figur 17).

²⁴ Svendsen, E.S., Schei, M., 2021. Energy measurements onboard pelagic purse seiner (Toktrapport No. 2021:00190). SINTEF.

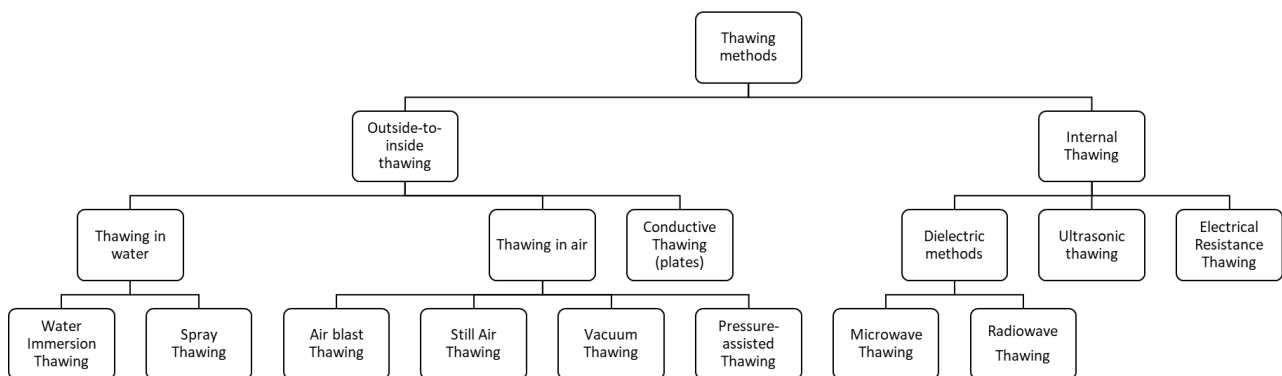
²⁵ Larssen, W.E., Barnung, T., Bjørkevoll, I., 2022: Lakefrysing av hvitfisk, <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901580/>

²⁶ Svendsen, E.S., Widell, K.N., Tveit G.M., Nordtvedt T.S., Uglem, S., Standal, I., Greiff, K., 2022: Industrial methods of freezing, thawing and subsequent chilled storage of whitefish, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110803>

²⁷ Magnussen, O.M. (2009). Tining av råstoff før flekking – forprosjekt. SINTEF Energiforskning AS rapport nr TR A6800.

²⁸ Ragnarsson, S.Ö., Viðarsson, J.R., 2017: Overview of available methods for thawing seafood, https://www.matis.is/media/afrakstur/Skyrsla_0417.pdf

²⁹ Haugland, A., 2002: Industrial thawing of fish: to improve quality, yield and capacity, <http://hdl.handle.net/11250/233393>



Figur 17: Klassifisering av tiningsmetoder, basert på Archer m.fl. (2008)³⁰, Svendsen m.fl. (2022) og Ragnarsson m.fl. (2017).

Det finnes ulike opptiningsstrategier som kan brukes, med ulike fordeler og ulemper og ulike teknologiske modenhetsnivåer. Teknologiene kan kategoriseres som vist i Archer et al. (2008) sammenlignet ulike tinemetoder med hensyn til investeringskostnader, energi- og vannforbruk og behovet for vedlikehold på en kvalitativ måte (lav til høy) og listet opp ytterligere fordeler og ulemper. Ut fra de typiske metodene som brukes i industrien, er energibehovet i vannsystemer høyere enn i luftsystemer. Indzere et al. (2020)³¹ brukte en multikriterieanalyse for å sammenligne ulike tineteknikker (dampbasert tining, mikrobølgetining, vanntining og luftblåsing). Der ble det tatt hensyn til energiforbruket på 75 kWh/t, 27,5 kWh/t og 8,46 kWh/t for henholdsvis mikrobølgetining, vanntining og lufttining; det ble også fastslått at lufttining er den minst energikrevende metoden.

Det er vanskelig å gjøre tineprosessen mer energieffektiv, ettersom den minimale energitilførselen er definert av den latente varmen (faseovergangsenergien). Energiforbruket ved de ulike tinemetodene varierer derfor bare på grunn av forskjellig ekstrautstyr. Bruk av lavtemperatur spillvarme kan imidlertid enkelt integreres i tineprosessen, og kan være en god match siden det er begrenset hvor høy temperatur man kan benytte i tineprosessen. Målet med tining er videre ikke å minimere energibehovet, men å opprettholde høy produktkvalitet: Produkttap/svinn på grunn av lavere kvalitet bidrar også til et høyere produktspesifikt energibehov. Tinemetoden velges derfor avhengig av det frosne utgangsproduktet og den ønskede produktkvaliteten.

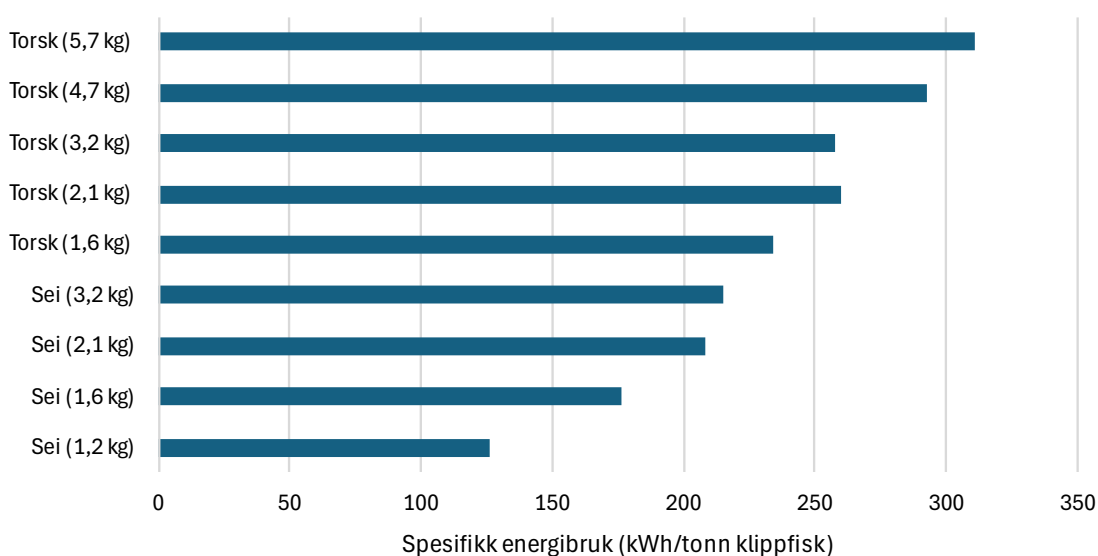
Hvis dagens utgangspunkt er å benytte oppvarmet vann der elkjele (eller gasskjele) har vært benyttet for å varme opp vannet, vil det være gunstig å vurdere gjenvinning av lavtemperatur spillvarme eller installasjon av varmepumpe. For de prosesser der det stilles temperaturkrav ved endt tining, som er relevant for både klippfisk- og fileteringsanlegg, vil tinesystemet også kreve kjøling. Det finnes integrerte løsninger som kan levere både varme og kulde med høy virkningsgrad. Det er vanskelig å tallfeste et potensial for optimal tining, og det vil være avhengig av produkt. Eksempelvis ser vi at energiforbruket er mye høyere ved mikrobølgetining enn for vanntining, men det kan være effekter som forbedret produksjonskapasitet, høyere utbytte eller mindre svinn, som vil slå inn på prosess-spesifikk energiforbruk målt per produsert enhet.

³⁰ Archer, M., Edmonds, M., George, M., 2008: Seafood thawing, <https://seafoodacademy.org/pdfs/SR598-thawing2.pdf>

³¹ Indzere, Z., Manzano Martinez, K.D., Bezrucko T., Khabdullina, Z., Veidenbergs, I., Blumberga, D., 2020: Energy Efficiency Improvement in Thawing, <https://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0068>

3.6 Driftoptimalisering av tørker

Som tidligere påpekt er tørking den mest energikrevende del-prosessen ved produksjon av klippfisk, og derfor er det viktig å undersøke løsninger og tiltak som kan bidra til å redusere energibehovet i dette trinnet. Energiforbruket pr kg produsert styres av blant annet type råstoff og størrelse som er eksterne faktorer, se Figur 18, mens type tørkeutstyr og prosesskontroll er interne faktorer man i større grad rår over. Når man vurderer tiltak for å optimalisere energibruken i tørkeprosessen er det viktig å balansere dette mot tørkingens formål - å sikre en prosess som ivaretar sluttproduktets kvalitet. I praksis vil det si at det setter begrensninger på temperaturnivået som kan benyttes (maks 26-27 °C for å unngå 'brenning'). Optimalisering av tørkeprosessen har vært et fokusområde i næringen over lengre tid, og noen betydningsfulle utviklinger som inkluderer overgangen til varmepumpe-tørker (regnes i dag som standard), samt utfasing av tverrblåste tørker. Dette avsnittet oppsummerer mye av arbeidet som har vært gjort på området tidligere.



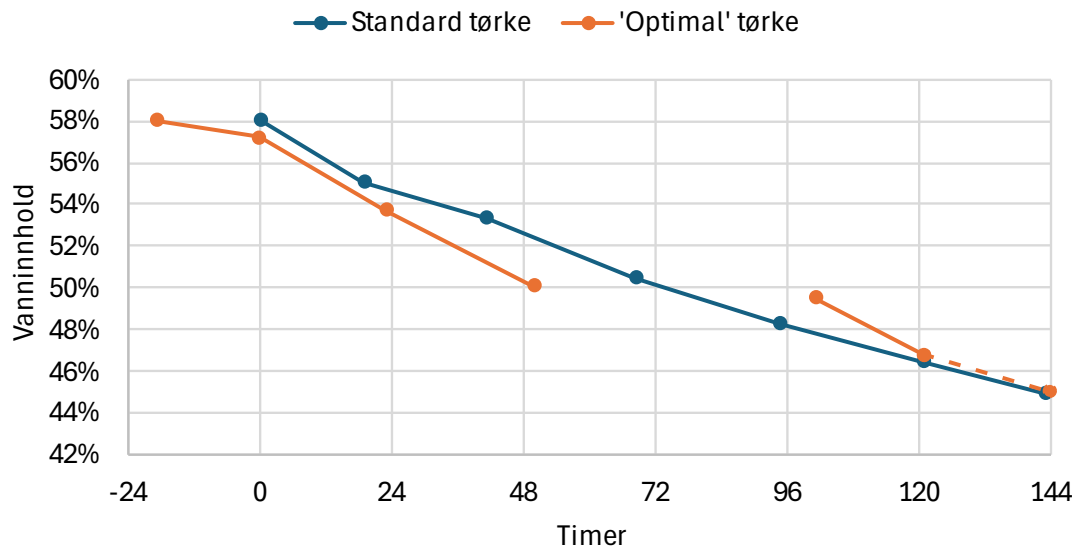
Figur 18: Spesifikk energibruk i klippfiskproduksjon, variasjon mellom torsk, sei og størrelser. Reprodusert fra FHF 900662 "Rasjonell klippfisktørking"³²

Det er mange ulike tørkeanlegg i industrien, og det ble gjort en kartlegging av 23 av disse i 2015. Disse ble delt inn i 4 hovedkategorier, to typer tunneltørker og to typer kammertørker. Etter vår forståelse er det i dag flest tunneltørker igjen. Det finnes langblåste tunneler der all luft behandles i varmepumpe, med en luftstrøm på 100-150 000 m³/timen (1,2-3,5 m/s mellom brett) og kapasitet på 100-140 vogner. En annen utgave er langblåst tunnel med der en del av luftstrømmen by-passes og behandles av et varmepumpeaggregat. Begge modeller er semi-kontinuerlige, det vil si at traller med våt fisk mates inn i en ende av tørketunnelen en eller to ganger i døgnet, og ferdig tørket fisk hentes tilsvarende ut i den andre. Det eksisterer også flerkammers-løsning med varmepumpeaggregat og absorber i bypass som fungerer som 'en slags tunnel', det vil si at luft fra et kammer tilføres neste, men det er uvisst om slike anlegg fortsatt er i drift i dag.

Det er noe ulike forutsetninger for optimalisering avhengig av type tørke, men det er noen identifiserte fellesområder som er: regulering av lufthastighet (viktig for både drift av varmepumpe og reduksjon i vifteeffekt), øke oppfuktning for å gi varmepumpe bedre driftsvilkår, fokusere på fyllingsgrad (jevn fylling, både i tid og mengde), tilpasse tunnelstørrelser til varmepumpesystem og utnyttelse av overskuddsvarme.

³² Funn fra «Rasjonell klippfiskproduksjon», FHF 900662. [Rasjonell klippfiskproduksjon](#)

Fra tidligere har det også vært fokus på reduksjon av falskluft, og endring i tørkerutiner, dvs. temperering og avfuktning før tørking, hvile midt i tørkeperioden og dedikert slutt-tørke.



Figur 19: Ulike tørkemotoder, torsk 1.9-2.5 kg, tid og vanninnhold. Reprodusert fra Indergård m.fl (2014)³³

Figur 19 viser en 'standard' tørkekurve for torsk (1,9-2,5 kg) i blå kurve, og en «optimal» tørkeprosess i den oransje kurven. Med optimal her menes det at det utføres både temperering og avfuktning i forkant av tilførsel i tørka, og det gjennomføres en hvileperiode ca. midt i tørkeperioden. Den blå kurven viser her at det tar 6 døgn å senke vanninnholdet fra 58% til ca. 45%, og hele perioden foregår i tørka. Før saltfisk settes inn i tørka er det vanlig å skylle denne med kaldt vann, og mye av dette vannet vil binde seg i overflaten av fisken. Når denne fisken tilføres tørka utgjør dette vannet en ekstra belastning, både pga. mye ekstra vann som må tørkes, men også i form av temperaturøkning. Tidligere forsøk har vist at ved å la trallene stå til avrenning og temperering i 1 døgn i forkant av tørkingen, så vil man redusere oppholdstid i tørka med nesten 1 døgn. Avrenning foregår uten bruk av energi (men krever plass), og redusert oppholdstid i tørka betyr mindre energibruk, men også muligheten for å øke produksjonskapasiteten³³.

I starten av tørkeprosessen vil det være en relativt høy tørkehastighet, men denne avtar etter hvert som det dannes en tørr overflate på fisken og det er den 'indre' vannttransporten i fisken som er begrensende. Det vil si at det ikke hjelper å f.eks. øke lufthastighet over fisken. Ideen med mellomlagring er å ta ut fisken og la den utjevne seg i 1-3 døgn før den tilføres tilbake i tørka. Resultatet er at den siste tørkeperioden går raskere, som vist i den oransje kurven, samtidig som det frigjør plass og øker produksjonskapasiteten i tørken. Det ble poengtert av Indergård m.fl. (2015)³³ at noen produsenter gjør dette ved å ta ut fisk, stable på pall og legge på kjølelager. Dette er en manuelt krevende arbeidsoppgave, og undersøkelser viste at det ikke var vesentlig forskjell på tørkehastighet om fisken mellomlagres kald eller ikke. Derimot ble det testet mellomlagring på vogn i produksjonshall, inkl. fysisk knekking av fisk, og dette resulterte i en mye mindre arbeidskrevende prosess som ga vesentlig letning av fisken under mellomlagring. Mellomlagring alene reduserer slutt-tørketid med 1,5 døgn, mens med knekking av slakkfisk økes reduksjonen til 2 døgn.

³³ Indergård, E., 2015. Rasjonell klippfisketørking - oppsummeringsrapport. TR A7499, SINTEF Energi.

I sum så kan altså «optimal» tørkeprosess, det vil si å tillate en avrenningsperiode før tilførsel i tunnel, samt en mellomlagring, redusere den totale oppholdstiden i tunnel fra 6 til 4 døgn. **Dette betyr også at kapasiteten går opp, og den prosess-spesifikke energibruken går tilsvarende ned med ca. 33%.** Denne metoden er ikke egnet for små ryggsei, men vil egne seg for større torsk der redusert tørkehastighet er en utfordring.

I den siste fasen av tørkingen er tørkehastigheten så sterkt redusert at det er veldig lite vann som hentes ut i forhold til energien man tilfører prosessen. Øking av lufthastighet eller temperatur har svært liten betydning for å øke tørkehastigheten i denne perioden. Det har blitt foreslått å gjennomføre slutt-tørkingen på vogner utenfor tunnelen, noe som kan ytterligere spare 1 døgn i tunnelen (vist som stiplet linje i Figur 16), som igjen betyr økt kapasitet og mindre energibruk pr kg produsert. Tidligere målinger har vist at det siste døgnet i tunnelen kan erstattes med 2 døgn med sluttørking av fisken i produksjonshall der luftfuktigheten var 60-70% med luftutskiftning. I tillegg har det blitt foreslått å lage dedikerte slutt-tørkelager, der varme gjenvinnes fra varmpumpetørka og benyttes til å varme opp uteluft som tilføres lageret. En stor barriere når det kommer til både avrenning, mellomlagring og sluttørke er at det krever mye areal for å gjennomføres, som kan være utfordrende i dagens anlegg.

Av annen optimalisering er det som nevnt foreslått å regulere vifte hastighet. Det er energikrevende å drive viftene, og selv om det påvirker tørkehastigheten i starten er effekten av dette avtakende underveis i tørkinga. Videre handler det om å sørge for at varmpumpen jobber under de driftsforhold den er dimensjonert for. Dette betyr at varmpumpen er avhengig av en viss differanse i relativ luftfuktighet (luft inn og ut), og når denne differansen synker jobber varmpumpa mindre effektivt. Dette påvirker pumpas COP, som betyr at det koster mer energi å drive prosessen. I en kontinuerlig tunnel vil dette i utgangspunktet ikke være en utfordring, men i semi-kontinuerlige tunneler hvor det tilføres en ny reol f.eks 1 gang om dagen, vil varmpumpe typisk drives mest effektivt rett etter tilførsel. Virkningsgraden vil synke etter hvert som all fisken tørkes. Hvis man tilpasser produksjonen slik at det tilføres 2 ganger for dag vil man sørge for mer fukt i lufta og en bedre COP for varmpumpa.

Tidligere prosjekter har vist at falskluft i tørketunneler påvirker energibruken negativt³⁴. Med falskluft menes det luft som sirkulerer over eller mellom vognene med fisk og dermed ikke bidrar i tørkingen, og det pekes på 2 hovedårsaker: feil design av tunnel i forhold til vogn-bredden, og for liten avstand mellom brettene på vognene som skaper et stort trykkfall. I eldre tunneler (langblåste) har det blitt målt opp mot så mye som 50% falskluft. **Ved å redusere denne gjennom å øke avstand mellom brettene på trallene, samt ta ut fisken tidligere for å sluttørke på dedikert lager, vil kapasiteten kunne økes med 30-50% og redusere energiforbruket til under 100 kWh/tonn ferdig tørket klippfisk, ifølge Magnussen m.fl (2010)³⁴.**

Industrielle målinger viser at tørking av klippfisk krever en spesifikk energi på mellom 126 og 311 kWh/tonn ferdig tørket klippfisk, og det er oppholdstid i tørka (som igjen er funksjon av størrelse) som påvirker energiforbruket. De beskrevne tiltakene i dette avsnittet er hovedsakelig mest aktuelt for torsk av moderat og stor størrelse, dvs. tørking av små ryggsei allerede er relativt energieffektivt. Samtidig vil de ulike anleggene ha ulike forutsetninger for å optimalisere driften, i stor grad begrenset av tilgjengelig areal for avrenning, mellomlagring og sluttørke, men også type teknologi. De beskrevne tiltakene viser til en prosess-spesifikk reduksjon i tørkinga på 33%, og reduksjon ned til 100 kWh/tonn. For å anslå potensialet for sektoren, er det gjort følgende antagelser: all klippfisk som i dag tørkes i 5 eller flere dager, har et potensial til å redusere oppholdstid i tunnel med 1-2 dager (4 dager minimum) ved implementering av 1 eller flere av de beskrevne tiltakene i dette avsnittet. Det forutsetter også at kapasiteten opprettholdes (høy fyllingsgrad).

³⁴ Magnussen, O.M., Indergård, E., Gullsvåg, P.E., 2010. Sluttørking av klippfisk - Kapasitetsutnyttelse i tørketunneler og sluttørking i lager (No. TR A6918).

Beregningene er utført ved å se på industrielle målinger fra tidligere forsøk, og regnet om til nytt prosess-spesifikt energiforbruk for de aktuelle produktene. Vektfaktorene er basert på eksportandeler (sei, torsk) for 2022, og resultatene er oppsummert i Tabell 9. Tabellen viser at vårt anslag for prosess-spesifikk energibesparelse i tørkinga med 14%. Med utgangspunkt i en produksjon på ca. 84 000 tonn i 2022, **utgjør dette en besparelse på nesten 3 GWh.**

Tabell 9: Potensial for energieffektivisering i tørking av klippfisk. Før-tall er hentet fra industrielle målinger utført i «Rasjonell klippfisktørking»³².

Fisk	Snittvekt (kg)	Dager i tørka		Vekting	Spesifikk energibruk (kWh/tonn)	
		Før	Etter		Før (målt)	Etter
Ryggsei	1,2	2	2	9%	126	126
Sei	1,6	3	3	22%	176	176
Sei	2,1	4	4	22%	208	208
Sei	3,2	5	4	9%	215	172
Torsk	1,6	4	4	4%	234	234
Torsk	2,1	5	4	4%	260	208
Torsk	3,2	6	4	13%	258	172
Torsk	4,7	7	5	13%	293	209
Torsk	5,9	8	6	4%	311	233
Vektet snitt					219	187
Samlet besparelse						-14%

3.7 Høy-temperatur varmpumpe for koking av industrireker

Dette energieffektiviseringstiltaket er basert på et pågående pilotprosjekt, kalt SPIRIT for varmegjenvinning og oppgradering med høytemperatur varmpumper på industrirekeanlegget til Stella Polaris.³⁵ I anlegget kreves store mengder damp for å koke rekene, noe som fram til 2024 ble gjort med en propanfyrt kjel.

Varmepumpesystemet er installert i en kaskade med to trinn:

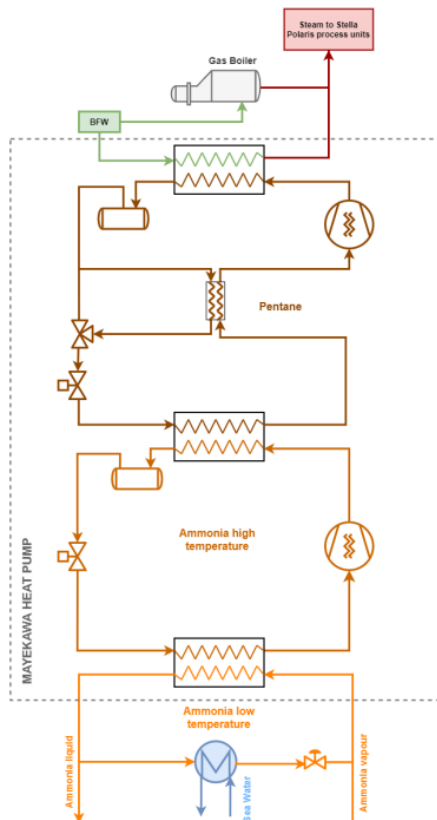
- Buntrinnet er en fullt kommersiell NH₃ varmpumpe med stempelkompressorer som utnytter kondensasjonsvarmen fra et NH₃ kuldeanlegg, tilgjengelig på ca. 21 °C. Denne leverer varme på 82 °C til topptrinnet.
- Topptrinnet som nå er i ferd med å utvikles og installeres er en høytemperatur varmpumpe basert på pentan (R-601) som arbeidsmedium og skruekompressor med slide-valve kontroll. Denne skal levere damp på 4 bara, 150 °C og har en ytelse på 717 kW. Dette er en av de første pilotanleggene for høytemperatur varmpumper basert på pentan.

Figur 20 viser en prinsippskisse for hele kaskadesystemet. I testene som er gjennomført for toppsyklusen er det så langt oppnådd en COP på 2.4 ved driftsbetingelser, nærmest referansepunkt (T levert: 140 °C, T kilde: 91 °C) Resultert Carnotvirkningsgrad ble 29%, som er noe lavere enn det som typisk forventes (40-60%) og skyldes dårlig volumetrisk virkningsgrad. Ved starten av 2024 var det planlagt å gjennomføre nye tester med redesignede rotor for å se om denne kan øke.³⁶ Forventet COP for hele systemet er 1.8, noe som gir en

³⁵ <https://spirit-heat.eu/technologies/high-temperature-heat-pump-by-mayekawa/>

³⁶ De Vries, Smeding, Otero, Verplancke, Spoelstra. Demonstration of a full-scale industrial heat pump producing steam above 140 °C. HTHP Symposium 2024

energibesparelse på 44%.³⁷ Et forventet resultat når det totale temperaturløftet er på hele 120°C. Som en del av prosjektet har Stella Polaris også gått til innkjøp av en mer effektiv elektrisk rekekoker, med 68% lavere energiforbruk for samme mengde produkt.³⁸ Disse to tiltakene fører til at det samlede energiforbruket er forventet til synker til $(1-0.44) * (1-0.68) = 18\%$ av opprinnelig, altså 82% energibesparelse totalt for kokeprosessen.



Figur 20: Høytemperatur-varmepumpe system i kaskade for å utnytte overskuddsvarme fra kuldeanlegg til damp for koking av reker, basert på pentan og ammoniakk

Kartlegging av energibruken hos Stella Polaris viser et årlig forbruk på rundt 13-145 GWh, hvor 60% av energien kommer fra propan. Ved å bytte ut propanfyrt kjele (virkningsgrad 90%) med den beskrevne HTHP-løsningen kan bedriften redusere energibruken med 50%, som tilsvarer en årlig besparelse på 4,2 GWh, da uten å inkludere effekten av ny rekekoker.

3.8 Varmegjenvinning – kilder og bruksområder

Innenfor både hvitfisk og rekesektoren kreves store mengder energi for å dekke kuldebehov eksempelvis knyttet til innfrysning, isproduksjon og til RSW-kjøling. Industrielle kjøle- og kuldeanlegg som benyttes for å dekke disse behovene, produserer dermed store mengder spillvarme som er potensielle kilder til varmegjenvinning som kan enten kan dekke eksisterende lavtemperatur varmebehov direkte, eller indirekte gjennom å oppgradere spillvarmen med en varmepumpe for å dekke behov på høyere temperaturer.

³⁷ Rordriguez, Verplancke, Rauø, Kumari, Ramirez, Spoelstra. SPIRIT demo case I: Full-scale on-site demonstration of a cascade industrial heat pump producing steam at 145°C. HTHP Symposium 2024

³⁸ https://spirit-heat.eu/demo_sites/shrimp-processing/

Avhengig av sektor er det litt ulike typer varmebehov som skal dekkes. I hvitfisk-sektoren kan det virke begrenset med varmebehov, sett i forhold til kuldebehovet og dermed spillvarmepotensial. Med bakgrunn i Figur 13, så utgjør varmebehovet til elektrokjel for de anleggene som er analysert i kun overkant av 20% av kuldeanleggets kompressor-strømforbruk. I rekesektoren er det et høyt varmebehov knyttet til koking, og i tilfellet for Stella polaris kreves også varme til mølletørking. Et nytt pilotkonsept for høy-temperatur varmepumper som skal produsere damp til rekekoking hos Stella Polaris er beskrevet i delkapittel 3.7.

Tabell 10 viser ulike varmebehov og temperaturkrav sammenlignet mot potensielle spillvarmekilder som kan benyttes til å dekke disse direkte eller indirekte gjennom varmepumpeoppgradering. Merk at selv om en spillvarmekilde har en temperatur som ligger over temperaturen til varmebehovet, betyr ikke dette at den i praksis dermed kan benyttes til som direkte oppvarmingskilde. Pga. temperaturløstap som følge av varmeveksling i ett eller flere trinn, varmetap i rør, og andre praktiske forhold vil dette kunne medføre at temperaturen på varmekilden må være 5-25°C over temperaturen til varmebehovet for at brukes direkte. Pga. store anleggsvariasjoner og mangel på data er det vanskelig å tallfeste konkrete varmebehov. I videre regneeksempler er derfor typisk energibesparelse for et spesifikt varmebehov angitt i prosent sammenlignet med elektrokjel med 100% virkningsgrad.

Tabell 10: Eksempel på type varmebehov, varmekilder og temperaturer

Varmebehov	Temperatur [°C]	Varmekilde	Temperatur [°C]
Vaskevann (CIP)	70-95	Kuldeanlegg	
Tappevann ³⁹	60-70	- Kondensasjonsvarme	20-30
Tørking av klippfisk	20-25	- Overhettingsvarme	60-80
Romoppvarming (prosess- og kontorbygg)		- Oljekjøler	60-80
- Radiatorer	55-80	Luftkompressorer (oljekjøling) ⁴⁰	60-90
- Gulvvarme	30-40	Avtrekksluft	20
- Ventilasjonsluft ⁴¹	20		
Tining av råstoff ⁴²			
- i luft	10-20		
- i vann	5-10		

3.8.1 Oppvarming av varmtvann med CO₂ varmepumper

Transkritiske CO₂-varmepumper er hyppig brukt som oppvarmingsløsning når kaldt nettvann skal oppvarmes til tappevann, CIP (vaskevann) eller varmtvann for andre prosesser. Årsaken er at den høye temperaturglidningen på vannet vil være en dårligere match med tradisjonelle varmepumper som opererer innenfor kritisk trykk og temperatur og dermed avgir hoveddelen av varmen gjennom kondensasjon ved konstant temperatur. Det fører til store temperaturløstap mellom det kondenserende mediet og vannet som skal varmes opp, og dermed redusert COP og energibesparelse. En transkritisk CO₂-varmepumpe avgir varme ved at CO₂-gassen avkjøles med glidende temperatur i en gasskjøler. Dermed skjer varmeoverføringen med

³⁹ <https://www.fjernvarme.no/fakta/veileder-legionellasikring>

⁴⁰ Broniszewski, M., Werle, S. 2018. The study on heat recovery from air compressors. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20187003001>

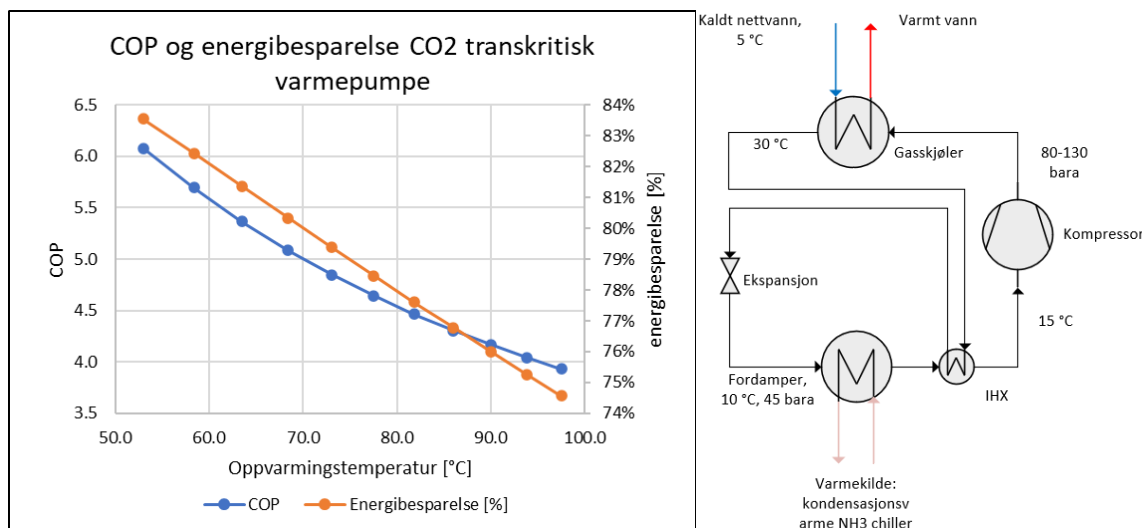
⁴¹ Stene, Andresen. 2024. Simulering av CO₂- varmepumpe til oppvarming og klimakjøling av kontorbygg – Case-studium Bygdøy Allé 23

⁴² Ragnarsson, S.Ö., Viðarsson, J.R., 2017: Overview of available methods for thawing seafood, https://www.matis.is/media/afrakstur/Skyrsla_0417.pdf

lavere temperaturdifferanser. Det finnes i dag en rekke CO₂-varmepumper i ulike størrelser som leverer varmtvann opp mot 95 °C.⁴³ For å oppnå god COP så er det viktig at utløpstemperaturen fra gasskjøleren er så lav som mulig.⁴⁴ Fordeler ved bruk av CO₂ som kuldemedium er at det verken er giftig (ved lave konsentrasjoner) eller brennbart. På grunn av høy volumetrisk varmeytelse kan det også bygges kompakte anlegg.

3.8.1.1 Regneeksempel på energibesparelse med CO₂ varmepumper med innsatsvarme fra NH₃ kuldeanlegg

Figur 21 viser oppnådd COP og energibesparelse for en ett-trinns transkritisk CO₂ varmepumpe med intern varmeveksler (IHX), samt en prinsippskisse av systemet. Med en fordampningstemperatur på 10°C, er den i prinsippet godt egnet til å utnytte kondensasjonsvarme på ca. 20°C fra et NH₃ kuldeanlegg. Kompressorens utløpstrykk- og temperaturer er på hhv. 80-130 bara, og 63-107°C. 75 % isentropisk virkningsgrad er antatt. Ved å anslå en temperaturdifferanse på 10°C mellom gasskjøler innløpstemperatur og utløpstemperatur på vannet som skal oppvarmes, kan varmepumpa levere varmtvann på temperaturer på 58-95 °C. Avhengig temperaturbehov oppnås **COP verdier på 3.9-6.1, og energibesparelser på 75-84%**, sammenlignet med bruk av elektrokjel.



Figur 21: CO₂-transkritisk varmepumpe, Venstre: COP og energibesparelse, høyre: Prinsippskisse

3.8.2 Oppvarming av varmtvann direkte fra kuldeanlegget

Bruk av enkelte kuldemedium, og da særlig ammoniakk (NH₃), fører i utgangspunktet til svært høye trykkgasstemperaturer ut av kompressoren. Denne overhettingsvarmen kan utnyttes til oppvarming av varmtvann både fra oljekjøleren, som bidrar til å senke trykkgasstemperaturen betraktelig og en egen overhettingsvarmeveksler i forkant av kondenseren.

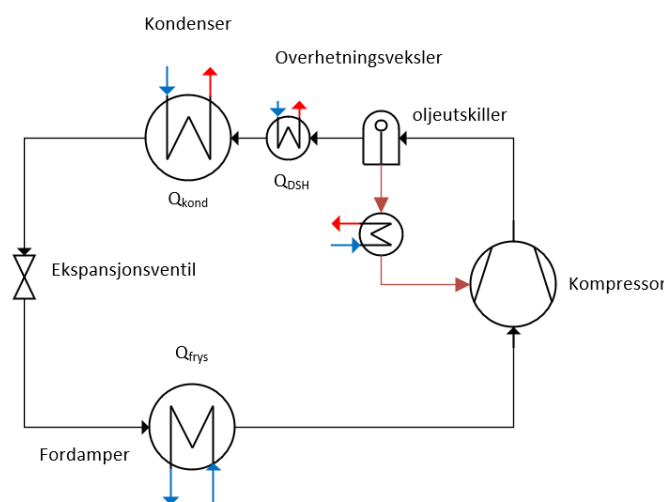
Figur 22 viser en prinsippskisse for et kuldeanlegg og de ulike energikildene som kan utnyttes. Energien fra overhettingsvarmeveksleren og oljekjøleren, som kjøler ned olje fra ca. 60-80°C, utnyttes allerede i dag i en del anlegg til romoppvarming eller forvarming av tappevann.⁴⁵ For ammoniakkanlegg, så finnes det

⁴³ Benjamin Zühlsdorf et al. 2023. IEA HPT Annex 58: High-Temperature Heat Pumps. Task 1 Report: Technologies. Heat Pump Centre. <https://heatpumpingtechnologies.org>.

⁴⁴ Stene, J. 2004. Residential CO₂ Heat Pump System for Combined Space Heating and Hot Water Heating. NTNU, 1503-8181; 2004:53

⁴⁵ Widell, K. N., Nordtvedt, T. S., Stavset, O. 2014 Nøkkeltall for kuldeanlegg i pelagisk industri

kommersielle gjenvinningssystemer i dag som kan levere varmtvann på 60 °C fra slike vekslere.^{46,47} Erfaringstall fra anlegg i industrien⁴⁸ og intervjuer gjennomført med industriaktører i dette prosjektet kan tyde på at temperaturen slike gjenvinningssystem leverer i praksis er noe lavere, ca. 40°C. Dette kan skyldes at kuldeanleggene er av en eldre type. State-of the art ammoniakk varmepumper kan nå levere varmtvann på 95 °C⁴⁹. Slike systemer vil nødvendigvis ha trykkgasstemperaturer langt over 100 °C, og det kan kanskje etter hvert forventes at også kommersielle kuldeanlegg med varmegjenvinning også håndterer trykkgasstemperaturer på lignende temperaturer, og dermed muliggjør direkte varmtvannsproduksjon på temperaturer langt over det som gjøres i dag. Sammenlignet med varmepotensialet fra overhettingsvarmevekslere og oljekjøleren er kondensasjonsvarmen er den klart største, men pga. begrenset temperatur er potensialet til direkte utnyttelse begrenset. Avhengig av kondensasjonstemperaturen vil så er mulige anvendelser for direkte utnyttelse romoppvarming (ventilasjonsluft) og tining av råstoffer. Derimot så er kondensasjonsvarmen godt egnet som innsattsvarme til en varmepumpe for dekke varmebehov på høyere temperaturer.



Figur 22: Prinsippkisse med mulig energikilder fra NH₃ kuldeanlegg

3.8.2.1 Regneeksempel på energibesparelse fra overhettingsvarme og oljekjøling fra NH₃ kuldeanlegg

I dette regneeksempel er det sett på et enkelt ett-trinns NH₃ kuldeanlegg med fordampningstemperatur på -30°C, og kondensasjonstemperatur som varierer mellom 20-30°C, og som leverer en kuldeytelse på 1000 kW. For kompressoren er det antatt isentropisk virkningsgrad på 75%, ingen varmetap og en trykkgasstemperatur på 100 °C før overhettingsvarmeveksleren som følge av oljekjøling. Det medfører følgende varmepotensial fra de ulike kildene som vist i Tabell 11. Overhettingsvarmeveksleren og oljekjøleren står for rundt 10% av energipotensialet hver, mens kondenseren står for mellom 70-80%. Ved økende kondensasjonstemperatur så øker kjølebehovet fra oljekjøleren drastisk pga. økt trykkgasstemperatur og dermed også andelen ift. andre varmekilder.

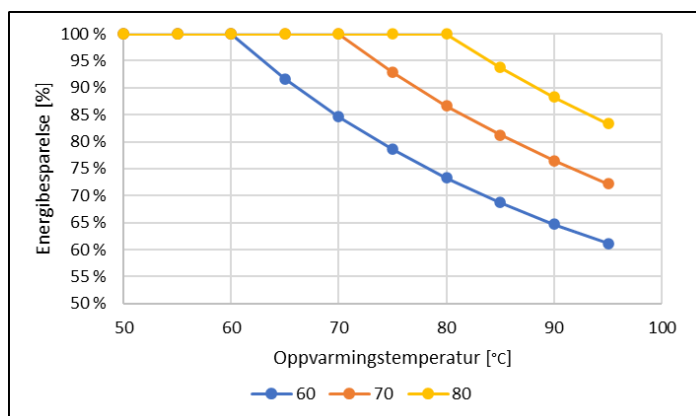
Tabell 11: Varmemengder fra kuldeanlegg med kuldeytelse på 1000 kW ved ulike kondensasjonstemperaturer

			Temperatur kondenser [°C]
<p>⁴⁶ Chiller GEA Grasso FX GC. 2023. https://www.gea.com/en/assets/169432/</p> <p>⁴⁷ Heat recovery from chilled water systems. 2022. https://www.sharedocs.com/hvac/docs/1001/Public/OA/04-581025-01.pdf</p> <p>⁴⁸ Energy flow analysis of an industrial ammonia refrigeration system and potential for a cold thermal energy storage</p> <p>⁴⁹ GEA trade press release. 2024. https://www.gea.com/en/news/trade-press/2024/chillventa-gea-grasso-l-xhp/</p>			
Prosjektnummer 302007809	Rapportnummer 2025:00041	Versjon V3.0	36

	20	25	30
Q fordamper [kW]	1000	1000	1000
Q kondenser [kW]	1050	1054	1058
Q overhettingsveksler [kW]	184	181	178
Q oljekjøler	105	146	189
P kompressor [kW] (75 % isentropisk virkningsgrad, 15% varmetap)	339	381	425
Andel varme fra kondenser [%]	78 %	76 %	74 %
Andel varme fra overhettingsvarmeveksler[%]	14 %	13 %	12 %
Andel varme fra oljekjøler	8 %	11 %	13 %

Fra Tabell 11 ser vi også at summen av overhettingsvarmen og oljekjøling er ganske nært kompressorens effektbehov. Med bakgrunn i at oppvarmingsbehovet til elektrokjel for de anleggene som var analysert i hvitfisksektoren kun utgjorde i overkant av 20 % av kompressorens strømforbruk (se Figur 13) betyr det at det for disse anleggene i det bør være nok varme tilgjengelig fra disse kildene til å dekke dette behovet, og at varmegjenvinning er et tiltak som bør vurderes til oppvarming av varmtvann.

Figur 23 viser energibesparelsen som oppnås dersom varmen fra oljekjøler og overhettingsvarmeveksleren helt eller delvis kan brukes til å dekke varmtvann som skal varmes fra 5°C til 50-95°C. Det er antatt at vanntemperaturen som leveres fra disse vekslerne er 60, 70 eller 80 °C. En elektrokjel må dermed stå for evt. resterende oppvarmingsbehov. For et nytt kuldeanlegg som kan levere varmtvann på 60°C vil **energibesparelsen kunne være ca. 60-100%** avhengig av det endelige temperaturbehovet på varmtvannet.



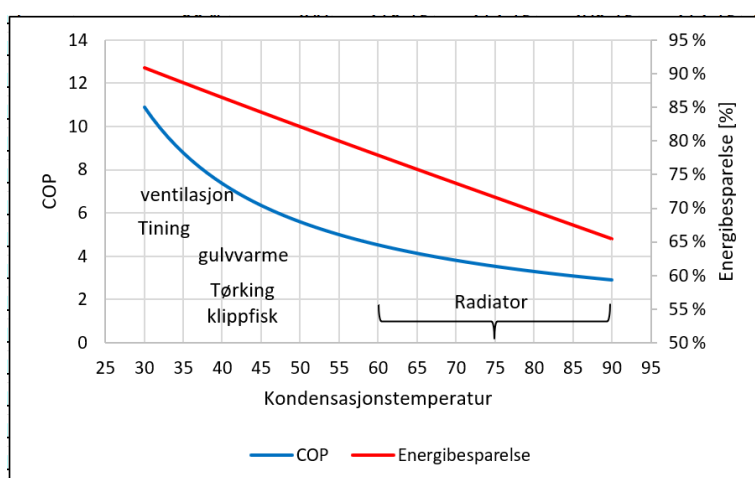
Figur 23: Energibesparelse ved utnyttelse varme på 60, 70 og 80 °C fra overhettingsvarmeveksler og eller oljekjøler for ulike oppvarmingstemperaturbehov

3.8.3 Annen oppvarming med varmepumper

Ved romoppvarming av bygg, via f.eks. gulvvarme, radiatorer, ventilasjonssystem, eller andre oppvarmingsbehov som ikke har store temperaturredifferanser mellom tur- og returtemperatur, vil det være hensiktsmessig å ta i bruk en tradisjonell varmepumpe hvor varmeavgivningen hovedsakelig skjer gjennom kondensasjon. Bruk av klimavennlige naturlige kuldemedier som hydrokarboner (f.eks. R290 – propan) eller ammoniakk er relativt utbredt i industrier og større kontorbygg. Syntetiske kuldemedier er også mye utbredt, men det er viktig å være klar over at EU stadig skjerper F-gass reglene med hensyn til klimaeffekt. Den nyeste reguleringen (2024/573) forbyr i stor grad F-gasser med GWP verdier høyere enn 150 i monoblokk varmepumper opp til 50 kW fra 2027.⁵⁰

⁵⁰ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202400573

Figur 24 viser et eksempel på hva slags COP og energibesparelser som kan oppnås når en varmepumpe som utnytter kondensasjonsvarmen fra et kuldeanlegg tas i bruk for å dekke ulike oppvarmingsformål som erstatning for direkte elektrisk oppvarming eller elektrokjel. I eksempelet er det antatt en enkel ett-trinns NH₃ varmepumpe med fordampningstemperatur på 10 °C, kompressor med isentropisk virkningsgrad på 75%, og som underkjøles 10°C etter kondenser. **Ved tørking av klippfisk anslås energibesparelspotensialet til å være ca. 85%. Ved tining i luft anslås potensialet til å være opp mot 90%.** Romoppvarming med varmepumpe kan gi en energibesparelse på mellom 65-88%. Dersom det er aktuelt å investere i en varmepumpe for å dekke store byggoppvarmingsbehov, bør derfor også selve oppvarmingsløsningen i bygget vurderes å byttes ut dersom det er mulig. Det er stor forskjell på energibesparelsen som oppnås om varmepumpe skal levere varme til gulvvarme eller til radiatorer. Dersom varmepumpa skal håndtere ulike typer varmebehov, f.eks. ved å dekke mindre behov på lavere temperaturer som kan dekkes ved å øke graden av underkjøling etter kondenseren vil dette bidra til økt COP og energibesparelse.



Figur 24: Eksempel på COP og energibesparelse oppnådd for ulike oppvarmingsformål ved bruk av NH₃ varmepumpe sammenlignet med direkte elektrisk oppvarming

3.9 Generelle tiltak og teknologier

I dette kapitlet presenteres generelle tiltak og teknologier som kan øke energieffektiviteten i sjømatnæringen. Energieffektivitet er underforstått som forholdet mellom energi som tilføres og verdien av det som produseres, i dette tilfellet produkter fra sjømatproduksjon. En viktig målparameter er energiforbruk per produsert enhet, eller spesifikk energibruk, ofte målt i kWh per tonn. Dette gir et konkret sammenligningsgrunnlag som kan brukes til å vurdere ulike produksjonsprosesser og identifisere forbedringsområder. Økt energieffektivitet bidrar ikke bare til bærekraft gjennom redusert energiforbruk og lavere klimautslipp, men gir også økonomiske fordeler gjennom å redusere energikostnadene. I dette kapitlet belyses noen generelle tiltak som er aktuelle på tvers i sjømatnæringen, og for å strukturere tiltakene er de delt inn i følgende hovedkategorier:

- **Termiske tiltak:** Disse fokuserer på varme- og kjøleprosesser, som oppvarming av vann til koking, kjøling eller innfrysing av sjømat for lagring og transport. Dette er prosesser som typisk er de største energiforbrukerne i næringen.
- **Mekaniske tiltak:** Disse omhandler prosesser som krever bevegelsesenergi, for eksempel drift av pumper, motorer og transportbånd

- **Andre tiltak:** Dette omfatter løsninger som ikke faller inn under termiske eller mekaniske prosesser, f.eks optimalisering av energistyringssystemer eller bruk av fornybare energikilder

3.9.1 Vit hvor energistrømmene dine flyter

Effektive energitiltak i tekniske anlegg krever en helhetlig og systematisk tilnærming for å redusere energiforbruket og optimalisere driften. Etablering av energiledelse er en grunnleggende forutsetning for langsiktig og målrettet arbeid med energieffektivisering. Systematisk energioppfølging er et viktig verktøy for å overvåke energibruken. Regelmessig registrering, analyse og rapportering av energiforbruk gir økt kunnskap, rask identifikasjon av feil og bedre kontroll over driften. Slik oppfølging kan også dokumentere effekten av energieffektiviseringstiltak og gjør videre forbedringer lettere. For å oppnå nøyaktig kontroll over energiforbruket er det nødvendig å utarbeide en målerstruktur som dekker alle relevante energilaster. Energimålere kan installeres på kritiske komponenter som ventilasjonsanlegg, kulde-anlegger, varmepumper, trykkluftskompressorer, elektriske kjeler, osv. Data fra målerne kan brukes til å analysere energiforbruket og identifisere potensielle forbedringer. Overvåking av drifts- og inneklimateparametere er en annen viktig faktor for energieffektivisering og henger tett sammen med målerstrukturen. Smart sensorer kan brukes til kontinuerlig måling av faktorer som temperatur, luftfuktighet og CO₂-nivå. Disse dataene gjør det mulig å optimalisere ventilasjon og andre tekniske systemer, samtidig som energitap og unødvendige kostnader reduseres.

En helhetlig kartlegging av energiflyt i anlegget er også viktig. Dette innebærer en vurdering av hvordan energi tilføres, brukes, gjenvinnes og eventuelt sløses. Formålet er å sikre at energibruken er i tråd med anleggets behov og driftseffektivitet. Til slutt er det viktig med et integrert, sentralisert prosesskontrollsystem eller toppsystem for å samle og styre tekniske anlegg effektivt. Et godt toppsystem øker driftssikkerheten, reduserer behovet for manuell oppfølging og gir mulighet for fleksibel tilpasning ved endringer eller avvik.

3.9.2 Termiske prosesser

Termiske prosesser bruker store mengder energi, og i sjømatnæringen er det typisk denne typen prosesser som er de store energiforbrukere (kjøling, innfrysing, oppvarming etc.). Ved å forbedre energieffektiviteten i disse prosessene kan man redusere driftskostnadene og miljøpåvirkningen.

Mens mekaniske kjølesystemer (det finnes også absorpsjonskjølesystemer) krever elektrisitet som energiforsyning, leveres varmen enten ved hjelp av varmepumper, motstandsvarmere eller ved forbrenning av fossilt brensel. Mens varmeproduksjon fra fossile brensl er forbundet med høye og direkte CO₂-utslipp, er varmeproduksjon ved hjelp av varmepumper og elektriske motstandsvarmere avhengig av CO₂-utslippet fra strømproduksjonen. Siden CO₂-utslippene knyttet til elektrisitet i Norge er svært lave på grunn av vannkraft, 19 g CO₂/kWh strøm i 2019 ^[51], kan avkarbonisering oppnås ved å erstatte fossilt brensel med elektrisitet.

Generell kan energi spares ved tiltak som direkte reduserer energimengden som brukes i en prosess (prosessinterne effektiviseringstiltak) og ved tiltak som reduserer det totale forbruket av primærenergi (prosessovergripende effektiviseringstiltak). Siden prosessinterne effektiviseringstiltak påvirker potensialet til prosessovergripende effektiviseringstiltak, bør interne effektiviseringstiltak implementeres først i tilfeller der begge tiltakene skal gjennomføres. Det kan være nødvendig å revurdere de prosessovergripende effektiviseringstiltakene basert på det nye potensialet.

⁵¹ Maren Esmark, Jørgen Kristoffer Tuset, 2023: Lavt klimagassutslipp knyttet til norsk strømforbruk i 2022, tilgjengelig på <https://www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/lavt-klimagassutslipp-knyttet-til-norsk-stroemforbruk-i-2022/>

3.9.2.1 Prosessinterne effektiviseringstiltak

Effektivisering av termiske prosesser kan oppnås gjennom en rekke interne tiltak som fokuserer på forbedringer i utstyr og drift. Optimalisering av termisk energistyr innebærer justeringer for å maksimere effektiviteten, mens bedre isolasjon bidrar til å redusere varmetap og unødvendige energikostnader. Prosessoptimalisering kan forbedre flyten og ytelsen i systemene, mens regelmessig vedlikehold og driftsforbedringer sikrer stabilitet og kontinuerlig effektivitet.

3.9.2.1.1 Optimalisering av termisk prosessutstyr

Som allerede beskrevet ovenfor, kan brukes elektriske motstandsovner, brennere, varmpumper og kjølesystemer for å dekke de termiske behov. Virkningsgraden er knyttet til utnyttelsen av energikilden for effekten. Virkningsgraden til elektriske motstandsvarmere er 100%⁵², mens virkningsgraden til brennere er mellom 75-95%.⁵³ Varmepumper fungerer ved å pumpe varme fra et reservoar med lavere temperatur til et reservoar med høyere temperatur ved hjelp av elektrisitet. De bruker derfor elektrisitet og en varmekilde. Siden varmen fra kilden ikke trenger å produseres i tillegg, er det kun strømforbruket og effekten som genereres som utgjør varmpumpens ytelse (Effektiviteten til en varmpumpe omtales som ytelse eller ytelseskoeffisient (COP)).

Ytelsen til en varmpumpe er sterkt avhengig av temperaturforskjellen mellom varmekilden og varmesluk, og ligger vanligvis mellom 40-60%⁵⁴ av den ideelle ytelsen (Carnot COP), som kan beregnes ved hjelp av Ligning 1.

$$COP_{heating,max} = \frac{T_V}{T_V - T_K} \quad (\text{Lgn. 1})$$

$COP_{heating,max}$: Maksimal oppvarmingskoeffisient for ytelse [-]

T_V : Temperaturen på varmesluk (varmt) [K]

T_K : Temperaturen på varmekilden (kaldt) [K]

Brennere og varmpumper (og kjøleanlegg) kan forbedres med hensyn til effektivitet/ytelse. Dette er beskrevet nedenfor.

Brennere

Optimalisering av en brenner er avgjørende for å forbedre energieffektiviteten og redusere utslippene. En viktig metode er styring av luft-til-brensel-forholdet, der luft- og brenselblandingen justeres for å oppnå optimal forbrenning. På denne måten minimeres luftoverskuddet som ellers kan føre til varmetap og unødvendig energiforbruk.

⁵² Rasku, T., & Kiviluoma, J. (2019). A Comparison of Widespread Flexible Residential Electric Heating and Energy Efficiency in a Future Nordic Power System. *Energies*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.3390/en12010005>

⁵³ Energy Institute (2017): Energy-efficient boilers and burners, Fundamentals the continuing professional development programme, series 15, module 02 boilers and burners, available under: <https://www.energyinst.org/?a=538882>

U.S. Department of Energy (2016): Technical Support Document: Energy Efficiency Program for Consumer Products and Commercial and Industrial Equipment: Commercial Packaged Boilers, Washington DC, USA, https://downloads.regulations.gov/EERE-2013-BT-STD-0030-0083/attachment_1.pdf

⁵⁴ Johra, Hicham. (2022). Overview of the Coefficient of Performance (COP) for conventional vapour- compression heat pumps in buildings. Department of the Built Environment, Aalborg University. Online available: https://www.researchgate.net/publication/359025286_Overview_of_the_Coefficient_of_Performance_COP_for_conventional_vapour-compression_heat_pumps_in_buildings

Oksygentrimkontroll gjør bruk av det, der forbrenningen justeres dynamisk basert på målinger av oksygeninnvået i sanntid. Dette sikrer jevn og effektiv forbrenning, selv under varierende driftsforhold. I tillegg kan det gi betydelige fordeler å oppgradere brennerne til moderne, høyeffektive modeller. Disse brennerne er utviklet for å redusere drivstofforbruket og utslippene, samtidig som de gir bedre ytelse og lavere vedlikeholdskostnader.

Varmepumper og kjøleteknologi - Forbedring av effektiviteten (bedre COP)

Optimalisering av kjølesystemer og varmpumper kan betydelig forbedre deres energieffektivitet, målt som COP (Coefficient of Performance). COP beskriver forholdet mellom levert varme eller kulde og tilført elektrisk energi – jo høyere COP, desto mer energieffektivt er systemet.

Tiltak som economisere og ejektorer forbedrer COP ved å øke effektiviteten i varmevekslingen og redusere energitap i systemet. En bypass for flashgass sikrer bedre trykk- og temperaturkontroll, noe som fører til lavere energiforbruk i kompressorene. Flertrinns kompresjon fordeler trykkøkningen over flere trinn, noe som reduserer arbeid per trinn og minsker energibehovet. Bruk av termisk lagring gir fleksibilitet i drift, slik at systemene kan operere under optimale forhold uavhengig av kortsiktige variasjoner i etterspørselen. Ved å redusere temperaturforskjellene i varmeoverføringen (PINCH temperatur) og forbedre isolasjonen, kan energitapet i systemet ytterligere reduseres, noe som øker effektiviteten.

Varmepumper og kjølesystemer kan kjøpes som standard plug-and-play-systemer fra hyllen eller som spesialtilpassede løsninger utviklet for spesifikke behov. Standardløsninger gir enkel installasjon og rask implementering, mens spesialutviklede systemer kan optimaliseres ytterligere for å møte unike krav og oppnå maksimal COP. Begge tilnærmingene kan dra nytte av de nevnte tiltakene for å sikre bærekraftig og kostnadseffektiv drift.

Utslipp fra lekkasje av kjølemedium kan også bidra til klimagassutslipp og miljøskader. Ny-generasjon HFO-kjølemedier (HFO = hydrofluoroolefiner), som er utviklet for ikke å ha noe globalt oppvarmingspotensial, kan brytes ned til PFAS (per- og polyfluoralkylstoffer), såkalte "evighetskjemikalier," som innebærer en risiko for helse og miljø. Bruk av naturlige kjølemedier som ammoniakk, CO₂ og hydrokarboner er et bærekraftig alternativ som både reduserer utslipp og eliminerer risikoen for PFAS-forurensning.

3.9.2.1.2 Isolasjon og reduksjon av varmetap

Isolasjon er en effektiv måte å redusere varmetap på ved å minimere varmeoverføring fra varme overflater til omgivelsene eller fra omgivelsen til kalde overflater i kulde anlegg. Ved å redusere varmetap/kuldetap, kan energiforbruket senkes, og oppvarmings- og kuldesystemer kan operere mer effektivt.

En av de viktigste tiltakene er å bruke isolasjon av høy kvalitet på rør og andre varmeoverførende overflater. Dette reduserer tap og sørger for at mer av energien forblir der den trengs. Videre kan varm- og kuldetap gjennom åpninger begrenses ved hjelp av isolerte dører, automatiske lukkemekanismer og varmegardiner, som alle bidrar til å opprettholde temperaturen i tempererte områder. Det er også viktig å tette lekkasjer i kanaler, ventiler og andre punkter hvor varme/kulde kan slippe ut.

3.9.2.1.3 Prosessoptimalisering

Prosessoptimalisering handler om å finjustere industrielle prosesser for å oppnå høyere effektivitet, redusere energiforbruk og minimere miljøpåvirkning. Ved å tilpasse driften til faktiske behov og implementere avanserte teknologier kan virksomheter spare energi og kostnader, samtidig som produktiviteten opprettholdes.

Et viktig tiltak er lasttilpasning, der den termiske prosessen justeres for å samsvare med det faktiske produksjonsbehovet. Dette reduserer energisløsing under lavlastdrift. Bruk av energilagring kan bidra til å balansere svingninger i etterspørselen og sikre en jevn drift. Avanserte prosesskontrollsystemer kan ytterligere effektivisere driften ved å optimalisere temperaturinnstillinger, styre utstyrets driftstider og synkronisere ulike prosesser for å minimere energiforbruket.

En annen metode er bruk av PINCH-design, som reduserer pinch-temperaturen for å minimere varmetap. Dette øker også effektiviteten til varmepumper og kjølesystemer, men krever en balansert tilnærming mellom effektivitet, fysisk størrelse og økonomiske hensyn. For batchprosesser kan planlegging av batchoperasjoner bidra til bedre utnyttelse av det termiske systemets kapasitet. Ved å minimere tomgangstider og unngå hyppige oppstarter og nedstengninger kan energiforbruket reduseres betraktelig.

3.9.2.1.4 Vedlikehold og driftsforbedringer

For å opprettholde en stabil og energieffektiv drift er vedlikehold og forbedring av driftsrutiner avgjørende. Dette sikrer ikke bare optimal ytelse fra utstyr, men bidrar også til lavere energikostnader og redusert miljøpåvirkning.

Regelmessig vedlikehold er en nøkkelfaktor. Dette innebærer jevnlig rengjøring, kalibrering og inspeksjon av kjeler, varmevekslere og brennere. Slik vedlikehold sørger for at systemene fungerer som de skal, og reduserer risikoen for energisløsing eller driftsstans. I tillegg kan tidlig oppdagelse av feil eller ineffektivitet forebygge mer omfattende problemer og kostbare reparasjoner.

Like viktig er driftsopplæring for operatører. Ved å gi opplæring i effektiv bruk av varmesystemer, kan operatører lære energisparende metoder, som å slå av utstyr når det ikke er i bruk, eller å optimalisere prosessstemperaturene for ulike driftsforhold. Denne kunnskapen gir ikke bare økonomiske fordeler, men bidrar også til en mer ansvarlig og bærekraftig drift.

3.9.2.2 Prosessovergripende effektiviseringstiltak

På tvers av prosesser kan mer omfattende tiltak som varmegjenvinningsystemer spille en viktig rolle. Eksempler på dette inkluderer forvarming av forbrenningsluft eller råstoff, som reduserer energibehovet for oppvarming, og systemer for gjenvinning av kondensat, som gjenbraker varme fra damp for økt effektivitet. I tillegg kan brensel byttes til mer energieffektive eller bærekraftige alternativer. Bruk av avanserte teknologier og sektorkobling gir også mulighet for å implementere mer innovative løsninger som ytterligere øker termisk effektivitet.

3.9.2.2.1 Varmegjenvinningsystemer

Varmegjenvinning er en nøkkelstrategi for å forbedre energieffektiviteten i industrielle prosesser ved å utnytte spillvarme som ellers ville gått tapt.

Varmevekslere spiller en sentral rolle ved å gjenvinne varme fra spillvarmekilder, som f.eks. eksosgasser, og gjenbruke den til oppvarming av f.eks. forbrenningsluft, matvann eller råmaterialer. Regenerative brennere er et eksempel for økt effekt gjennom varmegjenvinning: varmen utveksles direkte mellom innkommende forbrenningsluft og utgående forbrenningsgasser. For mer omfattende varmeutnyttelse kan spillvarmekjeler brukes til å generere damp eller elektrisitet via teknologier som ORC (Organic Rankine Cycle).

Andre tiltak inkluderer forvarming av forbrenningsluft, matvann eller råstoff ved hjelp av spillvarme, som forbedrer den totale energieffektiviteten til kjeler. I dampbaserte systemer gir systemer for gjenvinning av kondensat betydelige fordeler. Ved å gjenbruke varmt kondensat i stedet for å bruke ferskvann, reduseres

energibehovet for oppvarming samtidig som vannforbruket minimeres. Når kondensatet har tilstrekkelig høyt trykk, kan det flashe til damp når trykket reduseres. Denne flashdampen kan utnyttes til oppvarming eller andre prosesser. En av fordelene er at kondenseringen er at varmeoverføringen skjer ved en konstant temperatur.

Ved bruk av varmepumper kan spillvarme oppgraderes, noe som gjør det mulig å dekke varmebehovet ved høyere temperaturer enn varmekilden. Typiske varmekilder med overskuddsvarme og potensielle varmesluk som kan dekkes av overskuddsvarmen med og uten oppgradering gjennom en varmepumpe, er presentert i Tabell 12.

Tabell 12: Varmegjenvinningssystemer: typiske varmekilder og sluker

Typiske Varmekilder	Typiske Varmesluker	Typiske Varmesluker med tiltak av varmepumpe
<ul style="list-style-type: none"> • Kjølesystem – kondensator • Kjølesystem - De-superheater • Trykkluft - De-superheater • Kompressorer - oljekjøling • Avtrekksluft • Kondensat fra fuktig avtrekksluft • Avgass • Kondensat fra avgass • Kondensat fra damp 	<ul style="list-style-type: none"> • Varmt vann • Ventilasjon (luftoppvarming) • Tining • (For-)varming av råvarer 	<ul style="list-style-type: none"> • Varmt vann under trykk • Kondensat fordampning (damp) • Tørking/varm luft

3.9.2.2.2 Bytte og erstatning av brensel

Ved å bytte til drivstoff med lavt karboninnhold, som naturgass, biomasse eller hydrogen, kan man erstatte tradisjonelle drivstoff som kull og olje, som har høyt karboninnhold. Dette gir en betydelig reduksjon i karbonutslipp.

En annen løsning er elektrifisering av varmesystemer. I mange prosesser kan elektriske oppvarmingsmetoder, som induksjon, motstandsoppvarming eller varmepumper, tilby høyere effektivitet sammenlignet med tradisjonell forbrenningsbasert oppvarming. Elektrifisering gjør det også mulig å utnytte fornybare energikilder og dermed reduseres karbonfotavtrykket.

3.9.2.2.3 Avanserte teknologier og sektorkobling

Ved hjelp av avansert overvåking og analyse, som inkluderer dataanalyse og sensorteknologi, kan man kontinuerlig overvåke prosesstemperaturer, varmestrømmer og energiforbruk. Dette gir verdifull innsikt for å identifisere ineffektivitet, utføre presis feilsøking og optimalisere ytelsen til systemene.

Kraftvarmegerasjonssystemer (CHP) representerer en annen løsning for økt effektivitet hvis elektrisitet må produseres ved hjelp av et diesellaggregat fordi det ikke er mulig å koble seg til strømnettet eller levere strøm fra fornybare energikilder. CHP genererer elektrisitet samtidig som spillvarmen utnyttes til termiske prosesser.

I tillegg kan elektrifisering av varmesystemer kombinert med termisk lagring gi fleksibilitet og mulighet for å utnytte fornybare energikilder. Termisk lagring gjør det mulig å balansere energibruken ved å lagre overskuddsenergi og bruke den når behovet er størst.

3.9.3 Mekaniske prosesser og andre tiltak

Mekaniske energieffektiviseringstiltak fokuserer på prosesser der det brukes bevegelsesenergi. Disse prosessene drives av motorer direkte eller middels trykkdifferanser som f.eks. pneumatiske ventiler.

Energien til motorene kan enten komme fra fossilt brensel, som i forbrenningsmotorer, eller fra elektrisitet som sekundærenergi i elektriske motorer.

Det finnes flere tiltak som kan forbedre energieffektiviteten, men som ikke faller inn under kategoriene mekaniske tiltak som f.eks. belysning.

3.9.3.1 Erstatning av fossilt brensel som drivkraft

Overgangen fra forbrenningsmotorer til elektriske motorer er en effektiv måte å redusere karbonutslipp på ved bruke av fornybare energi kilder. I tillegg har elektriske motorer høyere energieffektivitet og produserer ingen direkte utslipp. Dette gjør elektriske motorer til et viktig tiltak i arbeidet med avkarbonisering av industri og transport.

Hvor energitetthet og rekkevidde er kritiske faktorer, vil hydrogen, ammoniakk eller biodrivstoff spille en viktig rolle som alternative energibærere. Dette vil være essensielt for avkarbonisering av tungtransport, skipsfart og luftfart. Men disse teknologiene er fortsatt i utviklingsfasen, ettersom barrierer som kostnadseffektiv produksjon, distribusjon og tilpasning til motorene må overvinnes.

3.9.3.2 Reduksjon av tap

Betydelige strømtap oppstår ofte fordi motorer kjøres med konstant hastighet ved hjelp av av/på-regulering, uavhengig av det faktiske behovet. Ved å justere frekvensreguleringen i pumpe- og kompressorsystemer i henhold til belastningen kan man eliminere disse tapene. I tillegg til lavere driftskostnader reduserer frekvensregulering også slitasjen på utstyret, noe som forlenger levetiden.

Pneumatisk utstyr har betydelig høyere energitap enn elektrisk utstyr på grunn av ineffektivitet i kompresjonsprosessen og energitap i luftdistribusjonssystemet. Elektrisk utstyr, derimot, omdanner energi mer direkte og effektivt. Å bytte ut pneumatisk med elektrisk utstyr kan derfor øke energieffektiviteten

3.9.3.3 Smart logistikk

Smart logistikk reduserer energiforbruket og kostnadene ved å optimalisere transport, lagring og ressursbruk. Bruk av dataanalyse og automatisering minimerer tomgangskjøring og unødvendige operasjoner, noe som reduserer energiforbruket ved å unngå unødvendig arbeid.

3.9.3.4 Belysning

Å bytte til **LED-lys** er en god måte å redusere energiforbruket på, ettersom de bruker opptil 80 % mindre energi og varer lenger enn tradisjonelle lyspærer. I tillegg spares energi ved å slå av lyset når det ikke er behov for det, for eksempel ved å bruke bevegelsessensorer eller tidsur.

4 Befaringsrapporter

4.1 Bedrift i rekeindustrien

4.1.1 Innledning

Formålet med befaringen var å gjennomføre en omfattende kartlegging av alle delprosesser, teknologiske løsninger, prosessutstyr, og prosessvariabler for å utvikle en dypere forståelse av rekefabrikkens operasjonelle strukturer og for å evaluere mulighetene for energibesparelser. I forkant av befaringen ble tiltak for optimalisering av drift i industrirekesektoren kartlagt. Verifisering av tiltak som var relevante, for næringen som helhet ble utført i løpet av befaringen

Denne rekefabrikken, som fungerer som case-studie, opererer med moderne og automatiserte produksjonslinjer med velutviklede systemer for gjenvinning av overskuddsvarme og energi. Driftsteknikere justerer kontinuerlig prosessene for å sikre optimal kvalitet på sluttproduktene, samtidig som energiforbruket holdes på et minimum.

4.1.2 Delprosesser

Prosessflyten fra råstoff til ferdige pillede reker er som følgende; Fabrikken mottar store mengder reker i frosne blokker som lagres i et fryselager for råstoff, som er omtrent tre ganger så stort som fryselageret for ferdig pillede reker. Råstoffet blir deretter sendt til tiningsprosessen, hvor de frosne blokkene med reker blir tint på en kontrollert måte med temperert vann for å sikre at kvaliteten på sluttproduktet ikke påvirkes, før de går videre til modningsprosessen.

Modningsprosessen innebærer en kort hvileperiode hvor rekene modnes for å sikre jevn tekstur før videre behandling. Etter modningsprosessen går rekene gjennom en kokeprosess som er avgjørende for effektiv pilling av rekeskallet. De kokte rekene kjøles deretter raskt ned for å bevare kvaliteten og ferskheten. Rekeskallet skilles så mekanisk fra rekekjøttet; rekeskallet går videre til produksjonslinjen for rekemel, hvor det først presses og tørkes før det kvernes til rekemel, mens rekekjøttet fortsetter til produksjonen av pillede reker.

Rekekjøttet gjennomgår flere delprosesser: først innfrysning, deretter sortering basert på størrelse og kvalitet. Deretter følger glasering, hvor rekekjøttet får en tynn ishinne for å bevare kvaliteten under distribusjonen. Til slutt gjennomgår rekekjøttet en ny innfrysningsprosess før det lagres og klargjøres for distribusjon.

Produksjonslinjer for pillede reker	Produksjonslinjer for rekemel
1. Råstoffbehandling	1. Råstoffbehandling
2. Tining	2. Tining
3. Modning	3. Modning
4. Koking	4. Koking
5. Etterkjøling etter koking	5. Etterkjøling etter koking
6. Mekanisk pilling	6. Mekanisk pilling
7. Lakekjøling	7. Pressing
8. Innfrysning før glasering	8. Tørking
9. Sortering	9. Kverning
10. Glasering	10. Lagring av sluttproduktet "Rekemel"
11. Innfrysning etter glasering	
12. Fryselagring av sluttproduktet "Pillede Reker"	

4.1.3 Maskiner, utstyr og teknologi

Fabrikken som er brukt som case-studie, er utstyrt med topp moderne maskiner og prosessutstyr optimalisert for produksjon av både pillede reker og rekemel. Et omfattende SCADA-system sikrer at driftsansvarlige har full kontroll over alle prosessparametere og tilstandsovervåkning for hver delprosess.

Dette er ikke bare avgjørende for å sikre høy produktkvalitet, men også kritisk for å minimere energiforbruket per tonn produsert enhet. Fabrikken systemer logger også nøkkeldata som tid, energi og prosessverdier for hver delprosess, noe som gir et solid grunnlag for etterfølgende analyser og kontinuerlig optimalisering av driften.

4.1.4 SCADA & EOS

Fabrikken benytter et moderne SCADA-system som gir driftsansvarlige muligheten til å gjøre nødvendige justeringer i sanntid, samtidig som systemet gir kontinuerlige tilbakemeldinger på prosessverdier.

Ved å koble historiske data fra SCADA-systemet sammen med informasjon fra fabrikken og EOS (energioppfølgingssystem), oppnås verdifull innsikt i nøkkeltall og ytelsesindikatorer. Denne sammenkoblingen gjør det mulig for driftsansvarlige å ta velinformerte beslutninger, basert på sammenligninger mellom faktiske forhold og optimaliserte driftsprosedyrer, noe som bidrar til kontinuerlig forbedring av driftseffektiviteten og energiforbruket.

4.1.5 Observasjoner

Maskinparken og prosessutstyret på fabrikken er topp moderne og godt vedlikeholdt. Dette er avgjørende for å sikre at alle delprosesser har lavest mulig energiforbruk per produsert enhet.

Det finnes fortsatt et betydelig potensial for å gjenvinne mer overskuddsvarme og energi, som kan gjenbrukes enten i delprosessene eller i oppvarmingsarealer i og rundt fabrikken, inkludert VVS-anlegg. Fabrikken kompakte utforming med maskiner og utstyr begrenser imidlertid muligheten for å installere nye løsninger som kan øke gjenvinningsgraden, da det ligger begrensninger på tilgjengelig areal for slike tiltak.

4.2 Hvitfiskbedrift

4.2.1 Innledning

Formålet med befaringen var å kartlegge delprosesser, teknologiske løsninger, prosessutstyr or å forstå produksjon hos en hvit fisk fiskefabrikk. Vi ble presentert for energieffektiviserings tiltak som er blitt innført de siste årene. Fabrikken benytter energikrevende maskineri og prosessutstyr. Effektiv drift og gjenvinning av overskuddsvarme gir potensial for energibesparelser. Driftsansvarlig ledet omvisningen med gjennomgang av alle delprosesser.

4.2.2 Delprosesser

Råstoffet (fisk) leveres fersk fra båter. Mye av fisk er levert nedkjølt, men små fartøy har ikke nødvendigvis effektiv kjøling om bord. Det er derfor installert en RSW anlegg for kjøling av fisken ved mottak. Fisken sorteres (grading), en andel fileteres. Derfra er det enten sortering i isopor kasser med is og lagring i kjølerom eller innfrysing og lagring i fryserom.

For is bruker anlegget vanlig våt is produsert i en plateismaskin. Fileteringshall krever avfukting, det er montert enkle avfuktere uten varmegjenvinning. Filet i blokk fryses i horisontal platefryser, mens singelfryste produkter fryses i spiral og verdifulle restråstoff fryses i innfrysningstunneler. Andre restråstoff går til ensilasje.

Bare en liten andel av kuldeanlegg kondenseringsvarme gjenvinnes i dag, og det er stort sett varme fra oljekjøler til store skruekompressorer. Det er nylig montert varmegjenvinning fra RSW-anlegg, men det er ikke kjørt i gang enda. For å sikre sluttproduktets kvalitet og energimessige effektivitet, er optimalisering av hele prosessen påkrevd.

4.2.3 Maskiner, utstyr og teknologi

Den mest energi krevende utstyr er den sentral kuldeanlegg. Det er et standard industrielt kuldeanlegg med ammoniakk som kuldemedium. Alle kompressorer har felles sugetrykk på $\sim -35^{\circ}\text{C}$. Kulde til kjølerom leveres fra sentralt anlegg, med en sugetrykkregulator å holde temperatur oppe (-10°C) i kjøleromsfordampere. Dette er veldig ineffektivt, men ganske vanlig ettersom det er en liten effekt kontra effekt på -35°C . Anlegg er ellevann kjølt og er dermed i utgangspunkt veldig effektiv. Kompressorer er gamle, og det er planlagt å bytte ut en.

Eneste varmegjenvinning fra sentralanlegg er varmen fra oljekjølere som brukes til forvarming av vaskevann. Kjøling av råvarer er utført av en separat maskin, en CO_2 RSW med mulighet til varmegjenvinning. Kobling for oppvarming av ventilasjon er klar og bli i gang kjørt om kort tid. Ved befaring ble det observert at RSW-styring er ikke optimalisert for varmegjenvinning, og det blir korrigert om kort tid. For-kjøling av råvarer har redusert betydelig tap i form av fisk som måtte kastes på grunn av lav kvalitet.

4.2.4 SCADA & EOS

Kulde prosesser er integrert i et SD-system som gir innsikt i drift. Det er veldig begrenset tilgang til energi forbruk data for oppfølging av anlegget. Det ble anbefalt å starte på nytt med energi ledelse arbeidet som var startet i 2017.

4.2.5 Observasjoner

Maskinparken har varierende slitasje og alder, noe som påvirker energiforbruket negativt. Energibesparelser kan oppnås ved utskifting av utstyr med lav virkningsgrad og kontinuerlig vedlikehold. Det er også potensiale for gjenvinning av overskuddsvarme, spesielt fra RSW det bli innført om kort tid

4.2.6 Konklusjon

Befaringen bekreftet at delprosessene er representative prosessering anlegg for hvit fisk. De siste årene har det vært innført en rekke energieffektiviserende tiltak. Den mest suksessfullt har vært installasjon av et separat RSW-anlegg for nedkjøling av råstoff. Det har medført en vesentlig reduksjon av andel råstoff som har måtte kastes på grunn av lav kvalitet.

5 Oppsummering

Dette kapitlet oppsummerer resultater for hvitfisk og rekesektoren. Tabell 13 oppsummerer resultatene fra vår kartlegging av dagens status på energibruk, mens potensialet for energibesparelse er oppsummert i Tabell 14.

Tilgang på energidata av tilstrekkelig kvalitet fra sjømatnæringen er begrenset og medfører en betydelig usikkerhet i våre anslag på dagens energiforbruk. For å avbøte på dette har vi for satt opp en modell for å estimere energibruken i hvitfisksektoren og rekesektoren. Modellen baserer seg på massebalanser for hvitfisk og reke, dvs. vi har brukt fangstdata, importdata, oppdrettsdata og eksportdata for 2022 for å se hvordan råstoff-tilførselen er på de ulike produktgruppene. Deretter har vi knyttet spesifikk energibruk til produktgruppene via to tilnærminger: en bottom-up-tilnærming, og en basert på kartlagte verdier fra litteratur. For konvensjonell sektor, spesielt klippfiskprodusenter, og industrireker eksisterer det relativt godt med data og faglitteratur som øker vår tillit i kartlagte verdier. For hvitfiskindustrien og rekeindustrien for øvrig er det mye større usikkerhet, og vi vurderer det som veldig mange små aktører og noen få, store, med veldig stor bredde i produksjonsformer, prosessering, utstyr etc.

Konvensjonell sektor, det vil si produksjon av klippfisk, saltfisk og tørrfisk, anslås å ha et årlig energiforbruk på ca. 54 GW. Produksjon av klippfisk utgjør det største bidraget, både fordi denne kategorien har det største produksjonsvolumet, men også fordi tørking er en veldig energiintensiv prosess. Råstofftilførsel til saltfisk er også betydelig, men produksjonen er ikke riktig så energiintensiv. Samtidig vurderer vi det som stor variasjon i spesifikk energibruk for fremstilling av saltfisk ved de ulike fabrikkene fordi det er store variasjoner i hvordan disse er konfigurert, og mange er kombinasjonsanlegg med flere produksjonsformer. Produksjon av tørrfisk har lite innslag av energikrevende maskineri og tilføres lavt volum, og har et årlig energibruk i området 1 – 8 GWh. Det høye anslaget inkluderer dieselforbruk ifb. utheng og inntak fra hjeller.

Foredlingssektoren for øvrig anslås å ha et energiforbruk på ca. 26 GWh, og i vår analyse fordeler det seg på eksport av ubearbeidet fisk (10- 16 GWh), foredling av frosne produkter (9-25 GWh) og ferske produkter (7-17 GWh). De mest energikrevende prosessene er knyttet til fryseri og isproduksjon. Det er mange små aktører i næringen, med varierende produksjonsform og ulike prosesser, som gir en stor spredning i spesifikk energibruk mellom anlegg. Vi har lagt til grunn data fra 3 bedrifter i segmentet for å gjøre en kartlegging av fordeling av energiforbruket, og det fremkommer tydelig at kuldeanlegg og ismaskineri er de største forbrukerne.

Rekesektoren anslås å ha et årlig energibruk på 31-35 GWh årlig, og det aller meste er tilknyttet produksjon av industrireker. I referanseåret 2022 ble det landet ca. 43 000 tonn reker, hvor ca. 10 000 tonn ble eksportert frossen og ubearbeidet, 10 000 gikk til rekeproduksjon for øvrig og resterende 23 000 tonn til de to bedriftene som produserer kokte, pillede og frosne reker. Den fossile andelen i sektoren er minst 24-33% basert på de anleggene vi vet forbruker propan, men andelen er sannsynligvis høyere. Det er mange mottakere og kjøpere av fersk reke, men vi vurderer mange av aktørene som rene mottak og utsalg, og at det er i hovedsak 3-4 bedrifter som driver bearbeiding av ferske reker. Typisk produkt er pillet lakereke, og ferske skallreker.

For tiltaksbeskrivelsene har vi gjennomført befaringer, samt fått tilgjengeliggjort en rekke befaringsrapporter fra anlegg i industrien som har vært med på å legge føringer for hvilke tiltak vi har valgt å beskrive. I denne rapporten har vi valgt å beskrive den relative prosess-spesifikke besparelsen for hvert tiltak, fremfor et absolutt årlig potensial for de ulike segmentene. Grunnen til dette er den store usikkerheten som er i kartlagt energibruk. I de tilfeller hvor har tillit til fremkommet energidata har vi valgt å beregne potensialet.



Optimalisering av kuldeanlegg anses å være aktuelt for alle segmenter, og vår analyse er at i snitt kan virkningsgraden (η_{carnot}) heves fra 50 til 55%, et konservativt anslag, som tilsvarer en prosess-spesifikk energibesparelse i kuldeanlegg på 9%. Det faktiske potensialet vil være svært varierende fra anlegg til anlegg, og avhenger av teknisk stand, alder, konfigurasjon og driftsforhold. Basert på gjennomgang av befaringsrapporter er kuldeanlegget det systemområdet som går mest igjen på tiltakslistene, og vi har beskrevet noen av dem, som reduksjon av kondenseringstrykk og bedre regulering av kompressorer. Fryseri er energiintensivt og for enkelte anlegg er dette den største energiforbrukeren, og vi har sett at underfylling av tunneler betyr økt energiforbruk. Begrensende faktorer for å bedre utnyttelse av fryserikapasitet er krav til produksjonsrater og tilgjengelig råstoff, men er også et tiltak som ikke krever investering annet enn omlegging og optimalisering av driftsrutiner. Et annet grep kan være å endre til mer energieffektivt innfrysingsutstyr, f.eks. benytte platefrysere eller lakefrysere avhengig av produkt, men vil kreve høyere investering. Særegne tiltak for rekeindustrien inkluderer å heve fryselagringstemperatur (~21% besparelse) og høytemperatur varmepumpe (HTHP). HTHP virker å være en god kandidat til å eliminere propanforbruket i rekesektoren, og er i ferd med å piloteres ved Stella Polaris hvor vi har beregnet et potensial til å redusere det totale energiforbruket med 4,2 GWh, tilsvarende 30% av årlig forbruk for bedriften.

Det er også beskrevet en rekke generelle tiltak og teknologier som vi anser kan ha et betydelig potensial for effektivisering i både hvitfisk- og rekesektoren, og det første tiltaket er å etablere energiledelse. Det vil si det er svært viktig å investere i systemer og kontinuerlige målinger som gjør at man er i stand til å vite hvilke deler av prosessen som forbruker energi, og bruke disse for å avdekke og identifisere problemområder. Ved investering og integrering av energieffektiviseringstiltak vil også slike systemer være til hjelp for å tallfeste måloppnåelse. Det er uklart i hvor stor grad næringen i dag benytter seg av gode energioppfølgingsystemer, men erfaringer fra dette prosjektet og tidligere arbeid er at det er svært stor variasjon.

Tabell 13: Oppsummerte resultater fra dagens status på energibruk i hvitfisk- og rekesektoren

Sektor	Totalt energiforbruk, Samlet produksjon	Andel fossil	Spesifikt energiforbruk	Energikrevende prosesser/utstyr/systemer	Antall anlegg
Konvensjonell hvitfisk	54 GWh (29-78 GWh) Produksjon basert på eksport 2022 Klippfisk: ~85 000 tonn Saltfisk: ~74 000 tonn Tørrfisk: 3800 tonn (Lutfisk: 2300 tonn)	0%	Klippfisk: 89 – 206 kWh/tonn råstoff Saltfisk: 33-133 kWh/tonn råstoff Tørrfisk: 33-293 kWh/tonn råstoff Stor variasjon mellom bottom-up tilnærming og kartlagte verdier fra litteratur	Tørketunneler, tining, ising/kjøling Utelatt: internttransport, diesel ifb. utheng/inntak tørrfisk	Ca. 108 totalt
Øvrig foredling hvitfisk	26 GWh (14-38 GWh) Råstofftilførsel: Frossen produksjon: 60 000 tonn Fersk produksjon: 124 000 tonn Eksport ubearbeidet: 304 000 tonn frossen 125 000 tonn fersk	0%	Frossen foredling: 143 – 407 kWh/tonn råstoff Fersk foredling: 52-133 kWh/tonn råstoff Frossen eksport: 17-34 kWh/tonn (energiforbruk ved fryseterminaler) Fersk eksport: 36-46 kWh/tonn (ifb. isproduksjon og ompakking)	Kuldeanlegg, fryseri, ismaskiner, kjøling, oppvarming av vann, tining	Ca. 260
Industriereker	28-31 GWh Råstofftilførsel: ~23 000 tonn	~60%	1210-1332 kWh/tonn råstoff Basert på selvrappertert energi- og produksjonsdata	Koking, fryselagring, fryseri, tørking	2
Øvrig rekeproduksjon	3-4 GWh ~10 000 tonn eksport, ~6500 tonn konsum, ~3500 tonn til oppmaling (vrak)	-	Frossen eksport, frossen kocht, oppmaling: 17-34 kWh/tonn Konsumproduksjon av råreke: 1059-1361 kWh/tonn Håndpillede lakereker: 52-97 kWh/tonn	Koking, kjøling, is, fryselagring	2 pillefabrikker maskinell 2 pillefabrikker hånd ~30 mottak/utsalg

Tabell 14: Oppsummering av beskrevne tiltak og markering av hvilke segmenter tiltaket er aktuelt for (grønn bakgrunn, i tillegg til utregning av potensial for utvalgte)

Tiltak	Kommentar	Prosess-spesifikk besparelse	Konvensjonell hvitfisk	Øvrig foredling hvitfisk	Industrireker	Øvrig reke
Optimalisering av kuldeanlegg	Kapasitetsregulering, justering av kondensering- og sugetrykk. Høy modenhet på beskrevne tiltak, ingen til moderat investeringskostnad	9%	1,3 GWh	1,2 GWh		
Investere i energieffektivt fryseri	Moden teknologi, moderat til høy kostnad.	40-50%		3,5 GWh	0,5 GWh	
Utnytte frysekapasitet	Forbedre rutiner for å unngå underfylling av frysetunneler	7-9%		0,7 GWh		
Tiltak i frys- og kjølelager	Referanse til artikkel med mange foreslåtte tiltak med kort tilbakebetalingstid	8-72%*				
Heve frysingstemperatur	For industrireker	21%				
Tineprosess	Gjennomgang av typer tilgjengelig teknologi; ikke tallfestet, viktig for utbytte/ redusere svinn å utføre riktig!					
Driftsoptimalisering av tørker	Gjelder konvensjonell sektor	14%	3 GWh			
HTHP dampproduksjon		44-50%			4,2 GWh	
Varmegjenvinning (erstatte el. kjel)	Store potensialer vist gjennom regneeksempel; utfordring er match på kilde og behov ift. kvalitet, kvantitet og tid	60-100%				
Passiv vs. aktiv kjøling av fersk fangst	Aktiv kjøling (RSW) av mottatt fersk fisk kan redusere svinn betydelig, og er betydelig mer effektivt enn ising	80-88%				
Samlet reduksjonspotensial %			8%+	20%+	16%+	~

A Appendiks

A.1 Beregning av effekt på spesifikk energibruk ved redusert fyllingsgrad/kapasitetsutnyttelse i tunnel og spiralfryser

Det er tatt utgangspunkt i metoden som beskrevet av Magnussen & Nordtvedt (2006), og beregnet om for innfrysing av torsk fra +5 til -20 °C. For innfrysing i tunnel er følgende forutsetninger og beregninger gjort:

- Spesifikt varmeinnhold i torsk, +5 til -20 °C, $q_{fisk} = 290 \text{ kJ/kg}$
- Batchinnfrysing: 20 tonn (m_{fisk}) ved full kapasitet ($\eta = 100\%$), $\tau = 18 \text{ timer}$
- Driftsforhold kuldeanlegg, -40/+25 °C, $\eta_{Carnot} = 0,35 - 0,4 \rightarrow COP = \eta_{Carnot} \cdot \frac{T_{LAV}}{T_{HØY} - T_{LAV}} = 1,3$
- Fordeling mellom varmelaster: 65% produkt (fisk), 30% vifter og 5% annet/tap
- Energi til å drive vifter er satt likt varmebidraget ($E_{vift} = Q_{vifte}$)
- Ved redusert fyllingsgrad antas det at det kreves fortsatt like mye energi å drive viftene, og at varmebidrag fra vifter og tap er som ved full kapasitet

$$Q_{vare} = q_{fisk} \cdot m_{fisk} \cdot \frac{\eta}{3600} \text{ [kWh]}$$

$$Q_{samlet}(f = \eta) = \frac{Q_{vare} \cdot \eta}{0,65} \text{ [kWh]}$$

$$Q_{vifte} = E_{vifte} = Q_{samlet}(\eta=100\%) \cdot 30\% \text{ [kWh]}$$

$$Q_{tap} = Q_{samlet}(\eta=100\%) \cdot 5\% \text{ [kWh]}$$

$$E_{komp} = \frac{Q_{samlet}(f = \eta)}{COP}$$

$$E_{tot} = E_{komp} + E_{vifte}$$

$$SEC = \frac{E_{tot}}{\eta \cdot m_{fisk}}$$

Resultater fra beregningene er vist i følgende tabell:

Tabell 15: Resultater for beregninger på innfrysing i tunnel

Spesifikk energibruk, tunnel					
$\eta =$	100%	80%	60%	40%	Enhet
Q_{vare}	1611	1289	967	644	kWh
Q_{vifte}	744	744	744	744	kWh
Q_{tap}	124	124	124	124	kWh
Q_{samlet}	2479	2156	1834	1512	kWh
E_{komp}	1907	1659	1411	1163	kWh
E_{vifte}	744	744	744	744	kWh
E_{tot}	2650	2402	2155	1907	kWh
<i>Produksjon, m</i>	20	16	12	8	tonn
SEC	133	150	180	238	kWh/tonn

For spiralfrysing er følgende forutsetninger og beregninger benyttet:

- Spesifikt varmeinnhold i torsk, som for tunnelfrysing, $q_{fisk} = 290 \text{ kJ/kg}$
- Kontinuerlig innfrysing der $\eta = 100\%$ kapasitet tilsvarer 1000 kg/t
- Varmetap er beregnet som funksjon av termisk konduktivitet ($\kappa = 0,25 \text{ W/mK}$) og varmeveksleareal ($A = 100 \text{ m}^2$) i isolerte overflater, og temperaturforskjell ved $-35 \text{ }^\circ\text{C}$ i lufttemperatur og $+20 \text{ }^\circ\text{C}$ i omgivelsestemperatur: $Q_{infiltrasjon} = \kappa \cdot A \cdot \Delta T = 0,25 \cdot 100 \cdot 55 = 1,4 \frac{\text{kW}}{\text{h}}$. I tillegg er andre tap (bånd, transportåpninger etc.) satt til $0,8 \text{ kW/h}$, som gir et $Q_{tap} = 2,2 \text{ kW/h}$
- 3 stk kW-vifter, der all energi tilført viftene omdannes til et varmebidrag $Q_{vifte} = E_{vifte} = 30 \text{ kW/h}$
- Driftsforhold kuldeanlegg, $-40/+25 \text{ }^\circ\text{C}$, $\eta_{Carnot} = 0,4 - 0,45 \rightarrow COP = \eta_{Carnot} \cdot \frac{T_{LAV}}{T_{HØY} - T_{LAV}} = 1,5$
- Ved redusert kapasitet antas det at det fortsatt kreves like mye energi å drive viftene og at varmetapene er like store, og det forutsettes samme båndhastighet

Varme- og energibehov beregnes likt som for tunnel. Resultater fra beregning:

Tabell 16: Resultater for beregninger på innfrysing i spiral

Spesifikk energibruk, spiral						
η	100%	80%	60%	40%	Enhet	
Q_{vare}	80,6	64,4	48,3	32,2	kWh	
Q_{tap}	2,2	2,2	2,2	2,2	kWh	
Q_{vifte}	30	30	30	30	kWh	
Q_{samlet}	113	97	81	64	kWh	
E_{komp}	75,2	64,4	53,7	42,9	kWh	
E_{vifte}	30,0	30,0	30,0	30,0	kWh	
E_{tot}	105	94	84	73	kWh	
Produksjonskapasitet per time	1000	800	600	400	kg	
SEC	105	118	139	182	kWh/tonn	

A.2 Kartlagte verdier for spesifikk energibruk i hvitfisk- og rekesektoren

Hva	Verdi	Enhet	Kommentar
Mottak av fisk	130 ^A	kWh/tonn rundvekt	Mottak av fersk fisk, sløyting, ising etc. Variasjon på 93-207
Produksjon av ferskfisk	133,3 ^A	kWh/tonn rundvekt	Mottak av fersk fisk og produksjon
Produksjon av frossenfisk	406,7 ^A	kWh/tonn rundvekt	Produksjon til frossen fisk
Produksjon av tørrfisk	293,3 ^A	kWh/tonn rundvekt	Produksjon av tørrfisk, inkl. innendørs tørrfisklager og transport (diesel)
Tørke saltfisk til klippfisk	71,4 ^B	kWh/tonn rundvekt, kun tørke	250 kWh/tonn klippfisk, 'industrireferanse'
Hvitfisk: prosessering, kjøling/frysing	363 ^B	kWh/tonn rundvekt	Kilde sier tall er basert på data fra 10 anlegg i Norge
Hvitfisk: udefinert	283 ^C	kWh/tonn rundvekt	Kilde sier at dette er Domstein Måløy, snitt 1999-2004
Hvitfisk: filetering, isproduksjon og innfrysing	65-87 ^D	kWh/tonn rundvekt	Kilde har beregnet bottom up med «average technology»
Hvitfiskbedrifter (snitt)	618,5 ^E	kWh/tonn produkt	Snitt av data fra Enova industrinettverk 2002-2009
Hvitfiskbedrifter (laveste verdier)	220,5 ^E	kWh/tonn produkt	Snitt av data fra Enova industrinettverk 2002-2009
Skalldyrbedrifter (snitt)	1068 ^E	kWh/tonn råstoff	Snitt av data fra Enova industrinettverk 2002-2004
Skalldyrbedrifter (laveste verdier)	918 ^E	kWh/tonn råstoff	Snitt av data fra Enova industrinettverk 2002-2004
Fjordlaks (Norske Utslipp)	511 ^F	kWh/tonn produkt klippfisk	
Myre Fiskemottak	61,8 ^F	kWh/tonn	Fremkommer ikke klart hvilken basis
Stella Polaris	1 210-1 332 ^F	kWh/tonn råstoff	
Finny Sirevaag	1059-1361 ^F	kWh/tonn råstoff	
Snitt fra utvalgte bedrifter	350-975 ^G	kWh/tonn produkter	Variert produksjonsform blant anleggene (n=3)

Kilder:

A: Høyli, R., Aars, K.G., 2022. En analyse av energibruk på fangst- og mottaksleddet i kystfiskeflåten (No. 2022:00185). SINTEF Nord.

B: Winther, U., Hognes, E.S., Jafarzadeh, S., Ziegler, F., 2020. Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017 (No. 2019:01505). SINTEF Ocean.

C: Schau, E.M., Ellingsen, H., Endal, A., Aanonsen, S.Aa., 2009. Energy consumption in the Norwegian fisheries. Journal of Cleaner Production, The Sustainability of Seafood Production and Consumption 17, 325–334. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.08.015>

D: COWI AS, 2000. Cleaner Production Assessment in Fish Processing.

E: Enova industrinettverks- og aktivitetsrapporter, 2003-2010

F: Miljødirektoratet, www.norskeutslipp.no

G: Hemmeligholdt av hensyn til bidragsyter