



SINTEF

Finansiert av:



# Delrapport

## Veikart for energieffektivisering i norsk havbruksnæring

Potensialet for energieffektivisering i sjømatnæringen (PEIS)

### Forfatter(e):

Hans Tobias Slette, Eirik Starheim Svendsen, Marco Bless, Ole Marius Moen, Frida Sæther, Eleni Patanou, Morten Lunde, Geir Tore Hansen

### Rapportnummer:

2025-00017 - Årsm

### 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 norsk havbruksnæring

Potensialet for energieffektivisering i sjømatnæringen (PEIS)

### EMNEORD

Sjømat, havbruk,  
slakteri, matfisk,  
settefisk,  
energieffektivisering

### VERSJON

V3.0

### DATO

2024-12-04

### FORFATTER(E)

Hans Tobias Slette, Eirik Starheim Svendsen, Marco Bless, Ole Marius Moen, Frida Sæther, Eleni Patanou, Morten Lunde, Geir Tore Hansen

### OPPDRAGSGIVER(E)

FHF

### OPPDRAGSGIVERS REFERANSE

901905

### PROSJEKTNUMMER

302007809

### ANTALL SIDER

50

### SAMMENDRAG

Denne delrapporten er en leveranse i prosjektet PEIS, og oppsummerer funn for havbruksnæringen, her inndelt og forstått som sektorene settefisk, matfisk, slakteri og havbruksflåte.

Rapporten gir anslag på det totale energiforbruket til de ulike sektorene og andelen av energien som kommer fra strøm. Settefisk anslås å forbruke 523GWh/år, matfisk 345GWh/år, slakteri 280GWh/år og havbruksflåten 2 256GWh/år. Forbruket er delt opp i ulike aktiviteter og det foreslås spesifikke tiltak for energieffektivisering med fokus på aktivitetene som forbruker mest energi. Beskrevne tiltak anslås å utgjøre potensialer for energieffektivisering på ca. 10% for settefisk, 20% for matfisk, 13% for slakteri og 52% for fartøy. Totalt utgjør dette potensialet rundt 1 322GWh/år for sektorene samlet, eller 39% av deres totale energiforbruk.

### UTARBEIDET AV

Hans Tobias Slette

### SIGNATUR

*Hans Tobias Slette*

Hans Tobias Slette (Jan 17, 2025 16:54 GMT+1)

### KONTROLLERT AV

Eirik Starheim Svendsen

### SIGNATUR

*Eirik Starheim Svendsen*

### GODKJENT AV

Kirsti Greiff

### SIGNATUR

*Kirsti Greiff*

Kirsti Greiff (Jan 10, 2025 09:33 GMT+1)

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

### RAPPORT NR.

2025:00042

### ISBN

978-82-14-07426-0

### GRADERING

Åpen

### GRADERING DENNE SIDE

Åpen

## Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Introduksjon .....</b>	<b>6</b>
1.1	Havbruksnæringen .....	6
1.2	Inndeling av havbrukssektoren .....	7
1.3	Tidligere initiativer .....	8
<b>2</b>	<b>Dagens status: Energibruk og energimiks .....</b>	<b>10</b>
2.1	Settefisk.....	11
2.2	Matfisk .....	13
2.3	Slakteri .....	16
2.4	Flåte.....	18
2.4.1	Brønnbåt .....	20
2.4.2	Servicebåt .....	21
2.4.3	Lokalitetsbåt .....	22
2.4.4	Fôrbåt .....	23
2.4.5	Bløggebåt.....	23
2.4.6	Kategorisering av forbruk for fartøy (samlet).....	24
<b>3</b>	<b>Tiltak for energieffektivisering .....</b>	<b>25</b>
3.1	Energieffektivisering i settefisk .....	25
3.1.1	Tiltak 1: Pumpeenergi.....	25
3.1.2	Tiltak 2: Oksygenering .....	26
3.1.3	Tiltak 3: Temperaturregulering.....	27
3.2	Energieffektivisering i matfisk.....	27
3.2.1	Tiltak 1: Vannbåren fôring .....	28
3.2.2	Tiltak 2: Elektrifisering .....	28
3.3	Energieffektivisering i slakteri.....	28
3.3.1	Tiltak 1: Effektive kjølesystemer .....	28
3.3.2	Tiltak 2: Kulde- og varmegjenvinning .....	29
3.3.3	Tiltak 3: Egenproduksjon av strøm .....	31
3.3.4	Tiltak 4: Reduksjon av isbehov .....	32
3.4	Energieffektivisering for fartøy .....	33
3.4.1	Tiltak 1: Landstrøm og elektrifisering .....	33
3.4.2	Tiltak 2: Fremdriftssystem, skrogmotstand og drift .....	33
3.4.3	Tiltak 3: Pumping .....	34
3.4.4	Tiltak 4: Temperaturregulering.....	35
3.5	Aspekter ved alternative produksjonsformer i havbruksnæringen .....	35
3.6	Generelle tiltak og teknologier .....	36
3.6.1	Vit hvor energistrømmene dine flyter .....	36
3.6.2	Termiske prosesser .....	37

3.6.3	Mekaniske prosesser og andre tiltak.....	42
<b>4</b>	<b>Befaringsrapport fra slakteri .....</b>	<b>44</b>
4.1	Innledning .....	44
4.2	Delprosesser.....	44
4.3	Maskiner, utstyr og teknologi .....	44
4.4	SCADA & EOS.....	44
4.5	Observasjoner .....	45
4.6	Konklusjon.....	45
<b>5</b>	<b>Oppsummering .....</b>	<b>46</b>

## Tabell over figurer

Figur 1. Salgstall for matfiskproduksjon i Norge i 2023. Kilde: Fiskeridirektoratet. ....	6
Figur 2: Underinndeling av havbrukssektor som helhet.....	7
Figur 3: Forventet energireduksjon summert på undersektor i havbruksnæringen.....	8
Figur 4. Oversikt over innenlands, direkte energiforbruk i havbruksnæringen fra alle energikilder. Oversikten dekker fôrproduksjon, settefisk, matfisk, slakteri og fartøy. Totalt forbruk (inkludert fôrproduksjon) er anslått 3,7 TWh .....	10
Figur 5. Fordeling for spesifikt energiforbruk for ulike anleggstyper for settefisk, kWh per kilo levende vekt. Resirkulerende akvakultursystemer (RAS), gjennomstrømningsanlegg (FTS) og hybridanlegg (FTS-R). Resultatene er basert på undersøkelse av 18 RAS, 11 FTS og 2 FTS-R. Figuren er hentet fra Asplan Viak <sup>10</sup> , gjengitt med tillatelse. ....	11
Figur 6: Prosessdiagram for et settefiskanlegg.....	12
Figur 7. Fordeling av energiforbruk på ulike aktiviteter og systemer på settefiskanlegg i havbruk. Egne estimater for et typisk anlegg basert på sammenstilling av tilgjengelig litteratur.....	13
Figur 8. Fordeling av energikilde/system for matfiskanlegg i sjø i havbruksnæringen. Tallene angir andelen av det totale antall anlegg som benytter de ulike kildene/system for sektoren som helhet. ....	14
Figur 9: Prosessdiagram for et matfiskanlegg i sjø i havbruksnæringen .....	14
Figur 10. Fordeling av energiforbruk på ulike aktiviteter og systemer på tradisjonelle matfiskanlegg i havbruk. Oversikten er ikke representativ for landbaserte, semilukkede eller offshore matfiskanlegg.....	15
Figur 11. Spesifikt energiforbruk for slakterier tilknyttet havbruksnæringen. Utvalget dekker de slakterier som produserer mer enn 30 000 tonn per år, og som har rapportert troverdige tall for energiforbruk til Miljødirektoratet. Kilder: norskfisk.no og norskeutslipp.no. ....	16
Figur 12. Fordeling av energikilder til utvalgte slakterier i havbruksnæringen. Tallene angir andelen av energiforbruket som dekkes av de ulike kildene, som snitt for sektoren. ....	17
Figur 13: Prosessdiagram for et fiskeslakteri med temperaturkravene til de ulike prosessene. ....	17
Figur 14. Fordeling av energiforbruk på ulike aktiviteter og systemer på slakterier i havbruk. ....	18
Figur 15. Fordeling av energikilder fartøy i havbruksnæringen. Tallene angir andelen av energiforbruket som dekkes av de ulike kildene, som snitt for sektoren. ....	19
Figur 16. Energiforbruk i havbruksflåten fordelt på fartøyskategorier. ....	19
Figur 17. CO <sub>2</sub> varmepumpe for varmegjenvinning, klimaanlegg og oppvarming av bruksvann (CIP og hotell) og oppvarming av bygning. ....	31

## Tabell over tabeller

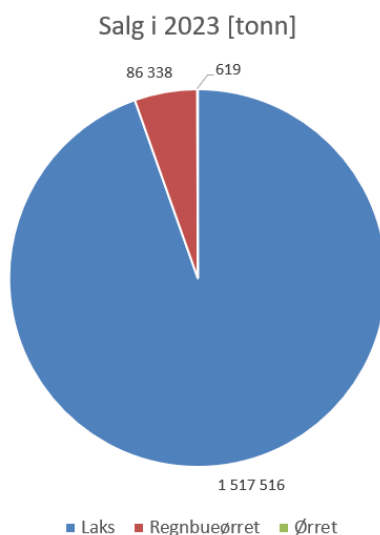
Tabell 1: Nøkkeltall på Enova-støttede prosjekter i havbruksnæringen .....	8
Tabell 2. Anslag på produksjonsvolum og spesifikt brutto energiforbruk for ulike produksjonsformer for matfiskanlegg. Spesifikt brutto energiforbruk bygger på tall for spesifikt netto energiforbruk fra litteraturen og anslag på elektrifiseringsgrader. ....	13
Tabell 3. Energiforbruk for brønnbåter fordelt på prosesser. Tallene gjelder hele brønnbåtflåten. IMM står for ikke-medikamentell behandling. ....	20
Tabell 4. Hastighetsfordeling for brønnbåter. Andel av tiden de opererer innenfor ulike hastighetssegment. Verdier er tilnærmet basert på graf i DNV. ....	21
Tabell 5. Estimerer på intervaller for parametere for utregning av totalt energiforbruk for servicebåter i oppdrettsnæringen. Verdiene for antall aktive timer per båt og dieselforbruk for fartøyene er estimerer på snittverdier. Dette betyr f.eks. at mange fartøy har enten færre eller flere aktive timer i året enn 5000 – 6000. ....	21
Tabell 6. Energiforbruk for servicefartøy ved ulike aktiviteter. ....	22
Tabell 7. Andel av aktiv tid som brukes i ulike aktiviteter for typiske servicefartøy. Merk at aktiv tid gjerne kan være i størrelsesorden halvparten av timene i året. F.eks. 3000 til 8000 av årets 8760 timer. ....	22
Tabell 8. Hastighetsfordeling for servicebåter. Andel av tiden de opererer innenfor ulike hastighetssegment. Verdier er tilnærmet basert på graf i DNV <sup>19</sup> . ....	22
Tabell 9. Parametere og intervaller for anslag på totalt energiforbruk for lokalitetsbåter i oppdrettsnæringen. ....	22
Tabell 10. Parametere og intervaller for anslag på totalt energiforbruk for fôrfartøy i oppdrettsnæringen. ....	23
Tabell 11. Parametere og intervaller for anslag på totalt energiforbruk for bløggébåter i oppdrettsnæringen. ....	24
Tabell 12. Oppsummerte resultater for fartøyskategorier i havbruksflåten. ....	24
Tabell 13. Oversikt over prosesser med kjøle- eller varmebehov med ønsket temperaturnivå. ....	30
Tabell 14: Varmegjenvinningssystemer: typiske varmekilder og sluker. ....	41
Tabell 15. Oppsummerte resultater fra dagens status på energibruk i havbruksnæringen. ....	49
Tabell 16. Oppsummert potensial ved innføring av beskrevne tiltak for ulike sektorer i havbruksnæringen. ....	50

## 1 Introduksjon

Denne delrapporten er en leveranse i prosjektet PEIS, og er et veikart som først gir en rask introduksjon til havbruksnæringen og dens fire sektorer slik det er oppdelt i dette dokumentet her i kapittel 1. Deretter, i kapittel 2, presenteres det som etter vår vurdering er beste tilgjengelige kunnskap og estimater om energiforbruket i næringen og hvor energien kommer fra. Kapittel 3 beskriver tiltak for energieffektivisering fordelt på generelle og sektorspesifikke tiltak. Kapittel 4 redegjør for befaring vi har foretatt ved et slakteri i prosjektperioden, mens kapittel 5 oppsummerer resultatene for havbruksnæringen.

### 1.1 Havbruksnæringen

Den norske havbruksnæringen er en stor og viktig næring for landet. I 2023 eksporterte Norge laks og ørret til over 100 land, til en verdi for over 127 milliarder kroner<sup>1</sup>. Store deler av dette kommer fra de ca. 1,6 millioner tonn laks og (regnbue-)ørret som ble oppdrettet i havbruket i 2023<sup>2</sup>. Artene fordeler seg som vist i Figur 1. I tillegg kommer ca. 14 500 tonn med annen fisk fra oppdrett som f.eks. torsk og stør.



**Figur 1. Salgstall for matfiskproduksjon i Norge i 2023. Kilde: Fiskeridirektoratet.**

Næringen er viktig for sysselsetting. I 2023 jobbet 2061 i settefisk, 7229 i matfisk og i 2018 kunne man telle nesten 3000 årsverk innen bearbeiding og slakt, fordelt på omkring 120 selskaper<sup>3,4</sup>. I tillegg kan det anslås at rundt 2000 jobber på fartøy i havbruk. Omfanget av produksjonen medfører at næringen er en stor forbruker av energi, både elektrisitet og fossil energi i form av drivstoff til oppdrettsanlegg og fartøy.

<sup>1</sup> <https://nokkeltall.seafood.no/>

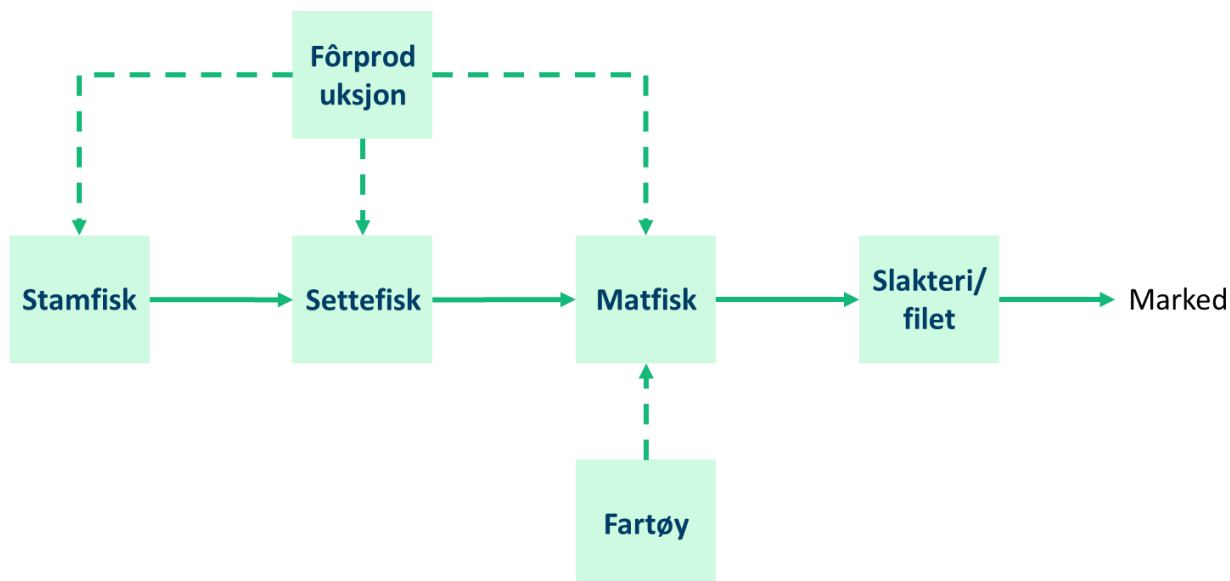
<sup>2</sup> Alle tall er hentet fra Fiskeridirektoratet. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Laks-regnbueoerret-og-oerret/Matfiskproduksjon>

<sup>3</sup> <https://www.fiskeridir.no/statistikk-tall-og-analyse/data-og-statistikk-om-akvakultur/akvakulturstatistikk-laks-regnbueoerret-og-oerret-offisiell-statistikk>

<sup>4</sup> Regjeringen.no, <https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/fiskeri-og-havbruk/1/oppdrettslaksen/Norsk-havbruksnaring/id754210/>

## 1.2 Inndeling av havbrukssektoren

Havbruksnæringen er her delt inn i 4 segmenter; settefisk, matfisk, slakteri og fartøy. Settefisk omfatter produksjon av yngel og smolt, i hovedsak i landbaserte anlegg. Matfisk dekker vekstfasen til fisken frem til slakt, i hovedsak i konvensjonelle merder i sjø. Slakting omfatter mottak og bearbeiding av fisken på land. Fartøyssegmentet er trukket ut som eget og omfatter alt av fartøysoperasjoner fra lokalitetsbåter til brønnbåt og fôrtransport. Figur 2 viser denne underinndelingen av havbrukssektoren. Stamfisk- og fôrproduksjon er også inkludert i figuren, men disse områdene er ikke tatt med i den følgende energieffektivitetsanalysen.



Figur 2: Underinndeling av havbrukssektor som helhet.

**Settefiskproduksjonen** dekket per 31. desember 2023 236 tillatelser over hele landet, hvorav 187 er i drift gjennom 110 ulike selskaper. Sektoren sysselsatte 2 023 mennesker i 2023, og det ble solgt 440 720 000 smolt<sup>5</sup>.

**Matfiskproduksjonen** dekket per 31. desember 2023 1 164 ordinære tillatelser, i tillegg til 44 stamfisktillatelser, 108 FoU-tillatelser, 31 visningstillatelser og 24 utviklingstillatelser – totalt 1 371. Av disse var 1 266 tillatelser i drift gjennom 172 ulike selskaper. Det var i 2023 990 lokaliteter i sjø og 64 lokaliteter på land for kommersiell matfisk- og stamfiskproduksjon. Sektoren sysselsatte 7 233 mennesker i 2023, og det ble solgt 1 604 473 tonn laks og (regnbue-)ørret<sup>2</sup>.

**Slakteriene** omfattet i 2022 44 anlegg spredt over hele landet, med en slaktekapasitet per skift på mellom 20 og 300 tonn sløyd vekt, i tillegg til slaktefartøyet Norwegian Gannet. Oppgitt slaktevolum spenner fra 200 til 100 700 tonn for 2022. Total sløyd vekt for alle anlegg er omtrentlig tilsvarende oppgitt rund vekt i produksjonen fra matfiskleddet det samme året<sup>6</sup>.

**Fartøyene** dekker et ukjent antall båter innen kategoriene; lokalitetsbåt, servicebåt, brønnbåt, fôrbåter, bløggébåt og ensilasjefartøy. Anslag tilsier at det er i størrelsesorden 1 300 lokalitetsbåter,

<sup>5</sup> Alle tall er hentet fra Fiskeridirektoratet. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Laks-regnbueoerret-og-oerret/Settefiskproduksjon>

<sup>6</sup> Alle tall er hentet fra NorskFisk.no og deres gjennomgang som er publisert i Magasin 9 – 2023.



rundt 350 servicebåter, i underkant av 100 brønnbåter, rundt 25 fôrbåter, cirka 4-8 bløggebåter og rundt 15 ensilasjefartøy<sup>7</sup>.

### 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 energibruket med 677 GWh og klimautslipp med 127 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Havbruksnæringen har vært den desidert største mottakeren i sjømatnæringen, med 87% av prosjektene og 93% av støtten (965 millioner kroner). Det er verdt å merke seg at et enkelt prosjekt har betydelig innvirkning på statistikken, og det er Salmon Evolution Norway AS som mottok en støtte på 96,8 MNOK i 2020 for etablering av landbasert oppdrettsanlegg, og har en årlig forventet energibesparelse på 22 GWh sammenlignet med tradisjonelle anlegg. Det er totalt 127 havbruksbedrifter som har fått støtte i perioden.

Tabell 1: Nøkkeltall på Enova-støttede prosjekter i havbruksnæringen

Undersektor	Antall prosjekter	Total støtte (MNOK)	Energireduksjon per prosjekt (GWh)	Utslippsreduksjon per prosjekt (tonn CO <sub>2</sub> -ekv)
Havbruk - Matfisk	328	525	1,24	305
Havbruk - Havbruksflåte	96	345	0,63	169
Havbruk - Slakteri	39	50	1,25	165
Havbruk - Settefisk	35	45	1,46	123



Figur 3: Forventet energireduksjon summert på undersektor i havbruksnæringen

Tabell 1 viser en oversikt på hvordan prosjektene fordeler seg på de ulike segmentene matfisk, havbruksflåten, slakteri og settefisk, mens Figur 3 viser hvordan det forventede energieresultatet fordeler seg på segmentene. For havbruksflåten har elektrifisering også vært et sentralt tema, med

<sup>7</sup> Tall er sammenstilt og estimer basert på (1) Asplan Viak, Potensialet for reduserte klimagassutslipp og omstilling til lavutslippssamfunnet for norsk oppdrettsnæring, versjon 02, 30.04.21, (2) Stakeholder, <https://zerokyst.no/wp-content/uploads/2022/08/Rapport-endelig-ZeroKyst-juni-2022.pdf>, og (3) SINTEF Ocean og Arena Ocean Hyway Cluster, Nullutslipps havbruksfartøy – utredning av fartøystyper og relevant teknologi, <https://static1.squarespace.com/static/5d1c6c223c9d400001e2f407/t/6194c9cc38f289714cf6ae95/1637140942992/Nullutslipps+havbruksfartoy+-+utredning+av+fartoystyper+og+relevant+teknologi.pdf>



støtte til installasjon av batterier gjennom programmene «Batteri i fartøy», «Elektrifisering av sjøtransport» og «Energi- og klimatiltak i skip». Til tross for noe lavere forventede energi- og klimaresultater indikerer nøkkeltallene i Tabell 1 en høy støttegrad til denne typen prosjekter. Enova endret i 2023 støtteprogrammet slik at havbruksflåten ikke lengre kunne søke, begrunnet i at omstillingen i dette flåtesegmentet har gått raskere enn forventet<sup>8</sup>. En aktuell ordning for elektrifisering er «Batteri i nullutslippsskip», som i første runde tildelte 94 MNOK til prosjekter i havbruksnæringen<sup>9</sup>.

I slakteriene har det vært betydelig fokus på varmegjenvinning og utnyttelse av spillvarme fra kjøleanlegg, energieffektivisering av frysetunneller, installasjon av varmepumper og innføring av energiledelse. Også innen settefisk-sektoren har det vært fokus på energiledelse og varmepumpeinstallasjoner, men også noen spesifikke prosjekter som har omhandlet slambehandling, som konvertering av slam til biogass eller utnyttelse av restvarme fra slamtørking. Sammen har disse to sektorene et samlet energi- og klimaresultat på 100 GWh og 288 000 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fordelt på 74 prosjekter de siste 10 årene.

---

<sup>8</sup> [Enova endrer støtten for batteri i fartøy | Enova](#)

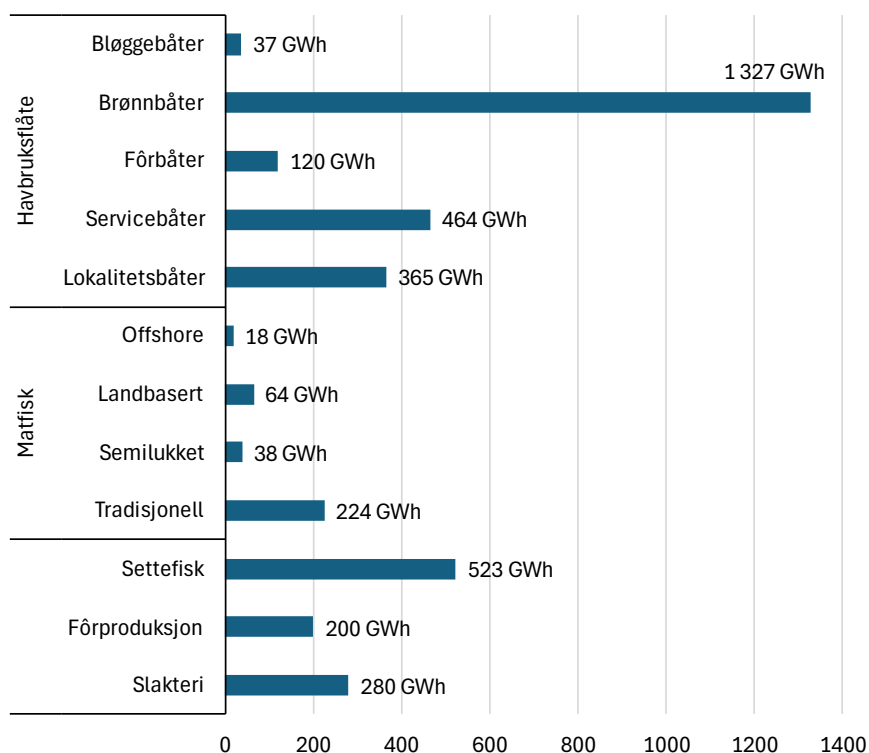
<sup>9</sup> [Første tildeling på støtteprogrammet "Batteri i Nullutslippsskip" er nå klar](#)

## 2 Dagens status: Energibruk og energimiks

Dette kapitlet beskriver det vi anser som beste tilgjengelige kunnskap om totale energiforbruk for sektorene beskrevet i kapittel 1, hvordan dette energiforbruket dekkes og hvordan det fordeler seg på ulike systemer og operasjoner innad i sektorene. En totaloversikt over innenlands energiforbruk vises i

Det er stor usikkerhet i energiforbruket og hvordan dette fordeler seg for alle deler av havbruksnæringen. Mangelen på gode oversikter og informasjon gjør det krevende å gi bedre nøyaktighet i estimatene enn å kunne si noe om størrelsesorden. Manglende informasjonsgrunnlag for energiforbruk er tydelig uttalt i tidligere gjennomganger av andre aktører. Noen eksempler på gode kartleggingsarbeider som har støtt på samme utfordringen listes her:

- Stakeholder, Kartlegging av utslipp fra fiskeri og havbruk i Norge Rapport utarbeidet på oppdrag fra ZeroKyst, 06.22.
- Kontali, Doxacom, aPoint, Bedre datagrunnlag i havbrukssektoren – for Miljødirektoratet, 15.12.20.
- Asplan Viak, Potensialet for reduserte klimagassutslipp og omstilling til lavutslippssamfunnet for norsk oppdrettsnæring, 30.04.21.

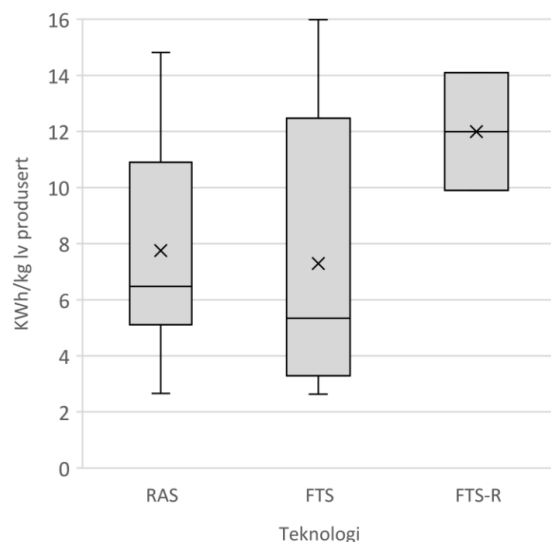


**Figur 4. Oversikt over innenlands, direkte energiforbruk i havbruksnæringen fra alle energikilder. Oversikten dekker fôrproduksjon, settefisk, matfisk, slakteri og fartøy. Totalt forbruk (inkludert fôrproduksjon) er anslått 3,7 TWh**

**Der hvor totale eller spesifikke energiforbruk omtales så menes brutto energiforbruk.** Dette betyr at energiforbruket påvirkes, ofte i svært stor grad, av energikilde og energibærer. Som eksempel vil det kreves i størrelsesorden 3 ganger mer energi å utføre et arbeid ved bruk av diesel som energikilde i forhold til om det ble brukt strøm fra nettet. Dette betyr også at elektrifisering kan være et betydelig tiltak for energieffektivisering.

## 2.1 Settefisk

Settefiskfasen anslås å ha et totalt energiforbruk på 523 GWh. Dette er basert på en produksjon på 450 millioner smolt<sup>5</sup> med snittvekt på 150 gram og et spesifikt energiforbruk per kg laks på 7,5kWh<sup>10</sup>. Det spesifikke energiforbruket er basert på en gjennomgang som så på ASC-rapporter for matfiskanlegg i sjø, hvor disse oppgir spesifikt energiforbruk for settefiskanlegg som de har benyttet som leverandører<sup>10</sup>. ASC står for Aquaculture Stewardship Council, og er en ikke-statlig organisasjon for bærekraftig havbruk, og som sertifiserer anlegg som oppfyller deres krav. Denne informasjonen kan finnes via rapporter på ASC sine nettsider<sup>11</sup>. Gjennomgang av 41 anlegg ga en fordeling for spesifikt energiforbruk for ulike anleggstyper, som vist i Figur 5. Gjennomsnittet for resirkulerende akvakultursystemer (RAS) og gjennomstrømningsanlegg (FTS-anlegg) er henholdsvis 7,7 og 7,3 kWh/kg. I RAS gjenbrukes og behandles vannet i stor grad, slik at det samme vannet besøker fiskekarene flere ganger før det skiftes ut. FTS-anlegg pumper vannet gjennom systemet kun en gang. Anlegg med lav grad av gjenbruk av vann kalles gjerne hybridanlegg eller gjennomstrømningsanlegg med resirkulering (FTS-R). Kartleggingen avdekket kun to slike anlegg, og det høye spesifikke energiforbruket på 12 kWh/kg kan derfor skyldes det begrensede utvalget. Rapporten anslår at det i Norge, per 2019, var 67 RAS-anlegg, 61 FTS-anlegg, 6 FTS-R, 3 anlegg i kategorien «annet» og 45 anlegg som ikke var kartlagt.

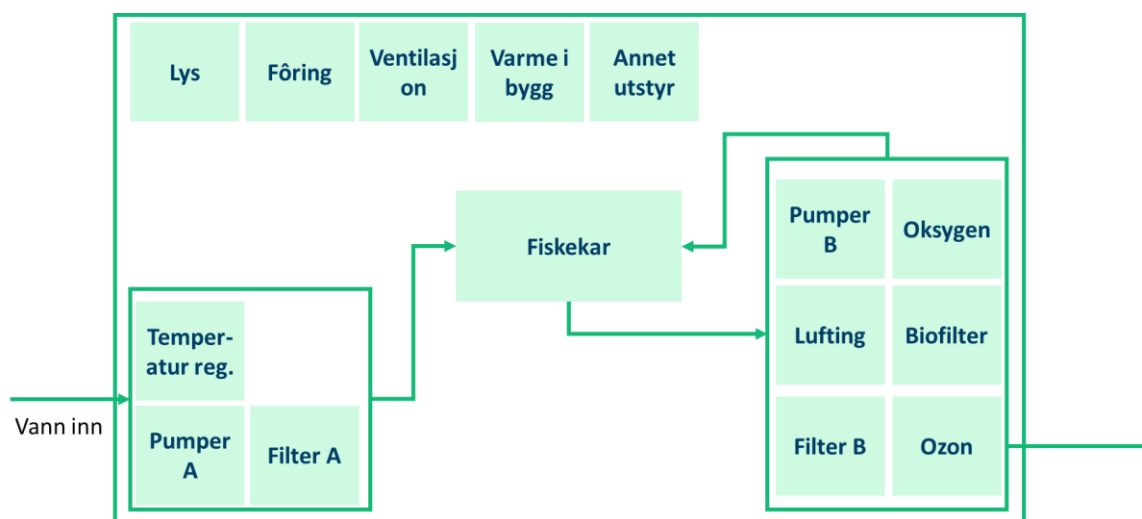


**Figur 5. Fordeling for spesifikt energiforbruk for ulike anleggstyper for settefisk, kWh per kilo levende vekt. Resirkulerende akvakultursystemer (RAS), gjennomstrømningsanlegg (FTS) og hybridanlegg (FTS-R). Resultatene er basert på undersøkelse av 18 RAS, 11 FTS og 2 FTS-R. Figuren er hentet fra Asplan Viak<sup>10</sup>, gjengitt med tillatelse.**

<sup>10</sup> Asplan Viak, Potensialet for reduserte klimagassutslipp og omstilling til lavutslippssamfunnet for norsk oppdrettsnæring, versjon 02, 30.04.21.

<sup>11</sup> <https://asc-aqua.org/find-a-farm/>

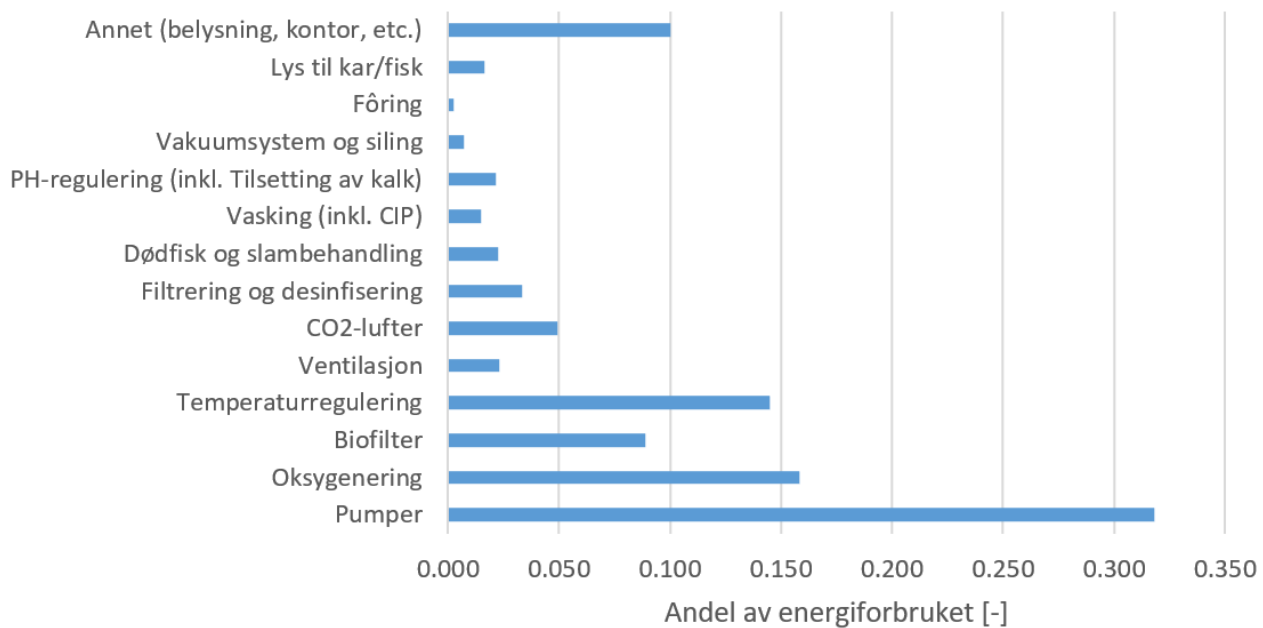
Basert på samtaler med næringsaktører antas det at de fleste anlegg er tilknyttet nettet og baserer driften sin på tilgang på elektrisk strøm. Det er imidlertid normalt for anleggene å oppleve utfall av strømmen i perioder, da benyttes nødaggregater som går på diesel for å holde driften i gang. Asplan Viak fant at 0-17% av energiforbruket kom fra dieselaggregat for 14 undersøkte anlegg<sup>10</sup>. Resten av energiforbruket kom fra strømnettet. Vi antar videre at 95% av energien kommer fra nettet og 5% fra diesel. Figur 6 viser en konseptskisse av systemstruktur og oppdeling av settefiskanlegg i underordnede prosesser.



**Figur 6: Prosessdiagram for et settefiskanlegg**

En gjennomgang av tilgjengelig litteratur på hvordan energikilder og energiforbruk fordeler seg på ulike systemer på settefiskanlegg har ført til følgende estimat for RAS-anlegg, se Figur 7. Gjennomstrømningsanlegg og RAS-anlegg har omtrentlig likt spesifikt energiforbruk og energikilder, men energiforbruket fordeler seg på ulike prosesser. Spesielt er det ikke biofilter i gjennomstrømningsanlegg. Posten «Dødfisk og slambehandling» kan variere betydelig mellom anlegg etter hvorvidt de behandler og tørker slam på anlegget. Spennet kan være fra å være en nesten ubetydelig del av energiforbruket til å stå for rundt 15% av anleggets energibehov<sup>12</sup>. Hybrid- og gjennomstrømningsanlegg har en større andel av energiforbruket knyttet til pumping av vann og temperaturregulering ettersom det er større vannmengder som går inn og ut av anlegget enn for RAS.

<sup>12</sup> Andrea Arntzen Nistad, Current and Future Energy Use for Atlantic Salmon Farming in Recirculating Aquaculture Systems in Norway, 2020, Masteroppgave, NTNU



**Figur 7. Fordeling av energiforbruk på ulike aktiviteter og systemer på settefiskanlegg i havbruk. Egne estimater for et typisk anlegg basert på sammenstilling av tilgjengelig litteratur.**

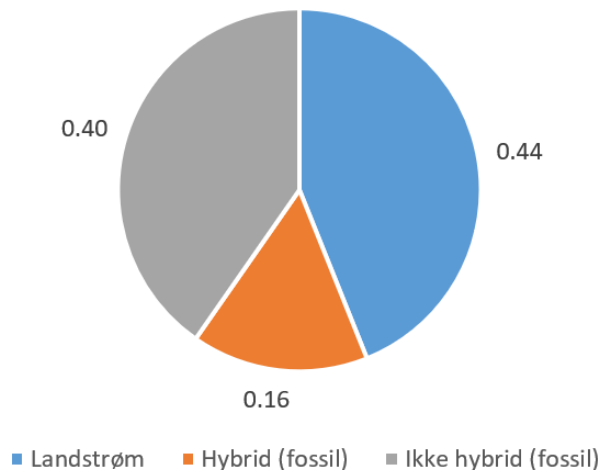
## 2.2 Matfisk

Matfiskfasen anslås å ha et totalt energiforbruk på 345 GWh. Dette er basert på en produksjon på 1,65 millioner tonn med et spesifikt energiforbruk per kg laks på 0,21kWh i snitt, på tvers av produksjonsformer. Dette spesifikke energiforbruket er et vektet snitt på tvers av ulike produksjonsmetoder som finnes i dag og de produksjonsvolum som er knyttet til disse. Fordelingen vises i Tabell 2. I FHF-prosjektet EnerSea (FHF nr. 901866) ble elektrifiseringsgraden på norske matfiskanlegg i sjø kartlagt. Resultatet er et anslag på at ca. 44% av anlegg har landstrøm, at ca. 16% er hybride, og at resterende 40% hverken er hybride eller tilkoblet landstrøm<sup>13</sup>, se Figur 8. Forholdet mellom anlegg som er på landstrøm og de som bruker fossile drivstoff påvirker det spesifikke energiforbruket for sektoren som helhet. På tvers av alle produksjonsformer, så er andelen fossil på ca. 60%.

**Tabell 2. Anslag på produksjonsvolum og spesifikt brutto energiforbruk for ulike produksjonsformer for matfiskanlegg. Spesifikt brutto energiforbruk bygger på tall for spesifikt netto energiforbruk fra litteraturen og anslag på elektrifiseringsgrader.**

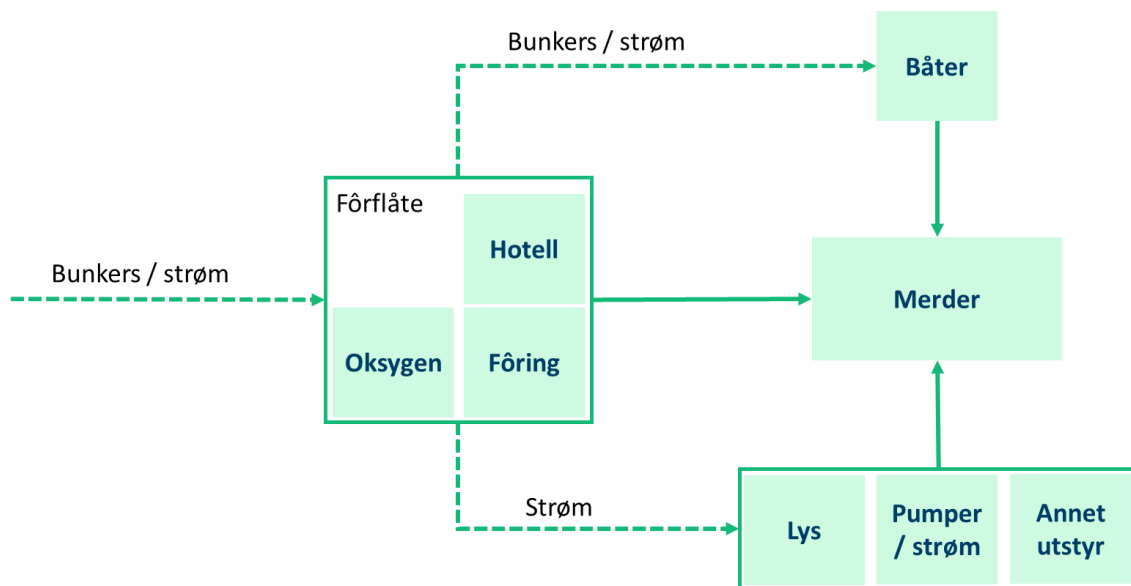
Anleggstype	Produksjonsvolum (tonn)	Spesifikt energiforbruk (kWh/kg)	Energiforbruk (GWh)
Tradisjonell	1 601 046	0,14	224
Semilukket	16 506	2,33	38
Landbasert	8 253	7,75	64
Offshore	24 758	0,74	18
<b>Samlet</b>	<b>1 650 563</b>	<b>0,21</b>	<b>345</b>

<sup>13</sup> FHF-prosjektet EnerSea: <https://www.fhf.no/prosjekter/prosjektbasen/901866>



**Figur 8. Fordeling av energikilde/system for matfiskanlegg i sjø i havbruksnæringen. Tallene angir andelen av det totale antall anlegg som benytter de ulike kildene/system for sektoren som helhet.**

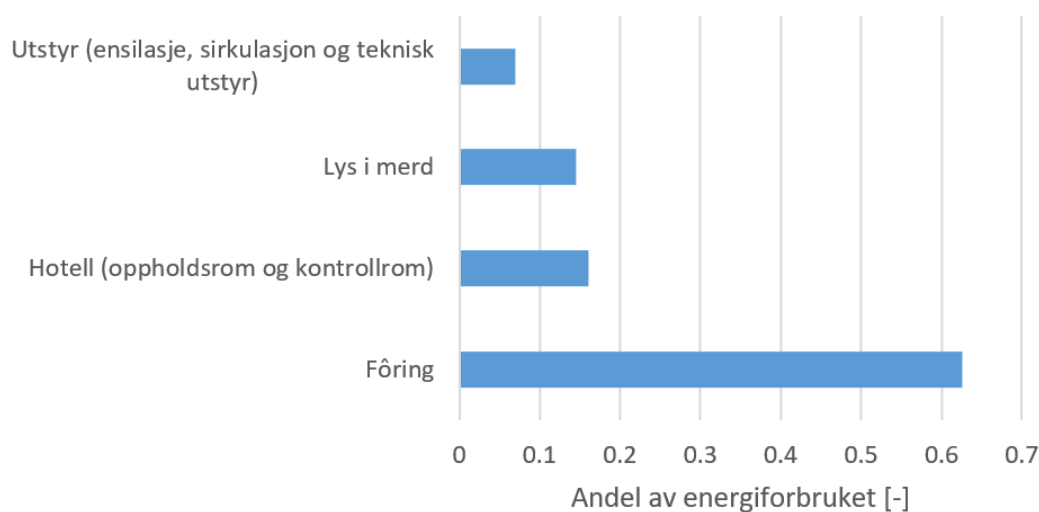
Energiforbruket som omtales her dekker kun det som er knyttet til selve anlegget. Dette betyr at forbruk tilknyttet drift av fartøy holdes utenfor, dette gjelder også lokalitetsbåter. Alle båter dekkes i 2.4 Flåte. En typisk prosesstruktur for matfiskanlegg er vist i Figur 9.



**Figur 9: Prosesdiagram for et matfiskanlegg i sjø i havbruksnæringen**

Figur 10 beskriver kun tradisjonelle matfiskanlegg i sjø. Inn under matfisk dekkes også nedsenkende, semilukkede anlegg i sjø, offshore anlegg og landbaserte anlegg.

## Fordeling av energiforbruket på matfiskanlegg



**Figur 10. Fordeling av energiforbruk på ulike aktiviteter og systemer på tradisjonelle matfiskanlegg i havbruk. Oversikten er ikke representativ for landbaserte, semilukkede eller offshore matfiskanlegg.**

Nedsenkede anlegg i sjø skiller seg fra typiske konvensjonelle anlegg ved at de benytter vannbåren fôring og ved at de har et høyere energiforbruk knyttet til belysning i merd. Fôret må innblandes med vann når det skal senkes til spreder under vann, og belysning er nødvendig ettersom lysinnslipp er begrenset på de aktuelle dybdene.

Semilukkede og lukkede anlegg har stor variasjon i energiforbruk. Dette styres i hovedsak av i hvilken grad anleggene benytter pumper til å drive vannutskiftning, om oksygen produseres og injiseres, om vann filtreres og desinfiseres, og om slam samles og behandles. Fysisk lukkede anlegg kan ha spesifikt energiforbruk i området 1,5-3kWh/kg og et anlegg.

Offshore og havbaserte anlegg er heller ikke en homogen gruppe og vil derfor også ha en variasjon i energiforbruk. Noen vil ha operativt energiforbruk likt konvensjonelle eller nedsenkede anlegg, avhengig av hvordan det fôres, ettersom det i stor grad er de samme energiforbrukerne som gjelder. Andre anlegg har et større antall funksjoner integrert, som f.eks. kraner, ROV-tjenester, etc. og vil dermed ha et økt energiforbruk tilknyttet dette. Dette økte energiforbruket må ses i sammenheng med evt. redusert behov for fartøystjenester og medfølgende redusert energiforbruk fra fartøy. Jebesen (2021) presenterer et spesifikt energiforbruk for SalMar sin Ocean Farm 1 på 0,16kWh/kg i netto, og 0,47kWh/kg i brutto – basert på at all energi kommer fra dieselaggregat<sup>14</sup>. Landbaserte matfiskanlegg er svært like settefiskanlegg med hovedforskjellen at de er betydelig større. En annen forskjell er at fisken vokser tregere når den er større, slik at det spesifikke energiforbruket i kWh/kg fisk er høyere for matfisk enn for smolt<sup>12</sup>.

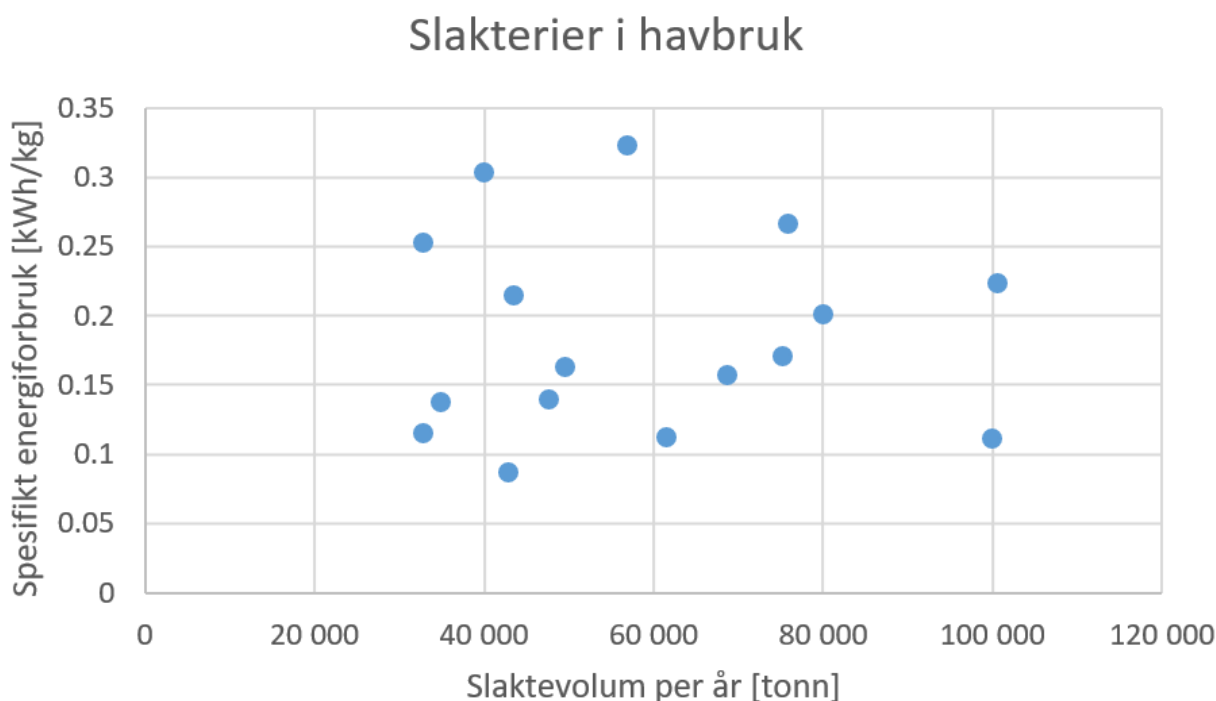
<sup>14</sup> Sofie Helene Næss Jebesen, Scenarios for the Decarbonization of Energy Supply for Salmon Aquaculture in Norway, 2021, Masteroppgave, NTNU



## 2.3 Slakteri

Slakteriene anslås å ha et totalt energiforbruk på 280 GWh. Dette er basert på en produksjon på 1,5 millioner tonn sløyd vekt, med et spesifikt energiforbruk på 0,19 kWh/kg.

Spesifikt energiforbruk er estimert ved å sammenligne slaktevolum med energiforbruk for anlegg med slaktevolum over 30 000 tonn for 2022<sup>6</sup>. 16 av disse anleggene har oppgitt energiforbruk på NorskeUtslipp.no som kan virke realistiske, selv om det her er stor usikkerhet rundt nøyaktigheten i rapporteringen<sup>15</sup>. Blant anleggene var det et spenn i spesifikt energiforbruk som strakk seg fra 0,09 kWh/kg til 0,32 kWh/kg. De selvrapporterte dataene har ikke tilstrekkelig detaljnivå til å forklare variasjonen, men sannsynlige årsaker kan inkludere ulik produksjon (andeler rund og filetert fisk), teknisk standard og alder på prosessutstyr, behandling av avskjær og variasjoner i bygningsmasse og lagerstørrelser. Fordelingen for de 16 anleggene vises i Figur 11.

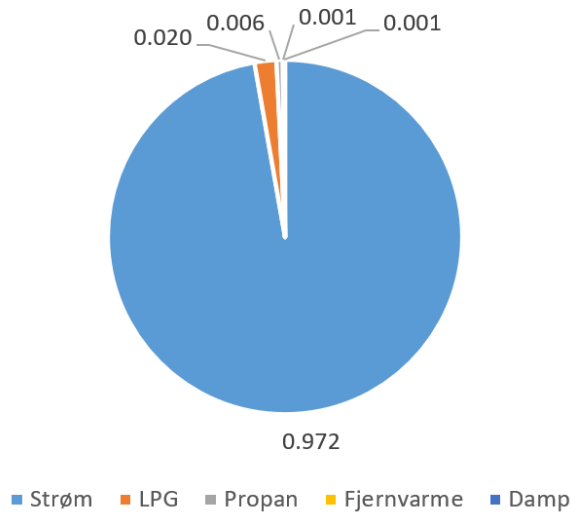


**Figur 11. Spesifikt energiforbruk for slakterier tilknyttet havbruksnæringen. Utvalget dekker de slakterier som produserer mer enn 30 000 tonn per år, og som har rapportert troverdige tall for energiforbruk til Miljødirektoratet. Kilder: norskfisk.no og norskeutslipp.no.**

Basert på de 16 utvalgte slakteriene sine innrapporterte data til Miljødirektoratet så gis følgende fordeling for energikilder, se Figur 12. I snitt kommer 97,2% av energien fra strømmettet. De fleste anlegg er helelektriske mens noen få anlegg har innslag av andre energikilder. Det anlegget med lavest andel strøm fra nettet fikk 82,7% av energien den veien, og 17,3% av energien fra LPG.

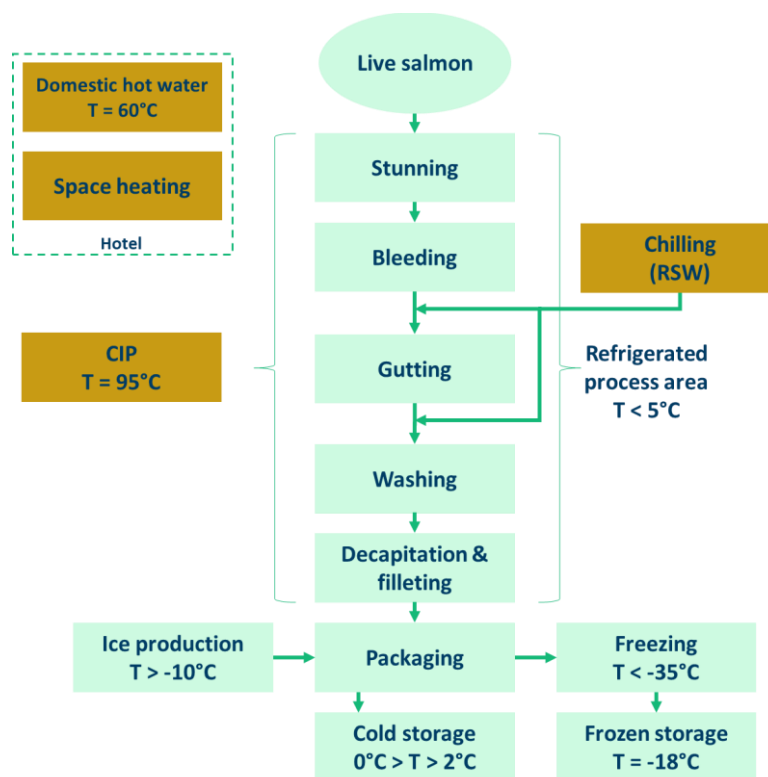
<sup>15</sup> <https://www.norskeutslipp.no/>

## Energikilder for utvalgte slakterier



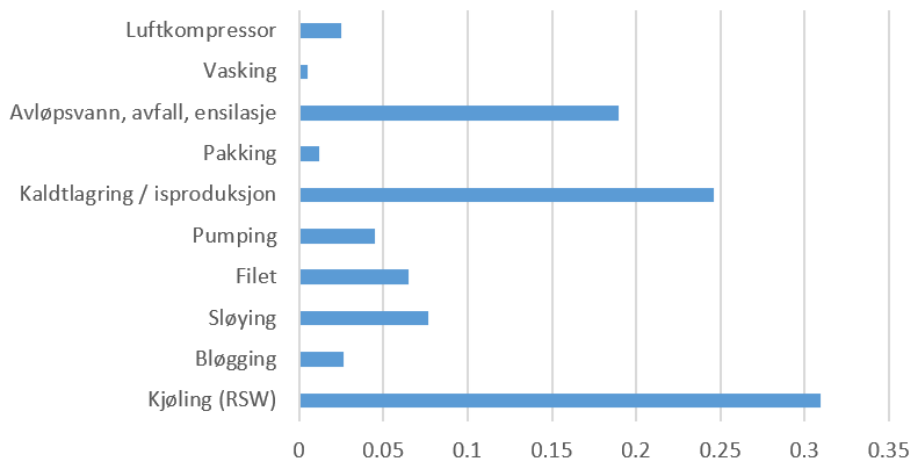
Figur 12. Fordeling av energikilder til utvalgte slakterier i havbruksnæringen. Tallene angir andelen av energiforbruket som dekkes av de ulike kildene, som snitt for sektoren.

De ulike prosessene i et fiskeslakteri kan deles opp som vist i Figur 13. Prosessorganiseringen starter med levering av fisken, via slaktning til pakking og nedfrysing eller nedkjøling. Rengjøring av prosessrommet og de termiske kravene tilhørende til de administrative lokaler er inkludert.



Figur 13: Prosessdiagram for et fiskeslakteri med temperaturkravene til de ulike prosessene.

Energiforbruket i slakteriene fordeler seg på en rekke ulike prosesser. Disse vises i Figur 14, hvor totalen for næringen er estimert basert på tilgjengelig informasjon fra åpne kilder og innhentede data for enkeltanlegg<sup>16</sup>. Det finnes lite informasjon som belyser situasjonen for næringen som helhet og det er vanskelig å sammenstille de bruddstykkene som finnes på grunn av ulik kategorisering og systemavgrensning. Kunnskap om enkeltanlegg er vanskelig å benytte for å beskrive totalsituasjonen for sektoren, og medfører noe usikkerhet.



**Figur 14. Fordeling av energiforbruk på ulike aktiviteter og systemer på slakterier i havbruk.**

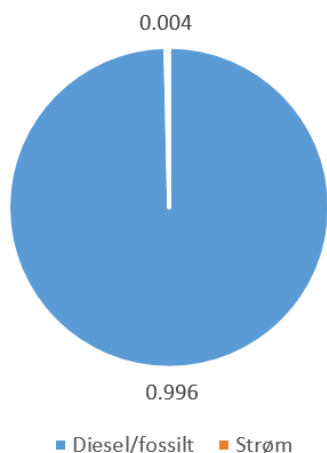
## 2.4 Flåte

Fartøyene anslås å ha et totalt energiforbruk på 2 256 GWh, for 2023. Dette er basert på anslag for forbruk tilknyttet fartøysaktiviteter som kreves per kg produsert laks. Dette spesifikke energiforbruket estimeres til 1,41 kWh/kg for havbruksflåten som helhet, og multipliseres med 1,6 millioner tonn for å gi det totale energiforbruket.

Det er i all hovedsak diesel som leverer energien som forbrukes. Det finnes ingen god oversikt over fordeling av energiforbruk på energikilder for havbruksflåten, men vi anslår at under 1% kommer fra ikke-fossile kilder, se Figur 15.

<sup>16</sup> Nofima, SINTEF Ocean & UiS, Energy Consumption for salmon slaughtering processes, <https://www.sintef.no/en/publications/publication/?pubid=1509653>

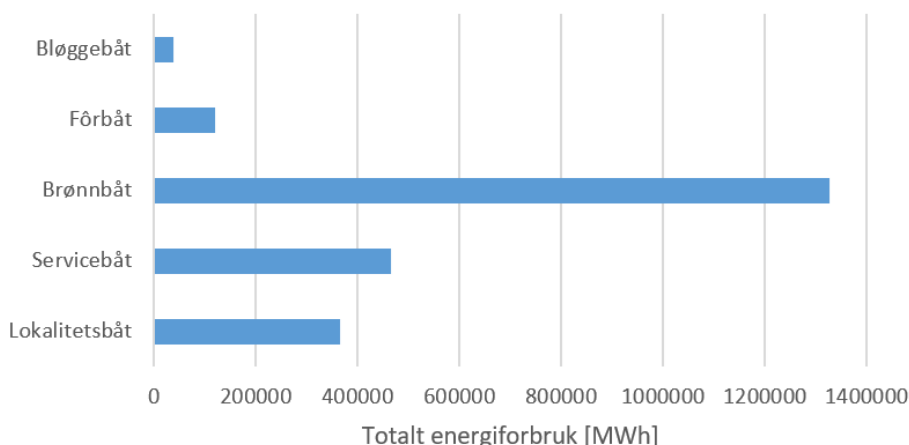
### Energikilder for fartøy i havbruk



**Figur 15. Fordeling av energikilder fartøy i havbruksnæringen. Tallene angir andelen av energiforbruket som dekkes av de ulike kildene, som snitt for sektoren.**

Energiforbruket til fartøy fordeler seg på en rekke ulike fartøystyper og aktiviteter. Et estimat på fordelingen av energiforbruket på fartøyskategorier er vist i Figur 16. Her er det tydelig at det er brønnbåter som står for den største andelen, fulgt av servicebåter og lokalitetsbåter. Tallene bygger på estimater for spesifikt energiforbruk per kg fisk basert på en sammenstilling av litteraturen og egne beregninger<sup>17</sup>. Spesifikt energiforbruk som er benyttet er: 0,222 kWh/kg for lokalitetsbåter, 0,283 kWh/kg for servicebåter, 0,808 kWh/kg for brønnbåter, 0,026 kWh/kg for fôrbåter, og 0,008 kWh/kg for bløggebåter. Ensilasjebåter er holdt utenfor pga. manglende datagrunnlag.

### Energiforbruk for fartøy i havbruk



**Figur 16. Energiforbruk i havbruksflåten fordelt på fartøyskategorier.**

<sup>17</sup> (1) Asplan Viak, Potensialet for reduserte klimagassutslipp og omstilling til lavutslippssamfunnet for norsk oppdrettsnæring, versjon 02, 30.04.21. (2) SINTEF Ocean, Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017, [https://www.sintef.no/contentassets/0ec2594f7dea45b8b1dec0c44a0133b4/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017\\_final\\_040620.pdf](https://www.sintef.no/contentassets/0ec2594f7dea45b8b1dec0c44a0133b4/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017_final_040620.pdf) (3) SINTEF Ocean og Arena Ocean Hyway Cluster, Nullutslipps havbruksfartøy – utredning av fartøystyper og relevant teknologi, <https://static1.squarespace.com/static/5d1c6c223c9d400001e2f407/t/6194c9cc38f289714cf6ae95/1637140942992/Nullutslipps+havbruksfartoy+-+utredning+av+fartoystyper+og+relevant+teknologi.pdf>

Det er stor usikkerhet rundt disse tallene. Vi har valgt å basere oss på det vi mener er de beste kildene. Det er lite tilgjengelig informasjon om hvordan energiforbruket til fartøy fordeler seg på ulike aktiviteter eller systemer om bord. Noen fartøy og redere har bedre oversikt enn andre, men for næringen som helhet finnes det ikke noe godt tallgrunnlag.

#### 2.4.1 Brønnbåt

Anslaget for energiforbruk i brønnbåt i Figur 16 er basert på et spesifikt forbruk på 0,08liter per kg fisk som produseres i næringen<sup>10,18</sup>. Det er også forsøkt en «bottom-up» tilnærming, og denne gir et lavere anslag på totalforbruket, se Tabell 3. Denne tilnærmingen gir også anslag på hvor mye energi som går til hvilke prosesser i dette fartøyssegmentet.

**Tabell 3. Energiforbruk for brønnbåter fordelt på prosesser. Tallene gjelder hele brønnbåtflåten. IMM står for ikke-medikamentell behandling.**

Aktivitet	Antall ganger (per år)	Totalt energiforbruk
Smolttransport (t/r)	1500	123 GWh
Avlusning (IMM)	2600	269 GWh
Slaktetransport (t/r)	5000	273 GWh
Annen seiling	10 lange og 20 korte turer per båt	152 GWh
Hotelldrift	365 dager for alle båter	265 GWh
	<b>Totalt</b>	<b>1082 GWh</b>

I smolttransport er hoveddelen av energiforbruket knyttet til fremdrift av skipet og systemer for å opprettholde et godt miljø for fisken om bord. Et grovt anslag er at begge deler, hver for seg, gir et forbruk på 25liter/nm (nautisk mil) for et typisk fartøy og last. Dvs. et forbruk på totalt 50liter/nm med fisk om bord og 25liter/nm uten fisk.

Ikke-medikamentell avlusning kan gjøres med flere ulike metoder, f.eks. termisk, mekanisk, med ferskvann, eller med ulike kombinasjoner av disse og andre. Energiforbruket varierer mellom metodene, både i totalt energibehov og effekt. Hoveddelen av energiforbruket er knyttet til selve avlusningsmetoden. Et anslag for et snitt kan være at en avlusning av 2000 tonn fisk krever et forbruk på 300liter/time i 24 timer. I tillegg kommer seiling som er spesifikk for avlusningsoppdraget og flytt av fartøyet internt på lokalitet.

Slaktetransport har et energiforbruk som er likt det for smolttransport. Dette betyr at anslaget for et typisk fartøy er 25liter/nm uten fisk om bord og 50liter/nm med fisk om bord. En betydelig forskjell mellom slaktetransport og smolttransport er at slaktetransport gjerne har en mye høyere fisketetthet, slik at energiforbruket per kg fisk som transporteres er mye lavere for slaktetransport.

Annen seiling er en samlepost som dekker all seiling som ikke kan knyttes direkte til et oppdrag eller der hvor seiling som enten direkte eller indirekte er i forbindelse med et oppdrag går langt

<sup>18</sup> SINTEF Ocean, Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017, [https://www.sintef.no/contentassets/0ec2594f7dea45b8b1dec0c44a0133b4/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017\\_final\\_040620.pdf](https://www.sintef.no/contentassets/0ec2594f7dea45b8b1dec0c44a0133b4/report-carbon-footprint-norwegian-seafood-products-2017_final_040620.pdf)

utover det som er typisk. Dette kan f.eks. gjelde relokaliseringer av fartøyet fra en del av landet til en annen. Her antas et snittforbruk på 25liter/nm.

Hotell drift dekker drift av alle systemer om bord utover det som er direkte knyttet til fremdrift og til fiskesystemet (behandling av fisk under avlusning eller for å opprettholde miljøet i brønnen under transport). Hoveddelen av energiforbruket her er knyttet til varme, lys, annet maskineri og elektronikk. Dette energiforbruket anslås for et typisk fartøy å være på rundt 30liter/time.

En rapport fra DNV på oppdrag for Kystrederiene fant at brønnbåter i snitt har følgende hastighetsfordeling – dvs. hvor stor andel av tiden de opererer med de ulike hastighetene (se Tabell 4).

**Tabell 4. Hastighetsfordeling for brønnbåter. Andel av tiden de opererer innenfor ulike hastighetssegment. Verdier er tilnærmet basert på graf i DNV<sup>19</sup>.**

	0kn	1-5kn	6-10kn	11+kn
<b>Brønnbåt</b>	0,71	0,07	0,14	0,08

#### 2.4.2 Servicebåt

Anslaget for energiforbruk for servicebåt i Figur 16 er basert på et spesifikt forbruk på 0,028liter per kg fisk som produseres i næringen<sup>10</sup>. Det er også forsøkt en «bottom-up» tilnærming, og denne gir et høyere anslag på totalforbruket; mellom ca. 450GWh og 750GWh. Denne gir estimerer på antall servicebåter, gjennomsnittlig antall aktive timer per båt per år, og gjennomsnittlig dieselforbruk per time for året. Vi estimerer disse verdiene til å ligge innenfor intervallene vist i Tabell 5.

**Tabell 5. Estimerer på intervaller for parametere for utregning av totalt energiforbruk for servicebåter i oppdrettsnæringen. Verdiene for antall aktive timer per båt og dieselforbruk for fartøyene er estimerer på snittverdier. Dette betyr f.eks. at mange fartøy har enten færre eller flere aktive timer i året enn 5000 – 6000.**

Parameter	Verdi
Antall servicebåter	300 – 350
Antall aktive timer i året per båt	5000 – 6000
Dieselforbruk (liter/time)	30 – 35
<b>Totalt energiforbruk per år (GWh)</b>	<b>455 – 742</b>

En forenklet fremstilling av operasjoner og energiforbruk for servicebåter er å dele dette opp i aktivitetene: Hotell/kai, lette operasjoner, tunge operasjoner og transit. Lette operasjoner kan f.eks. være typiske operasjoner som utføres fortøyd til merd mens tunge operasjoner gjerne kan være fortøyningsarbeid, ankerhåndtering og sleping/tauing. Energiforbruk for vanlige fartøystørrelser kan være i området vist i Tabell 6.

<sup>19</sup> DNV, Klimastudie for Kystrederiene – Historiske utslipp og fremtidsscenarioer for utslippsreduksjoner, 2021.

**Tabell 6. Energiforbruk for servicefartøy ved ulike aktiviteter.**

Aktivitet	Hotell/kai	Lett operasjon	Tung operasjon	Seiling/transit
Forbruk (liter/time)	5-10	15-40	80-200+	80-200

Lukkede data vi har tilgang til antyder at et typisk snittforbruk gjennom året, for tiden fartøyet er i aktivitet/aktiv drift, ligger rundt 30-40 liter/timen. Dette fordeler seg ca. slik som vist i Tabell 7. Enkelt sagt kan det gjøres en generalisering om at større båter gjerne bruker mer av sin tid på tunge operasjoner mens mindre båter bruker en større andel av sin tid på lette operasjoner.

**Tabell 7. Andel av aktiv tid som brukes i ulike aktiviteter for typiske servicefartøy. Merk at aktiv tid gjerne kan være i størrelsesorden halvparten av timene i året. F.eks. 3000 til 8000 av årets 8760 timer.**

Aktivitet	Hotell/kai	Lett operasjon	Tung operasjon	Seiling/transit
Andel av aktiv tid	37%	36%	18%	9%

En rapport fra DNV på oppdrag for Kystrederiene fant at servicebåter i snitt har følgende hastighetsfordeling – dvs. hvor stor andel av tiden de opererer med de ulike hastighetene. Se Tabell 8.

**Tabell 8. Hastighetsfordeling for servicebåter. Andel av tiden de opererer innenfor ulike hastighetssegment. Verdier er tilnærmet basert på graf i DNV<sup>19</sup>.**

	0kn	1-5kn	6-10kn	11+kn
Servicebåt	0,83	0,06	0,11	0,00

### 2.4.3 Lokalitetsbåt

Anslaget for energiforbruk for lokalitetsbåter i Figur 16 er basert på et spesifikt forbruk på 0,022liter per kg fisk som produseres i næringen<sup>10</sup>. Det er også forsøkt en «bottom-up» tilnærming, og denne gir et anslag på totalforbruket som strekker seg fra 367GWh til 1438GWh. Det laveste anslaget er svært nære verdien i Figur 16. Anslagene er basert på parameterne og intervallene som vist i Tabell 9.

**Tabell 9. Parametere og intervaller for anslag på totalt energiforbruk for lokalitetsbåter i oppdrettsnæringen.**

Parameter	Verdi
Antall lokalitetsbåter	1300
Andel av flåten i aktiv bruk	0,85 – 1
Antall timer seiling per dag	2 – 4
Antall timer ved merd per dag	2 – 6
Energiforbruk ved seiling (liter/time)	40 – 60
Energiforbruk ved merd (liter/time)	5 – 10
<b>Totalt energiforbruk per år (GWh)</b>	<b>367 - 1438</b>

Det er usikkerhet knyttet til hva som definerer en typisk båt innenfor gruppen som er dekket i anslaget på antall båter – ca. 1300. Ettersom dette utgjør ca. 1 båt per tillatelse og ca. 1,3 båter per lokalitet antar vi at det i hovedsak er snakk om katamaraner på 13-15 meter som er enkelt utstyrt med en kran og nokker. 15 meter anses som en øvre grense, og det finnes et stort antall betydelig mindre og lettere båter i næringen enn katamaraner på ca. 13 meter. Derfor anslås snittet å ligge rundt, eller i underkant av, en katamaran på 13 meter.

#### 2.4.4 Fôrbåt

Anslaget for energiforbruk for fôrfartøy i Figur 16 er basert på egne beregninger med utgangspunkt i informasjon hentet fra arbeid SINTEF Ocean gjorde for Arena Ocean Hyway Cluster i HyAqua<sup>20</sup>. Totalt brutto energiforbruk på 120 GWh tilsvarer da et spesifikt, netto energiforbruk på 0,026kWh per kilo fisk produsert i oppdrettsnæringen. Det er også forsøkt en «bottom-up» tilnærming, og denne gir et anslag på totalforbruket som strekker seg fra 92 GWh til 268 GWh. Anslagene er basert på parameterne og intervallene som vist i Tabell 10. Dette tar utgangspunkt i både informasjon fra HyAqua<sup>20</sup>, og lukkede data.

**Tabell 10. Parametere og intervaller for anslag på totalt energiforbruk for fôrfartøy i oppdrettsnæringen.**

Parameter	Verdi
Antall båter	25
Mengde fôr som transporteres årlig (tonn)	2 150 000
Kapasitet per båt (tonn)	2000
Antall rundturer	1075
Varighet per rundtur (dager)	3 – 7
Tid til lasting per rundtur (timer)	7 – 13
Tid til lossing per rundtur (timer)	7 – 13
Antall anløp per rundtur	4 – 8
Tid til manøvrering per anløp (time)	1
Seiletid per rundtur (timer)	55 – 133
Forbruk ved lasting (liter/time)	7,5 – 15
Forbruk ved DP og lossing (liter/time)	24 – 31
Forbruk ved manøvrering (liter/time)	59 – 76
Forbruk ved seiling (liter/time)	119 – 153
Forbruk til hotell (GWh/år)	17 – 33
<b>Totalt energiforbruk (GWh/år)</b>	<b>92 – 268</b>

#### 2.4.5 Bløggebåt

Anslaget for energiforbruk for bløggebåt i Figur 16 er basert på egne beregninger med utgangspunkt i informasjon hentet fra HyAqua<sup>20</sup>. Totalt brutto energiforbruk på 37 GWh tilsvarer et spesifikt, netto energiforbruk på 0,008kWh per kilo fisk produsert i oppdrettsnæringen. Det er også forsøkt en «bottom-up» tilnærming, og denne gir et anslag på totalforbruket som strekker seg

<sup>20</sup> SINTEF Ocean og Arena Ocean Hyway Cluster, Nullutslipps havbruksfartøy – utredning av fartøystyper og relevant teknologi, <https://static1.squarespace.com/static/5d1c6c223c9d400001e2f407/t/6194c9cc38f289714cf6ae95/1637140942992/Nullutslipps+havbruksfartoy+-+utredning+av+fartoystyper+og+relevant+teknologi.pdf>



fra 17 GWh til 53 GWh. Anslagene er basert på parameterne og intervallene som vist i Tabell 11. Dette tar utgangspunkt i både informasjon fra HyAqua<sup>20</sup>, og åpent tilgjengelige data fra Napier sin bærekraftsrapport for 2023<sup>21</sup>. Her er det gjort en forenkling ved å legge mesteparten av forbruket knyttet til nedkjøling av sjøvann (RSW) til lastingen.

**Tabell 11. Parametere og intervaller for anslag på totalt energiforbruk for bløggebåter i oppdrettsnæringen**

<b>Parameter (enhet)</b>	<b>Verdi</b>
Antall bløggebåter	4 – 8
Total bløggekapasitet (tonn)	1100 – 2200
Gjennomsnittlig bløggekapasitet (tonn)	275
Mengde fisk som bløgges (tonn/år)	100 000 – 200 000
Utnyttelsesgrad fartøy	0.5
Antall rundturer	727 – 1455
Seiling uten fisk per rundtur (nm)	50
Seiling med fisk per rundtur (nm)	50
Tid ved lasting (timer)	6 – 8
Tid ved lossing (timer)	6 – 8
Forbruk ved seiling uten fisk (liter/time)	120 – 140
Forbruk ved seiling med fisk (liter/time)	148 – 237
Forbruk ved lasting (liter/time)	141 – 212
Forbruk ved lossing (liter/time)	28 – 57
<b>Totalt energiforbruk (GWh/år)</b>	<b>16 - 57</b>

#### 2.4.6 Kategorisering av forbruk for fartøy (samlet)

Analysene gir følgende anslag på forbruk i aktivitetskategorier for fartøyene samlet, se Tabell 12.

**Tabell 12. Oppsummerte resultater for fartøyskategorier i havbruksflåten**

<b>Aktivitet</b>	<b>Forbruk (GWh)</b>	<b>Forbruk (%)</b>
Seiling	959 – 2045	48 – 57
Hotell	359 – 517	14 – 18
Utstyr/prosesser	692 – 1025	29 – 34
<b>Totalt</b>	<b>2011 – 3587</b>	<b>100</b>

<sup>21</sup> <https://napier.no/wp-content/uploads/SUSTAINABILITY-REPORT-2023.pdf>

### 3 Tiltak for energieffektivisering

Dette kapitlet presenterer tiltak som kan forbedre energieffektiviteten i havbruksnæringen. For hvert tiltak så beskrives det hva det betyr å gjennomføre det i praksis og hvilke prinsipper som ligger til grunn for at det vil gi energieffektivisering. Kapitlet er delt opp for hver av de fire segmentene: settefisk, matfisk, slakteri og fartøy. Tiltak vurderes mht. brutto energiforbruk. Dette betyr at elektrifisering, eller det å øke virkningsgraden i forbrenning av energibærere regnes som energieffektiviseringstiltak. Det antas videre en virkningsgrad for forbrenning av diesel på 35%.

#### 3.1 Energieffektivisering i settefisk

Som vist i kapittel 2.1 så er mesteparten av energiforbruket på settefiskanlegg knyttet til pumping av vann, oksygenering, temperaturregulering og drift av biofilter (for RAS). Disse utgjør til sammen i størrelsesorden 70% av energiforbruket. Noe mindre energi brukes på CO<sub>2</sub>-lufting, filtrering og desinfisering av vann, ventilasjon, dødfisk og slambehandling, og PH-regulering. Ettersom settefiskanlegg stort sett er elektrifisert, er det lite å hente på å øke andelen elektrisitet. Av denne grunn blir tiltak for å redusere pumpeenergi, forbedre oksygenering og temperaturregulering vurdert nærmere.

Asplan Viak oppgir at «det er et betydelig potensial for reduksjon i energibruk i settefiskanlegg gjennom driftsoptimalisering», og begrunner dette med avviket mellom leverandørene sine estimater for energiforbruk og de faktiske energiforbruk på settefiskanlegg<sup>10</sup>. Det trekkes også frem påstand om at «en energieffektiv produksjon er anslått å resultere i et energiforbruk på 3-5 kWh/kg levende fisk for produksjon av post-smolt i RAS-anlegg» med referanse til at disse tallene brukes i Hilmarsen et al.<sup>22</sup>. Hilmarsen et al. bruker kun 3-5kWh/kg som referanseverdier uten å påstå at dette kan forventes ved energieffektiv drift. Dette er også krevende ettersom store lokale ulikheter i temperaturer, vannkvalitet, biologiske utfordringer og produksjonsstrategier har stor innvirkning på energiforbruket. Vi er også kjent med at leverandører reklamerer med spesifikt energiforbruk for RAS-anlegg ned mot 3kWh/kg.

Asplan Viak trekker frem følgende tiltak for energieffektivisering i RAS-anlegg; (1) optimalisering av energianlegget, (2) frekvensstyring av teknisk utstyr, (3) utnyttelse av spillvarme fra slambehandling, og (4) optimal utnyttelse av produksjonsvolumet<sup>10</sup>. Nistad finner at varmegjenvinning fra slam, energiledelse, redusert pumpetrykk, variabelt turtall (VFD) for CO<sub>2</sub>-lifter og LED-belysning er de største bidragene til redusert energiforbruk, med nytte på 2-8% av energiforbruket hver<sup>12</sup>. Forbedring av varmegjenvinning og varmesystem har størst effekt for eldre anlegg der potensialet er størst. Energiledelse ble funnet å være det største potensialet for nye anlegg.

##### 3.1.1 Tiltak 1: Pumpeenergi

Som det fremgår av Figur 7, utgjør pumpekraften ca. 32 % av det totale energiforbruket i settefisk RAS-anlegg. For å redusere energiforbruket i pumpesystemer er det viktig å iverksette tiltak som optimaliserer driften og tilpasser systemet til de faktiske behovene. Slike tiltak kan bidra til å redusere kostnadene og forbedre bærekraften ved å minimere energiforbruket.

---

<sup>22</sup> Ø. Hilmarsen, E. Holte, H. Brendeløkken, and R. Høyli, "Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks–matfisk og post-smolt," 2018.

Ved å tilpasse pumpestørrelsen til det faktiske behovet, enten ved å endre pumpehjulstørrelsen eller bytte til en mindre pumpe (siden pumper ofte er overdimensjonerte), kan man redusere unødvendig energibruk. Bruk av frekvensomformere gjør det mulig å styre pumpehastigheten i tråd med skiftende behov, og gir lavere energiforbruk sammenlignet med struping som reguleringsmekanisme. Reduksjon av driftstrykket og strømningshastigheten kan også føre til betydelige energibesparelser.

Det er å foretrekke å unngå mekanisk regulering av strømningshastigheten og i stedet benytte frekvensstyring for å regulere pumpehastigheten. Ved utskifting av motorer anbefales det å velge høyeffektive alternativer som gir bedre energieffektivitet og driftssikkerhet.

Desentraliserte pumper kan redusere trykktapet og tilpasse driften bedre etter behovene, siden pumpene kan styres uavhengig av hverandre. Videre kan rørsystemet optimaliseres ved å bruke større rørdiameter og færre ventiler for å redusere friksjonen (dimensjonering av rør er ofte en avveining mellom rørkostnader, pumpekostnader og varmetap). Kontinuerlig overvåking og dynamisk justering av pumpene ved hjelp av sensorer kan sikre at systemene alltid fungerer mest mulig effektivt.

Enova anslår at energibesparelser fra optimal design av rør og pumpeløsninger er på 5-30%<sup>23</sup>. Ettersom en del settefiskanlegg er av eldre dato og flere er påbygd og utvidet er det naturlig å anta at potensialet er relativt stort for deler av næringen. Trykkfallet (og dermed den nødvendige pumpeenergien) i rør er avhengig av strømningshastighetene og avhenger derfor av massestrømmene og rørdiameteren. Også rørbend bidrar til trykkfall. Når et produksjonsanlegg utvides og det kreves større vannmengder, bør det vurderes å legge til flere rørledninger for å unngå høyt trykk, og dermed økt energitap i rørene. **Om det antas at potensialet for reduksjon av energiforbruk til pumping for settefiskanlegg i snitt ligger på 15%, så tilsvarer dette omtrent 25GWh/år.**

### 3.1.2 Tiltak 2: Oksygenering

Det er kritisk å vedlikeholde oksygenivået i karene for å fremme gode vekstvilkår, og det kreves ca. 1 kWh for å tilsette 1 kg oksygen ved bruk av tradisjonelle metoder basert på trykk (kjegler). Som vist i Figur 7 kan oksygeneringen stå for så mye som 15% av et anleggs totale energiforbruk. En alternativ metode for oksygentilsetning er LHO (Low Head Oxygenation) som benytter lavere trykk og dermed krever mindre energi. En leverandør (Innovasea) av denne typen utstyr peker til at en slik løsning kan redusere energikostnadene med 77% sammenlignet med trykksatte oksygeneringssystemer<sup>24</sup>. En annen leverandør påstår at energibruken er kun en femdel ved oksygenering via LHO sammenlignet med kjegle, og peker på en ytelse på 3,5 kg O<sub>2</sub> per kWh<sup>25</sup>. En overgang fra tradisjonelle oksygenkjegler til LHO kan bety en potensiell energibesparelse på 0,7 kWh/kg tilsatt oksygen. Hvis vi antar at halvparten av energiforbruket som går til oksygenering er tilknyttet oksygeneringskjegler, og at halvparten konverteres til LHO, **vil det tilsa en total energibesparelse i sektoren på ca. 14 GWh.** Teknologien er kommersielt tilgjengelig og har

<sup>23</sup> Enova, Oppdrettsanlegg – 10 anbefalte tiltak, <https://www.enova.no/kunnskap/oppdrettsanlegg/>

<sup>24</sup> Innovasea case studie, [Innovasea Brings Land-Based Aquaculture Solutions to Iceland](#)

<sup>25</sup> AquaCare, datablad for [Oxyflow Brochure](#)

dokumentert lavere energikostnader, men sammenlignet med kjebler har de en høyere investeringskostnad, og kan stille høyere operasjonelle krav (vannstrømningsforhold, høydeforskjell etc.) som kan medføre ytterligere tilpasningskostnader ved etterinstallasjon.

Noen settefiskanlegg har også oksygenproduksjon som et alternativ til innkjøp av flytende oksygen. Det tilsier i utgangspunktet et økt energibruk ved lokasjonen, men gjøres pga. andre fordeler som mindre klimagassutslipp (ifb. tilkjørsel av oksygen) og driftskostnader. En vanlig metode å benytte for oksygenproduksjon er da PSA (Pressure Swing Adsorption) som evner å produsere oksygen med renhet opp til 95%. Energibruken for å fremstille oksygen ved denne metoden varierer, men er i området 0,68-0,80 kWh/kg. En studie peker på at det er mulig å redusere den spesifikke energibruken med 10% ved å gå fra ett til to-trinns kompresjon<sup>26</sup>. Ytterligere reduksjoner kan oppnås ved VSA-teknologi (Vacuum Swing Adsorption) hvor det benyttes vakuumpumper fremfor høytrykkskompresjon, og en leverandør viser til et spesifikt energibruk på 0,44 kWh/kg<sup>27</sup>. Gitt at et anlegg i dag har et årlig oksygenbehov på 1000 tonn og produserer eget oksygen (PSA), kan man forvente en årlig besparelse på 240 MWh per lokasjon. En begrensende faktor er imidlertid at renhetskravet kan være høyere enn hva som er mulig å produsere vha. disse metodene.

### 3.1.3 Tiltak 3: Temperaturregulering

Som vist i Figur 7 er i underkant av 15% av energiforbruket ved settefiskanlegg tilknyttet temperaturregulering. Dette gjelder både oppvarming og nedkjøling av vann for typisk å holde temperaturen på klekkeriet rundt 8°C, og temperaturen i karene ellers på 10-14°C. For å spare energi handler det da om å ta vare på varmen/kulden i anlegget.

Kilder med energieffektive systemer har oppgitt at de, selv på det kaldeste om vinteren, kun har behov for oppvarming tilsvarende 1,5°C av vannet, etter å ha gjenvunnet varme fra utgående vann.

Basert på resultater fra Nistad kan det antas at lite effektive anlegg kan forbedre det spesifikke energiforbruket med ca. 0,5 kWh/kg ved forbedring av temperaturregulering av vann og varmegjenvinning på luftere<sup>12</sup>. Om det antas at dette gjelder rundt 1/3 av settefiskproduksjonen så utgjør dette totalt et potensial for besparelser på **ca. 11 GWh/år**.

## 3.2 Energieffektivisering i matfisk

Som vist i kapittel 2.2 så er mesteparten av energiforbruket på matfiskanlegg i dag knyttet til føring. Dette utgjør i størrelsesorden 60-70% av energiforbruket ved et typisk anlegg i sjø. Resten av energien går til hotell (oppholdsrom og kontrollrom), lys i merd og utstyr. Ettersom store deler av energiforbruket dekkes av fossil energi, vil elektrifisering kunne være et virkningsfullt tiltak.

Asplan Viak lister følgende tiltak for reduserte klimagassutslipp fra matfiskanlegg: (1) Energiledelse og energioppfølgningssystem, (2) Optimal drift av fôrblåseanlegg, deriblant føring med lavere trykk, (3) Alternativ utføringsteknologi, (4) LED-belysning, og (5) Optimalisering av oppvarmingsløsning ved utnyttelse av overskuddsvarme fra dieselaggregat eller installasjon av varmepumpe<sup>10</sup>.

<sup>26</sup> Sulc Radek, Ditl Pavel, 2021. The Potential of Energy Savings in Oxygen Production by Pressure Swing Adsorption. Chemical Engineering Transactions 86, 313–318. <https://doi.org/10.3303/CET2186053>

<sup>27</sup> Benchmark Oxygen Solutions, [VPSA White Paper](#)

### 3.2.1 Tiltak 1: Vannbåren fôring

Som det fremgår av Figur 10 går over 60% av energiforbruket ved sjøanleggene til fôring. Dette er i all hovedsak fôring med luft. Fullstendig vannbåren fôring, der hvor fôret blandes med vann allerede på fôrflåten, er demonstrert å gi energibesparelser på 70-90%. Hybride løsninger, hvor fôret fraktes ut av flåten med luft, til en omformer kan gi besparelser på 40-50% i forhold til å kun bruke luft. Asplan Viak anslo potensialet til å ligge på 50-60% for næringen som helhet<sup>10</sup>. **50% reduksjon i energiforbruket til fôring for konvensjonelle anlegg i sjø utgjør totalt ca. 70GWh/år.** Ettersom konvensjonelle anlegg utgjør over 95% av biomassen utgjør det også over 95% av energiforbruket til fôring. Dette bygger på en antakelse om at semilukkede anlegg har ca. samme energiforbruk knyttet til hver kg fôr som følge av liknende systemer og avstander på anlegget, samtidig som offshore og landbasert antas å ha likt eller lavere energiforbruk per kg fôr som følge av kortere avstander.

### 3.2.2 Tiltak 2: Elektrifisering

Som presentert i Figur 8, så anslås kun 44% av anlegg i sjø å være tilknyttet landstrøm. Resten benytter dieselaggregat – noen (16% av totalen) er batterihybride for å effektivisere bruken av aggregatene. EnerSea anslår at nesten 20% av anlegg er i prosess for å tilknyttes landstrøm. Om alle disse prosjektene gjennomføres vil totalen nærme seg 65%. Bellona og ABB anslår at 75% av anlegg i sjø og tilhørende lokalitetsbåter kan elektrifiseres med dagens teknologi<sup>28</sup>. Om det antas at anleggene som tilkobles landstrøm ikke er hybride, og dermed har en virkningsgrad i underkant av 35% på aggregatene sine i dag, så vil **en økning av elektrifiseringsgraden til 75% utgjøre en energieffektivisering på ca. 62GWh/år.** En fullstendig elektrifisering vil utgjøre ca. 94GWh/år. Her antas samme elektrifiseringsgrad for konvensjonelle merder, semilukkede og offshore.

For mange matfiskanlegg er elektrifisering ved tilkobling til landstrøm et lønnsomt tiltak. Selv om det kan være behov for investeringer i millionklassen kan det gi store reduksjoner i driftskostnader å bytte ut diesel med strøm fra nettet. Hovedårsaken til manglende elektrifisering er ikke kostnader, men ledetid for nettilknytning. Mange steder er det lange køer for tilknytning, og det kan være flaskehalsen som ligger langt inn i infrastrukturen.

## 3.3 Energieffektivisering i slakteri

Som vist i kapittel 2.3 så er mesteparten av energiforbruket på slakterier knyttet til nedkjøling av sjøvann (RSW), kjølelagring, isproduksjon, og håndtering av avløpsvann/avfall/ensilasje. Disse utgjør til sammen i størrelsesorden 75% av energiforbruket. Noe mindre energi brukes på sløyting, filet, pumping og til luftkompressorer.

### 3.3.1 Tiltak 1: Effektive kjølesystemer

Figur 14 viser at RSW kjøling gjør rundt 31% av det totale energiforbruket i et slakteri. Det er derfor viktig å ha et effektivt kjølesystem og å drifte dette effektivt. Kapittel 3.6.2.1.1 forklarer hvordan man kan oppnå energieffektivitet i varmepumper og kjølesystemer. Economisere, bypass for flashgass, flertrinns kompresjon, termisk lagring, pinch-temperatur, isolasjonen og naturlige kjølemedier blir diskutert. Ettersom kjølesystemer vanligvis leveres av en leverandør, er det viktig

<sup>28</sup> ABB og Bellona, Helelektrisk havbruk – Hvordan oppnå nullutslipp innen 2030?, 2021.

å innhente flere tilbud og sammenligne de lovede ytelseskoeffisientene (COP-verdi). Kapittel 3.6.2.1.1 beskriver også de teoretiske ytelsesbegrensningene til kjølesystemer og at den reelle systemytelsen ofte ligger mellom 40-60%<sup>29</sup> av den teoretiske maksimum. Hvis systemets COP kan økes fra 40 % til 60 % av maksimal mulig COP, tilsvarer dette en energibesparelse på 50%.

Hvis man antar at den gjennomsnittlige effektiviteten til kjølesystemene i sektoren er 50% av det teoretiske maksimumet, vil en modernisering for å oppnå 60% redusere energiforbruket til kjøling med 16,6%. Ettersom kjøling utgjør 31% av det totale energiforbruket i sektoren, **vil sektorens energiforbruk kunne reduseres med 5,1% eller 14,3 GWh/år.**

### 3.3.2 Tiltak 2: Kulde- og varmegjenvinning

Her presenteres to metoder for varmegjenvinning i slakterier: en gråvannsvarmeveksler for gjenvinning av kjøling og varmegjenvinning via en varmepumpe.

#### 3.3.2.1 Kuldegjenvinning med gråvannsvarmeveksler

I tillegg til å øke ytelsen til kjølesystemet, som beskrevet i kapittel 3.3.1, kan man spare energi ved å gjenvinne kjølingen. Kjøling av sjøvann (RSW-kjøling) utgjør 31 % av det totale energiforbruket på 280 GWh/år. Sjøvannet kjøles ned til området 0 til -1,5 °C<sup>30</sup>, og brukes etterpå til å vaske og kjøle ned fisken. Det brukte vannet klassifiseres etter vask som gråvann. Dette gråvannet er fortsatt kaldere enn sjøvannet og kan derfor brukes med en varmeveksler til å forkjøle sjøvannet før RSW-kjølerne.

Etter det forfatterne kjenner til, og som ble bekreftet ved befaring (se kapittel 4 Befaringsrapport), så gjenvinnes det ikke kulde fra gråvannet i dag. Det er vanskelig å kvantifisere effekten av en kjølereregnering med gråvannsvarmeveksler, siden den avhenger av varmeopptaket i prosessen (her vasking og nedkjøling av fisk) og effektiviteten til varmeveksleren. I litteraturen beskrives varmegjenvinningssystemer med ulike og store virkningsgrader på 50-80%<sup>31</sup>, men vanligvis med en minimumseffektivitet på 30%<sup>32</sup>. Det som er utfordrende er samtidighet mellom gjenvinning og behov. RSW-kjølerne fylles og kjøles ned før produksjonsstart, og man kan anta en liten strøm utskiftning av vann underveis produksjon (~10%), mens mesteparten av volumet 'dumpes i sluk' ved produksjonsslutt. Dette kan evt. avbøtes med bufring i godt isolerte tanker. **Gitt at man klarer å gjenvinne og nyttiggjøre seg av 10% av kulden, ville sektoren kunne spare ca. 9 GWh/år.**

<sup>29</sup> 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](https://www.researchgate.net/publication/359025286_Overview_of_the_Coefficient_of_Performance_COP_for_conventional_vapour_compression_heat_pumps_in_buildings), last visited: 04.12.2024

<sup>30</sup> Info fra et slakteri.

<sup>31</sup> <https://www.energy.gov.au/business/equipment-guides/waste-heat-recovery>

<sup>32</sup> <https://www.htt-ag.com/dimple-plate/cooling-and-heat-recovery/>

### 3.3.2.2 Varmegjenvinning med varmepumpe

Ifølge Kussaga<sup>33</sup> og Ferracioli<sup>34</sup> kan de termiske prosessene på slakterier deles inn som beskrevet i Tabell 13.

**Tabell 13. Oversikt over prosesser med kjøle- eller varmebehov med ønsket temperaturnivå.**

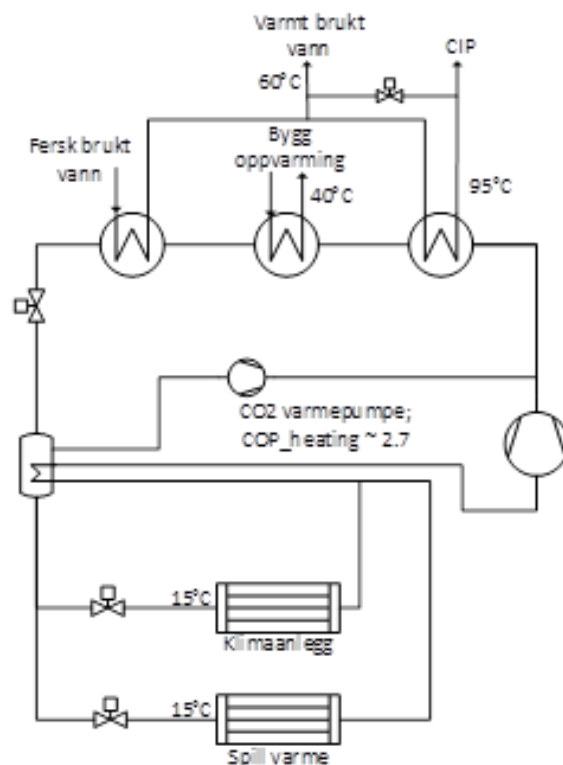
	Prosess	Temperatur [°C]
<b>Kjøling</b>	Kjøling av prosessområde og forbruksvann	<5
	Innfrysing av fisk	<-35
	Kjølelager	-18
	Klimaanlegg	~15
<b>Oppvarming</b>	CIP	opp til 95
	Varmt vann til annet forbruk	~60 ( <i>turtemperatur</i> )
	Bygg oppvarming	~40 ( <i>turtemperatur</i> )

Figur 14 viser at energibehovet for kjøling og kaldt-lagring/is-produksjon er mye større enn varmebehovet. Siden kondensatorene, overhetningsvarmeveksler og oljekjølerne fra kjøleanleggene produserer spillvarme med lav temperatur, er de en god varmekilde for integrering av en varmepumpe. Spillvarme kan derfor oppgraderes og utnyttes til å dekke oppvarmingsbehovet. En varmepumpe for å bruke spillvarme til de forskjellige oppvarmingsbehov kan f.eks. se ut som i Figur 17. I eksemplet brukes CO<sub>2</sub> som arbeidsmiddel og har en COP på rundt 2,7. Sammenlignet med oppvarming med elektriske motstandsover vil en varmepumpe med en COP på 2,7 spare 62% strøm. Ifølge Figur 14 ligger energibruken til vasking (CIP) på rundt 2,5%. Andre varmtvannsbehov, som for varmtvann til annet forbruk eller oppvarming av bygningen, er ukjent. Med utgangspunkt i det kjente varmebehovet, **vil varmegjenvinning kunne realisere en besparelse på 4 GWh/år.**

Teknologien er moden og det kan forventes investeringskostnader på 7-15kNOK/kW installert effekt, avhengig av systemstørrelse, bruksområde og konfigurasjon. Driftskostnader avhenger av strømpris og forbruk. Varmegjenvinning ved hjelp av varmepumper er ikke en ny teknologi. Besparelsene varierer sterkt fra tilfelle til tilfelle og avhenger av systemstørrelse, virkningsgrad, driftstid og strømprisutvikling.

<sup>33</sup> Kussaga, Jamal & Luning, Pieterneel & Tiisekwa, Bendantunguka & Jacxsens, Liesbeth. (2017). Microbiological performance of Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP)-based food safety management systems: A case of Nile perch processing company. African Journal of Food Science. 11. 200-214. 10.5897/AJFS2016.1522.

<sup>34</sup> Ferracioli, Luana & Luiz, Danielle & Naval, Liliana. (2017). Potential for reuse of effluent from fish-processing industries. Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. 12. 730. 10.4136/ambi-agua.2045.



**Figur 17. CO<sub>2</sub> varmepumpe for varmegjenvinning, klimaanlegg og oppvarming av bruksvann (CIP og hotell) og oppvarming av bygning.**

### 3.3.3 Tiltak 3: Egenproduksjon av strøm

Figur 14 viser at energibehovet for kjøling, kaldt-lagring og is-produksjon til sammen utgjør 56% av det totale energibehovet. Toppbelastninger i kjølekapasiteten er knyttet til varmetilførselen fra produkter og av væskeledning gjennom bygningsveggene fra utsiden. Sistnevnte avhenger av været og intensiteten på solstrålingen. Sammenhengen mellom kjølebehov og solinnstråling gjør koblingen mellom kjølesystemer og solceller til en god kombinasjon. Dette sørger også for lave belastningstopper i strømmettet, ved at behovet for energi til nedkjøling er størst når også energitilgangen fra sol er størst.

Den gjennomsnittlige effektiviteten til solcellepanel er rundt 21%<sup>35</sup>. Potensialet for solenergi i Norge er sterkt avhengig av årstidsvariasjoner og beliggenhet. Rindal<sup>36</sup> viser et kart over solinnstrålingen i Norge i januar og juli. Den årlige solinnstrålingen er mellom 600 og 1000 kWh/m<sup>2</sup><sup>37</sup>. Dette resulterer i en stedsavhengig elektrisitetsproduksjon på 126 – 210 kWh/m<sup>2</sup> per år. Installasjon av solceller på, i snitt, 5000m<sup>2</sup> takflate for de 40 slakteriene som er i drift vil totalt kunne produsere 25-42GWh/år. **Hvis vi regner konservativt (126 kWh/m<sup>2</sup>/år), og antar at 10 slakterier investerer i et slikt tiltak, tilsvarer det ca. 6 GWh/år.**

<sup>35</sup> Walker, E., 2024: How efficient are solar panels? Top brands compared in 2024, <https://www.energysage.com/solar/what-are-the-most-efficient-solar-panels-on-the-market/>

<sup>36</sup> Rindal, L.B., Salvesen, S., KanEnergi AS, 2008: Solenergi for varformål – snart lønnsomt?, utgitt av Norges vassdrags- og energidirektorat, [https://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapportA/2008/oppdragsrapportA2008\\_10.pdf](https://publikasjoner.nve.no/oppdragsrapportA/2008/oppdragsrapportA2008_10.pdf)

<sup>37</sup> Norwegian Directorate for Cultural Heritage, 2024: The Norwegian Directorate for Cultural Heritage's Guide on Solar Energy Systems for Existing Buildings <https://riksantikvaren.no/content/uploads/2024/03/Solar-Energy-manual-Riksantikvaren.pdf>



Solcelleteknologien for installasjon på tak er kommersielt moden og har en pris på rundt 11-17 kNOK/kW installert effekt<sup>38</sup>, og praktisk talt ingen driftskostnader. Totalkostnaden for strømmen (LCOE) fra solkraft på store, flate hustak varierer mellom 0,53 – 0,79NOK/kWh<sup>39</sup>. Hvorvidt et solcelleanlegg lønner seg, avhenger av beliggenheten. I utgangspunktet innebærer solcelleanlegg og kjølesystemer en synergieffekt.

### 3.3.4 Tiltak 4: Reduksjon av isbehov

Produksjon av is er en energiintensiv prosess og forbruker i vår oversikt nesten 25% (sammen med kaldtlagring) av energibruken på et slakteri. Isen blir brukt til å kaldpakke laks i EPS-esker som skal transporteres fersk til ulike markeder med vogntog og flytransport. Hensikten med isen er da å holde laksen nedkjølt frem til mottaker, og det hevdes at synlig is i seg selv er en bekreftelse på tilstrekkelig kjøling i enkelte markeder. I praksis går en del av isen med til å kjøle ned laksen mot istemperatur siden laksen forlater slakteriet med en høyere temperatur (2-4 °C). Spesifikt energibruk for å produsere is varierer, men ligger et sted mellom 40-150kWh per tonn is<sup>40,41</sup>, og det benyttes opp mot 5kg is og 22kg laks per eske.

Isbehovet kan reduseres betydelig i pakkesammeheng ved å kjøle ned laksen godt ved utførsel fra slakteri, eller elimineres bed å benytte superkjøling. Samtidig vil energibidraget for kjøling av laks øke noe. Nofima gjorde en økonomisk utredning på superkjøling av laks og beregnet at netto besparelse lå på 14kWh per tonn produsert laks<sup>41</sup>. Forutsetningen i det regneeksemplet var å eliminere isbehovet totalt i eskene, og at laksen blir nedkjølt til temperaturnivåer rundt -0,5 til -1,5°C. MOWI har gjennom et Enova-støttet prosjekt implementert kjøleteknologi som muliggjør superkjøling ved sitt slakteri i Herøy, med et forventet energieresultat på 636 000kWh/år<sup>42</sup>. Man må ikke superkjøle laksen for å redusere isbehovet, det vil kunne oppnås god besparelse ved å kjøle ned laksen til 0-2°C. Rundt disse temperaturene kan man akseptere svært liten grad av ising, helt ned mot 1-2kg per eske. Energibesparelsen ved 3-4kg mindre is per eske utgjør ca. 7-9kWh/tonn laks, mens det å kjøle ned laksen 2-4°C lavere tilsier et økt energibruk i kjølinga på ca. 3-6kWh/tonn laks, eller netto energibesparelse på 3-4kWh/tonn laks. Det ble eksportert ca. 1,1millioner tonn fersk laks i 2022. Hvis halvparten av dette volumet hadde blitt fraktet med redusert is-behov som i dette tilfellet, **vil det vært en total energibesparelse på ca. 2GWh**. I utgangspunktet skal det være mulig å nedkjøle laks tilstrekkelig med eksisterende kjøleutstyr, men for anlegg som allerede sliter med underdimensjonert kjølekapasitet kan det tenkes at det vil være kostnader knyttet til evt. oppgradering. Hvis vi legger til grunn eksempelet med superkjøling må det sannsynligvis investeres i kjøleutstyr som er utviklet for denne hensikten og dermed utløse investeringskapital, men gevinsten (energibesparelsen) vil være enda høyere – opp mot **8 GWh/årlig**. Andre effekter av tilstrekkelig nedkjøling av laks ved slakteri inkluderer mindre avrenning av vogntog, og muliggjør høyere pakketetthet av laks i kasser (som følge av mindre is i kassene) som kan gi redusert klimagassutslipp.

<sup>38</sup> Holm, Ø., International Energy Agency, 2016: National Survey Report of PV Power Applications in Norway, [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/National\\_Survey\\_Report\\_of\\_PV\\_Power\\_Applications\\_in\\_Norway\\_-\\_2016.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/National_Survey_Report_of_PV_Power_Applications_in_Norway_-_2016.pdf)

<sup>39</sup> <https://www.nve.no/energi/analyser-og-statistikk/kostnader-for-kraftproduksjon/>

<sup>40</sup> FAO, 1992. Ice in fisheries, in: Ice in Fisheries. <https://www.fao.org/4/t0713e/T0713E06.htm>

<sup>41</sup> Iversen, A., Ziegler, F., Rotabakk, B.T., 2022. Økonomiske og miljømessige effekter av superkjøling av laks.

<sup>42</sup> Enova prosjektbeskrivelse, MOWI Herøy, 2020: [SUB-Chilling Herøy](#)

### 3.4 Energieffektivisering for fartøy

Som vist i kapittel 2.4 så er mesteparten av energiforbruket for fartøy knyttet til fremdrift. Dette utgjør anslagsvis rundt 50% (1/2) av energiforbruket. Deretter utgjør utstyr og prosesser om bord rundt 33% (1/3) mens hotell utgjør det resterende 16% (1/6). Hovedpostene under utstyr og prosesser er termisk og mekanisk avlusning, brønnsystemer for transport av fisk og utstyr på servicefartøy. Ettersom fartøy i all hovedsak benytter diesel og andre fossile drivstoff vil en overgang til mer effektive energibærere være et virkningsfullt tiltak.

#### 3.4.1 Tiltak 1: Landstrøm og elektrifisering

Forbrenning av diesel har en effektivitet rundt 35%. Dette betyr at ca. tre ganger så mye arbeid kan gjøres med samme energimengde om den leveres som strøm heller enn diesel. Om all dieseldrift hadde vært byttet til elektrisitet kunne det gitt en **reduksjon i energiforbruket på rundt 65%**. Landstrøm til fartøy som ligger stille, enten det er til kai, til fôrflåte eller til merd, vil dermed være et effektivt tiltak for redusert energiforbruk. Dette kan være aktuelt for alle fartøystyper i den grad tilstrekkelig effekt kan tilgjengeliggjøres via landstrøm. En analyse fra DNV-GL viser en reduksjon i klimagassutslipp på 13% «ved innføring av landstrøm på alle større havbruksskip/brønnbåter»<sup>10,43</sup>. **Om det antas at 13% av dieselforbruket kan erstattes med landstrøm i snitt for alle fartøy i havbruk, så utgjør dette ca. 195GWh/år** (65% av 300GWh/år). Energibesparelsen ved landstrøm er da ca. 195GWh/år. Våre egne beregninger tilsier at dette kan være et fornuftig estimat når det kun gjelder tid i havn/til kai, mens det potensielt kan være dobbelt så høyt, opp mot besparelser på 400GWh/år, ved tilgang på landstrøm også for alle operasjoner på anlegg i sjø.

Fullstendig elektrisk drift av alle fartøy vil i teorien kunne gi kutt i energiforbruket på 65%, men det er ikke realistisk at alle havbruksfartøy vil kunne driftes helelektrisk. Optimistisk så kan det tenkes at alle lokalitetsbåter og servicebåter kan driftes helelektrisk i fremtiden om de rette insentivene er på plass. Dette vil blant annet kreve en helt annen infrastruktur for lading av fartøy enn det som finnes i dag, og så vil det kreve store endringer i driftsmodeller og forretningsmodeller ettersom fartøyenes rekkevidde ikke tillater dagens drift. **Disse fartøyene utgjør rundt 36% av energibehovet i dag og en fullstendig elektrifisering vil kunne gi kutt på ca. 500GWh/år.** Større fartøy som brønnbåter, fôrbåter og bløggebåter kan i liten grad elektrifiseres. Her vil det grønne skiftet heller medføre overgang til alternative drivstoff som i liten eller ingen grad vil medføre en reduksjon i energiforbruk – kun reduksjon i klimagassutslipp.

#### 3.4.2 Tiltak 2: Fremdriftssystem, skrogsomstand og drift

Ettersom fremdrift utgjør rundt halvparten av energiforbruket for havbruksfartøy er det relevant å se på tiltak knyttet til dette. Slike tiltak omfatter mer effektive fremdriftssystemer, lavere motstand, og drift og planlegging som hensyntar energiforbruk. Dette er store temaer som ikke kan dekkes utfyllende her, og leseren oppfordres derfor å gjøre videre undersøkelser i annen litteratur om noe av det som tas opp i dette kapitlet er av interesse. Det som presenteres her er grove forenklinger og antakelser.

**Mer effektive fremdriftssystemer** dekker batterihybridisering, hjelp fra alternative fremdriftssystemer som seil, kite og wavefoil, og tekniske forbedringer i maskineriet. Det er

<sup>43</sup> M. Eide, N. Rivedal, J. H. Leonhardsen, Ø. Sekkesæter, and H. Helgesen, "Reduksjon av klimagassutslipp fra innenriks skipstrafikk," p. 53, 2019.

tidligere vist at hybridisering av lokalitetsbåter og servicefartøy med mindre operasjonsradius kan gi en reduksjon på 25-60%, mens større servicefartøy med større operasjonsradius kan oppnå en reduksjon på 18-34%<sup>10,44</sup>. Andre aktører oppgir lagt lavere energibesparelser, i området rundt 10% for større fartøy. Om det antas at halvparten av alle havbruksfartøy er hybride i dag, så vil fullstendig hybridisering kunne gi en energibesparelse på **ca. 5-10% av fartøyenes totale energiforbruk (100-200GWh/år)**. Harde seil og rotorseil kan være aktuelle for brønnbåter, fôrbåter og bløggebåter, men regnes som uaktuelle for lokalitetsbåter og servicebåter både pga. plassbegrensninger på dekk og driftsmønster. Basert på tidligere arbeid og preliminnære studier for spesifikke skip utenfor havbruk, og med hensyn til ulikheter mellom disse fartøyene og aktuelle havbruksfartøy så antas slike seilløsninger å kunne gi besparelser for aktuelle fartøystyper i havbruk på 5-15% i seilas<sup>45</sup>. En besparelse **på 5% i seilas for brønnbåter, fôrbåter og bløggebåter tilsvarer rundt 25GWh/år**. Andre tiltak for effektivisering av maskineriet, som «optimalisering av turbolading ved lav hjelpemotorlast (EGB)», «Akselgenerator med PTO/PTI», «De-rating av hovedmaskineri», «Bytte eller ombygging av propell» og «Propulsjonsforbedrende tiltak ved propell (PIDs)» kan potensielt hver gi 0,5-2% reduksjon i energiforbruk ifølge DNV<sup>19</sup>. Det kan antas at potensialet for havbruksflåten for disse tiltakene samlet ikke overstiger **2% av energiforbruket ved seiling. Dette tilsvarer i så fall rundt 20GWh/år**. Totalt kan mer effektive fremdriftssystemer potensielt gi en reduksjon i energiforbruket på rundt **145-245GWh/år**.

**Lavere skrogmotstand** ved seiling kan oppnås ved flere ulike tiltak som; luftboblesmøring, motstandsreducerende bunnstoff, ombygging av eksisterende skrog, skrogformoptimalisering og skrogvask. Skrogformoptimalisering vil kunne gi betydelige reduksjoner for havbruksfartøy ettersom disse ofte har høy blokkoeffisient og andre karakteristikker som gjør dem relativt lite hydrodynamiske. Både lokalitetsbåter, servicefartøy og brønnbåter er spesielt kjent for å være brede i forhold til lengden og skyve mye sjø. Samlet sett er det vanskelig å gi et anslag på effektiviseringspotensialet knyttet til skrogmotstand, men det **virker ikke urimelig at dette er på 5% for havbruksflåten som helhet, og at det da kan utgjøre ca. 50GWh/år**. utfordringen her er at det er tungtveiende grunner til at fartøyene i dag er formet slik de er.

**Mer effektiv drift og planlegging** mht. energiforbruk dekker bruk og optimalisering av autopilot, trim- og dypgangsoptimering, variabelt motorturtall, og værruting og ruteplanlegging. Her mangler det datagrunnlag, men optimistiske anslag basert på eksperimentelle modeller for driftsoptimalisering av servicefartøy indikerer potensialer i størrelsesorden 20%. Dette innebærer en reduksjon i det totale antall nautiske mil som seiles av fartøyene. 20% energieffektivisering av seiling for servicefartøy utgjør trolig rundt 30GWh/år. Tilsvarende effektivisering er lite sannsynlig for fôrbåter ettersom de driftes mer effektivt i dag. Potensialet for effektivisering for lokalitetsbåter, brønnbåter og bløggebåter er uvisst, men ligger trolig lavere enn for servicebåter. Om det her antas 10% så utgjør dette ca. 74GWh/år for disse tre fartøyssegmentene. **Totalen ved med effektiv drift kan da anslås til ca. 104GWh/år**.

### 3.4.3 Tiltak 3: Pumping

Det er vanskelig å anslå hvor mye av energien til fartøy som går til pumping. En stor andel av brønnbåtoperasjonene har betydelig energiforbruk til pumping. Fisk pumpes om bord og ut, både

<sup>44</sup> Nofima, El for alle, alle for el? – En vurdering av mulig krav om null- eller lavutslippsfartøy i oppdrett, 2020.

<sup>45</sup> SINTEF Ocean, NTNU og Smart Maritime, Sea map to Green Shipping, 2023.

i forbindelse med transport av fisk og behandlinger. I tillegg pumpes vann gjennom brønnsystemene både under behandling og ved transport. Om det antas at 50% av energiforbruket på brønnbåter som går til utstyr om bord går med til pumping, så utgjør dette rundt 200GWh/år. Ved å anta samme potensial for effektivisering av pumper og rørsystem som for settefiskanlegg, på 15%, **så er potensialet for brønnbåt ca. 30GWh/år.** Det er en kjensgjerning at rørsystemene om bord på brønnbåter designes med andre hensyn enn energieffektivitet og at det derfor sannsynligvis er et potensiale for å redusere motstanden i rørene f.eks. ved andre valg av diameter, eller færre og mindre skarpe svinger.

Se kapittel 3.1.1 for videre beskrivelse av tiltak på pumpeenergi.

#### 3.4.4 Tiltak 4: Temperaturregulering

Hotell utgjør rundt 1/6 av energiforbruket på havbruksfartøy, og en stor del av dette er knyttet til oppvarming og belysning. Servicefartøy, brønnbåter, fôrbåter og bløggébåter er bemannet døgnet rundt hele året, og en viktig grunn til at hotell utgjør et så stort energiforbruk er nettopp at dette er et sammenhengende forbruk over hele året. Om forbedringspotensialet her er i samme størrelsesorden som for fôrflåter, som Enova anslår til **mellom 10% og 50% for oppvarming og opptil 80% for belysning<sup>23</sup>**, så utgjør dette trolig mellom 40 og 110GWh/år.

Det går også en del energi til oppvarming av vann for termisk avlusning av fisk i sjø med brønnbåt. I 2023 ble det gjennomført over 1000 behandlinger av denne typen, hvor vann varmes opp til ca. 30°C<sup>46</sup>. Dette utgjør ca. 40% av alle ikke-medikamentelle behandlinger. Ved å anta at en avlusning i snitt bruker rundt 0,07GWh på utstyr utenom fremdriftsmaskineri og hotell, og ved å anta at 50% av dette går til oppvarming av vann, så utgjør dette 0,035GWh<sup>47</sup>. På 1000 behandlinger utgjør dette 35 GWh. Nistad oppgir at det for RAS-anlegg kan oppnås en energibesparelse på 70-90% ved bruk av vann-vann varmpumpe og varmevekslere, i forhold til bruk av oljekjel<sup>12</sup>. Ettersom bruk av kjel er vanlig for brønnbåt antas det et betydelig potensial også for disse, selv om hovedmaskineri også benyttes. **50% energibesparelse vil utgjøre 17,5GWh/år.**

### 3.5 Aspekter ved alternative produksjonsformer i havbruksnæringen

Ulike produksjonsmetoder har ulike tilknyttede spesifikke energiforbruk. Å velge en produksjonsmetode fremfor en annen vil ofte ha andre årsaker enn deres tilknyttede energiforbruk. Det er derfor ikke nødvendigvis slik at en produksjonsmetode med et lavere spesifikt energiforbruk kan anses som en energieffektivisering i forhold til andre produksjonsmetoder. Vi ønsker allikevel å belyse disse ulikhetene i spesifikt energiforbruk.

Tradisjonelt oppdrett i sjø har lavere spesifikt energiforbruk enn landbasert, offshore og semi-lukket oppdrett når man kun ser på energi tilknyttet anlegget. Avhengig av behovet for fartøysoperasjoner så kan det være at tradisjonelle anlegg, semi-lukkede anlegg og offshore anlegg kommer relativt likt ut om man også tar hensyn til energibehovet til fartøy. Dette gjelder spesielt om fartøyene i hovedsak går på fossile drivstoff, og vil være mindre gjeldende om fartøyene har reduserte energibehov relativt til i dag (enten pga. elektrifisering eller annen energieffektivisering).

<sup>46</sup> Veterinærinstituttet, Fiskehelse rapporten 2023.

<sup>47</sup> Til sammenligning kreves det rundt 0,05GWh å øke temperaturen på 3000m<sup>3</sup> med 15°C.

Settefiskanlegg har høyere spesifikt energiforbruk enn sjøbaserte matfiskanlegg (også når man tar hensyn til energiforbruket til fartøy). Det vil derfor være energibesparende å ha kortest mulig periode i settefiskanlegg og mest mulig av produksjonen i sjø. Her vil også fiskehelse, fiskevelferd og dødelighet spille inn som faktorer for hvorvidt dette faktisk vil medføre lavere spesifikt energiforbruk for hele produksjonssyklusen.

Temperaturregulering i settefiskanlegg og landbasert oppdrett er energikrevende og mindre bruk av temperaturregulering vil gi energibesparelser. Dette vil imidlertid kunne ha store innvirkninger på fiskehelse og -velferd og produksjonen ellers, og må vurderes i den sammenheng.

Bløggebåter gir mindre energiforbruk fordi de kan være mindre og frakter mindre unyttig last enn tilsvarende brønnbåter som kjører slaktefisk. Bløggebåten utfører også deler av de aktivitetene som er mest energikrevende på slakterier (RSW). Det er derimot slik at energiforbruket knyttet til disse bløgge-spesifikke aktivitetene er høyere når det benyttes en fossil kilde (eller energikrevende alternative drivstoff) enn den er ved bruk av strøm direkte fra nettet eller batteridrift.

Redusert behov for fartøysoperasjoner, spesielt avlusning, og redusert dødelighet vil også føre til redusert spesifikt energiforbruk.

### 3.6 Generelle tiltak og teknologier

I dette kapittelet 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 energistyringsystemer eller bruk av fornybare energikilder

#### 3.6.1 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 innklimaparametere 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 CO<sub>2</sub>-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.

### 3.6.2 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 CO<sub>2</sub>-utslipp, er varmeproduksjon ved hjelp av varmepumper og elektriske motstandsvarmere avhengig av CO<sub>2</sub>-utslippet fra strømproduksjonen. Siden CO<sub>2</sub>-utslippene knyttet til elektrisitet i Norge er svært lave på grunn av vannkraft, 19 g CO<sub>2</sub>/kWh strøm i 2019 [48], 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.

#### 3.6.2.1 Prosessinterne effektiviseringstiltak

Effektivisering av termiske prosesser kan oppnås gjennom en rekke interne tiltak som fokuserer på forbedringer i utstyr og drift. Optimalisering av termisk energiutstyr innebærer justeringer for å

---

<sup>48</sup> 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/>

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.

### 3.6.2.1.1 Optimalisering av termisk prosessutstyr

Som allerede beskrevet ovenfor, kan brukes elektriske motstandsovner, brennere, varmpumper og kjølesystemer for å dekke de termiske behov. Virkningsgraden er knyttet til utnyttelsen av energikilden for effekten. Virkningsgraden til elektriske motstandsvarmere er 100%<sup>49</sup>, mens virkningsgraden til brennere er mellom 75-95%.<sup>50</sup> Varmepumper fungerer ved å pumpe varme fra et reservoar med lavere temperatur til et reservoar med høyere temperatur ved hjelp av elektrisitet. De bruker derfor elektrisitet og en varmekilde. Siden varmen fra kilden ikke trenger å produseres i tillegg, er det kun strømforbruket og effekten som genereres som utgjør varmpumpens ytelse (Effektiviteten til en varmpumpe omtales som ytelse eller ytelseskoeffisient (COP)).

Ytelsen til en varmpumpe er sterkt avhengig av temperaturforskjellen mellom varmekilden og varmesluk, og ligger vanligvis mellom 40-60%<sup>51</sup> av den ideelle ytelsen (Carnot COP), som kan beregnes ved hjelp av Ligning 1.

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

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

$T_V$ : Temperaturen på varmesluk (varmt) [K]

$T_K$ : Temperaturen på varmekilden (kaldt) [K]

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

#### Brennere

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

**Oksygentrimkontroll** gjør bruk av det, der forbrenningen justeres dynamisk basert på målinger av oksygenivået i sanntid. Dette sikrer jevn og effektiv forbrenning, selv under varierende

<sup>49</sup> 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>

<sup>50</sup> 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](https://downloads.regulations.gov/EERE-2013-BT-STD-0030-0083/attachment_1.pdf)

<sup>51</sup> 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](https://www.researchgate.net/publication/359025286_Overview_of_the_Coefficient_of_Performance_COP_for_conventional_vapour-compression_heat_pumps_in_buildings)

driftsforhold. I tillegg kan det gi betydelige fordeler å oppgradere brennerne til moderne, høyeffektive modeller. Disse brennerne er utviklet for å redusere drivstofforbruket og utslippene, samtidig som de gir bedre ytelse og lavere vedlikeholdskostnader.

### **Varmepumper og kjøleteknologi - Forbedring av effektiviteten (bedre COP)**

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

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

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

Utslipp fra lekkasje av kjølemedium kan også bidra til klimagassutslipp og miljøskader. Nygenerasjon HFO-kjølemedier (HFO = hydrofluoroolefiner), som er utviklet for ikke å ha noe globalt oppvarmingspotensial, kan brytes ned til PFAS (per- og polyfluoralkylstoffer), såkalte "evighetskjemikalier," som innebærer en risiko for helse og miljø. Bruk av naturlige kjølemedier som ammoniakk, CO<sub>2</sub> og hydrokarboner er et bærekraftig alternativ som både reduserer utslipp og eliminerer risikoen for PFAS-forurensning.

#### **3.6.2.1.2 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.

#### **3.6.2.1.3 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.

#### **3.6.2.1.4 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 prosesstemperaturene for ulike driftsforhold. Denne kunnskapen gir ikke bare økonomiske fordeler, men bidrar også til en mer ansvarlig og bærekraftig drift.

#### **3.6.2.2 Prosessovergrepene effektiviseringstiltak**

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

##### **3.6.2.2.1 Varmegjenvinningsystemer**

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

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

Andre tiltak inkluderer forvarming av forbrenningsluft, matvann eller råstoff ved hjelp av spillvarme, som forbedrer den totale energieffektiviteten til kjeler. I dampbaserte systemer gir systemer for gjenvinning av kondensat betydelige fordeler. Ved å gjenbruke varmt kondensat i stedet for å bruke ferskvann, reduseres energibehovet for oppvarming samtidig som vannforbruket minimeres. Når kondensatet har tilstrekkelig høyt trykk, kan det flashe til damp når trykket reduseres. Denne flashdampen kan utnyttes til oppvarming eller andre prosesser. En av fordelene er at kondenseringen er at varmeoverføringen skjer ved en konstant temperatur.

Ved bruk av varmepumper kan spillvarme oppgraderes, noe som gjør det mulig å dekke varmebehovet ved høyere temperaturer enn varmekilden. Typiske varmekilder med overskuddsvarme og potensielle varmesluk som kan dekket 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"> <li>• Kjølesystem – kondensator</li> <li>• Kjølesystem - De-superheater</li> <li>• Trykkluft - De-superheater</li> <li>• Kompressorer - oljekjøling</li> <li>• Avtrekksluft</li> <li>• Kondensat fra fuktig avtrekksluft</li> <li>• Avgass</li> <li>• Kondensat fra avgass</li> <li>• Kondensat fra damp</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmt vann</li> <li>• Ventilasjon (luftoppvarming)</li> <li>• Tining</li> <li>• (For-)varming av råvarer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varmt vann under trykk</li> <li>• Kondensat fordampning (damp)</li> <li>• Tørking/varm luft</li> </ul>

### 3.6.2.2.2 Bytte og erstatning av brensel

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

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

### 3.6.2.2.3 Avanserte teknologier og sektorkobling

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

**Kraftvarmegenerasjonssystemer (CHP)** representerer en annen løsning for økt effektivitet hvis elektrisitet må produseres ved hjelp av et diesellaggregat fordi det ikke er mulig å koble seg til strømmettet eller levere strøm fra fornybare energikilder. CHP generere 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.

### 3.6.3 Mekaniske prosesser og andre tiltak

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

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

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

#### 3.6.3.1 Erstatning av fossilt brensel som drivkraft

Overgangen fra forbrenningsmotorer til elektriske motorer, som allerede beskrevet i kapittel 3.4.1 og 3.4.2, 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.

#### 3.6.3.2 Reduksjon av tap

Betydelige strømmtap 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

### **3.6.3.3 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.

### **3.6.3.4 Belysning**

Å bytte til LED-lys er en god måte å redusere energiforbruket på, ettersom de bruker opptil 80 % mindre energi og varer lenger enn tradisjonelle lyspærer. I tillegg spares energi ved å slå av lyset når det ikke er behov for det, for eksempel ved å bruke bevegelsessensorer eller tidsur. Dette er velkjente ENØK-tiltak som har vært poengtert av flere, men vår gjennomgang av befaringsrapporter indikerer at næringen kan ha et stort potensial til å redusere energibruk gjennom både automatisk styring, og overgang til LED.

## 4 Befaringsrapport fra slakteri

Prosjektdeltakere fra PEIS besøkte et slakteri høsten 2024. Dette kapittelet beskriver hensikt og funn.

### 4.1 Innledning

Formålet med befaringen var å kartlegge delprosesser, teknologiske løsninger, prosessutstyr og variabler for å forstå slakteriets fysiske oppbygging og driftsrutiner. Driftsansvarlig ledet omvisningen med gjennomgang av alle delprosesser ved slakteriet. Kartlagte prosesser, forbruk og rutiner er underlag for å vurdere mulighetene for energibesparelser. Tiltak for optimalisering av driften i slakteriet ble kartlagt og verifisert. De mest energikrevende prosessene ved slakteriet er RSW, vannbehandling og frysing / produksjon av is, i tråd med det som antas for sektoren som helhet i kapittel 2. Effektiv drift og gjenvinning av overskuddsvarme fra kjøle- og fryseprosesser gir potensial for energibesparelser.

### 4.2 Delprosesser

Slakt kommer inn på anlegget enten ferdig bløgget fra båt, eller levende til bløggeavdelingen. Det er ingen levendekjøling ved dette anlegget. Laksen fraktes fra ventemerde til slakteriet med vakuumpumper som er plassert i konteiner på flytebrygge. Første stopp er bedøving før laksen går videre til bløgging, blødning, vasking, filetering og pakking. Produktene ises og sendes i all hovedsak som ferskvare ut av anlegget. Kjølelager er kun for midlertidig oppbevaring før produktet får plass på frakt.

### 4.3 Maskiner, utstyr og teknologi

Det benyttes pumpesystemer for å frakte levende fisk til produksjonshall og vakuumsystem for å frakte biprodukter ut fra produksjon. Kjøling av sjøvann til blødning og sløypeprosess er en av de største forbrukerne av energi i slakteriet sammen med fryserom og produksjon av is til pakking. Vannbehandling av utslippsvann til sjø er også blant de største energiforbrukerne ved anlegget. Videre har anlegget utstyr for vask av rørstrek med varmt vann og diverse luftkompressorer, lufttørkere med mer.

I tillegg til strøm som brukes til de fleste energikrevende prosessene benyttes fyringsolje til oppvarming av vaskevann.

### 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 for relevante delprosesser, og energibruk per produsert tonn.

## 4.5 Observasjoner

Anlegget har ingen gjenvinning av varme fra fryseprosess. Vaskeprosesser har behov for varmt vann og er å betrakte som et 3.skift med tanke på energiforbruk. Dette varmtvannet blir produsert med elkjel/oljekjel og akkumulert på tanker.

Det er ved dette anlegget ikke utnyttet gjenvinning fra kjøling og frys prosesser som har betydelig varmeoverskudd.

Kjølevann hentes fra sjøen og renses før det slippes tilbake i sjøen. Vannet kjøles ned ved inntak for å ha riktig temperatur i anlegget. Ved dette anlegget er avstanden stor fra inntak av vann til utslippsone, så gjenvinning av kjøleenergi er ikke aktuelt slik anlegget er organisert i dag.

## 4.6 Konklusjon

Befaringen styrker troen på at delprosessene og fordeling av energiforbruk oppgitt i kapittel 2 er representative for slakteri.

Identifiserte tiltak ble verifisert og bekreftet som representative og gir et potensiale for energibesparelser. Driftsteknikerne har gjennom erfaring finjustert prosessene for å sikre kvalitet.

## 5 Oppsummering

Dette kapitlet oppsummerer resultater fra for havbruksnæringen i form av dagens status på energibruk, inkl. fossil andeler og redegjør for det samlede potensialet gitt at tiltakene slik de er beskrevet i Kapittel 3 blir gjennomført. Dagens status på energibruk er oppsummert i Tabell 15 mens potensialet for energireduksjon er oppsummert i Tabell 16. Dette potensialet er beregnet som summen av potensiell besparelse for hvert tiltak, og regnet ut med bakgrunn i våre anslag på dagens energibruk.

Som nevnt tidligere er tilgangen på energidata fra sjømatnæringen begrenset, noe som medfører en betydelig usikkerhet i våre anslag på dagens energiforbruk, et poeng som også er uttrykket av andre som har utført lignende kartleggingsarbeid i næringen (se kapittel 2 Dagens status: Energibruk og energimiks). Det betyr også at usikkerheten forplanter seg i våre beregninger på potensialet for energireduksjon ved implementering av beskrevne tiltak, og resultatene må derfor tolkes med dette forbeholdet. Hvilke antagelser som ligger til grunn for hver beregning må leses i de respektive kapitler, mens Tabell 16 er en kortfattet oppsummering av disse.

Det produseres om lag 450 millioner smolt med snittvekt på 150 gram og et spesifikt energiforbruk på 7,5 kWh per kg laks, som gir et anslagsvis totalt årlig energiforbruk på 523 GWh. Det er ca. 182 anlegg i drift, hvorav 67 er identifisert som RAS-anlegg og 61 som FTS-anlegg. Energiforbruket på denne typen anlegg er sterkt knyttet til håndtering av vann, dvs. bortimot 2/3 av tilført energi går med til pumpearbeid, temperaturregulering og oksygenering. Beskrevne tiltak i denne rapporten adresserer disse kjerneområdene, og det vises til et samlet energireduksjonspotensial på 10% ved å optimalisere pumpene (f.eks. installasjon av frekvensomformere eller bedre dimensjonering av størrelse), konvertere fra oksygeneringskjegler til LHO-system og gjenvinne varme fra luftere.

Det har vært en del fokus de senere årene på alternative produksjonsformer for matfisk, slik som landbasert, offshore eller semi-lukkete anlegg, men vår oversikt viser at det fortsatt er tradisjonelle matfiskanlegg som dominerer i antall og andel av produksjonsvolum (~97% av 1,65 millioner tonn laks). Etter vår oversikt er det fortsatt også den mest energieffektive formen for produksjon (0,14 kWh/kg laks), selv om innslaget av fossile energikilder er betydelig – om lag 40% av anleggene er ikke tilkoblet landstrøm eller elektrifisert på annet vis. Vi anslår at det totale energiforbruket i dette segmentet er ca. 345 GWh, hvorav tradisjonelle anlegg utgjør 224 GWh. Tiltakene vi har beskrevet adresserer denne typen anlegg, og sentrerer rundt å fortsette elektrifisering av anlegg (konvertere fra fossil energi), samt en overgang fra tradisjonelt luftbåren til vannbåren fôring. Gitt at samtlige anlegg som kan elektrifiseres (ikke begrenset av beliggenhet eller dagens teknologi) gjennomfører dette vil det samlet sett spare ca. 62 GWh årlig og samtidig redusere klimautslipp betydelig. Vannbåren fôring har også et betydelig potensial, og kan halvere energibruket knyttet til fôring sammenlignet med luftsystemer.

Vi har kartlagt at det er ca. 45 lakseslakterier som seg imellom har et årlig forbruk på 280 GWh og en produksjon på ca. 1,6 millioner tonn sløyd laks som gir et spesifikt energibruk på 0,19 kWh/kg. Vi har hatt befaring ved et lakseslakteri der vi gjennom samtaler med teknisk personalet og egne observasjoner gjort opp en vurdering på hva som er typiske energibrukere, og det er termiske behov ift. kjøling av laks, kaldlagring og is-produksjon som er de største driverne. Dermed er det også vår vurdering at det største behovet for energieffektivisering ligger i optimalisering av

kuldeanlegget gjennom diverse tiltak som kan heve anleggets COP. I forlengelse av den vurderingen ligger en antagelse om at det er stor variasjon i konfigurasjonen av kuldeanlegg blant slakteriene, som opererer med ulike betingelser og driftsforhold, noe som gjør det utfordrende å gi en presis tallfestelse av potensialet. Vi har antatt at standarden er høy, men at den kan løftes fra 50 til 60% Carnot virkningsgrad, og dette tilsvarer et potensial på ca. 14 GWh i året. Kostnaden for dette vil variere i takt med graden av tiltak, og kan være alt fra ingenting (innjustering, endring av setpunkter og driftsparametre) til kostbare (investere i frekvensomformere til kompressorer, eller installasjon av nye kompressorer). Vi har også sett på gjenvinning av varme og kulde, som samlet har et ytterligere potensial på 10 GWh, og vi har sett på at det kan spares ca. 2 GWh i året på isproduksjon gitt at laksen kjøles ytterligere som gir redusert isbehov i transportkassene.

Havbruksflåten anslås å ha et totalt energiforbruk på 2 256 GWh, basert på anslag for ulike fartøystyper og forbruk tilknyttet de ulike fartøysaktivitetene. Det er nesten utelukkende diesel som benyttes som energikilde til havbruksflåten, men en liten andel av minste fartøyene kan være batteridrevet. Det er en rekke ulike fartøystyper som anvendes til havbruk, og inkluderer i vår oversikt brønnbåter, servicebåter, lokalitetsbåter, fôrbåter og bløggebåter. Ifølge vår kartlegging er det brønnbåter som utgjør det største forbruket, og det er knyttet til høy aktivitet og tunge operasjoner som frakt av smolt- og slakt, samt avlusning. Vi har identifisert noen tiltak som er generelle for fartøy (elektrifisering, alternativ fremdriftssystemer, redusert skrogsotstand) men gjort beregninger på energibesparelse tilpasset havbruksflåten. Samlet potensial for disse tiltakene er anslått til i underkant av 1000 GWh, hvorav halvparten forutsetter at alle små fartøy i næringen elektrifiseres. Selv om det eksisterer tilgjengelig teknologi for en del av disse tiltakene i dag, vil det fortsatt kreve videre forskning og utvikling samt en betydelig investeringsvilje, og derfor også kreve finansielle støtteordninger. Tiltak som vi anser som spesifikke for havbruksflåten går på optimalisert drift og forbedring av prosesser knyttet til håndtering av store mengder vann (pumping, temperaturregulering), og utgjør samlet sett et energibesparelspotensial på 134 GWh.

Vi har også beskrevet en del generelle tiltak og teknologier som vi anser kan ha et betydelig potensial for effektivisering i næringa, og det første tiltaket som blir beskrevet 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 energireultat på ca. 500 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.

Havbruksnæringen, i likhet med resten av sjømatnæringen, har et stort energibehov i form av termisk prosessering, som innfrysing, kjøling og isproduksjon, og behovene til disse prosessene dekkes gjerne av sentraliserte kuldeanlegg. Det betyr også at tiltak som har liten relativ effekt på kuldesystemet kan ha stor absolutt betydning på det totale energibruket, og dette er gjerne kostnadseffektive tiltak med kumulativ effekt (isolasjon av rør, reduksjon av varmetap fra frys- og kjølelagre etc.). Oppvarming av vaskevann er også typisk et stort behov i næringa, og integrering av varmegjenvinningssystemer har en betydelig effekt på energieffektiviteten. Dette gjøres ved mange anlegg i dag, men utfordringer som samtidighet mellom tilgang og behov, fysiske avstander



eller temperaturnivåer gjør at det fortsatt går en del varme til spille i industrien i dag. Det er ikke utregnet potensial for disse generelle

**Tabell 15. Oppsummerte resultater fra dagens status på energibruk i havbruksnæringen**

Sektor	Totalt energiforbruk, Samlet produksjon	Andel fossil	Spesifikt energiforbruk	Energikrevende prosesser/utstyr/systemer	Antall anlegg
<b>Settefisk</b>	523 GWh  450 mill. smolt (150 gr i snitt)	~5%	7,5 kWh/kg laks  Varierer mellom 4-14 kWh/kg, avhengig av type anlegg (RAS, FTS, FTS-R) men også ulik teknisk stand.	Pumping, temperaturregulering, tørking av slam (der dette gjøres ved anlegg)	182
<b>Matfisk</b>	345 GWh  1,6 mill. tonn laks	~60%	0,21 kWh/kg laks.  Varierer mellom 0,14-7,75 kWh/kg, avhengig av anleggstype. Tradisjonell har lavest forbruk.	Føring, hotell	990
<b>Slakteri</b>	280 GWh  1,5 mill. tonn sløyd	~2-3%	0,19 kWh/kg sløyd laks.  Varierer mellom 0,09-0,32 kWh/kg, sannsynligvis grunnet ulik produksjon, teknisk standard og hvordan avskjær/slo behandles	Kjøling, kjølelager, isproduksjon, håndtering av avløpsvann og ensilasje	45
<b>Flåte</b>	2 256 GWh	~99%	1,41 kWh/kg laks.  Stor variasjon mellom type fartøy.	Fremdriftssystemer, aktiviteter/driftsmodus	Servicebåter: 300-350, Lokalitetsbåter: ~1300, Førbåter: ~25, Bløggébåter: 4-8, Brønnbåter: ~100

**Tabell 16. Oppsummert potensial ved innføring av beskrevne tiltak for ulike sektorer i havbruksnæringen**

<b>Settefisk</b>		
<b>Tiltak</b>	<b>Modenhet og økonomi</b>	<b>Energibesparelse (GWh/år)</b>
Optimalisering av pumpesystemer	Kommersielt tilgjengelig teknologi i nevnte tiltak	25
Oksygenering med LHO	LHO-systemer er kommersielt tilgjengelig; stiller operasjonelle krav som kan medføre tilleggskostnader	14
Temperaturregulering og varmegjenvinning fra luftere	Varmevekslere og varmepumper er kommersielt tilgjengelige	11
	<b>Samlet (GWh/år)</b>	<b>50</b>
	<b>Reduksjonspotensial %</b>	<b>-9,6%</b>
<b>Matfisk</b>		
<b>Tiltak</b>	<b>Modenhet og økonomi</b>	<b>Energibesparelse (GWh/år)</b>
Vannbåren føring	Kommersielt tilgjengelig	70
Elektrifisering av matfiskanlegg i sjø	Stor variasjon i kostnad alt etter lokalitet, men teknologien er tilgjengelig	62
	<b>Samlet (GWh/år)</b>	<b>62-70</b> (tiltakene påvirker hverandre i stor grad og kan ikke adderes)
	<b>Reduksjonspotensial %</b>	<b>-18- -20%</b>
<b>Slakteri</b>		
<b>Tiltak</b>	<b>Modenhet og økonomi</b>	<b>Energibesparelse (GWh/år)</b>
Effektive kjølesystemer		14,3
Kuldegjenvinning	Utfordring med samtidighet tilgjengelighet og behov	9
Varmegjenvinning	Investeringskostnad: 7-15 kNOK/kW	4
Egenproduksjon energi fra sol	Investeringskostnad: 11-17 kNOK/kW og LCOE på 0,53-0,79 NOK/kWh	6
Redusere ising i kasser vha. tilstrekkelig nedkjøling	Teknologien eksisterer; kostnader vil evt. være tilknyttet oppgradering av kjølekapasitet ved slakterier	2 <i>(8 hvis superkjøling)</i>
	<b>Samlet (GWh/år)</b>	<b>35,3</b>
	<b>Reduksjonspotensial %</b>	<b>-12,6%</b>
<b>Havbruksflåten</b>		
<b>Tiltak</b>	<b>Modenhet og økonomi</b>	<b>Energibesparelse (GWh/år)</b>
Landstrøm	Moden teknologi; kostbare investeringer	195
Elektrifisering av små fartøy	Krever store investeringer i både fartøy og infrastruktur	500
Mer effektive fremdriftssystemer	Stor variasjon i modenhet etter type tiltak	195
Redusert skrogmotstand	Mange tiltak med høy modenhet	50
Optimalisert drift	Krever fleksibilitet og nye metoder for planlegging	104
Optimalisert pumpesystemer på brønnbåter	Kommersielt tilgjengelig, utfordrende om bord	30
Bytte ut kjel med VP for varmvannsproduksjon		17,5
Optimalisert hotelledrift		75
	<b>Samlet (GWh/år)</b>	<b>1167</b>
	<b>Reduksjonspotensial %</b>	<b>-52%</b>