



SINTEF

Finansiert av:



Delrapport

Veikart for energieffektivisering i pelagisk sektor

Potensialet for energieffektivisering i sjømatnæringen (PEIS)

Forfatter(e):

Eirik Starheim Svendsen, Kristina Norne Widell, Ole Marius Moen, Marco Bless, Frida Sæther, Eleni Patanou, Morten Lunde, Linda Einhjellen, Kristoffer Bjerkvik

Rapportnummer:

2025:00039 - 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 pelagisk sektor

Potensialet for energieffektivisering i sjømatnæringen (PEIS)

EMNEORD

Sjømatnæring,
energieffektivisering,
pelagisk, mel- og olje,
konsum

VERSJON

V3.0

DATO

2024-12-13

FORFATTER(E)

Eirik Starheim Svendsen, Kristina Norne Widell, Ole Marius Moen, Marco Bless, Frida Sæther, Eleni Patanou, Morten Lunde, Linda Einhjellen, Kristoffer Bjerkvik

OPPDRAGSGIVER(E)

FHF

OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

901905

PROSJEKTNUMMER

302007809

ANTALL SIDER

42

SAMMENDRAG

Denne delrapporten er en leveranse i prosjektet PEIS, og oppsummerer funn for pelagisk sektor, her inndelt og forstått som segmentene konsumindustri og fiskemel- og olje.

Rapporten gir et anslag på det totale energiforbruket og andelen av energien som kommer fra strøm. Konsumindustrien anslås å forbruke 151 GWh/år, hvorav alt forbruk er elektrisitet, mens fiskemelindustrien anslås å forbruke 387 GWh/år og en fossil andel på 85-90%. For konsumindustrien er det kuldeanlegg og fryseri som er de største forbrukerne, og det er sett på tiltak innenfor disse områdene hvor det totale potensialet for energieffektivisering er 12-15%. For produksjon av fiskemel er det stort termisk behov som dekkes av damp, og tiltakene fokuserer på bruk av HTHP for å produsere denne. Vi anslår en potensialet for besparelse til 17-39%. I alle tilfeller vurderes det å finnes moden teknologi som kan implementeres

UTARBEIDET AV

Eirik Starheim Svendsen

SIGNATUR

KONTROLLERT AV

Kristina N. Widell

SIGNATUR

Kristina N. Widell (Jan 17, 2025 13:59 GMT+1)

GODKJENT AV

Kirsti Greiff

SIGNATUR

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

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

RAPPORT NR.

2025-00039

ISBN

978-82-14-07423-9

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	5
1.1	Pelagisk fiske og eksport	5
1.2	Pelagisk landindustri	6
1.2.1	Konsumfiskindustrie	7
1.2.2	Fiskemel og -oljeindustri.....	8
1.3	Tidligere initiativer	9
2	Dagens status: energibruk og energimiks	10
2.1	Konsumindustri	10
2.2	Fiskemel- og olje	12
2.2.1	Energikrevende prosesser	13
3	Tiltak for energieffektivisering	16
3.1	Energieffektivisering i konsumindustrien	16
3.1.1	Tiltak 1: Tiltak i kuldeanlegg	16
3.1.2	Tiltak 2: Tiltak i tunneler	18
3.1.3	Tiltak 3: Lakefrysing	20
3.2	Energieffektivisering i fiskemel- og oljeindustrien.....	21
3.2.1	Energibehov i prosessene og potensialet for spillvarmeutnyttelse	23
3.2.2	Tiltak 1: Lavtrykks dampproduksjon (1.5 – 3 bara) med høytemperatur varmpumpe til kokeprosess og væskeoppvarming (Erstatter lavtrykks dampproduksjon drevet av fossil gasskjele).....	27
3.2.3	Tiltak 2: Dampproduksjon (5-7 bara) med høytemperatur varmpumpe til tørkeprosess med indirekte damp tørker (erstatter dampproduksjon drevet av fossil gasskjele)	29
3.2.4	Tiltak 3: Tørking med overhettet damp og MVR (erstatter dagens damp- og varmluftstørkere og bruk av gasskjele)	30
3.3	Generelle tiltak og teknologier	32
3.3.1	Vit hvor energistrømmene dine flyter	32
3.3.2	Termiske tiltak om energieffektivisering	32
3.3.3	Mekaniske og andre tiltak om energieffektivisering	37
4	Befaring ved fiskemel- og oljefabrikk	38
4.1	Innledning	38
4.2	Delprosesser.....	38
4.3	Maskiner, utstyr og teknologi	38
4.4	SCADA & EOS.....	38
4.5	Observasjoner	38
4.6	Konklusjon.....	38
5	Oppsummering	39

Tabell over figurer

Figur 1: Årlig fangst av pelagisk fisk siste 4 år, basert på data fra Fiskeridirektoratet ¹	5
Figur 2: Ukentlig fangst av makrell, sild, kolmule og andre pelagiske arter for 2021, basert på data fra Fiskeridirektoratet ¹	5
Figur 3: Produksjonsformer i pelagisk konsumindustri	7
Figur 4: Forenklet produksjonsflyt for fiskemel og -olje.....	8
Figur 5: Forventet energireduksjon summert på pelagisk konsum og mel&olje	9
Figur 6: Selvrapportert energibruk og produksjonsvolum, basert rapporterte data til norskeutslipp.no for 2022	10
Figur 7: Fordeling av energiforbruk ved pelagisk konsumanlegg, reproduisert fra Widell m. fl. (2022) ⁹	12
Figur 8: Energiforbruk ved pelagiske fiskemelanlegg, andeler målt i kWh per bærer, basert på rapporterte data til norskeutslipp.no for 2022	12
Figur 9: Massestrøm i fiskemelprosess, eksempel, basert på silderåstoff (70% vann, 20% tørrstoff og 10% fett). Verdier i kg.....	14
Figur 10: Kapasitetsregulering på skruekompressorer, prinsipielt.....	17
Figur 11: Effekt av modifisert emballasje på frysetid for makrell. Løkk (rød kurve) er referanse, dvs. standardkartong. Reproduisert fra Magnussen og Nordtvedt (2006)	19
Figur 12: Effekt av redusert viftepådrag på innfrysningstid og energibesparelse. Pådrag redusert etter 8, 10, 12, 14 og 16 timer inn i innfrysningen, og baseline 20 timer. Reproduisert fra Widell m. fl (2012) ¹⁷ <small>Error! Bookmark not defined.</small>	20
Figur 13: Prinsippskisse for en varmepumpe	22
Figur 14: Spillvarmepotensial kondensat fra MVR inndamper	26
Figur 15: Spillvarmepotensial avgass fra damptørker	26
Figur 16: Spillvarmepotensial fra kondensat (MVR-inndamper) og avgass (indirekte damptørker) mot energibehov for koking, væskeoppvarming og tørking (Temperatur koke- og tørkeprosess: 90°C)	27
Figur 17: Prinsippskisse for konveksjonstørking med overhettet damp som tørkegass istedet for luft ⁴¹	31

Tabell over tabeller

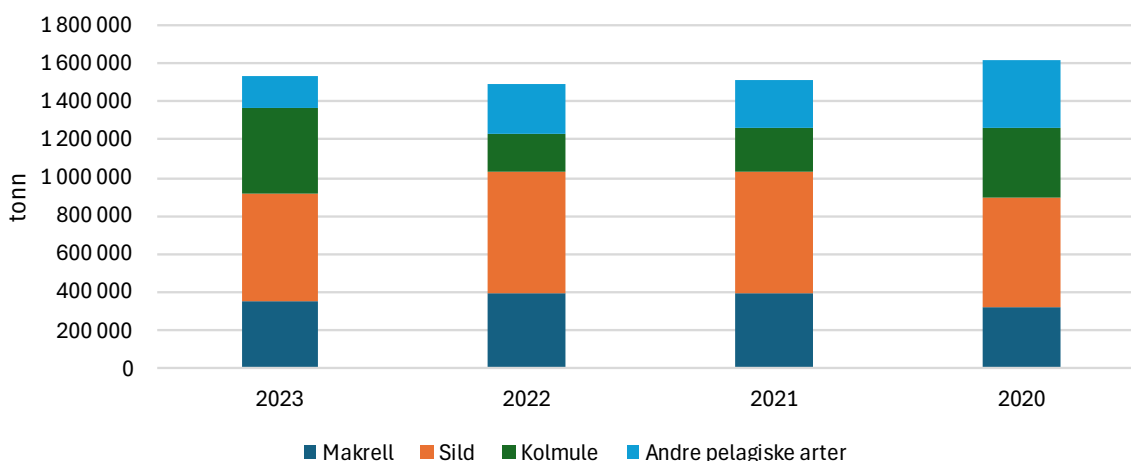
Tabell 1: Eksportert volum av makrell og sild siste 4 år, per produkttype, basert på eksportdata fra Norges Sjømatråd ²	6
Tabell 2: Pelagiske produksjonsanlegg i Norge	7
Tabell 3: Nøkkeltall på Enova-støttede prosjekter i pelagisk sektor	9
Tabell 4: Spesifikk energibruk i pelagisk konsumindustri, produktbasis	11
Tabell 5: Spesifikk energibruk i produksjon av fiskemel og olje, råstoff og produktbasis.....	13
Tabell 6: Eksempel på termiske behov i fiskemelseprosessering ved ulik teknisk konfigurasjon (A, B, C). Egne beregninger basert på 1000 tonn råstoff/døgn og massestrømmer som i Figur 9.....	14
Tabell 7: Forhold mellom sugetrykk og kondensasjonstrykk, målt i relativ endring i COP i forhold til et anlegg med trykkforhold -40/+20 °C. Beregnet med CoolPack, R717, 70% isentropisk virkningsgrad, 1-trinn.	17
Tabell 8: Spesifikk energibruk for innfrysing i tunnel, basert på data fra litteratur og tidligere målinger.....	18
Tabell 9: Prosesskrav for koking	23
Tabell 10: Prosesskrav for tørking	24
Tabell 11: Energoversikt over analyserte prosesser for pelagisk fiskemel- og oljefabrikk.....	25
Tabell 12: Potensial for energibesparelse for kokeprosess ved implementering av HTHP-teknologi og utnyttelse av kondensat fra MVR-inndampning eller avgass fra indirekte dampptørking	28
Tabell 13: Potensial for energibesparelse for indirekte dampptørking ved implementering av HTHP-teknologi og utnyttelse av tørke-avgass.....	30
Tabell 14: Varmegjenvinningssystemer: typiske varmekilder og sluker	36
Tabell 15: Oppsummerte resultater fra dagens status på energibruk i pelagisk sektor	41
Tabell 16: Oppsummert potensial ved innføring av beskrevne tiltak for ulike segmenter i pelagisk sektor .	42

1 Introduksjon

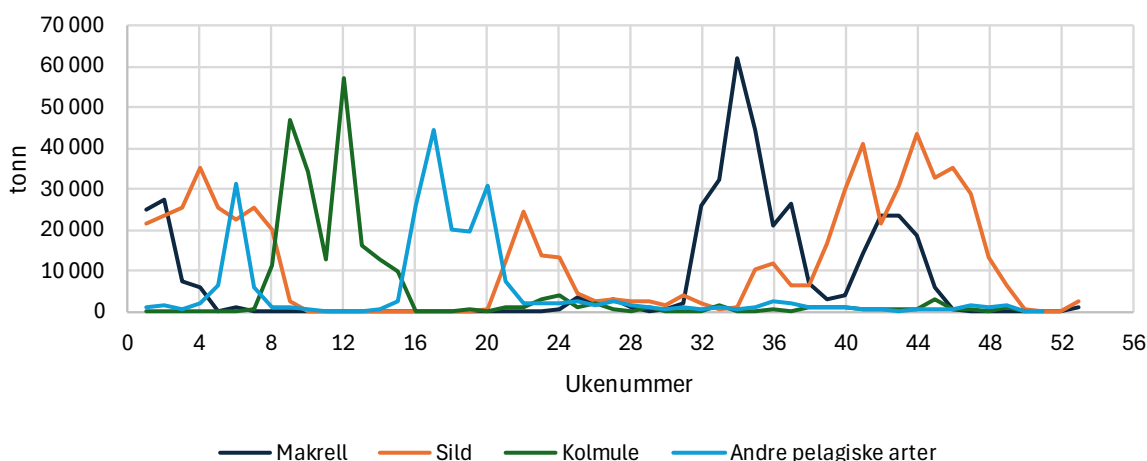
Denne delrapporten gir en oversikt over den pelagiske sjømatnæringen i kapittel 1. Kapittel 2 beskriver dagens situasjon når det gjelder energibruk. I kapittel 3 diskuteres tiltak for å forbedre energieffektiviteten, der det skilles mellom generelle og spesifikke tiltak. Kapittel 4 presenterer funnene fra befaringer på anlegg, mens kapittel 5 gir en sammenfattende konklusjon og anbefalinger.

1.1 Pelagisk fiske og eksport

De pelagiske fiskeartene står for omtrent halvparten av all fisken som fanges og leveres til norske mottaksanlegg, fra både norske og utenlandske fiskefartøy. Ifølge data fra Fiskeridirektoratet¹ har den årlige fangsten vært stabil på rundt 1,5 millioner tonn de siste fire årene (Figur 1). De mest dominerende artene er makrell, sild (norsk vårgytende sild og nordsjøsil) og kolmule, som utgjør størsteparten av fangsten. Andre pelagiske arter inkluderer bl.a. lodde, vassild, tunfisk og tobis. Det pelagiske fisket er sterkt sesongbetont, der kolmule hovedsakelig fanges i mars, makrell i august og september, mens sildefisket foregår i vintermånedene (NVG-sild) og sommeren (nordsjøsil) (Figur 2).



Figur 1: Årlig fangst av pelagisk fisk siste 4 år, volum i tonn (rundvekt), basert på data fra Fiskeridirektoratet¹



Figur 2: Ukentlig fangst av makrell, sild, kolmule og andre pelagiske arter for 2021, tonn rundvekt, basert på data fra Fiskeridirektoratet¹

¹ Fangst fordelt på art | Fiskeridirektoratet: Statistikken er hentet fra Fiskeridirektoratets landings- og sluttseddelregister.

Pelagisk fisk er en betydelig eksportvare for Norge, og de siste fire årene har det årlige eksportvolumet ligget på mellom 650 000 og 850 000 tonn, med en verdi på rundt 9-11 milliarder kroner². Makrell og sild dominerer både i volum og verdi, og eksporteres hovedsakelig til bruk for humant konsum. Makrellen eksporteres nesten utelukkende uforedlet, det vil som hel, frossen fisk. For sild er det imidlertid en noe høyere grad av foredling, med mer filetering og annen bearbeiding før eksport (Tabell 1). Kolmule og lodde er arter som i mindre grad brukes til humant konsum, og går i stor grad til produksjon av fiskemel og fiskeolje. Kolmule eksporteres nesten utelukkende fersk og hel, mens lodde eksporteres hel i både fersk og fryst tilstand.

Tabell 1: Eksportert volum av makrell og sild siste 4 år, per produkttype, basert på eksportdata fra Norges Sjømatråd²

	2023	2022	2021	2020
Makrell (tonn)	296 563	328 515	381 561	293 379
fersk filet/hel	3%	2%	3%	3%
tilberedt	0%	0%	0%	0%
fryst hel	97%	98%	97%	97%
Sild (tonn)	239 373	292 607	350 248	317 707
fersk hel	7%	7%	7%	8%
saltet filet/hel	3%	3%	2%	3%
røykt filet/hel	0%	0%	0%	0%
tilberedt	8%	6%	5%	6%
fryst filet	52%	40%	37%	42%
fryst hel	30%	44%	47%	40%
fryst innmat	1%	1%	1%	2%

1.2 Pelagisk landindustri

Den pelagiske landindustrien kan grovt deles inn i to hovedproduksjonsformer: konsumfisk og fiskemel & -olje. Ifølge Fiskeridirektoratets data³ gikk størstedelen av fangstvolumet som ble landet i årene 2020-2023 til konsum, med 54–70 % (850–1 060 000 tonn). De viktigste artene for konsum er makrell, nordsjøsil og NVG-sild. Som vist tidligere blir det meste av makrellen rundfrosset og eksportert, selv om fileteringsandelen har økt noe de siste årene. En betydelig del av nordsjøsilten har tradisjonelt blitt brukt til produksjon av matjesild, med et årlig volum på 10–15 000 tonn. Når det gjelder sild generelt, er bearbeidingsgraden høy som vist i Tabell 1, der over halve volumet ble filetert i 2023. I tillegg er det rognproduksjon fra både sild og lodde, når tilgjengelig.

Produksjon av fiskemel og olje utgjør 30–46% av fangstvolumet i perioden 2020–2023, og denne produksjonen består hovedsakelig av "industrifisk" som kolmule, tobis, øyepål og vassild, med et årlig volum på 450–745 000 tonn. I tillegg genereres det et årlig volum på omtrent 235-286 000 tonn avskjær og restråstoff fra konsumfiskproduksjonen, som benyttes inn iblant annet produksjon av mel og olje⁴. Melet fra denne produksjonen er en viktig ingrediens og proteinkilde i fiskefôr for havbruksnæringen. Oljen er også en viktig bestanddel i fiskefôr, men går også som ingrediens til kosttilskudd for humant konsum. Vi har i dette prosjektet avgrenset denne sektoren til å gjelde de anleggene som driver primærproduksjon på pelagisk råstoff, og ikke videreføring.

² Data hentet fra [Nøkkeltall \(seafood.no\)](https://seafood.no) for årene 2020-2023.

³ Egen bearbeidelse av data fra seddelregisteret ([Åpne data: fangstdata \(seddel\) koblet med fartøydata \(fiskeridir.no\)](#)): filtrert på pelagisk fisk og sortert etter hovedanvendelse for årene 2020-2023.

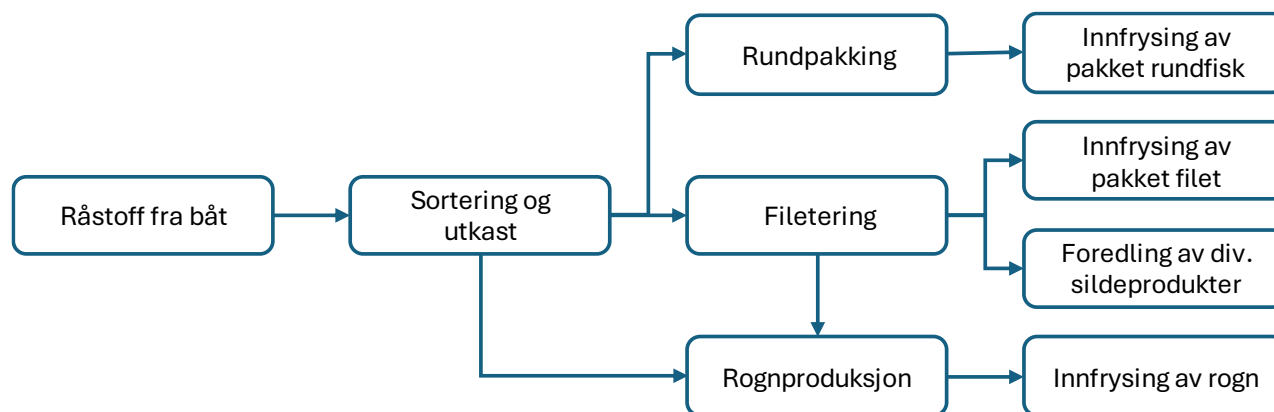
⁴ Rapport fra FHF 901844 ([Analyse marint restråstoff 2023](#))

Vi har identifisert totalt 24 anlegg som driver med pelagisk konsumproduksjon, samt 9 anlegg som produserer mel & olje på pelagisk råstoff. I begge segmenter er Pelagia AS den største aktøren, både når det gjelder antall anlegg og mengden råstoff som kjøpes inn, ifølge vår analyse av tall fra både Fiskeridirektoratet³ og norskfisk.no⁵

Tabell 2: Pelagiske produksjonsanlegg i Norge

Konsumanlegg	Mel og olje
<ul style="list-style-type: none"> • Lofoten Viking AS • Global Florø AS • Grøntvedt Pelagic AS • Brødrene Sperre AS • Fosnavaag Pelagic AS • Nergård Sild AS • Skude Fryseri AS • Prima Seafood AS • Olav E. Fiskerstrand AS • Sevrin Tranvåg AS • Karsten Flem AS • Atlantic Dawn Seafoods AS 	<ul style="list-style-type: none"> • Pelagia Kalvåg AS • Pelagia Lødingen AS • Pelagia Selje AS • Pelagia Tromsø AS • Pelagia Liavåg AS • Pelagia Måløy AS • Pelagia Egersund AS • Pelagia Træna AS • Maaløy Seafood AS • Hopen Fisk AS • Vikomar AS • Nils Sperre AS
	<ul style="list-style-type: none"> • Prima Protein AS • Triplenine Vedde AS • Karmsund Protein AS • Pelagia Karmsund AS • Pelagia Måløy Sildoljefabrikk AS • Pelagia Egersund Sildoljefabrikk AS • Pelagia Bodø Sildeoljefabrikk AS • <i>Grøntvedt Nutri AS</i> • <i>Lofoten Biomarine</i>

1.2.1 Konsumfiskindustri



Figur 3: Produksjonsformer i pelagisk konsumindustri

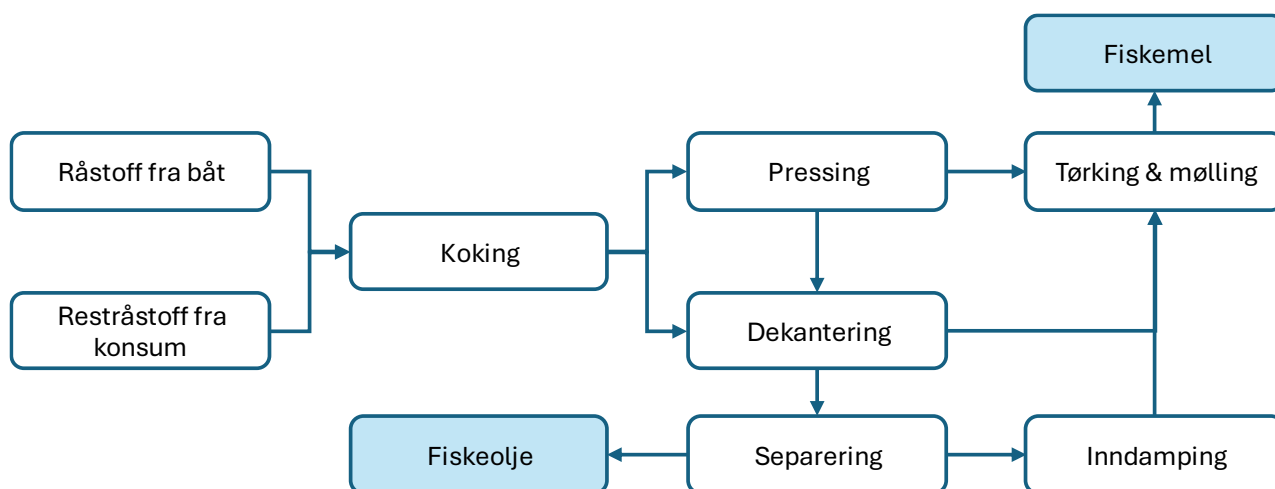
Figur 3 viser en forenklet oversikt over de mest dominerende produksjonsformene innenfor pelagisk konsumindustri. Det er naturlig noe variasjon fra anlegg til anlegg med tanke på hvilke produksjonsformer som benyttes, og dette avhenger også av hvilke arter anlegget håndterer. Som vist i Tabell 1, blir makrell i stor grad rundfrosset og eksportert, mens sild har en høyere grad av foredling. Her finnes det flere ulike produktvarianter, som marinerte sildeprodukter, krydderfilet, spekesild og spesialprodukter som matjessild. Fra et energibruksperspektiv er det ikke store variasjoner mellom disse produksjonsformene. Rundfrysing og filetfrysing utgjør et mye større volum, og nettopp innfrysing er det mest energikrevende prosess-steget i denne industrien. På grunn av den relativt korte produksjonssesongen har anleggene installert høy innfrysingskapasitet, hvor noen kan fryse godt over 1000 tonn per døgn. I snitt mottar hvert anlegg årlig

⁵ Norsk Fisk – Magasin nr. 8, 2024 – <https://norskfisk.no/utgave/8-2024/>

rundt 40 000 tonn råstoff, men det er betydelige forskjeller i kapasiteten mellom de ulike anleggene. De største anleggene mottar over 80 000 tonn i året, mens de minste ligger rundt 5 000 tonn⁵.

1.2.2 Fiskemel og -oljeindustri

Dette segmentet av den pelagiske sektoren baserer seg på råstoff fra enkelte pelagiske arter («industrifisk»), samt restråstoff fra konsumindustrien. Mengden innkjøpt råstoff varierer fra 15 000 tonn til 100 000 tonn per anlegg⁵, i tillegg til restråstoff fra konsumindustrien. Noen anlegg produserer nesten utelukkende basert på restråstoff, enten lokalt innkjøpt eller fra egen produksjon. I vår kartlegging har vi identifisert 9 anlegg som driver med produksjon av fiskemel- og olje, dvs. primærproduksjon uten videreforedling av oljen.



Figur 4: Forenklet produksjonsflyt for fiskemel og -olje

Produksjon av fiskemel og -olje foregår ofte i en integrert prosess, som noe forenklet er illustrert i Figur 4. Det finnes mange ulike varianter av produksjonsmetoden avhengig av utstyr og råstoff, men den grunnleggende prosessen er den samme der målet er å skille vann fra tørrstoff (mel) og fett (olje): Først varmes råstoffet opp, slik at proteiner denatureres og fett frigjøres ved at fettcellene ødelegges. Dette gjør det lettere å skille vann og olje fra de faste stoffene. Deretter presses blandingen mekanisk for å skille fast masse fra væske. Olje og vann separeres gjennom dekantering og sentrifugering, fiskeoljen lagres for videre bruk og prosessering mens vannfraksjonen (limvannet) går til inndamping. Det gjenværende konsentratet etter inndamping kombineres med den faste massen fra pressen (presskaken) og graksen fra dekantering, før alt tørkes og males til fiskemel. Denne produksjonen er svært energiintensiv, og i avsnitt 2.2.1 vises det til eksempler på hvordan de ulike delprosessene krever energi.

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. Pelagisk sektor har i denne perioden fått støttet 32 prosjekter med til sammen 43 MNOK, med en forventet energibesparelse på 66 GWh og utslippsreduksjon på 10 656 tonn CO₂-ekvivalenter. Støtten er tildelt 7 bedrifter innen næringa.

Tabell 3: Nøkkeltall på Enova-støttede prosjekter i pelagisk sektor

Undersektor	Antall prosjekter	Total støtte (MNOK)	Energireduksjon per prosjekt (GWh)	Utslippsreduksjon per prosjekt (tonn CO ₂ -ekv)
Pelagisk - Konsum	20	27	1,41	222
Pelagisk - Mel og olje	12	16	4,00	518



Figur 5: Forventet energireduksjon summert på pelagisk konsum og mel&olje

Tabell 3 viser en oversikt på hvordan prosjektene fordeler seg på de ulike segment, mens Figur 5 viser fordeling av det forventede energieresultatet. Prosjektene innen pelagisk mel- og oljesektor kan vise til de største resultatene på energi og klima, med gjennomsnittlig forventet energibesparelse på 4 GWh og 518 tonn CO₂-ekvivalenter per prosjekt. Sammenlignet med støttegrad er disse prosjektene de mest kostnadseffektive når det gjelder resultater per støttekrone. Prosjektene dekker områder som energiledelse, oppgraderinger av dampanlegg og spillvarmegjenvinning. I konsumsektoren har fokuset vært på å utnytte spillvarme til intern produksjon, samt oppgraderinger av kompressorer (frekvensomformere), installasjon av varmepumper og innføring av energiledelse.

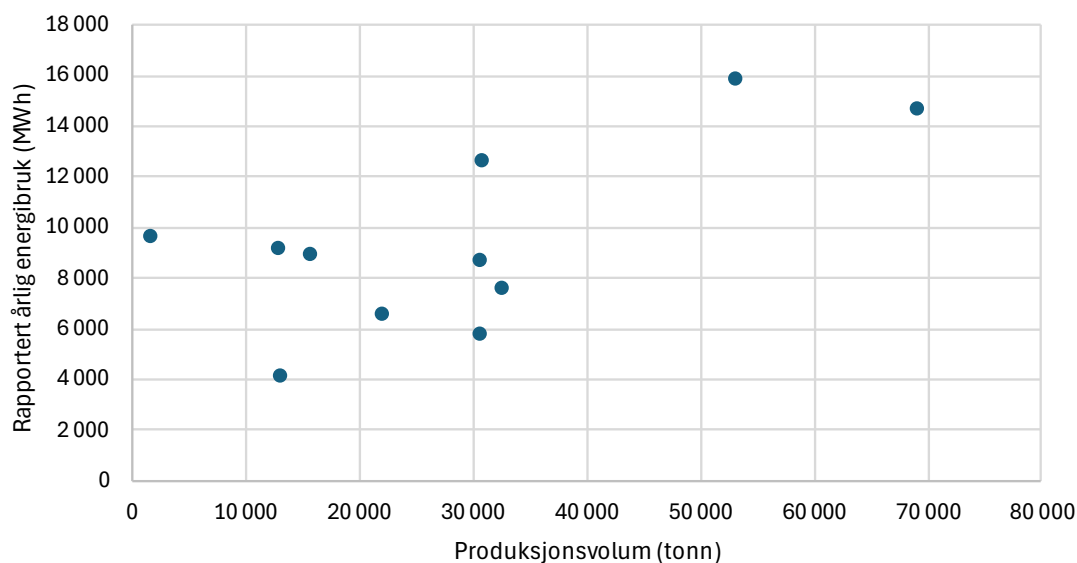
2 Dagens status: energibruk og energimiks

Dette kapittelet presenterer det beste tilgjengelige kunnskapsgrunnlaget om energibruken i pelagisk sektor, basert på data fra ulike kilder. Siden det er en viss usikkerhet i tallmaterialet, velger vi å presentere verdiområder i stedet for konkrete tallverdier. Usikkerheten skyldes flere faktorer: mye av dataene er selvrapportert, og noen av disse inneholder tydelige feil; andre deler av datagrunnlaget er historiske, uten tilgang til opprinnelige kilder. Kapittelet bygger hovedsakelig på informasjon fra en analyse vi har gjort av tall fra *Norske Utslipp*, samt på målrettet kartlegging i tidligere prosjekter og faglitteratur om temaet. Kartlegging av data fra Norske Utslipp inkluderte en populasjon på 23 anlegg tilhørende pelagisk sektor med rapporteringsplikt til Miljødirektoratet. Av disse tilhører 13 konsumindustrien og 10 fiskemel- og oljeindustrien.

2.1 Konsumindustri

Vi estimerer at den pelagiske konsumindustrien har et totalt årlig energibruk på 151 GWh, men med en betydelig usikkerhet (103-208 GWh), og all energi stammer fra elektrisitet. Disse tallene er basert på ekstrapolering av innhentet data for spesifikk energibruk og en produksjon på ca. 690 000 tonn makrell- og sildeprodukter (890 000 tonn råstoff), det vil si spesifikt energibruk på 116 – 235 kWh/tonn råstoffbasis.

Ifølge våre funn fra analyse av tall fra Norske Utslipp (NU) er det 13 konsumanlegg som i 2021/2022 har rapportert et totalt energibruk på 114 GWh og en produksjon på 311 322 tonn fordelt på ulike produktkategorier. Ingen av anleggene har rapportert energibruk annen enn elektrisk kraft, som er i tråd med vår kjennskap til sektoren. Som Figur 6 viser er det stor variasjon i produksjonsvolum og energibruk blant de 11 anleggene som rapporterte begge deler. Det er naturligvis en sammenheng mellom produksjonsvolum og energibruk (korrelasjonskoeffisient 0,66), men andre faktorer påvirker også energibruken. For eksempel produserer fire anlegg omtrent 30 000 tonn per år, men deres energibruk varierer fra 6 000 til 12 500 MWh. Denne variasjonen kan skyldes faktorer som ulik produktportefølje, teknisk stand, lagerkapasitet eller forskjeller i prosesseringslinjene. I tillegg er det ett anlegg som rapporterte et energibruk på nesten 10 000 MWh og en produksjon på kun 1 500 tonn, og dette er utelatt fra beregninger av spesifikt energibruk da volumet antas å være feilrapportert.



Figur 6: Selvrapportert energibruk og produksjonsvolum, basert rapporterte data til norskeutslipp.no for 2022

Beregningen av spesifikt energibruk blant disse anleggene viser et spenn fra 190 kWh/tonn til 716 kWh/tonn per produkt. Det vektete gjennomsnittet ligger på 304 kWh/tonn, noe som indikerer en skjevfordeling i datagrunnlaget. Kartlegging fra tidligere prosjekter og litteratur om denne typen anlegg viser lavere verdier^{6,7,8}. Disse verdiene er i stor grad basert på data fra det nå avsluttede «Industrinettverk for pelagisk bransje» som Enova tidligere drev, hvor det er gjort et skille på snitt for bransjen og beste praksis. Alle verdier er vist i Tabell 4. Det fremkommer ikke fra kildene om de rapporterte verdiene er basert på råstoff- eller produktbasis. Snittverdiene er benyttet for å estimere sektorens totale energibruk.

Tabell 4: Spesifikk energibruk i pelagisk konsumindustri, produktbasis

Beskrivelse	Periode	Verdier (kWh/tonn)	
		Spenn	Snitt
Verdier fra egen analyse av Norske Utslipp	2021-2022	190-716	304
Verdier identifisert fra litteratur, gjennomsnitt	2000-2012	195-270	221
Verdier identifisert fra litteratur, beste praksis	2000-2012	100-174	150

Tallgrunnlaget viser stor variasjon, fra 100 til 716 kWh/tonn, der faktorer som produktportefølje, teknisk tilstand ved anlegg og datakvalitet kan forklare noe av forskjellen. I tillegg er det usikkerhet i hva som er rapportert, dvs. noen anlegg kan ha rapportert forbruk knyttet kun til selve prosessen, mens andre rapporterer total forbruk for anlegg inkl. energi til administrasjon og bygg. En nyere studie gir ytterligere kontekst ved å kartlegge energiflyten ved et pelagisk konsumanlegg som fryser inn hel og filetert makrell og sild⁹. I studien presenteres månedlige tall for spesifikt energibruk, som tydelig viser avhengighet av produksjonsvolum. Når produksjonen overstiger 4 000 tonn per måned, nærmer energiforbruket seg 200 kWh/tonn. Ved lavere produksjonsvolum kan forbruket derimot være så høyt som 1 400 kWh/tonn, en variasjon som ofte opptrer samtidig med en høyere andel filetering. Dette tallet inkluderer et grunnlastbehov som må dekkes uavhengig av produksjonsvolum, som gjør det 'kunstig' høyt. Vår samlede vurdering er at spesifikt energibruk er i området 116-235 kWh/tonn råstoff, tilsvarende 150 – 304 kWh/tonn produkt.

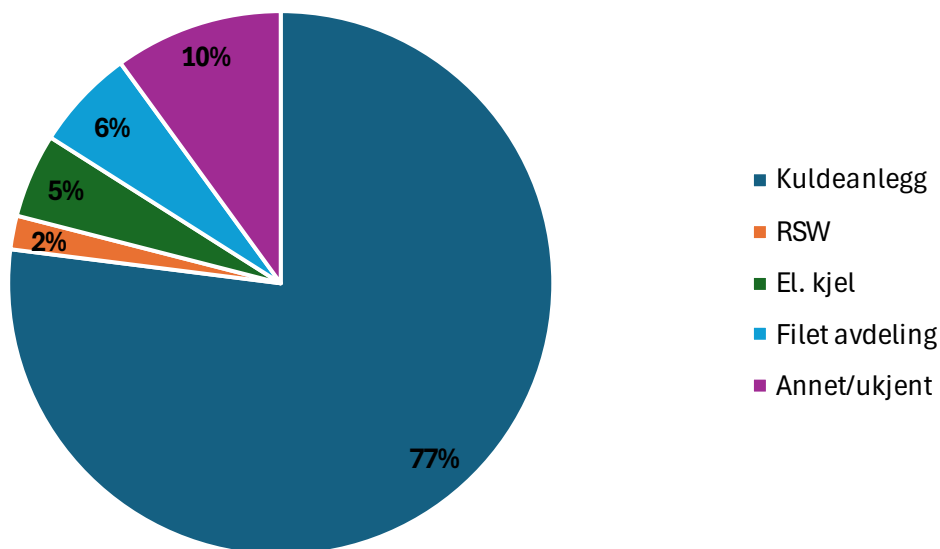
Et annet særtrekk ved denne industrien er den sesongavhengige tilgangen på råstoff, som igjen påvirker behovet for installert kapasitet. Figur 2 viser historiske data over tilgjengelighet av ulike typer pelagisk råstoff, og anleggenes utstyr og kapasitet er derfor dimensjonert for å håndtere disse sesongmessige variasjonene. Det er også viktig å skille mellom anlegg som kun produserer pelagiske produkter og kombinasjonsanlegg, som også har annen type produksjon, slik som Brødrene Sperres anlegg på Ellingsøya der dem også produserer saltfisk. Enkelte anlegg driver filetproduksjon basert på råstoff som er fryst inn i sesong, noe som bidrar til en mer jevn produksjon gjennom året. Et felles behov blant disse anleggene er høy innfrysningsskapasitet. For eksempel har anlegget i overnevnte studie⁹ et effektuttak på hele 5 500 MW i sesongen og over 100 MWh på de travleste dagene, hvor over 75 % av forbruket går til kuldeanleggene (Figur 7). Med referanse til Figur 3 så er innfrysning det prosess-steget det mest energikrevende, sammen med drift av store fryselager.

⁶ Widell, K.N., 2012. Energy efficiency of freezing tunnels. <http://hdl.handle.net/11250/234616>

⁷ Widell, Kristina N., K.N., Nordtvedt, T.S., Stavset, O., 2014. Nøkkeltall for kuldeanlegg i pelagisk industri (Rapport No. TR A7422). SINTEF.

⁸ Nordtvedt, T.S., 2010. Faktaark om energibruk i fiskeindustrien (Notat No. 16X897.02). SINTEF.

⁹ Widell, K.N., Svendsen, E.S., Selvnes, H., Sevault, A., Hafner, A., Nordtvedt, T.S., 2022. Energy flow analysis of an industrial ammonia refrigeration system and potential for a cold thermal energy storage. 15th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants, Trondheim, Norway. <https://doi.org/10.18462/IIR.GL2022.0034>

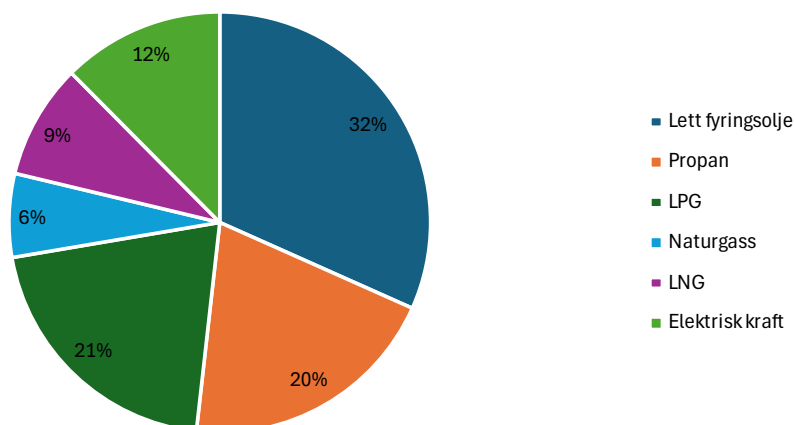


Figur 7: Fordeling av energiforbruk ved pelagisk konsumanlegg, reproduisert fra Widell m. fl. (2022)⁹

2.2 Fiskemel- og olje

Vi estimerer at pelagisk fiskemel- og oljeindustri har et totalt årlig energibruk mellom 338-387 GWh, der andelen som kommer fra fossile kilder er 85-90%. Disse tallene er basert på selvrapportert data fra anleggene til Norske Utslipp, hvor det for referanseperioden ble produsert totalt 140 083 tonn mel og 57 346 tonn olje, samt ekstrapolering fra beregnet spesifikt energibruk.

Av de 9 identifiserte fiskemelanleggene har 8 rapportert energiforbruk og produksjonsdata til Norske Utslipp, med et samlet energiforbruk på 338 GWh. Det eneste anlegge som ikke rapporterte, Lofoten Biomarine, startet produksjonen først i 2024. Anlegget forventer et årlig energiforbruk på 17,8 GWh, basert på 120 produksjonsdager og omtrent 144 000 tonn råstoff¹⁰. Til forskjell fra de øvrige anleggene i sektoren, er Lofoten Biomarine det eneste som utelukkende benytter elektrisk kraft. Sektoren som helhet bruker derimot betydelige mengder gass og olje i ulike former, som vist i Figur 8.



Figur 8: Energiforbruk ved pelagiske fiskemelanlegg, andeler målt i kWh per bærer, basert på rapporterte data til norskeutslipp.no for 2022

¹⁰ [Søknad om utslippstillatelse - Lofoten Biomarine AS - Værøy | Statsforvalteren i Nordland](#)

Tabell 5: Spesifikk energibruk i produksjon av fiskemel og olje, råstoff og produktbasis

Kilde	Oppgitt verdi	Omregnet til kWh/tonn råstoff
UNEP, 2000 ¹¹	32 kWh el, 35 l fuel per tonn råstoff	32 + 352
Hall, 2011 ¹²	32 kWh el, 49 l fuel per tonn råstoff	32 + 493
FAO, 1986 ¹³	30 kWh el, 44 l fuel per tonn råstoff	30 + 442
Fiskeriforskning, 2004 ¹⁴	31 kWh el, 22 kg olje per 100 kg mel	62 + 527
Egen beregning basert på tall fra Norske Utslipp		60 + 420

Verdier oppgitt i elektrisk + olje/gass

Antagelser i omregning: benyttet egenskaper for 'lett fyringsolje'

Litteraturen gir en oversikt over spesifikt energiforbruk i sektoren, men ingen av kildene er nyere enn 2011. Oppsummert viser disse kildene at det kreves mellom 20-60 kWh elektrisitet per tonn råstoff. Behovet for termisk energi (olje, gass) ligger på 350-530 kWh per tonn råstoff. Til sammenligning viser tallene fra NU at det spesifikke energiforbruket i referanseåret 2022 var 60 kWh elektrisk og 420 kWh termisk per tonn råstoff. Mens tallene for termisk energi stemmer godt med verdiene i litteraturen, avviker de elektriske forbruksdataene noe. En annen kilde viser at tidligere Egersund Sildoljefabrikk (nå Pelagia Egersund Sildoljefabrikk) hadde et årlig forbruk på 7 500 MWh elektrisitet og 5 500 tonn olje, med et råstoffvolum på 130 000 tonn per år¹⁵. Dette tilsvarer et spesifikt energiforbruk på 58 kWh elektrisk og 530 kWh termisk per tonn råstoff. Vår samlede vurdering er at verdiene 60 kWh el og 490 kWh termisk per tonn råstoff er de mest sannsynlige og oppdaterte for denne sektoren. Basert på et årlig råstoff-forbruk på omtrent 700 000 tonn, gir en ekstrapolering et estimert årlig energibehov for sektoren på 387 GWh.

2.2.1 Energikrevende prosesser

Alle anlegg er sammenlignbare i størrelse, det vil si de har en produksjonskapasitet i området 1200-1500 tonn i døgnet. Det er noe variasjon i hvordan prosesseringen foregår, men prinsipielt er den lik og som vist i Figur 4. I denne sektoren er det et stort behov for termisk energi i form av varme og høye temperaturer, og det er spesielt koking, tørking og inndamping som er energikrevende delprosesser. Det benyttes olje- og gasskjeler for å produsere damp som dekker varmebehovet i disse prosessene. Dette avsnittet viser et beregnet eksempel på dette.

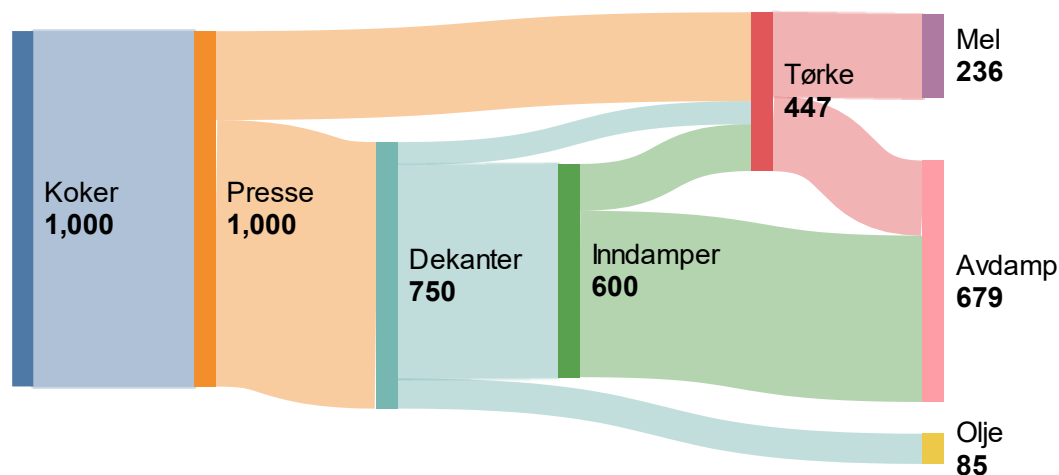
¹¹ COWI AS, 2000. Cleaner Production Assessment in Fish Processing. UNEP

¹² Hall, G.M., 2011. Fish Processing: Sustainability and New Opportunities. Wiley-Blackwell.

¹³ FAO Fisheries Department, 1986. The production of fish meal and oil, Fisheries Technical Paper 142.

¹⁴ Fiskeriforskning SSF, 2004. Energiforbruk, Håndbok for Fiskemelindustrien.

¹⁵ Myrvang, M., Strømman, A.H., Jonassen, O., 2007. Utilization of Excess Refinery Heat in Dehydration Processes (No. 1/2007). NTNU.



Figur 9: Massestrøm i fiskemelprosess, eksempel, basert på silderåstoff (70% vann, 20% tørrstoff og 10% fett). Verdier i kg.

Tabell 6: Eksempel på termiske behov i fiskemelprosessering ved ulike tekniske konfigurasjoner (A, B, C). Egne beregninger basert på 1000 tonn råstoff/døgn og massestrømmer som i Figur 9.

Delprosess	Betingelser	Varmebehov (kWh)	Energibehov (kWh/h)		
			A	B	C
Koking	Oppvarming råstoff fra 4 til 95 °C	86 956	3 985	3 985	2 847
Inndamping	Fordampe 468 tonn vann	293 410	5 257	2 103	341
Tørking	Fordampe 211 tonn vann	132 285	7 165	7 165	8 102
Væskeoppvarming	5-15K, diverse steder i prosessen, estimert	30 000	1 375	1 375	1 375
Tap	Damplekkasjer o.l 20%		3 557	2 926	2 533
Totalt behov, kW			21 339	17 554	15 198
Daglig behov, kWh			512 146	421 306	364 743

A: Inndamping 3-trinn m/frisk damp, dampptørke

B: Spillvarmeinnndamper 3-trinn (60% gjenvinning), dampptørke

C: Spillvarmeinnndamper + MVR (30% gjenvinning), damp- og lufttørke (70%/30%), forvarming råstoff til 30 °C

For å illustrere hvordan energibruken kan fordeles i fiskemelprosessering, har vi tatt utgangspunkt i en døgnproduksjon på 1 000 tonn silderåstoff og en massestrømfordeling som vist i Figur 9. Eksemplet antar et produktutbytte på 23,6% mel og 8,5% olje. Det er viktig å understreke at dette er kun et eksempel, og fordelingen kan variere betydelig med råstofftype, sesong og variasjoner i prosesseteknisk utstyr. Det som imidlertid er felles for fiskemelproduksjon, er det store energibehovet knyttet til oppvarming av råstoffet og fordampning av betydelige mengder vann før sluttproduktene kan utvinnes.

Tabell 6 viser de ideelt beregnede varmebehovene. I dette eksempelet er det nesten 700 tonn vann som skal fordampes, noe som utgjør det største varmebehovet, på ca. 425 000 kWh per døgn. Dette skjer i inndamperen og tørken. I tradisjonelle anlegg (A, ref. Tabell 6) dekkes dette behovet typisk av frisk damp, noe som resulterer i et svært høyt energiforbruk. Dersom spillvarme fra dampptørken benyttes i en spillvarmeinnndamping (B), reduseres energibehovet for inndampingen betydelig. Videre overgang til mekanisk damprekompresjon (MVR) kombinert med spillvarmeutnyttelse (C) reduseres energibehovet nærmest helt.



Koking av råstoff er også en energikrevende delprosess, og det kan være mulig å utnytte spillvarme til forvarming (C). Dette kan imidlertid medføre prosess tekniske og kvalitetsmessige utfordringer¹⁴. I tillegg kreves energi til oppvarming av massestrømmene ved ulike steder i prosessen, og varmetap påvirker også totalforbruket. Det totale daglige termiske energibehovet i dette eksemplet varierer fra 365 000 til 512 000 kWh, avhengig av den tekniske konfigurasjonen. Verdiene i dette avsnittet er ment som illustrative eksempler, og tar blant annet ikke hensyn til faktorer som virkningsgraden til olje- eller gasskjeler. Det er satt opp et tilsvarende eksempel i avsnitt 3.2 som danner et utgangspunkt for beregning av energisparingspotensial.

3 Tiltak for energieffektivisering

Dette kapittelet presenterer tiltak som kan forbedre energieffektiviteten i pelagisk sektor. Kapittelet er delt inn i spesifikke tiltak som gjelder for konsumfiskindustrien, tiltak som gjelder fiskemel- og oljeindustrien, samt generelle tiltak som vi anser å kunne gi gevinst for hele sektoren. For sistnevnte er det ikke gjort en tallfesting på energibesparelser, mens det er gjort for de spesifikke tiltakene. Hva som ligger til grunn for utregningene er bemerket i hvert avsnitt, og det er viktig å understreke at dette er potensialer som er beregnet med grunnlag i en del antagelser.

3.1 Energieffektivisering i konsumindustrien

3.1.1 Tiltak 1: Tiltak i kuldeanlegg

Kuldeanleggene kan stå for så mye som 75% av den totale energibruken ved pelagiske konsumanlegg, som vist i Figur 7, og dekker behov tilknyttet innfrysing av fisk og fryselagring av råstoff og ferdigvare. Tiltak som er knyttet til innfrysningen er beskrevet i neste avsnitt, mens dette avsnittet tar for seg tiltak som kan gjøres på selve kuldeanlegget.

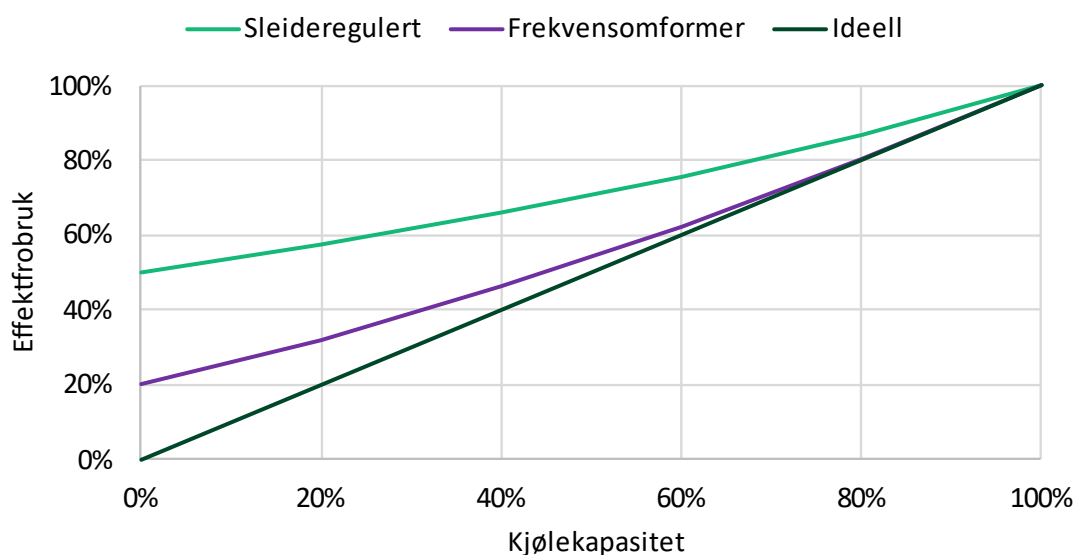
Innledningsvis starter vi med en beskrivelse på det som kan anses som et «typisk kuldeanlegg» i denne industrien, og er basert på gjennomgang av åpen litteratur, samtaler med industri og befaringsrapporter tilgjengeliggjort for prosjektgruppen. Det er store kuldeanlegg som benyttes i industrien, nettopp på grunn av de store krav til innfrysningskapasitet i denne industrien, og prosjektgruppen kjenner til anlegg med installert kuldekapasitet i området 4-7 MW. Eksempelvis, hvis vi tar utgangspunkt i et anlegg som fryser inn 1000 tonn/døgn og har en fryselagerkapasitet på 15 000 tonn (80% utnyttelsesgrad), så vil dimensjonerende kuldekapasitet være 4,3 MW¹⁶. Industrielle kuldeanlegg i denne størrelsesklassen benytter nesten utelukkende ammoniakk (R - 717, NH₃) som kuldemedium, og benytter flere kompressorer som jobber sammen for å dekke behovet. I noen tilfeller kan også kuldekapasiteten være fordelt på flere kuldeanlegg, som enten jobber uavhengig av hverandre (dekker spesifikke behov) eller i synkron. Det benyttes også flere kompressorer i denne typen anlegg, typisk skruekompressorer for å dekke grunnbehovet, mens stempelkompressorer kan brukes for å dekke topplaster. Fordampningstrykket kan ligge så lavt som - 42 °C til -38 °C, mens kondensasjonstrykket kan ligge rundt 20-25 °C. Et slikt løft er mulig å gjøre i 1 trinn med skruer og economizer, evt. med mellomtrykkstrinn og parallellkompresjon. Kondensasjonsvarmen avgis gjerne til sjø eller ved bruk av fordunstningskondensatorer på tak.

Erfaring fra befarings utført i prosjektet og gjennomgang av befaringsrapporter tilgjengeliggjort for prosjektgruppen viser at det er en del tiltak i kuldeanlegg som går igjen. Dette kan være redusere kondensatortrykk, heve sugetrykk, unngå dellastkjøring, konvertere til mer effektiv ytelsesregulering på skruekompressorer, optimalisere avrimingsrutiner til mer inngripende tiltak, som installasjon eller utbytte av sentrale komponenter i denne typen systemer, som kompressorer, economizer eller luft- og vannutskillere. Dette avsnittet vil gjøre en teoretisk redegjørelse på noen av disse punktene og hvordan det påvirker effektiviteten i denne typen anlegg, og til sist gjøre et anslag på potensialet for energibesparelse gjennom implementering av ett eller flere av disse tiltakene. Det er også gjort en generell beskrivelse av tiltak i avsnitt 3.3.2.

Selv om kuldeanlegg i denne industrien er dimensjonert for å fryse inn store volum på kort tid, er det samtidig en stor variasjon i kuldelaften gjennom døgn og året, og dermed vil effektiv kapasitetsregulering være viktig. Figur 10 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

¹⁶ Antagelser: Spesifikk energibruk innfrysning på 100 kWh/tonn, spesifikk energibruk fryselager på 150 kWh/tonn/år

installere frekvensomformer, da får man en ytelseskurve tilsvarende den lilla 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% dellast, 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 dellast, og heller optimerer kjøringen av kompressorer der det samlede energibruket er målet for optimalisering.



Figur 10: Kapasitetsregulering på skruekompressorer, prinsipielt

Trykkforholdet kuldeanlegget jobber med er svært viktig for virkningsgraden, COP. Dermed er det gevinster å hente ved enten å heve sugetrykket eller senke kondensasjonsstrykket. Dette forholdet er vist i Tabell 7, der man kan se relativ endring i COP målt opp mot $-40/+20$ °C. For eksempel vil man ved å senke kondensasjonsstrykket med 1 °C kunne øke COP med 2%, eller ved å heve sugetrykket med 1 °C øke COP med 3%. Sugetrykket kan heves ved implementering av effektive varmevekslere på den kalde siden og gode avrimingsrutiner, mens kondensasjonsstrykket kan senkes ved bedre styring og ikke minst, vedlikehold og rensing av kondensatorer og vedlikehold av luftutskillere (evt. bytte ut manuell luftutskiller med automatisk).

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

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

Kontinuerlig oppfølging og vedlikehold av kuldeanlegg er generelt viktig for å opprettholder effektiviteten, da denne avtar med tiden: kondensatorer må renses, isolasjon på rør og i vegger forringes, kuldemedium kan lekke osv. Potensialet i å effektivisere kuldeanlegg i industrien må gjøres på anleggsbasis, da det kan antas å være en svært stor variasjon i teknisk stand og alder på disse. Noe forenklet kan vi anta at i snitt så opererer anleggene i industrien med en Carnot-virkningsgrad på 50% (vanlig område er 40-60%). Hvis vi antar at det er mulig å heve denne til 55%, og med utgangspunkt i at kuldeanlegg står for 75% av total energibruk i sektoren, så betyr det en årlig energibesparelse på ca. 10 GWh. Kostnaden for å modernisere kuldeanlegg vil variere svært etter behov, alder og teknisk stand, og omfatter alt fra lavkost-tiltak som vedlikehold og optimalisering, til kostbare tiltak som innebærer utbygging eller installasjon av komponenter.

3.1.2 Tiltak 2: Tiltak i tunneler

Tunnelfrysing er den mest brukte metoden for innfrysing av pelagisk fisk og er spesielt godt egnet på grunn av de store volumene som må fryses i løpet av en relativt kort sesong. Prosjektgruppen kjenner til at det anvendes automatiserte, kontinuerlige tunneler i industrien i dag, men regner med at det fortsatt er batch-tunneler som er mest utbredt. Ulempen med denne metoden er dens høye energibruk. Ifølge tidligere studier kan varmelasten i en frysetunnel fordeles som følger: produktet står for 65%, viftene for 30%, og øvrige kilder for 5%^{7,17}. Varmelasten indikerer hvor mye arbeid kuldeanlegget må utføre, altså det elektriske energiforbruket. En høyere varmelast gir dermed et økt energiforbruk. Luftviftene bidrar dessuten direkte til energibruken og påvirker varmelasten, noe som gjør dem til en sentral faktor i optimaliseringen av energibruken. Innfrysningstiden i tunneler varierer, men ligger typisk mellom 18 og 22 timer. Tabell 8 viser kartlagte verdier for tunnelfrysing basert på teoretiske beregninger fra diverse litteratur, men også målinger fra anlegg i sektoren (anonymisert av hensyn til bidragsgivere).

Tabell 8: Spesifikk energibruk for innfrysing i tunnel, basert på data fra litteratur og tidligere målinger

Metode og beskrivelse	Spesifikk energibruk (kWh/tonn)
Tunnelfrysing, teoretisk ¹⁸	106
Tunnelfrysing, teoretisk ¹⁹	158
Tunnelfrysing, kartong m/filet, teoretisk ²⁰	131
Tunnelfrysing, snitt av målinger fra anonymiserte anlegg (n=3)	130

Flere teoretiske studier, målinger og erfaringer har vist at utforming av frysetunneler har stor betydning for effektiviteten i innfrysingsprosessen. Det antas at det er i bruk en stor bredde av ulike tunneler i bransjen i dag, selv innenfor samme anlegg kan det variere mtp. både alder og utforming. Utforming inkluderer faktorer som størrelse, bruk av ledeskovler og himling, luftretning og plassering av vifter. Disse elementene er med å påvirke luftstrømmen i tunnelen og dermed innfrysningstiden. Det antas at en reduksjon i innfrysningstid vil redusere den spesifikke energibruken fordi man reduserer drift av vifter, men potensialet for energireduksjonen antas å variere fra anlegg til anlegg pga. variasjon i tunneltyper. Noen betraktninger rundt dette er gjort av Widell m. fl. (2014)⁷.

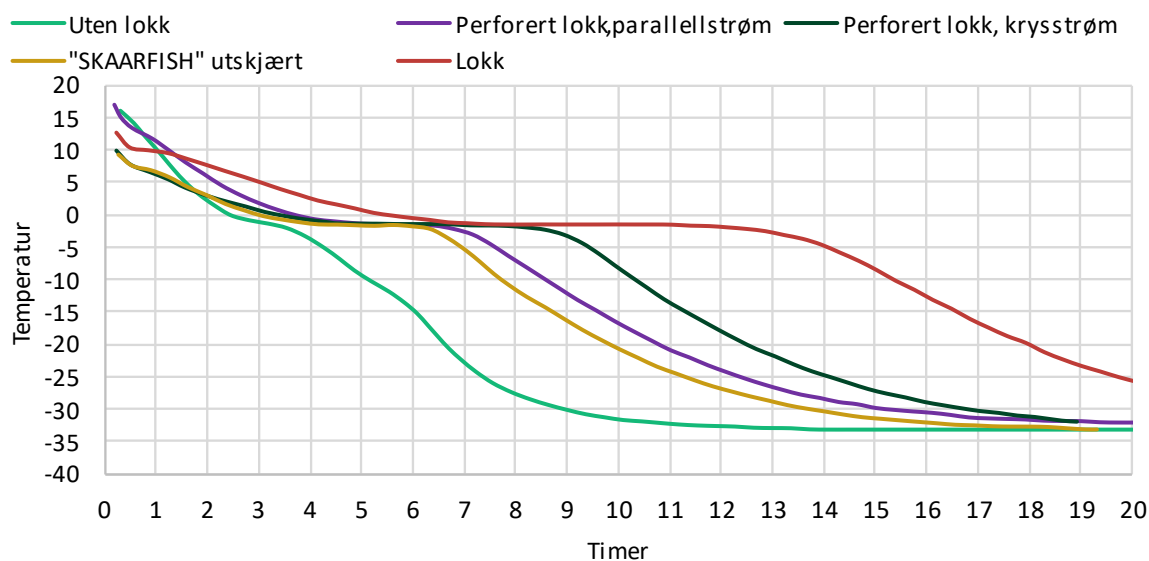
¹⁷ K. N. Widell, T. M. Eikevik, and H. T. Walnum, 'The effect of reduced air fan speed on freezing times and energy consumption in a freezing tunnel', presented at the 10th IIR Gustav Lorentzen Conference, Delft, Netherlands, 2012.

¹⁸ Magnussen, O.M., Nordtvedt, T.S., 2006. ENØK i kuldeanlegget (Teknisk rapport No. TR A6287). SINTEF Energiforskning.

¹⁹ Kolbe, E., Kramer, D., 2007. Planning for Seafood Freezing. Alaska Sea Grant.

²⁰ 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)

Hel pelagisk fisk pakkes typisk i plast og kartongesker for å bevare kvalitet og holdbarhet, samt for å gjøre håndteringen enkel, men denne emballasjen skaper en barriere for varmeoverføring. Magnussen og Nordtvedt (2006) undersøkte effekten av modifisert emballasje, som perforeringer eller utskjæringer i kartonglogg²³. Resultatene, som vist i Figur 11, viste at frysetiden for makrell kunne reduseres fra 18 til ca. 7 timer ved å fjerne lokket helt, noe som tilsvarer en reduksjon i kuldebehovet på 26%. Mindre endringer, som perforering, reduserte frysetiden til 10-12,5 timer, noe som tilsvarer 18-26% lavere kuldebehov. En utfordring ved å endre emballasje er at den nåværende standarden er tett integrert i logistikk- og produksjonssystemene²¹. Det pågår imidlertid prosjekter som undersøker bruk av redusert plastmengde i emballeringen av pelagisk konsumfisk, noe som også kan ha positive effekter på innfrysningstid²².



Figur 11: Effekt av modifisert emballasje på frysetid for makrell. Lokk (rød kurve) er referanse, dvs. standardkartong. Reproduisert fra Magnussen og Nordtvedt (2006)²³

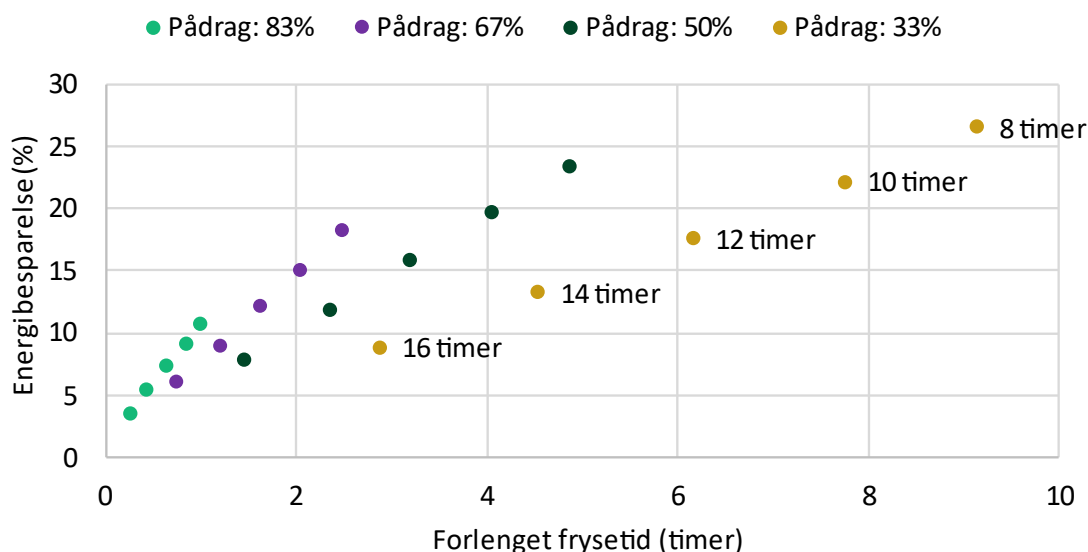
Viftene i frysetunneler står for en betydelig andel av energibruken, både direkte og indirekte, og det er dermed aktuelt å optimalisere driften av disse. Flere studier har undersøkt regulering av viftehastigheten under innfrysningen. Widell et al. (2012) viste at energibesparelser på 4–26 % var mulig ved å redusere viftehastigheten, selv om dette medførte en forlenget frysetid på 0,5–9 timer. Dette ble muliggjort ved å redusere pådraget på viftene mellom 8 til 16 timer inn i innfrysningen, og resultatene er vist i Figur 12. I en annen studie ble frekvensregulerte vifter styrt basert på temperaturdifferanser, noe som resulterte i lignende resultater: 33 % lavere energibruk per batch, men med 14 % lengre frysetid²⁴. Det antas at en del anlegg har systemer på plass i dag for regulering av tunnelvifter, men samtidig at det gjenstår en del eldre tunneler. Frekvensomformere kan gi dynamisk regulering av vifter og er kommersielt tilgjengelig, mens investeringskostnaden anses å være moderat.

²¹ Faktaarket «Ny kasse for frossen pelagisk fisk», fra prosjekt «Emballasje for pelagisk fisk: Mulighetsstudium» (FHF900794). 2015

²² «Bærekraftig emballasje for pelagisk konsumindustri (SustPack)» (FHF 901958). Pågående prosjekt 2024-2026, ledet av NOFIMA

²³ Magnussen, O.M., Nordtvedt, T.S., 2006. ENØK i kuldeanlegget (Teknisk rapport No. TR A6287). SINTEF Energiforskning.

²⁴ Walnum, H.T., Andresen, T., Widell, K., 2011. Dynamic simulation of batch freezing tunnels for fish using Modelica. *Procedia Food Science* 1, 698–705. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.106>



Figur 12: Effekt av redusert viftepådrag på innfrysningstid og energibesparelse. Pådrag redusert etter 8, 10, 12, 14 og 16 timer inn i innfrysningen, og baseline 20 timer. Reproduert fra Widell m. fl (2012)¹⁷

Basert på vår modell for innfrysning av 100 tonn hel makrell fra +5 til -20 °C i en standard frysetunnel, med en innfrysningstid på 18 timer, konstant viftepådrag og en COP på 2, gir dette en spesifikk energibruk i innfrysningen på 98,2 kWh/tonn. Merk at dette utgangspunktet er allerede svært effektivt, ref. Tabell 8. Volumet vi tar utgangspunkt i er rundfrosset eksportvolum for 2022 (se Tabell 1). Vi antar at forlenget frysetid i utgangspunktet ikke er ønskelig eller akseptabelt fordi det kan gi utfordringer og skape flaskehals i produksjonen, men samtidig antar vi at en liten andel av volumet kan tillates forlenget frysetid ('siste' batcher, lite volum som skal fryses etc.). Dersom 10% av volumet kan tillate en forlenget frysetid på opp mot 4 timer, estimeres en energibesparelse på 15-33%, som tilsvarer 0,7-1,5 GWh per år. Videre vil forbedringer i emballasje som reduserer frysetid med 2 til 4 timer kunne gi 7-13% lavere energibruk, tilsvarende 3-6 GWh for hele volumet. Til sist antar vi at halve fryseriparken har potensial til å redusere spesifikk energibruk med 5% gjennom optimalisering av design og utforming, noe som kan gi ytterligere 1 GWh i besparelse. Samlet ligger potensialet i området 0,7-8 GWh, uten å ta hensyn til samspillet mellom ulike tiltak.

3.1.3 Tiltak 3: Lakefrysing

Lakefrysing er en effektiv innfrysingsmetode der produktet senkes ned i en saltholdig, kald og sirkulerende lake som henter ut varmen. Sammenlignet med luft så er det mye bedre kontakt mellom kjølemediet (laken) og fisken, og man har en høyere varmeoverføringskoeffesient som gir bedre betingelser for varmeoverføringen totalt sett. For hvitfisk har Larssen m.fl. (2022)²⁵ vist at den spesifikke energibruken er 0,08 kWh/kg, mens Østvik m.fl. (2018)²⁶ dokumenterte gjennom målinger et spesifikt energibruk på 0,054 kWh/kg for innfrysing av makrell i lake.

I det EU-finansierte prosjektet ENOUGH testes et konsept der makrell singelfryses i lake før den pakkes og frysingen fullføres i tunnel på konvensjonelt vis²⁷. Målsettingen er å oppnå en halvering av tidsbruken i tunnel (fra 20 til 10 timer), som antas å føre til 10-20% besparelse av energiforbruk (totalt sett) og økning av frysekapasitet. I en teoretisk beregning av energibesparelsen for dette konseptet kom det frem til at det

²⁵ W. Emblem Larssen, T. Barnung, and I. Bjørkevoll, 'Lakefrysing av hvitfisk', Møreforskning, 2203, 2022

²⁶ Østvik, S.O., Grytten, P.K., Gjelsest, L., Aasen, A., Staurset, M., Øy, J., Krogsethagen, T., Valderhaug, H.K., Drønnesund, F., Bøstrand, A., 2018. Utvikling av teknologi og metode for lakefrysing av makrell (FHF 901290)

²⁷ Se enough-emissions.eu/demonstrator/demo-15-brine-freezing-of-fish/

totale energibruket for innfrysningen kan reduseres med 14% sammenlignet med tradisjonell innfrysning, fra 7 701 kWh til 6 631 kWh for en batch på 100 tonn makrell²⁸.

Gitt at all innfrysning av hel makrell (se volum i Tabell 1) ble utført med denne typen systemer, ville den årlige besparelsen være 3-4 GWh, eller 1-4% av totalt energibruk i sektoren. Denne utregningen baserer seg på at det allerede er i bruk effektive frysetunneler.

Teknologien er ikke ny, og det finnes tilgjengelige løsninger på markedet, men ikke tilpasset pelagisk produksjon. Modenhet på selve teknologien anses å være høy, men det må piloteres i dette segmentet, og utfordringen kan være å utvikle utstyr som passer inn i produksjonslinjer som ivaretar dagens krav til produktionsrate (store volum på kort tid). Det foreligger dermed heller ingen data på investeringskostnader, men man kan anta en reduksjon i driftskostnader som funksjon av redusert energibruk.

3.2 Energieffektivisering i fiskemel- og oljeindustrien

Som tidligere beskrevet i rapporten har anlegg for fiskemel- og oljeproduksjon en høy andel termisk energiforbruk knyttet prosesser for oppvarming og fordamping av vann. Det termiske energibehovet dekkes i dag hovedsakelig gjennom produksjon av damp fra dampkjeler ved ulike trykk- og temperaturnivåer som brukes som energibærere i prosesser som koking, inndamping, tørking, samt andre oppvarmingsprosesser. Det er også behov for varmluft i de anleggene hvor det helt eller delvis benyttes varmluftstørkere. Felles for de fleste anlegg er at disse energibærerne produseres gjennom forbruk av fossile brensler, som angitt i Figur 8. Det vil derfor hensiktsmessig å vurdere energieffektiviseringstiltak som bidrar til å redusere energiforbruk og utslipp fra fossil oppvarming.

Potensielle tiltak som kan bidra til å redusere industriens energiforbruk er inndelt følgende:

1. Erstatte bruk av dampkjeler fyrt med fossile brensler med alternative og mer energieffektive oppvarmingsløsninger og utnyttelse av spillvarmekilder
2. Direkte utnyttelse av spillvarmekilder for å redusere dampbehovet: F.eks. avgass fra tørking, kondensat og flashdamp
3. Isolering av rør og tanker, hindre energitap ved damplekkasjer
4. Optimalisering av drift, kapasitet og kvalitet

Det største energireduksjonspotensialet (og utslippspotensialet) vil ligge i å erstatte fossile brensler med alternative oppvarmingsteknologier. Fokuset for fiskemel- og oljeindustrien har derfor vært å vurdere aktuelle prosesser som kan energieffektiviseres, muliggjørende teknologi og potentialet for energireduksjon ved å gjennomføre dette. De øvrige tiltakene og effektene av dem er ellers godt beskrevet tidligere av Fiskeriforskning SSF Håndbok for fiskemelindustrien¹⁴.

Det er i hovedsak to typer teknologier som kan tas i bruk som løsning for å erstatte fossile brensler til dampproduksjon i dag: Elektrokjel og industrielle varmepumper. Omlegging til elektrokjel er et tiltak som vil ha begrenset innvirkning i energiforbruket knyttet til dampproduksjon. Basert på erfaringstall, anslås dette til å være i størrelsesorden 5-10%, da nyere elektrokjeler har en virkningsgrad nær 100%, mens eksisterende kjeler fyrt med gass antas å ha en virkningsgrad på 0.9-0.95.²⁹ Den største fordelen knyttet til et slikt tiltak vil derfor være at utslippene elimineres. Kostnadene knyttet til en slik installasjon må vurderes mot prisutviklingen på elektrisitet i forhold til fossile brensler. I tillegg må det vurderes om det er tilgjengelig nettkapasitet til å gå over til elektrisitet. For et anlegg med en daglig produktionskapasitet på 1500 tonn råstoff, vil effektbehovet ligge i størrelsesområde 20-30 MW, avhengig av energieffektivitet¹⁴. Omlegging til

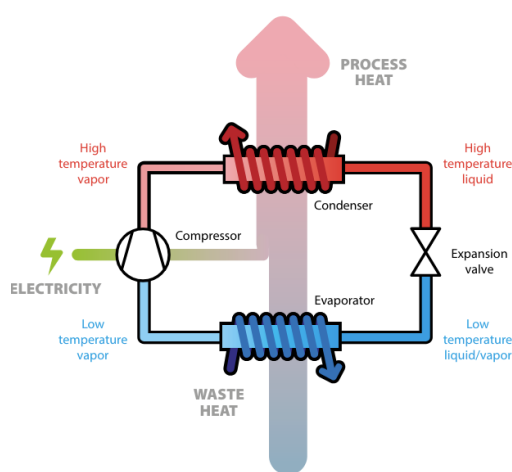
²⁸ Svendsen, E.S., Indergård, E., Bengsch, J., Widell, K.N., Köster, L., Nordtvedt, T.S., 2024. Improving energy efficiency in seafood freezing with brine technology. International Institute of Refrigeration (IIR). <https://doi.org/10.18462/IIR.ICCC2024.1029>

²⁹ 2022 Danish Energy Agency: Technology Data for Industrial Process Heat

varmeproduksjon med industriell varmepumpeteknologi er derimot et tiltak som har et langt større energieffektiviseringspotensial enn bruk av elektrokjel.

Varmepumpen baserer seg på fire grunnleggende komponenter: Fordamper, kompressor, kondensator og ekspansjonsventil. Et arbeidsmedium fungerer som varmbærer og sirkulerer mellom disse fire komponentene. Mediet tar opp og avgir varme hhv. gjennom fordampning og kondensering. Som følge av dette prinsippet kan varmepumper produsere varme mye mer effektivt sammenlignet med direkte oppvarming fra for eksempel elektro- eller gasskjeler. Ytelsen til varmepumper er definert gjennom varmefaktoren, COP (Coefficient of Performance). Den angir forholdet mellom avgitt varmeeffekt og tilført elektrisk effekt:

$$COP = \frac{\text{Avgitt varmeeffekt}}{\text{Elektrisk effekt}}$$



Figur 13: Prinsippkisse for en varmepumpe³⁰

Varmepumper til bruk for industrielle formål ble tatt i bruk på 80-tallet f.eks. til fjernvarme med kapasiteter godt over 10 MW, eller til inndamping i pelagisk industri gjennom å implementere MVR-vifter. Siden har teknologien blitt tatt i bruk i mange sektorer, og varmepumper med forsyningstemperaturer opp mot 100 °C regnes i dag som moden teknologi (TRL 9).

Høytemperatur-varmepumper (HTHP) er et begrep som brukes for industrielle varmepumper som kan levere varme på temperaturer over 100 °C. Da nesten halvparten av det industrielle varmebehovet ligger i området 100–200 °C³¹ kan teknologien spille en stor fremtidig rolle i å avkarbonisere industrielt energiforbruk knyttet til varme, f.eks. knyttet til dampproduksjon i området 2-10 bara som er relevant for pelagisk sektor. Av ulike årsaker, knyttet til manglende teknologisk modenhet, få leverandører, høye investeringskostnader, samt lavt kunnskap hos industrien har utbredelsen av HTHP-teknologi i industrien gått tregt. I enkelte sektorer er det få eller ingen kommersielle anlegg og dermed lite driftserfaring.³² Dette er i ferd med å endre seg, og i de senere årene har økt satsing ført til teknologisk utvikling og re-introduksjon av naturlige kuldemedier for å fase ut bruk av F-gasser som både medfører høye GWP verdier og potensielle menneskelige og

³⁰Boer, R. de, Andrew, M., Zühlsdorf, B., Arpagaus, C., Bantle, M., Wilk, V., Elmegaard, B., Corberian, J. and Benson, J. 2020: Strengthening Industrial Heat Pump Innovation Decarbonizing Industrial Heat.

³¹ McMillan. 2019.: Solar for Industrial Process Heat Analysis.

³² IEA. 2023: IEA Annex 58 High-Temperature Heat Pumps Task 1-Technologies Task Report. Heat Pump Centre.

miljømessige skadevirkninger som følge av bruk av per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS).³³ Det er i dag et bredt spekter av teknologileverandører, som for øyeblikket utvikler klimavennlige varmepumper med mål om å levere varme på temperaturer mellom 120-150 °C, og noen til og med opp mot 200 °C. Flere av disse er nå kommersielt tilgjengelig (TRL7-9).³⁴

3.2.1 Energibehov i prosessene og potensialet for spillvarmeutnyttelse

For å kunne foreslå konkrete tiltak og kvantifisere effekten av dem, så er det gjennomført en overordnet energianalyse av et tenkt anlegg. Her må det presiseres at det er gjort antakelser og forenklinger, slik at dette ikke er ment å gjelde generelt for anleggene i industrien i dag. Tallgrunnlaget for energianalysen baserer seg i hovedsak fra Fiskeriforskning¹⁴.

3.2.1.1 Beskrivelse av anleggets prosesser og energiforbruk.

For analysen så er det tatt utgangspunkt i et moderne fiskemel- og oljeproduksjonsanlegg, med høy energieffektivitet. For enkelthetskyld så er kun de mest energikrevende prosessene analysert, dvs. koking og pressing, inndamping, tørking, og væskeoppvarming. Totalproduksjon i dette eksempelet er 1500 tonn fisk per dag. Basert på massebalansen, fordelingen mellom fett, tørrstoff og vann i hver enkelt prosess gir dette en daglig produksjon på 147 tonn fiskeolje og 263 tonn fiskemel. Total mengde vann som skal fordampes daglig blir 1090 tonn.

Koking og pressing: Kokeprosessens formål er å varmebehandle råstoffet for å frigjøre fett, samt sørge for gode driftsforhold for påfølgende prosesser. Typisk så vil temperaturen for prosessen ligge i området 70-90°C. Det benyttes i hovedsak indirekte skruekokere, som forsyner varme til råstoffet fra damp som omslutter råstoffbeholderen i en dampkappe. Typisk damptemperatur vil kunne ligge på 120 °C¹⁴. Koking står for en stor andel av anleggets totale energiforbruk, i dette eksempelet 29 %. Videre så er kravene til damptemperatur og trykk noe lavere enn i tørkeprosessen. Dette gjør kokeprosessen til en god kandidat for energieffektivisering gjennom utnyttelse av spillvarme og varmeoppgradering med HTHP teknologi. En utfordring sammenlignet med f.eks. tørking og inndamping, er at det ikke finnes tilgjengelig spillvarme fra selve kokeprosessen, da all tilført energi går videre til de andre prosessene. Utnyttelse av spillvarme som innsatsvarme til varmepumpens fordampere må derfor søkes fra andre kilder, eksempelvis kondensat fra MVR-inndampere eller avgass fra damptørking. Tabell 9 angir prosesskravene for koking som er benyttet i analysen:

Tabell 9: Prosesskrav for koking

Kokeprosess	Koketemperatur [°C]		
	70	80	90
Effektbehov [kW]	4801	5539	6278
Varmebehov [kWh/tonn]	76.8	88.6	100.4
Dampkrav			
Trykk [bara]	1.43	1.99	2.70
Temperatur [°C]	110	120	130
Massestrøm [kg damp/tonn fisk]	124.0	144.9	166.3

³³ Cousins, I. T., Johansson J. H., Salter, M. E., Sha, B. and Scheringer, M. 2022 : Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS). Environmental Science and Technology 56 (16): 11172–79.

³⁴ Bantle, M.; Moen, O. M. and Schlemminger, C. 2022: The Heat Pump Market, Research and Policy in Norway. IEA HTP hybrid workshop, 10th of May 2022

Antagelser:

- Innløpstemperatur råstoff: 5 °C
- Varmetap: 20%

Inndamping: Her er det tatt utgangspunkt i inndamping basert på MVR (Mechanical Vapor Recompression). Denne teknologien, hvor overskuddsdamp fra inndampingsprosessen rekomprimeres til høyere trykk og temperaturnivå i ett eller to-trinn, som så igjen varmeveksles mot limvannet i prosessen fikk sitt inntog på 80-tallet. Sammenlignet med konvensjonelle flertrinnsinndampere, så er energiforbruket til inndamping ved bruk av MVR drastisk redusert til ca. 10%. Ved årtusenskiftet dominerte MVR-inndampere industrien, og er derfor brukt som utgangspunkt, selv om flertrinnsinndampere og spillvarmeinndampere også i stor grad brukes. Av denne årsaken er inndampingsprosessens andel av anleggets totale energiforbruk kun her 3.8% mot typisk 14%.³⁵ Videre er det antatt at inndampingen foregår på 100 °C. En ett-trinns MVR kompressor produserer lavtrykkdamp som driver prosessene med metningstrykk- og temperatur på hhv. 1.5 bara, 112 °C. Den kondenserte lavtrykkdampen som slippes ut fra MVR-inndamperen er en aktuell spillvarmekilde.

Tørking: Presskake fra koking og pressing, grakse fra separator og dekanter-prosess, samt limvannskonsentrat fra inndamping blandes og tørkes til fiskemel. I dag foregår tørkeprosessen på forskjellig vis, men det mest vanlige er å bruke en kombinasjon av indirekte damptørker (fortørking), og indirekte varmluftstørking (slutt-tørking), som erfaringsmessig gir god melkvalitet da dette reduserer varmebelastningen. Ulempen med varmluftstørking, sammenlignet damptørking er at det er mye mer energikrevende. I tillegg krever de langt høyere temperaturer rundt 400 °C, og det er mer utfordrende å gjenvinne spillvarme fra varmluft kontra tilnærmet mettet avdamp. Det er ingen varmepumpeteknologi som i dag klarer å levere varme på disse temperaturnivåene. Gitt at man klarer å oppnå tilstrekkelig melkvalitet vil tørking med damp være å foretrekke, både mtp. energiforbruk og spillvarmegjenvinning. I denne analysen er det derfor antatt at all tørking foregår med indirekte damptørker. Tabell 10 angir typiske tørketemperaturer med varmebehov og dampkrav. Det teoretiske energibehovet går noe ned ved høyere tørketemperatur. Dette skyldes i hovedsak to forhold: Det ene er at fordampningsentalpien reduseres, og det andre er at luftmengdene som kreves går ned da luftens evne til å holde på damp øker drastisk.

Tabell 10: Prosesskrav for tørking

	Tørketemperatur [°C]		
	85	90	95
Tørkeprosess			
Effektbehov [kW]	12772	12652	12544
Varmebehov [kWh/tonn]	204.4	202.4	200.7
Vannfjerningsbehov [kg/tonn]	266.1	266.1	266.1
Varmluft			
m [kg/h]	19845	11711	5207
Spesifikk luftfuktighet ved duggpunkt, [kg vann/ kg luft]	0.84	1.42	3.19
Dampkrav			
P [bara]	5	6	7
T [°C]	152	159	165
m [kg damp/tonn]	349.0	349.4	349.8
Forholdstall friskdamp/avdamp (FD/AD) [kg/kg]	1.31	1.31	1.31

³⁵ Enova, 2007. Store energipotensialer i næringsmiddelindustrien

Antagelser:

- Varmebehov inkluderer forvarming av luft fra 20 °C
- Innløpstemperatur Presskake, Grakse og Limvannskonsentrat hhv. 70, 90 og 100 °C
- Varmetap tørke: 15 %
- Avgassen (fuktig luft) forlater damptørka med 100% luftfuktighet.

Væskeoppvarming: Inkluderer væskeoppvarming i forkant av dekantere og separator. Dette skjer oftest gjennom bruk av direkte eller indirekte damp. Væskeoppvarming står typisk for 5-10% av det totale energiforbruket i et anlegg. Kondensert damp fra tørke, og kokeprosess er aktuelle varmekilder som kan brukes til oppvarming av prosessvæsker før dette tilbakeføres til kjel. Dette vil også redusere mengden flashdamp i rørsystemet.

Oppsummering: De ulike prosessenes energi og effektforbruk, samt deres andel av anleggets totale energiforbruk er angitt i Tabell 11. Merk at det spesifikke energibruket er noe lavere enn hva som er kartlagt for sektoren, 342 vs 420 kWh/tonn termisk, men kan avskrives antagelser, forutsetninger og ideell utregning. Tørking, koking og pressing for den klart største andelen av anleggets energiforbruk. Dette samsvarer også med tall for industrien generelt.³⁶ Ved å erstatte fossile brensler med HTHP-teknologi til dampproduksjon vil det kunne gi en betydelig reduksjon i energiforbruk og utslipp. Dette vil til gjengjeld kreve store investeringer, og det er liten om ingen driftserfaring med den type HTHP-integrasjon i industrien i dag. Et eksempel hvor er i ferd med å gjennomføres er Pelagia Måløy hvor to ulike varmpumpeteknologier som forsyner damp på ulike trykk- og temperaturnivå inn mot koke- og tørkeprosessen er i ferd med å bli installert.^{37,38} Fordi varmpumper er avhengig av en energikilde, vil spillvarmepotensialet med hensyn til tilgjengelig energi- og temperaturnivå spille en stor rolle i hvor effektivt et slikt system blir. Særlig for de anleggene som i dag utnytter store mengder spillvarme, eksempelvis fra avgass fra tørking til inndampere, må det vurderes om det er tilstrekkelig mengder spillvarme igjen til at investering i HTHP-teknologi er mulig både fra et energi- og kostnadsperspektiv.

Tabell 11: Energoversikt over analyserte prosesser for pelagisk fiskemel- og oljefabrikk

Prosess	Energiforbruk [kWh/tonn]	Effektbehov [kW]	Andel av total energiforbruk [%]	Kommentar
Koking og pressing	100.4	6278	29.4 %	70-90 °C koketemperatur
Inndamping	12.91	807	3.8 %	Basert på MVR
Tørking	202.4	12652	59.2 %	Indirekte damptørking på 85-95 °C. Inkluderer forvarming av luft.
Diverse	10.2	638	3.0 %	Omfatter energibehovet til øvrige prosesser. Basert på tallgrunnlag fra Fiskeriforskning
Væskeoppvarming	16.1	1003	4.7 %	I forkant av separator og dekanter
Sum	342.0	21377.0	100 %	

3.2.1.2 Spillvarmepotensial fra de ulike prosessene

For å kvantifisere energieffektiviseringspotensialet som følge av innføring av HTHP-teknologi til produksjon av damp er det gjort en beregning av tilgjengelig spillvarme fra de ulike prosessene som kan utnyttes som varmekilde til varmpumpa. Analysen viser at det er to hovedkilder til spillvarme: Avgass fra indirekte damptørking og kondensat fra MVR-inndamping.

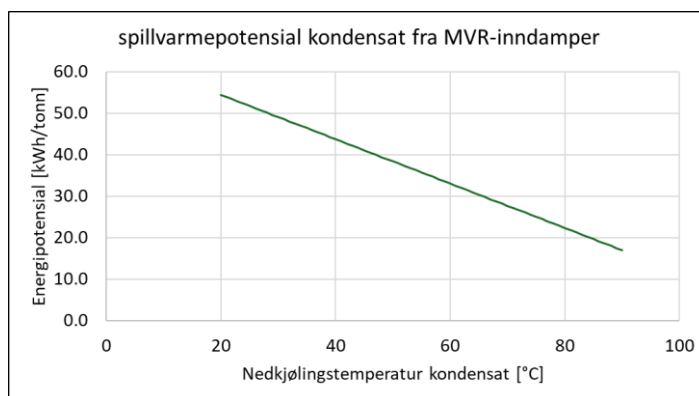
³⁶ Enova, 2007. Store energipotensialer i næringsmiddelindustrien

³⁷ <https://www.aneogroup.com/no/om-oss/nyheter/pelagia-og-aneo-med-storsatsing-pa-klimakutt/>

³⁸ <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/teknologiportefoljen/uht-varmepumpe-i-fiskemelproduksjon/>

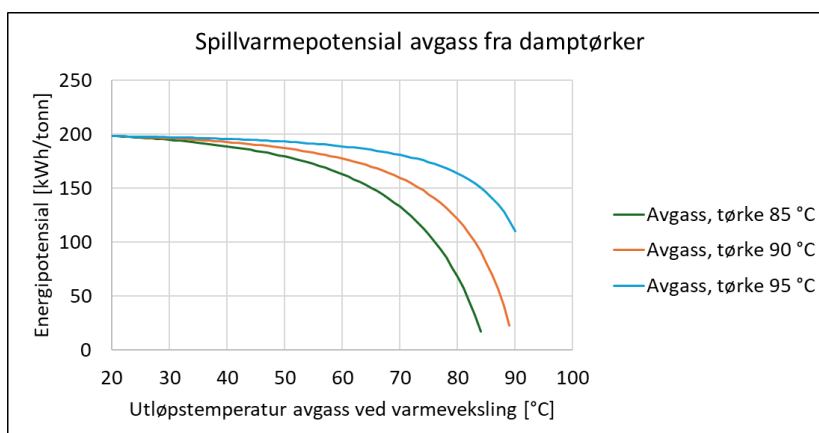
Flashdamp og kondensat som retur fra koking og tørking vil i prinsippet ikke ha noe effekt som varmekilde da disse er på dampsystemet, altså varmepumpen varme side. Energiutnyttelse fra disse kildene vil gi tilsvarende økning i energibehovet fra varmepumpen.

Kondensat fra MVR-inndamping: Trykksatt kondensat fra MVR-inndamperen er en potensiell spillvarmekilde. Det er antatt at kondensatet holder metningstemperatur på 112 °C ved utløpet av MVR inndamperen. Figur 14 viser at energipotensialet øker relativt lineært med nedkjølingstemperatur. Ved nedkjøling til 20°C er energipotensialet ca. 55 kWh/tonn fisk. Det tilsvarer ca. 6 % av anleggets totale energiforbruk.



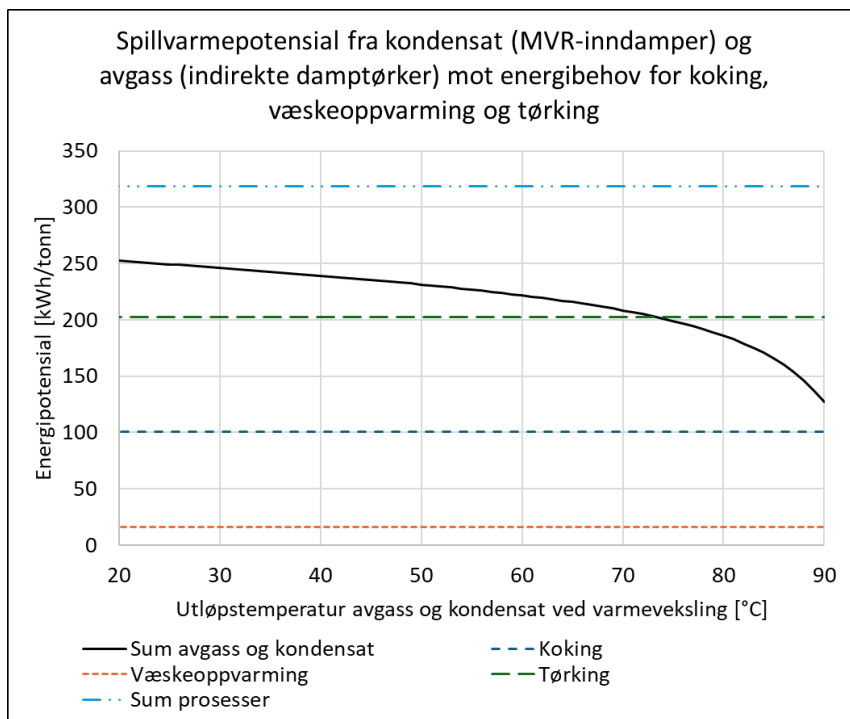
Figur 14: Spillvarmepotensial kondensat fra MVR inndamper

Avgass fra indirekte damptørking: Tørkeavgassen består av fuktig luft, med nær 100% luftfuktighet. Det store energipotensialet ligger i den latente varmen fra utkondensering av fuktighet. Figur 15 viser spillvarmepotensialet for damptørkeren, gitt tørkebetingelsene angitt i Tabell 10. Når avgassen nedkjøles, vil det meste av energiinnholdet hentes ut først. Høyere tørketemperatur er fordelaktig da dette fører til at metningskapasiteten til den varme luften øker. Den største delen av den latente energien hentes derfor ut ved høyere avgasstemperaturer, på tross av at varmluftsmengdene er mindre. Etter hvert som nedkjølingen øker, blir energipotensialet fra de tre kurvene sammenfallende. Det totale energipotensialet som kan hentes fra avgassen ut ved avkjøling til 20 °C er betydelig og tilsvarer i underkant av 60% av anleggets totale energiforbruk.



Figur 15: Spillvarmepotensial avgass fra damptørker

Figur 16 viser det samlede energipotensialet fra avgass og kondensat opp mot de ulike prosessenes energibehov. Det totale energipotensialet fra de to spillvarmekildene vil allerede ved nedkjøling til ca. 70 °C utgjøre i overkant av 60% av det totale varmebehovet i disse prosessene. Ved nedkjøling til 20 °C utgjør det ca. 68%. Dersom en varmfaktor (COP) på 3 antas, vil tilført elektrisk energi utgjøre rett over 33%, og dermed kan i teorien alt energibehov i dette eksempel-anlegget dekkes med spillvarme og HTHP-teknologi.



Figur 16: Spillvarmepotensial fra kondensat (MVR-inndamper) og avgass (indirekte damptørker) mot energibehov for koking, væskeoppvarming og tørking (Temperatur koke- og tørkeprosess: 90°C)

3.2.2 Tiltak 1: Lavtrykks dampproduksjon (1.5 – 3 bara) med høytemperatur varmepumpe til kokeprosess og væskeoppvarming (Erstatter lavtrykks dampproduksjon drevet av fossil gasskjele)

Som beskrevet i seksjon 3.2.1.1 er kokeprosessen en god kandidat for energieffektivisering. Dette tiltaket går ut på å erstatte fossile brensler med høytemperatur varmepumpe teknologi til å produsere lavtrykksdamp til denne prosessen. Basert på energianalysen kan spillvarme fra både kondensat og avgass være aktuelt, hvor sistnevnte har langt høyere energimengder på høyt temperaturnivå. Kondensat som varmekilde kan likevel være aktuelt, da kokeprosessen har noe lavere energiforbruk enn tørking, og i de anleggene hvor store deler avgassen allerede utnyttes til inndamping.

Kondensat som spillvarmekilde

Tabell 12 viser potensiell energibesparelse når spillvarme fra kondensat utnyttes i en varmepumpe som leverer damp til kokeprosesser på temperatuene 70, 80 og 90 °C. Ved bruk av kondensat er det en fordel om kokeprosessen skjer på forholdsvis lave temperaturer slik at varmen kan leveres med lave damptrykk. Høyere koketemperatur medfører høyere energiforbruk og dampkrav, og kondensatet må avkjøles til stadig lavere temperaturer. Selv ved moderat koketemperatur på 70 °C (110 °C damp), kreves det at kondensatet nedkjøles til 15°C for at varmepumpen skal levere tilstrekkelig varme. Ved koketemperaturer på 90 °C, er beregnet nedkjølingstemperatur 4 °C.

Det er antatt at varmepumpens COP er 50% av Lorenz COP, som er tilsvarende Carnot COP, men som hensyntar evt. glidende temperaturer på varmekilde og varmesluk. Dette gir gode COP verdier og energibesparelsene sammenlignet med dampkjel, er på 63-75%. **Gitt en koketemperatur på 90 °C, er reduksjonen i energibruk for hele anlegget beregnet til ca. 18%, og ekstrapolert for sektoren tilsvarer dette en årlig besparelse på ca. 64 GWh.** For å oppnå dette kreves det i dette tilfellet gode løsninger for å minimere temperaturdifferansen mellom kondensatet og fordampersens temperatur. Fordi kondensatet har høy temperaturglidning så kan det oppnås gjennom å koble varmepumper i serie med ulik fordampningstemperatur slik at denne temperaturdifferansen minimeres. Det høye temperaturløftet vil trolig kreve flere kompresjonstrinn og kombinasjon av ulike arbeidsmedier i kaskade. En slik løsning vil derfor være teknisk omfattende og medføre høye investeringskostnader. Et alternativ er å benytte varmepumper designet for varmekilder med glidende temperatur, f.eks. kombinasjon av vann og ammoniakk (Osenbrück syklus) som har glidende fordampningstemperatur eller basert på arbeidsmedier som alltid befinner seg i gassfase (f.eks. Reversed Stirling syklus).

Avhengig av driftsforhold viser beregningen at det er helt i grenseland om en varmepumpe som benytter kondensat som varmekilde kan dekke det totale varmebehovet til kokeprosessen. Det er da mer realistisk å anta at dette brukes i kombinasjon med andre varmekilder eller at varme forsynes i en kombinert løsning av varmepumper og kjeler.

Avgass som spillvarmekilde

Tabell 7 viser potensiell energibesparelse når spillvarme fra avgass benyttes. Det er anslått av avgassen stammer fra en tørkeprosess med driftstemperatur på 90 °C, se Tabell 10 for ytterligere prosessinformasjon. Sammenlignet med kondensat er kravet til nedkjøling for å hente ut nødvendig energi langt lavere, og nedkjølingstemperaturen ligger derfor på 85-56 °C. Dette resulterer i mye høyere COP-verdier (4.7-8.7) og den prosess-spesifikke energibesparelsen ligger på 79-89%. **Gitt en koketemperatur på 90 °C, er reduksjonen i energiforbruk for hele anlegget beregnet til 24%. Ekstrapolert for hele sektoren tilsvarer dette en årlig besparelse på ca. 83 GWh.**

Sammenlignet med kondensat så vil utnyttelse av avgass medføre en enklere og trolig mer kostnadseffektiv varmepumpeløsning. Det vil også være mulig å løse dette med mange kommersielt tilgjengelige løsninger i dag: Eksempelvis med en ett/to-trinns syklus basert på hydrokarboner f.eks. pentan som arbeidsmedium som produserer damp direkte i kondenseren, eller ved å kombinere en lukket varmepumpe (bunnsyklus) for å produsere hetvann eller damp på undertrykk, sammen med MVR-vifter i dampsystemet som videre løfter trykk og temperatur til tilstrekkelig nivå. Dersom energien fra avgassen også er tiltenkt produksjon av damp til andre prosesser, bør det gjøres en samlet vurdering av alle energibehov for å se om det da fortsatt er mulig og lønnsomt å hente energien fra avgass på et lavere temperaturnivå.

Tabell 12: Potensial for energibesparelse for kokeprosess ved implementering av HTHP-teknologi og utnyttelse av kondensat fra MVR-inndamping eller avgass fra indirekte tamptørking

Kokeprosess	Koketemperatur [°C]		
	70	80	90
Varmebehov [kWh/tonn]	76.8	88.6	100.4
Dampkrav			
P [bara]	1.43	1.99	2.70
T [°C]	110	120	130
m [kg damp/tonn]	124.0	144.9	166.3
Kondensat som varmekilde			
Nødvendig nedkjølingstemperatur [°C]	15	9	4

COP	3.9	3.2	2.7
Energibesparelse [kWh/tonn] / [%]	57.1 / 75	60.3 / 68	63.0 / 63
Avgass som varmekilde (Tørketemperatur: 90 °C)			
Nødvendig nedkjølingstemperatur [°C]	86	85	85
COP	8.7	6.0	4.7
Energibesparelse [kWh/tonn] / [%]	69.7 / 89	81.2 / 83	81.2 / 79

Oppsummert så er energibesparelsen stor, men avhengig av dampkrav (temperatur og trykk) til kokeprosess og tilgjengelig varmekilde. Som Tabell 12 viser er den prosess-spesifikke besparelsen for kokinga 63-75% ved utnyttelse av MVR kondensat, og 79-89% ved utnyttelse av avgass fra tørka. Dette tiltaket kan gjennomføres i dag, da den industrielle varmepumpeteknologien regnes som moden for kommersialisering og er tilgjengelig på markedet (TRL 8-9). Det kreves likevel høye investeringer, og det er mangel på driftserfaring på slike tiltak innenfor sektoren. Etter vår kjennskap ligger investeringskostnaden for denne type teknologi i området 10-15 MNOK / MW termisk effekt, samt at årlige driftskostnader utgjør 1.5% av dette. De første industrielle eksemplene på HTHP integrasjon mot kokeprosess er i ferd å bli realisert, med en ambisjon om 70% energireduksjon. Om kokeprosessen foregår på relativt lav temperatur, vil dette bidra til enda høyere energieffektivitet. Det vil være mest hensiktsmessig å utnytte spillvarme fra avgass både fra et energi- og kostnadsperspektiv. Ved bruk av avgass er energibesparelsen totalt for hele anlegget er anslått å være i overkant av 20%. Dersom avgassen allerede utnyttes mot andre prosesser kan kondensat fra MVR-inndamping også være en aktuell spillvarmekilde, men det er usikkert om kondensatet inneholder tilstrekkelig energimengde til å fullt ut dekke energibehovet til kokeprosessen.

3.2.3 Tiltak 2: Dampproduksjon (5-7 bara) med høytemperatur varmepumpe til tørkeprosess med indirekte damptørker (erstatte dampproduksjon drevet av fossil gasskjele)

Som beskrevet i seksjon 3.2.1.1 er også tørkeprosesser som foregår ved bruk av indirekte damptørker en god kandidat for energieffektivisering. Tørking er gjerne den største enkeltforbrukeren av energi, og det vil derfor være et stort energireduksjonspotensial i å erstatte dampproduksjon fra dagens fossile brensler, med HTHP-teknologi. Sammenlignet med koking, så kreves det større mengder damp på enda høyere trykk- og temperaturer. Avgassen fra tørkeprosessen er derfor den best egnede spillvarmekilden i dette tilfellet.

Tabell 13 viser energieffektiviseringspotensialet dersom spillvarme fra avgass utnyttes i en varmepumpe som leverer damp på 5-7 bara til tørkeprosesser på temperaturene 85, 90 og 95 °C. Høyere tørketemperatur, og tilsvarende økning i dampens trykk- og temperaturkrav har liten innvirkning på varmepumpens COP, om noe så øker den faktisk litt ved høyere temperaturer. Dette skyldes at varmebehovet er relativt konstant uavhengig av tørketemperatur, som tidligere forklart i seksjon 3.2.1.1, samt at høyere tørketemperatur fører til høyere avgasstemperaturer og metningsevne. Avgassen trenger derfor ikke kjøles like langt ned for å levere energien som trenges. Dette reduserer dermed temperaturløftet som varmepumpa må oppnå. Det er antatt at varmepumpens COP tilsvarer 50% av Lorenz COP. Oppnådd COP blir dermed 2.9-3, mens den prosess-spesifikke energibesparelsen er 65-66%. **Gitt en tørketemperatur på 90 °C, er dette tiltaket beregnet til å kunne redusere energiforbruket for hele anlegget med hele 39%. Ekstrapolert for hele sektoren utgjør dette 135 GWh årlig.**

Sammenlignet med tiltak 1 så krever dette tiltaket HTHP-teknologi som er i stand til å levere damp på enda høyere trykk- og temperaturnivåer. Generelt sett så regnes teknologien derfor ikke å være like moden, da det er færre leverandører og mindre driftserfaring på industrielle anlegg å vise til. Selv om energianalysen viste at COP er lite avhengig av tørketemperatur vil det basert på teknologisk modenhet være en fordel om tørkingen foregår på lavest mulig temperatur, da dette også fører til lavere temperaturkrav for varmepumpa. Mulige teknologier i dag er med bruk av hydrokarboner som arbeidsmedium, eksempelvis pentan i lukket

varmepumpe-syklus med ett eller flere kompresjonstrinn, evt. hydrokarboner eller ammoniakk i kombinasjon med damp-kompressorer/vifter i flere trinn. En annen løsning er å benytte arbeidsmedier som alltid befinner seg i gassfase (Rev. Stirling syklus). Det første eksemplet på HTHP integrasjon mot tørkeprosess i pelagisk industri som er i ferd å bli realisert, er basert på sistnevnte teknologi.

Tabell 13: Potensial for energibesparelse for indirekte damptørking ved implementering av HTHP-teknologi og utnyttelse av tørke-avgass

	Tørketemperatur [°C]		
	85	90	95
Tørkeprosess			
Varmebehov [kWh/tonn]	204.4	202.4	200.7
Varmluft			
Dampkrav			
P [bara]	5	6	7
T [°C]	152	159	165
m [kg damp/tonn]	349.0	349.4	349.8
Avgass som spillvarmekilde			
Nødvendig nedkjølingstemperatur [°C]	70	78	87
COP	2.9	2.9	3.0
Energibesparelse [kWh/tonn] / [%]	133 / 65	132 / 65	135 / 66

Dette tiltaket kan gjennomføres med industriell varmepumpeteknologi som i dag er kommersielt tilgjengelig, men med få tilgjengelige teknologier på markedet og liten driftserfaring. Det første eksempelet på HTHP integrasjon mot tørkeprosess i pelagisk industri er i ferd å bli realisert. Dette tiltaket er beregnet til å kunne redusere energiforbruket for hele anlegget med opp mot 40%. Tørkeprosessens temperatur har liten innvirkning på COP og energibesparelse, da utnyttelse av avgassens temperatur og energiinnhold står i forhold. Basert på teknologisk modenhet, anslått til TRL7-8, vil det likevel være en fordel om tørkingen foregår på lavest mulig temperatur, da dette også fører til lavere temperaturkrav for varmepumpa. Dersom tørkeavgassen allerede i stor grad utnyttes til andre prosesser, må det gjøres en vurdering om det fortsatt er mulig og lønnsomt å utnytte resterende spillvarmepotensial fra denne. Denne type teknologi har også etter vår kjennskap høy investeringskostnad, anslagsvis 10-20 MNOK / MW termisk effekt og årlig driftskostnad på 1.5% av dette.

3.2.4 Tiltak 3: Tørking med overhetet damp og MVR (erstatte dagens damp- og varmluftstørkere og bruk av gasskjele)

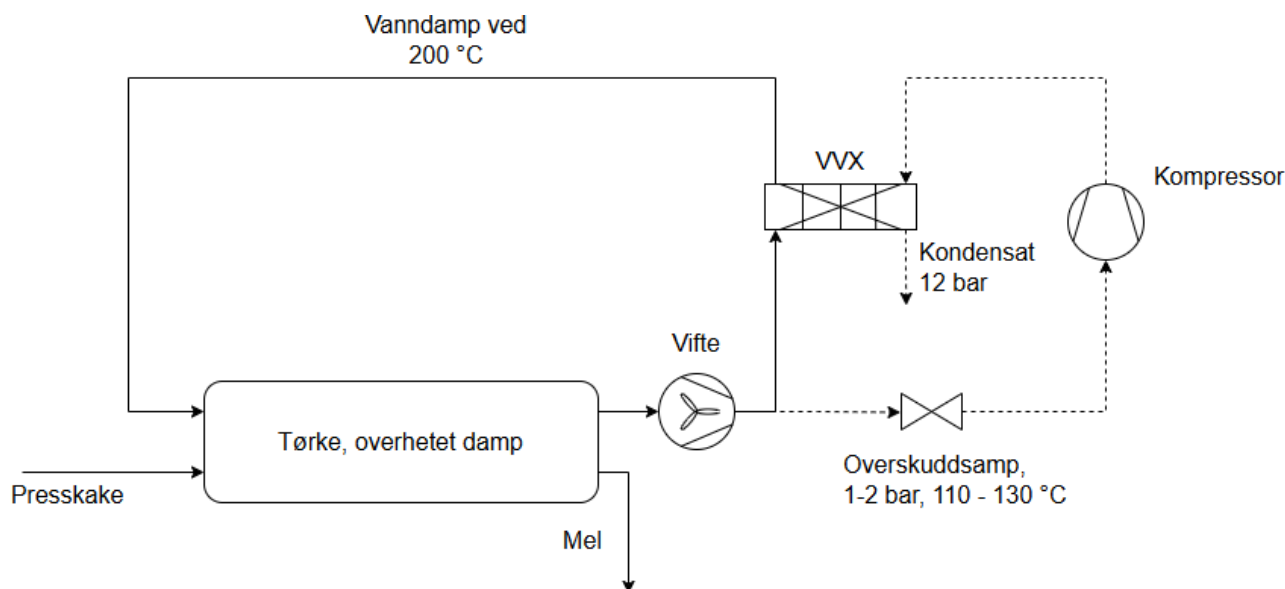
Som tidligere beskrevet gjennomføres tørkeprosessen i dag typisk med å kombinere indirekte damptørking og indirekte varmluftstørking. Et fremtidig mer energieffektivt alternativ er tørking med overhetet damp. I motsetning til konvensjonelle tørkere så brukere denne tørkemethoden vanndamp i stedet for luft som tørkegass. Når overhetet damp på over 100°C brukes ved atmosfærisk trykk, fortrenses luften fra systemet slik at avdampen består nesten utelukkende av vanndamp. Dette muliggjør effektiv energigjenvinning, enten ved å overføre varme til andre deler av prosessen eller ved å komprimere dampen og bruke den som energikilde i tørkesystemet, såkalt MVR. En prinsippskisse for dette er angitt i Figur 17. Tørking ved varmluft har effektivitet på 0.80 - 2.0 kWh/kg fordampet vann. Tørking med overhetet damp i seg selv kan bruke 20% mindre energi enn konvensjonelle tørkemethoder på grunn av dampens egenskaper.³⁹ Tidligere SINTEF

³⁹ Bantle, Michael. "Energy Efficient Drying Systems: Evaluation of Future Trends and Possibilities." SINTEF. 2017.

studier har vist at tørking med overhetet damp i kombinasjon med MVR har et potensial for å kutte det prosess-spesifikke energiforbruket med hele 75%.⁴⁰

Ved å fjerne oksygen fra tørkeprosessen så har enkelte studier vist at dette kan bidra til bedre melkvalitet, selv ved temperaturer over 100 °C, så lenge tørketiden er kort. Bruk av overhetet damp kombinert med mølletørking har vist seg effektivt, og gjør det mulig å oppnå ønsket kvalitet selv under atmosfærisk trykk.⁴¹ Forsøk gjennomført ved NOFIMA har derimot resultert i blandede erfaringer. Driftsbetingelser, oppholdstid og tørketype ser ut til å ha betydning for melkvaliteten.

Det kjennes ikke til noen fiskemelsfabrikker i Norge som har implementert SHS ('superheated steam') tørkere i dag, men vi kjenner til at det pågår prosjekter (FHF 901900, 'Energieffektiv vannfjerningsteknologi for fremstilling av fiskemel av høy kvalitet') hvor det anslås 50% prosess-spesifikk energibesparelse. I tillegg er det kjent at i USA er dette mer utbredt tørketeknologi, og det finnes flere leverandører av tørkere tilpasset fiskemel.⁴² De senere år har det også vært en utvikling av MVR-vifter og kompressorer for å rekomprimere dampen til de prosessbetingelsene kreves. Enkelte produkter kan levere damp opp mot 20 bar.⁴³



Figur 17: Prinsippskisse for konveksjonstørking med overhetet damp som tørkegass i stedet for luft⁴¹.

Dette tiltaket kan gi svært god energibesparelse da det kombinerer tørking med overhetet damp, som i seg selv er en mer energieffektiv tørkemethode en konvensjonell tørketeknologi, og gjenvinning og re-kompresjon av overskuddsdamp (MVR). Selv om både SHS tørkere og MVR-teknologi er tilgjengelig på markedet i dag, er det ikke kjent at dette er tatt i bruk hos norske fiskemelsfabrikker. Sammenlignet med tiltak 2 så vil dette tiltaket ha potensial for høyere energibesparelse, men vil også trolig medføre høyere investeringskostnader, da dette tiltaket også krever innkjøp av ny tørketeknologi. En prosess-spesifikk energibesparelse på 50-75% tilsvarer en total reduksjon i termisk behov på 30-44%. **Ekstrapolert for sektoren utgjør dette 103-152 GWh årlig.**

⁴⁰ Brækken, August og Sverre Stefanussen Foslie. "Energy Efficiency Measures in Fish Meal Processing." SINTEF. 2022.

⁴¹ Fiskeriforskning SSF, 2004. Tørking, Håndbok for Fiskemelindustrien

⁴² Nofima, 2015. Tørking av marint råstoff med overhetet damp

⁴³ <https://www.piller.de/products-services/mvr-blower-piller-blowers-compressors/vapomaxx/>

3.3 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

3.3.1 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.

3.3.2 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 brensler 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 2019⁴⁴, 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.

3.3.2.1 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.

3.3.2.1.1 Optimalisering av termisk prosessutstyr

Som allerede beskrevet ovenfor, brukes elektriske motstandsovner, brennere, varmepumper og kjølesystemer for å dekke termiske behov. Virkningsgraden er knyttet til utnyttelsen av energikilden for effekten. Virkningsgraden til elektriske motstandsvarmere er 100%⁴⁵, mens virkningsgraden til brennere er mellom 75-95%.⁴⁶ 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 varmepumpens ytelse (Effektiviteten til en varmepumpe omtales som ytelse eller ytelseskoeffisient (COP, Coefficient of Performance). Ytelsen til en varmepumpe er sterkt avhengig av temperaturforskjellen mellom varmekilden og varmesluk, og ligger vanligvis mellom 40-60%⁴⁷ 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]

⁴⁴ 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/>

⁴⁵ 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>

⁴⁶ 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

⁴⁷ 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

Brennere og varmepumper (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.

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 varmepumper 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 kan sikre 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 = hydrofluorolefiner), 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.

3.3.2.1.2 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.

3.3.2.1.3 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 varmpumper 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.

3.3.2.1.4 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.

3.3.2.2 Prosessovergripende effektiviseringstiltak

På tvers av prosesser kan mer omfattende tiltak som varmegjenvinningssystemer 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.

3.3.2.2.1 Varmegjenvinningssystemer

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

Varmevexslere 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 14.

Tabell 14: 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

3.3.2.2 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.

3.3.2.3 Avanserte teknologier og sektorkobling

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

Kraftvarmegerasjonssystemer (CHP, combined heat and power) representerer en annen løsning for økt effektivitet hvis elektrisitet må produseres ved hjelp av et dieselaggregat fordi det ikke er mulig å koble seg til strømmettet 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.

3.3.3 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 sekundænergi i elektriske motorer.

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

3.3.3.1 Erstatning av fossilt brensel som drivkraft

Overgangen fra forbrenningsmotorer til elektriske motorer er en effektiv måte å redusere karbonutslipp på ved bruk 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.

3.3.3.2 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

3.3.3.3 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.

3.3.3.4 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 lypærer. 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 Befaring ved fiskemel- og oljefabrikk

4.1 Innledning

Formålet med befaringsreisen var å kartlegge delprosesser, teknologiske løsninger, prosessutstyr og variabler for å forstå fiskemel- og oljefabrikkens operasjonelle strukturer og vurdere mulighetene for energibesparelser. Tiltak for optimalisering av driften i fabrikk ble kartlagt og verifisert. Fabrikk benytter energikrevende maskineri og prosessutstyr. Effektiv drift og gjenvinning av overskuddsvarme gir potensial for energibesparelser. Driftsansvarlig ledet omvisningen med gjennomgang av alle delprosesser knyttet til produksjonen av fiskemel- og olje.

4.2 Delprosesser

Råstoffet lagres på RSW-tanker før videre prosessering. Deretter går råstoffet gjennom koking, som effektiviserer separasjonen av tørrstoff fra væske og olje, og reduserer energiforbruket. Etter koking presses massen for å skille ut væske og olje fra tørrstoffet, som videre resulterer i pressvæske og presskake. Pressvæsken separeres i grakse, limvann og uren fiskeolje. Uren fiskeolje behandles videre til ren fiskeolje og lagres i oljetanker. Grakse transporteres til tørkeprosessen med presskake, mens limvann konsentreres og tilsettes tørkeprosessen som limvannkonsentrat. I tørkeprosessen blandes presskake, grakse og limvannkonsentrat og tørkes med varmlufttørker. Råstoffet kjøles deretter ned før det males til fint mel og transporteres til blandesiloer. For å sikre sluttproduktets kvalitet og energimessige effektivitet, er optimalisering av hele prosessen påkrevd.

4.3 Maskiner, utstyr og teknologi

Produksjonen benytter maskineri som dampkokere og skruypressere, som krever store mengder energi. Damp til kokeren produseres i en gassdrevet dampkjele, hvor forbruket påvirkes av regulatorenes konfigurering, isolasjon og tilstanden til tekniske komponenter. Distribusjonen av damp er kritisk for å minimere energitap. Vedlikehold og tilstand til både damp- og varmlufttørkere er avgjørende for energibesparelser. For separeringsprosesser benyttes dekantere, separatorene og inndampere, hvor sistnevnte står for omtrent 14 % av det totale energiforbruket. Videre finnes støttesystemer som elektromotorer og transportører. Mange motorer er eldre og mindre effektive enn moderne IE4-motorer. Det benyttes også trykkluft, som krever optimal drift av kompressorparken.

4.4 SCADA & EOS

Alle delprosesser er integrert i et SCADA-system med et EOS-system, som gir innsikt i drift og vedlikehold. Gjennom SCADA og det integrerte EOS kan driftsteknikere hente ut energirapporter på elektrisk forbruk, gassforbruk, og energibruk per produsert tonn.

4.5 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 røykgass og dampbaserte delprosesser, ved å gjenvinne kondensat og utnytte flashdamp.

4.6 Konklusjon

Befaringen bekreftet at delprosessene er representative for fiskemel- og oljefabrikk. Identifiserte tiltak ble verifisert og bekreftet som representative og gir et potensiale for energibesparelser. Driftsteknikerne har gjennom erfaring finjustert prosessene for å sikre kvalitet og minimere energiforbruket som har blitt kartlagt i dette prosjektet.

5 Oppsummering

Dette kapitlet oppsummerer resultater for pelagisk sektor. Tabell 15 oppsummerer resultatene fra vår kartlegging av dagens status på energibruk og andelen fossil energibruk, mens potensialet for energibesparelse er oppsummert i Tabell 16. Dette potensialet er beregnet som summen av besparelse for hvert enkelt tiltak slik dem står beskrevet i Kapittel 3, og regnet ut med bakgrunn i våre anslag på dagens energibruk.

Tilgang på energidata fra sjømatnæringen som helhet er begrenset, og medfører en betydelig usikkerhet i våre anslag på dagens energiforbruk. For pelagiske konsumanlegg har vi i stor grad måtte basert oss på åpen litteratur, samtaler med industri og gjennomgang av tidligere befaringsrapporter for å danne oss et bilde av hva som er dagens energibruk, noe som resulterer i en veldig stor usikkerhet i vårt anslag på samlet energibruk, 103 – 208 GWh. Denne usikkerheten forplanter seg i våre beregninger på potensial for energireduksjon, og resultatene må derfor tolkes med dette forbeholdet. For fiskemel- og oljesektoren var datagrunnlaget noe bedre, der 8 av (vår populasjon på) 9 anlegg rapporterer årlig til Miljødirektoratet (norskeutslipp.no) både energibruk og produksjonsforhold. Spennet i spesifikk energibruk var noe smalere, og samstemte med funn fra litteratur¹⁴, noe som styrker vår tillit til resultatene.

Det pelagiske fisket er svært sesongbetont, og det landes store volum på relativt kort tid, noe som påvirker hvordan den pelagiske landindustrien er utformet. Denne kan deles inn i to hovedproduksjonsformer: konsumfisk, og fiskemel og -oljeindustri. Vår kartlegging viser at mesteparten av fangstvolumet går til konsumfisk, og utgjør ca. 850-1 060 000 tonn, hovedsakelig makrell, nordsjøsilde og NVG-silde. Ved å se på eksporttallene ser man at omtrent all makrellen rundfrysas inn, mens det er noe høyere grad av foredling på silde i form av filetering og enkelte tilberede produkter. Videre har vi identifisert at det er 24 anlegg innenfor denne sektoren i landet, med noe varierende kapasitet (5000 – 80 000 tonn årlig). De største som kun bedriver pelagisk produksjon, har gjerne en innfrysingskapasitet på over 1000 tonn i døgnet. Vi anslår at denne sektoren har et totalt årlig energibruk på 151 GWh, som er basert på et antatt spesifikt energiforbruk på ca. 170 kWh/tonn råstoff og en råstoff-tilgang på ca. 890 000 tonn. Derimot er det svært stor variasjon i de kartlagte verdiene for spesifikt energibruk, og vår vurdering er at det ligger i området 116 – 235 kWh/tonn råstoff, noe som gir en betydelig usikkerhet i anslaget på absolutt energibruk. Det er også vår vurdering at denne variasjonen ikke bare reflekterer usikkerhet i tallene, men også en naturlig variasjon mellom anleggene hva gjelder teknisk stand, alder, ulike produktporteføljer/grad av filetering og lagerkapasitet. Vi har også identifisert av energibruken ved denne typen anlegg domineres av de termiske behovene tilknyttet innfrysing og frysing, noe som reflekteres i at så mye som 75% av energien forbrukes av kuldeanleggene. Av den grunn er også tiltakene vi har studert fokusert på forbedringer i selve kuldeanlegget, tiltak som kan gjøres på frysetunnelene, og alternativer til frysetunnelene. Vår vurdering er at det ligger et veldig stort potensial i å forbedre kuldeanlegget – anslått til 10 GWh/år – men at de konkrete tiltakene vil variere som følge av tilstanden ved de ulike anleggene. Det vil si, tiltak som endring i systemets arbeidstrykk eller rensing av kondensatorer kan gjennomføres uten verken store kostnader eller tidsbruk, mens utbytting av sentrale komponenter som kompressorer og frekvensomformere krever høyere investeringskostnader. Tiltak i frysetunneler går hovedsakelig på å forbedre driften av vifter (15-33% reduksjon i innfrysingen), eller gjøre forbedringer på tunneldesign (5%), men det er noen tiltak som kan gå på bekostning av f.eks lengre innfrysingstider, og derfor er potensialet noe redusert for sektoren som helhet – samlet sett 1,7 – 2,5 GWh/år. En forbedret emballasje vil gi utslag i hele fryseriparken, og er et spennende alternativ, men utfordringen er at det er bygget store logistiske systemer rundt dagens standardiserte løsning. Siste tiltaket vi har sett på 2-stegs innfrysing av makrell, der første fasen foregår i en lakefryser som er svært mye mer effektiv enn tunneler. Forutsatt at all hel makrell ble fryst inn etter denne metoden kunne man realisert en besparelse på 3-4 GWh hvert år, men det er ikke kommersiell tilgjengelig teknologi enda.



Vi anslår at fiskemel -og oljesektoren, avgrenset til dem som hovedsakelig behandler pelagisk råstoff, har et totalt årlig energiforbruk på ca. 338-387 GWh, der den fossile andelen utgjør hele 85-90% som følge olje og/eller gasskjeler til dampproduksjon. Dette anslaget er basert på en ekstrapolering på spesifikk energibruk, som er vurdert å være ca. 60 kWh elektrisk og 490 kWh termisk (olje/gass) per tonn råstoff, og et årlig råstoffforbruk på ca. 700 000 tonn. Vi har identifisert 9 anlegg som opererer innenfor dette segmentet, hvorav det ene, Lofoten Biomarine, har sitt første driftsår i 2024 og vil etter offentlig informasjon være det eneste anlegget som skal drive 100% elektrisk. Anleggene driver produksjon både på innkjøpt råstoff, da «industrifisk» som kolmule, tobis, øyepål og vassild, men også på avskjær og slo fra konsumfiskproduksjonen. Vår kartlegging viser at omtrent 450-745 000 tonn råstoff kjøpes inn årlig, mens restråstoffvolumet ligger rundt 235-286 000 tonn. Dette råstoffet foredles til mel/proteiner og olje, som er viktige ingredienser til bl.a. fiskefôr, men også som ingrediens i kosttilskudd for humant konsum. Det finnes mange ulike varianter av produksjonsmetoden for fremstilling av fiskemel- og olje, men den prinsipielle metoden er lik, og foregår i en integrert prosess der målet er å utskille vannet fra tørrstoffet og fettene. Den består av mange energiintensive delprosesser, og det kreves mye varme, spesielt i koking av råstoffet, inndampingen og tørkingen. Det produseres store mengder damp for å dekke dette behovet, og det er typisk å bruke olje eller gasskjeler for dette formålet. Tiltakene vi har beskrevet går i stor grad på å dekke varmebehovet ved høytemperatur varmpumper, en type teknologi som har hatt en voldsom utvikling de senere årene og som eksisterer kommersielt for deler av temperaturbehovene som er i sektoren i dag. Det er sett på å dekke varmebehovet til koking og oppvarming av væsker ved å produsere lavtrykkdamp (1,5-3 bara) ved enten å utnytte kondensat fra MVR eller avgass fra damptørke. Avhengig av varmekilde og temperaturkrav ved kokinga, er det prosess-spesifikke energibesparelespotensialet beregnet til et sted mellom 63-79%, som ekstrapolert for hele sektoren tilsvarer en årlig energibesparelse på ca. 83 GWh. Teknologien er vurdert til å være moden for disse trykk/temperaturnivåene, samtidig er investeringskostnaden vurdert å være i området 10-15 MNOK/MW termisk effekt. Vi har også sett på dampproduksjon for å dekke varmebehov til tørkingen, og beregnet en prosess-spesifikk besparelse på ca. 65%, tilsvarende 135 GWh årlig for sektoren. Teknologien eksisterer, men er ikke vurdert til å være like moden, og er minst like kostbar i form av investeringskostnader. Til sist har vi sett på tørking med overhettete damp, hvor potensialet for energibesparelse kan være enormt og helt opp til 75% av varmebehovet til tørkinga. Det samlede potensialet er anslått i området 64-152 GWh, da vi antar at ikke alle tiltak kan implementeres uten å påvirke potensialet for andre.

Vi har også beskrevet en del generelle tiltak og teknologier som vi anser kan ha et betydelig potensial for effektivisering i pelagisk sektor, der det første tiltaket som blir foreslått er etablering av energiledelse. «You can't improve what you don't measure» er et velkjent sitat, og kan forstås i denne sammenheng som at det er nødvendig med gode systemer og målinger for å vite hvilke deler av prosessen som forbruker energi, og hvilken effekt investeringer og integrering av tiltak har. I vår analyse av Enova-støttede prosjekter er det i snitt et forventet energieresultat på ca. 640 MWh per prosjekt under støtteprogrammet «Innføring av energiledelse». 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 15: Oppsummerte resultater fra dagens status på energibruk i pelagisk sektor

Sektor	Totalt energiforbruk, Samlet produksjon	Andel fossil	Spesifikt energiforbruk	Energikrevende prosesser/utstyr/systemer	Antall anlegg
Konsum	151 (103 - 208) GWh Råstofftilførsel 2022: ~890 000 tonn	0%	171 kWh/tonn råstoff Våre funn avdekker svært stor variasjon, og vurderer at realistisk verdiområde er 116 – 235 kWh/tonn råstoff	Kuldeanlegg (innfrysingsanlegg og fryselagre)	24
Mel og olje	338 - 387 GWh Råstofftilførsel 2022: ~700 000 tonn	~85-90%	60 kWh _{el} /tonn råstoff 490 kWh _{th} /tonn råstoff (olje eller gass)	Dampproduksjon for å dekke varmebehov til koking, inndamping og tørking	9

Tabell 16: Oppsummert potensial ved innføring av beskrevne tiltak for ulike segmenter i pelagisk sektor

Konsum		
Tiltak	Modenhet og økonomi	Energibesparelse (GWh/år)
Forbedring av kuldeanlegg	Stor variasjon i kostnader, tiltak varierer fra optimalisering/omlegging av drift til implementering/utbytting av komponenter	10
Tunnel: optimalisering av design	Stor variasjon i kostnad, fra installasjon av ledeskovl/himling til å investere i ny tunnel	1 GWh, 5% forbedret innfrysing på halve fryseriparken
Tunnel: forbedret emballasje	Må utvikles ny emballasje tilpasset dagens logistikksystemer for å unngå store kostnader for å endre infrastruktur	3-6 GWh, 7-13% redusert energibruk
Tunnel: viftestyring	Frekvensomformere: moderat kostnad, kommersielt tilgjengelig	0,7-1,5 GWh, 15-33% forbedret innfrysing, men lengre innfrysingstider
Lakefrysing av makrell	Høy modenhet på utstyr for lakefrysing, men må tilpasses dette segmentet. Ukjent investeringskostnad (ikke kommersielt tilgjengelig)	3-4 GWh, 14% redusert energibruk i prosessen
Samlet (GWh/år)		17,7 - 22,5
Reduksjonspotensial %		12-15%

Fiskemel- og olje		
Tiltak	Modenhet og økonomi	Energibesparelse (GWh/år)
Lavtrykks dampproduksjon på MVR-kondensat (HTHP)	Moden teknologi (TRL8-9), investeringskostnader på ca. 10-15 MNOK/MW termisk effekt	64
Lavtrykks dampproduksjon på avgass fra tørke (HTHP)	Moden teknologi (TRL8-9), investeringskostnader på ca. 10-15 MNOK/MW termisk effekt	83
Dampproduksjon for varmebehov i tørking (HTHP)	Moderat modenhet (TRL7-8), høy investeringskostnad (10-20 MNOK/MW termisk effekt)	135
SHS tørke	Tilgjengelig teknologi, anvendes i USA og prosjekt pågår i regi av FHF. Usikre kostnader.	103-152
Samlet (GWh/år)		64-152
Reduksjonspotensial %		17-39%