



**DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**

## **MASTEROPPGAVE**

Studieprogram/spesialisering:  
Industriell Økonomi - INDMAS

Vårsemesteret, 2022

Åpen

Forfattere:  
Sondre Flem Bjørshol og Sarah Shariff

(signatur forfatter)

Fagansvarlig: Sigbjørn Landazuri Tvetervås

Veileder(e): Ragnar Tvetervås (UiS) / Leif Ydstebø (Tytlandsvik Aqua)

Tittel på masteroppgaven:  
Energiforbruk og miljøpåvirkning i produksjon av Post-Smolt i Resirkulerende  
akvakultursystem

Engelsk tittel:  
Energy use and environmental impact in production of Atlantic Salmon in  
Recirculating aquaculture system

Studiepoeng: 30

Emneord:

- CO<sub>2</sub>
- RAS
- Miljø
- Fôr
- Energi

Sidetall: 70

+ vedlegg/annet: Excel-modeller

Stavanger, 15/06/2022

---

## Sammendrag

Grunnet miljømessige utfordringer, særlig knyttet til lakselus og sykdom, i tillegg til statlige reguleringer forbundet med disse problemene, er det i senere år blitt stor interesse for teknologisk innovasjon innen lakseoppdrett og driftsløsninger som kan være med på å løse disse utfordringene. Produksjon av større smolt (post-smolt) på land er et slikt initiativ, der målet er å redusere oppholdstiden i sjøen og optimalisere produksjonskapasiteten i åpne merder. Resirkulerende akvakultur system (RAS) har blitt den foretrukne produksjonsteknologien på land fremfor gjennomstrømningsanlegg (Flow Through Systems, FTS) som tradisjonelt har blitt benyttet, da vekst i næringen og økt produksjonstid på land har gjort ferskvannsressurser til en begrensende faktor. Denne oppgaven ser på energiforbruket og klimagassutslippene knyttet til bygging og drift av RAS-anlegget til Tytlandsvik Aqua (TA) for produksjon av post-smolt, og sammenligner det med tall fra andre studier for RAS-anlegg og åpne merder i sjø.

Gjennomsnittlig strømforbruk for produksjonen i TA var 5,35 kWh/kg levende fisk produsert i 2021, samtidig som dieselforbruket på anlegget gjennomsnittlig bidro med 0,0052 kWh/kg levende fisk produsert, henholdsvis ca. 99% og 1% av det totale energiforbruket. Dette er et relativt lavt energiforbruk sammenlignet med andre RAS-anlegg, men måneder med lav produksjon og derav høyt energiforbruk per kg levende fisk produsert, viser potensialet for ytterligere energieffektiverende drift av anlegget.

Beregninger gjort i denne studien knyttet til arealbruk og arealendring ved bygging av et RAS-anlegg, antyder at arealbruken er mindre enn det som tidligere er antatt. Total arealbruk for RAS-anlegget i Tytlandsvik med kapasitet på 10 000 tonn post-smolt er antatt å kreve 35 025 m<sup>2</sup>, noe som er betydelig lavere enn 90 000 m<sup>2</sup> som er antatt i en tidligere studie.

Tall fra TA tyder på at RAS-anlegg har muligheten og evnen til å opprettholde et stabilt lavt fôrforbruk. Sammen med en oppnådd lav dødelighet gir dette en lav økonomisk fôrfaktor. Hvis utsett av post-smolt fører til en redusert dødelighet for laks i åpne merder, vil de reduserte CO<sub>2</sub>e-utslippene per kg laks produsert som følge av en lavere økonomisk fôrfaktor i sjøen, potensielt være så store at de vil redusere de totale utslippene til næringen, og dermed kompensere for det høye energiforbruket i driften av et RAS-anlegg, og utslippene knyttet til byggingen.

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b>	<b>II</b>
<b>Forkortelser</b>	<b>V</b>
<b>Tabelliste</b>	<b>VI</b>
<b>Figurliste</b>	<b>VII</b>
<b>Forord</b>	<b>IX</b>
<b>Innledning</b>	<b>1</b>
<b>Bakgrunn</b>	<b>3</b>
Hva er bærekraftig utvikling?	3
Drivhuseffekten	3
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	4
Akvakultur – Historie	5
Trafikklyssystemet	5
Laksens livssyklus – Fra rogn til matfisk	5
Stryking av laks	5
Rogn	5
Yngel	6
Parr	6
Smolt	6
Matfisk	6
Tillatelser til drift av akvakulturanlegg	7
RAS – Resirkulerende akvakultursystem	7
Komponenter i RAS-anlegg	8
Fisketank	8
Overvåking	8
Pumper	9
Temperaturregulering	9
Oksygenering	9
Desinfisering	10
UV-stråling	10
Ozon	10
Mekanisk filtrering	11
Biologisk behandling	11
Utlufting av gasser	12
pH-regulering	12
Vanninntak	12
Energikrevende prosesser i RAS-anlegg	13
<b>Miljøavtrykk</b>	<b>13</b>
Fôr	14
Biologisk førfaktor	15
Økonomisk førfaktor	15

Transport	16
Produksjon	16
Arealendring	17
Arealbehov for landbasert oppdrett (RAS-anlegg) på land	17
Arealbehov for landbasert oppdrett (RAS-anlegg) i sjøen	17
Miljøpåvirkningen til RAS-anlegg og andre akvakulturteknologier	17
Økonomiske forhold	18
CAPEX: Investering i RAS-anlegg	19
OPEX: Drift av RAS-anlegg	19
Ikke-kvotepliktige utslipp	20
Hva er en Livssyklusanalyse?	20
Standarder for LCA	21
Rammeverk	21
Utslippsfaktor	22
<b>Empirisk modell for beregning av energibruk og CO<sub>2</sub>e-utslipp ved landbaserte RAS-anlegg</b>	<b>22</b>
Smolt produksjon	23
Utslippsfaktorer & antagelser	24
Modell	25
Transport	25
Energikrevende prosesser i TA	28
Produksjon	30
Bygging	33
<b>Diskusjon &amp; Resultater</b>	<b>34</b>
Energibruk for produksjonsfasen på land	34
Energiforbruk (Strøm)	36
Klimagassutslipp fra produksjonen	37
Førfaktor i sjø vs. TA	38
Energibruk for produksjonsfasen i sjø	39
CO <sub>2</sub> e-utslipp ved bygging av et RAS-anlegg	40
Arealbruk	42
Utsett av postsmolt	44
Vekstrate	47
Økonomien til TA	50
Transportkostnader	51
<b>Konklusjon</b>	<b>54</b>
<b>Kilder</b>	<b>56</b>

## Forkortelser

<b>Forkortelse</b>	<b>Beskrivelse</b>
<b>TA</b>	Tytlandsvik Aqua
<b>RAS</b>	Resirkulerende akvakultursystem
<b>LCA</b>	Livssyklusanalyse
<b>GWP</b>	Global Warming Potential
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	CO <sub>2</sub> -ekvivalenter
<b>CAPEX</b>	Capital Expenditures
<b>OPEX</b>	Operational Expenditures
<b>FCR</b>	Feed conversion ratio
<b>MTB</b>	Maksimalt tillatt biomasse
<b>TGC</b>	Thermal growth coefficient
<b>PE</b>	Polyetylen
<b>kWh</b>	Kilowatttime
<b>FE</b>	Funksjonell enhet

## Tabelliste

Tabell 1. Globalt oppvarmingspotensial til de vanligste klimagassene (Miljødirektoratet 2022).....	4
Tabell 2. kg CO <sub>2</sub> e forbundet med produksjonstrinnene til et fiskefôr (M. Martinsen, personlig kommunikasjon, 11.januar 2022).....	15
Tabell 3. Miljøpåvirkning/utslipp per tonn levende laks av Philis et al., (2019) .....	18
Tabell 4. Utslippsfaktor og forbruk - Diesel (Terjesen, 2017; Thompson, 2020; SSB,2016).....	24
Tabell 5. Utslippsfaktor – Strøm (NVE, 2020; SSB, 2016; European Environmental Agency, 2021) .....	24
Tabell 6 Utslippsfaktor – Materiell (EPD Norge, 2021; EPD Norge, 2020; Solli C, u.å).....	24
Tabell 7. Omregningsfaktor - Energi.....	24
Tabell 8. Frakt av smolt til TA .....	26
Tabell 9. Frakt av fôr .....	26
Tabell 10. Frakt av oksygen .....	26
Tabell 11. Transport av Post-smolt (google maps).....	26
Tabell 12. Transport av slam .....	27
Tabell 13. – Energidrivere i RAS-anlegget til TA .....	35
Tabell 14. Energiforbruk i kWh/kg levende fisk produsert ved drift av oppdrettslokalitet på sjø (Nistad et al., 2021).....	40
Tabell 15. Steinull .....	40
Tabell 16. Stål .....	41
Tabell 17. Stål 2 .....	41
Tabell 18. Betong.....	42
Tabell 19. PE .....	42
Tabell 20. Glassfiber .....	42
Tabell 21. Arealbruk .....	42
Tabell 22. Antall tonn laks produsert i Norge i 2021 fordelt på RAS-anlegg med 10 000 tonn kapasitet .....	43
Tabell 23. CO <sub>2</sub> e – utslipp for bygging av TA.....	43
Tabell 24. Dødelighet for de 13 produksjonsområdene i Norge 2018-2020 (Nedrejord, 2021).....	45
Tabell 25. Vekstrate i TA.....	48
Tabell 26. Dødelighet i TA.....	48
Tabell 27. Gjennomsnittlig vektøkning gram/dag 2021 .....	48

## Figurliste

Figur 1. Dagens vs. fremtidens produksjonsstrategi (Terjesen, 2017) .....	6
Figur 2. (Bregnballe, 2010) .....	7
Figur 3. Vesentlige komponenter i et RAS-anlegg og gjensidig plassering (Bregnballe, 2010) .....	8
Figur 4. Flytdiagram for et typisk RAS-anlegg (Nanox, 2014, 1:16).....	12
Figur 5. % økning i driftskostnader 2005 – 2016 (Iversen et al., 2017).....	19
Figur 6. Klimaavtrykket i lakseoppdrett .....	20
Figur 10. Utklipp 3 fra modellen: Transport.....	27
Figur 11. Utklipp 4 fra modellen: Transport.....	27
Figur 13. Fargekode .....	28
Figur 14. Utklipp 6 fra modell: Energikrevende prosesser i TA .....	28
Figur 15. Utklipp 7 fra modell: Energikrevende prosesser i TA .....	29
Figur 16. Utklipp 8 fra modell: Energikrevende prosesser i TA .....	29
Figur 17. Utklipp 9 fra modell: Energikrevende prosesser i TA .....	30
Figur 18. Utklipp 10 fra modell: Energikrevende prosesser i TA .....	30
Figur 19. Utklipp 11 fra modell: Produksjon.....	31
Figur 20. Utklipp 12 fra modell: Produksjon.....	31
Figur 21. Utklipp 13 fra modell: Produksjon.....	32
Figur 22. Utklipp 14 fra modell: Produksjon.....	32
Figur 23. Utklipp 15 fra modell: Produksjon.....	33
Figur 24. Energiforbruk ved produksjon TA .....	35
Figur 25. kWh/kg levende fisk produsert .....	36
Figur 26. Utslippskilder ved produksjon av post-smolt i Tytlandsvik for 2021 .....	37
Figur 27. kg CO <sub>2</sub> e/kg levende fisk produsert med norsk- og europeisk strømmiks .....	38
Figur 28. Gjennomsnittlig økonomisk førfaktor i åpne merder fra 2008 – 2020 & Gjennomsnittlig økonomisk førfaktor for TA i 2021 .....	39
Figur 29. Prosentvis fordeling av energiforbruket på en gjennomsnittlig fôringsflåte (Nistad et al., 2021).....	39
Figur 30. CO <sub>2</sub> e – Utslipp i TA.....	44
Figur 31. CO <sub>2</sub> e –Utslipp Fôrforbruk 0,5 kg.....	46
Figur 32. CO <sub>2</sub> e – Utslipp Fôrforbruk 1,0 kg.....	46
Figur 33. CO <sub>2</sub> e – Utslipp Fôrforbruk 1,5 kg.....	47
Figur 34. Antall dager i TA og antall fisk ved mottak – Leveringsvekt 1000 g .....	49
Figur 35. Antall dager i TA og antall fisk ved mottak – Leveringsvekt 1500 g .....	49
Figur 36. Antall dager i TA og antall fisk ved mottak – Leveringsvekt 2000 g .....	50
Figur 37. Investeringskostnadene til TA .....	50

Figur 38. Investeringskostnader vs. kapasitetsøkning.....	51
Figur 39. Reduksjon i CO <sub>2</sub> e-utslipp fra transport, antatt overgang til elektrisitet som energikilde.....	52
Figur 40. Endringer i energiforbruket for produksjonen antatt energieffektiviserende tiltak.....	52
Figur 41. Pris per utslippskvote (Energi og klima, 2022) .....	53
Figur 42. Sammenligner produksjonskostnad med og uten CO <sub>2</sub> -kvote .....	53



## Forord

Denne masteroppgaven ble gjennomført vårsemesteret 2022 og ferdigstiller vår Master i Industriell Økonomi ved Universitetet i Stavanger.

Vi vil takke Nils Viga for at vi fikk skrive oppgaven i samarbeid med Tytlandsvik Aqua. Tusen takk til vår veileder Ragnar Tveterås for all hjelp og motivasjon underveis. Takk til Roger Viga og resten av teamet på Tytlandsvik Aqua for omvisning på anlegget og relevante data. Takk til familie og venner for støtte og motivasjon dette halvåret. Til slutt en stor takk til Leif Ydstebø hos Tytlandsvik Aqua for presisering av oppgave og problemstilling, hjelp til tolkning av data og faglig veiledning.

## Innledning

På grunn av miljømessige utfordringer, særlig knyttet til lakselus, sykdom og rømning og statlige reguleringer forbundet med dette, er det stor interesse for nye driftsløsninger og teknologisk innovasjon som kan løse eller redusere disse problemene (Hilmarsen, Holte, Brendeløkken, Høyli & Hognes 2018; Powell et al., 2018, Lekang, Salas-Bringas & Bostock, 2016). Lønnsomheten i lakseoppdrett er god, med en oppadgående pristrend siden 2012, økt etterspørsel etter laks verden over (Misund, B et al., 2018) og en økende margin selv med høyere produksjonskostnader de siste årene (Bjørndal & Tusvik, 2019). Slike signaler i markedet indikerer en økning i produksjonen (Bjørndal & Tusvik, 2019), men produksjonen har avtatt de siste årene, med en gjennomsnittlig produksjon på 1 259 760 tonn fra 2012 til 2020 i Norge (Fiskeridirektoratet, u.å. b). Til sammenligning var produksjonen i 2004 (563 851 tonn), som tilsvarer en produksjonsvekstvekst på 113% fra 2004 til 2012, mens veksten fra 2012 til 2020 var på 13% (Fiskeridirektoratet, u.å. b).

Tradisjonelt har smolt på 100-150 g vært produsert i gjennomstrømningsanlegg (Flow Through Systems, FTS) på land. Grunnet utfordringer knyttet til lus og sykdommer, vil man redusere oppholdstiden til fisken i sjøen ved å utvide produksjonstiden på land. Dette gjøres ved produksjon av større smolt inntil 500 – 1000 g (post-smolt) (Nistad et al., 2021). Produksjon av post-smolt vil også bidra til å optimalisere produksjonskapasiteten i åpne merder i sjøen.

En driftsløsning som er i vekst som følge av utfordringer knyttet til merdbasert oppdrett, er lukkede landbaserte oppdrettsanlegg, foreløpig med flest initiativ for produksjon av post-smolt (Hilmarsen et al., 2018). Resirkulerende akvakultur system (RAS) har blitt den foretrukne produksjonsteknologien på land (Bjørndal & Tusvik, 2019), da vekst i næringen og økt produksjonstid på land har gjort ferskvannssressurser til en begrensende faktor (Nistad et al., 2021). RAS-anlegg kan imidlertid resirkulere 90-99% av vannet som benyttes, noe som betydelig reduserer vannbehovet sammenlignet med FTS-anlegg. Ifølge SINTEF diskuteres det hvorvidt det kan være nødvendig at all norsk oppdrettslaks skal produseres i lukkede anlegg, på land eller i flytende anlegg på sjøen, for at man skal kunne flerdoble produksjonen frem mot 2030 og 2050, og samtidig løse utfordringene med lakselus, utslipp av organisk avfall og rømning (Hilmarsen et al., 2018).

Oppdrett på land er energikrevende (Nistad et al., 2021; Philis et al., 2019; Liu et al., 2016) og krever store investeringskostnader ved utbygging av anleggene (Bjørndal & Tusvik, 2019) sammenlignet med oppdrett i sjøen. I tillegg vil det være spørsmål knyttet til bærekraft og klimagassutslipp når man snakker om landbasert oppdrett..

Formålet med oppgaven er å få oversikt over energiforbruket og klimagassutslippene knyttet til bygging og drift av RAS-anlegg for post-smolt. I denne oppgaven er post-smolt anlegget Tytlandsvik Aqua (TA) brukt som eksempel og data både for investering og drift har blitt samlet inn og analysert. Basert på data fra TA er målet å utarbeide en modell som kan se på fremtidig energiforbruk og CO<sub>2</sub>e-utslipp ved produksjon av post-smolt i et

RAS-anlegg. Modellen har til hensikt å kunne benyttes som et verktøy til å ta bærekraftige beslutninger for RAS-anlegget i Tytlandsvik. Oppgaven er definert på bakgrunn av viktigheten av å optimalisere oppdrettsnæringen, for å sikre lavest mulig miljøavtrykk, en bærekraftig utvikling og bidra til at verden når klimamålene.

I denne oppgaven er det inkludert en gjennomgang av relevant litteratur innen bærekraft og klima, produksjon av smolt i RAS-anlegg og driverne for endring i tradisjonelt lakseoppdrett, energibruk og CO<sub>2</sub>e-utslipp relatert til alle driftsformer for produksjon av oppdrettslaks i Norge, og de økonomiske forholdene knyttet til bygging og drift av et RAS-anlegg. Data fra litteratur sammenlignes med reelle driftsdata fra TA, spesielt energibruk i produksjonsfasen av post-smolt i deres RAS-anlegg. Dataene skal brukes til å lage en modell for å beregne energiforbruket og klimagassutslippene per kg fisk produsert i TA. Beregningene av klimagassutslippene inkluderer byggingen av anlegget, transport av innsatsfaktorer, og produksjonen i RAS-anlegget.

Oppgaven er bygget opp på følgende måte: Kapittel to inneholder relevant informasjon om bærekraft og klima, norsk oppdrett, RAS-anlegg og faktorer som må inkluderes i en livssyklusanalyse (LCA). Kapittel tre inneholder en beskrivelse av modellen, datagrunnlag og antakelser som er benyttet. I kapittel fire presenteres og diskuteres resultatene. Kapittel fem sammenfatter resultatene og konkluderer.

# Bakgrunn

## Hva er bærekraftig utvikling?

I 1987 fikk begrepet bærekraftig utvikling internasjonal oppmerksomhet etter utgivelsen av rapporten «Vår felles fremtid». Rapporten som ble utgitt av *Verdenskommisjonen for miljø og utvikling* definerte bærekraftig utvikling som «En utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov» (FN, 2021). Kommisjonen som ble ledet av tidligere statsminister i Norge, Gro Harlem Brundtland, satte søkelys på tre områder som verden må jobbe med for å skape bærekraftig utvikling; 1. *Klima og miljø*, 2. *Økonomi*, 3. *Sosiale forhold* (FN, 2021). Det er ifølge rapporten sammenhengen mellom disse tre områdene som avgjør om noe er bærekraftig. Grunnet avgrensning av oppgaven vil det i all hovedsak være de to første punktene som vil bli berørt av denne oppgaven.

## Drivhuseffekten

Naturlig drivhuseffekt er essensielt for livet på jorda. Uten drivhuseffekten ville store deler av jorden vært ubeboelig grunnet en gjennomsnittstemperatur på -18 grader celsius (Miljødirektoratet, 2022). Verdenshavene ville være dekket med is, og store landarealer for kalde til å bo på for oss mennesker.

I all hovedsak er energien som kommer til jorda fra sola kortbølgede strålinger, som vil si synlig lys. Om lag halvparten av strålingen trenger gjennom atmosfæren, som fører til oppvarming av landjorda og havene, ca. 30 prosent reflekteres tilbake til verdensrommet, mens de resterende 20 prosentene absorberes av vanndamp, skyer og andre klimagasser (Miljødirektoratet, 2022). Jordoverflaten vil også stråle tilbake, men da for det meste som varmestrålinger (langbølgede strålinger). I atmosfæren vil klimagassene absorbere mye av denne varmestrålingen, for deretter å sende den videre ut i verdensrommet eller tilbake på jorda.

Differansen mellom hvor mye energi som treffer jorda gjennom solstråler og hvor mye energi som sendes tilbake til verdensrommet i form av varmestrålinger kalles klimapådrivet (Miljødirektoratet, 2022). Når det er likevekt, det vil si at jorda sender ut like mye stråling som den mottar, er klimapådrivet lik null. Økt konsentrasjon av klimagasser i atmosfæren, fører til at mindre stråling slipper ut, klimadrevet øker og jorda varmes opp (Miljødirektoratet, 2022).

Drivhuseffekten skyldes de naturlige klimagassene

- Karbondioksid (CO<sub>2</sub>)
- Metan (CH<sub>4</sub>)
- Lystgass (N<sub>2</sub>O)
- Ozon (O<sub>3</sub>)
- Vanndamp (H<sub>2</sub>O)

Konsentrasjonen av disse i atmosfæren er sterkt påvirket av menneskelig aktivitet (Miljødirektoratet, 2022). «Unequivocal», utvetydig på norsk, er begrepet som blir brukt om at menneskelige utslipp er årsaken til global oppvarming i del 1 av FNs klimapanelers sjette hovedrapport om fysiske klimaendringer, som ble utgitt i august 2021 (Klimastiftelsen, 2021). Da klimagasser har ulik oppvarmingseffekt og levetid, har forskere utarbeidet en måleenhet som kalles globalt oppvarmingspotensialet (Global Warming Potential, GWP), for å kunne

sammenligne oppvarmingseffekten til de enkelte klimagassene (Miljødirektoratet, 2022). GWP angir samlet oppvarmingseffekt i forhold til CO<sub>2</sub> over et gitt tidsrom.

I tabell 1. er klimagasser listet opp med sitt globale oppvarmingspotensiale over en tidsperiode på 20- og 100 år, samt gassens levetid i atmosfæren.

Tabell 1. Globalt oppvarmingspotensial til de vanligste klimagassene (Miljødirektoratet 2022)

Globalt oppvarmingspotensial (GWP)			
	Levetid i atmosfæren	GWP 20-årshorisont	GWP 100-årshorisont
<b>Karbondioksid (CO<sub>2</sub>)</b>	*	1	1
<b>Metan (CH<sub>4</sub>)</b>	11,8	82	28
<b>Lystgass (N<sub>2</sub>O)</b>	109	273	273
<b>Svovelheksafluorid (SF<sub>6</sub>)</b>	3200	18 300	25 200
<b>PFK-gasser (her CF<sub>4</sub>)</b>	50 000	5300	7380
<b>PFK-gasser (her C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>)</b>	10 000	8940	12 400
<b>HFK-gasser (her 134a)</b>	14	4144	1526
* Ingen enkeltverdi for levetiden til CO <sub>2</sub> kan oppgis. Enkelte kjemiske prosesser som fjerner CO <sub>2</sub> fra atmosfæren skjer over ekstremt lange tidsperioder. Kilde: FNs klimapanels sjette hovedrapport (2021)			

## CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

For å kunne sammenligne klimagassene konverterer man alle gassene om til CO<sub>2</sub>-verdier, også kalt CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Dette gjøres ved å benytte GWP-verdiene som omregningsfaktor. Ved å regne om til samme enhet, CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, kan man gjøre direkte sammenligninger av utslipp, selv om man har å gjøre med forskjellige typer klimagasser (Olerud & Lahn, 2020).

Som man kan se fra Tabell 1 har GWP for CO<sub>2</sub> et lavt oppvarmingspotensial sammenlignet med andre klimagasser. Men grunnet den store mengden CO<sub>2</sub> som slippes ut, i kombinasjon med at CO<sub>2</sub> kan leve lenge i

atmosfæren, er CO<sub>2</sub> en av de største bidragsyterne til global oppvarming. CO<sub>2</sub>-utslipp er ifølge Miljødirektoratet årsaken til mer enn halvparten av den menneskeskapte økningen av klimagasser i atmosfæren (Miljødirektoratet, 2022).

## **Akvakultur – Historie**

Allerede på 1800-tallet ble det startet med kultivering og klekking av ørret- og lakserogn, og oppdrett av ferskvannsrørret strekker seg tilbake til 1750-tallet i Tyskland (Berge, 2014). Overgangen fra ferskvann til sjø fant sted i Norge tidlig på 1960-tallet, da brødrene Karstein og Olav Vik gradvis klarte å tilvenne regnbueørret til sjøvann (Misund, 2021). Siden den gang har produksjonen av laksefisk utviklet seg til å bli en stor og viktig næring i Norge, med en årlig produksjonsvekst på om lag 6,5 prosent i perioden 1997-2017 (Misund, 2021). I 1999 ble det solgt 419 000 tonn laks i Norge (SSB, 2000), mens det i 2019 ble det solgt 1,36 millioner tonn laks i Norge (Baklien, 2020). Norge er i dag den største produsenten av oppdrettslaks, med over halvparten av verdens produksjon.

Grunnet utfordringer knyttet til fiskesykdommer, lakselus, algeoppblomstringer og miljøpåvirkninger, samt strengere reguleringer, har produksjonen av laksefisk stagnert siden 2012 (Misund, 2021). Dette gjelder også globalt.

## **Trafikklyssystemet**

Trafikklyssystemet skal ifølge Fiskeridirektoratet «sørge for forutsigbar og bærekraftig vekst i havbruksnæringen og legger opp til vekst innenfor en moderat risikoprofil på seks prosent annethvert år (Fiskeridirektoratet, u.å. c). Trafikklyssystemet deler oppdrettsnæringen inn i 13 produksjonssoner, hvor hvert område tildeles en fargekode; rød, gul eller grønn (Misund, 2021). Fargen bestemmes ut ifra hvordan lakselus fra oppdrett påvirker villaksen i nærområdet (Fiskeridirektoratet, u.å. c). Grønne områder vil annethvert år ha mulighet til å øke produksjonskapasiteten med 6 prosent. I gule områder vil produksjonskapasiteten holdes på samme nivå. For røde områder vil produksjonen måtte reduseres.

## **Laksens livssyklus – Fra rogn til matfisk**

Det tar mellom to og tre år å produsere spiseklar laks. Oppdrettsprosessen består av flere ulike faser som herunder vil bli beskrevet.

### **Stryking av laks**

Oppdrettsprosessen starter ved utvelgelse av egnet stamfisk etter kriterier som farge og vekst (Nesfossen Smolt, u.å). Rogn strykes så fra kjønnsmoden hunnlaks og blandes med melke fra hanlaks slik at eggene befruktes og starter celledeling og dannelsen av et nytt individ (Erko Seafood, u.å).

### **Rogn**

Etter befruktning legges rognen i spesialbeholdere, kalt klekkebakker, hvor den oppbevares mørkt samtidig som det renner ferskvann over den (Erko Seafood, u.å). Temperaturen på vannet er 8 grader celsius, og der blir rognen liggende i ca. 60 dager til den klekker (Nesfossen Smolt, u.å). Omtrent midtveis i rognfasen vil egget utvikle to sorte prikker som er øynene på fiskelarven som er blitt laget (Erko Seafood, u.å).

## Yngel

Ved klekking kommer det ut en tynn lakselarve. Larven har en pose hengende på magen som den tar til seg næring fra (Nesfossen Smolt, u.å). Denne posen kalles for plommesekken, og lakselarven blir nå kalt for plommesekk yngel. Plommesekk yngelen har dårlige svømmegenskaper, og ligger i denne fasen for det meste på bunnen (Erko Seafood, u.å). Etter 4-6 uker begynner yngelen å ta til seg næring fra fôr og den flyttes da gjerne over i et større kar (Nesfossen Smolt, u.å).

## Parr

Når yngelen begynner å ta til seg næring fra fôr kalles den gjerne for parr. Typisk for parren er mørke merker på siden som kalles for parr-merker (Nesfossen Smolt, u.å). På dette stadiet oppholder yngelen seg fortsatt i ferskvann, og er enda ikke tilpasset et liv i sjøen. Sortering og vaksinerer er viktig i denne perioden. Stabil vannkvalitet gjennom hele prosessen er også av stor betydning (Nesfossen Smolt, u.å).

## Smolt

Den siste delen av prosessen før yngelen leveres til settefiskanlegg kalles for smoltifisering (Nesfossen Smolt, u.å). Her tilpasses yngelen et liv i sjøen, etter å ha tilbrakt et sted mellom 10-16 måneder i ferskvann. Smolten har tradisjonelt hatt en vekt på 60-150 g i det den fraktes ut til i sjøen med brønnbåt. En brønnbåt er et fartøy for transport av levende fisk, hvor nederste del av lasterommet inneholder sirkulerende sjøvann hvor fisken kan svømme under transport (Brønnbåt, 2018). Underveis i transporten økes saliniteten i vannet gradvis for å tilvenne smolten et liv ute i merdene (Nesfossen Smolt, u.å).

## Matfisk

Norsk lakseproduksjon foregår for det meste i åpne merder langs kysten. Her oppholder laksen seg rundt 18 måneder før den er klar for slakting. Da har fisken en snittvekt på 4-6 kilo (Nesfossen Smolt, u.å). Når laksen er klar for slakting fraktes den med brønnbåt til slakteriet, hvor på den sløyes, pakkes og sorteres etter størrelse og kvalitet (Nesfossen Smolt, u.å).



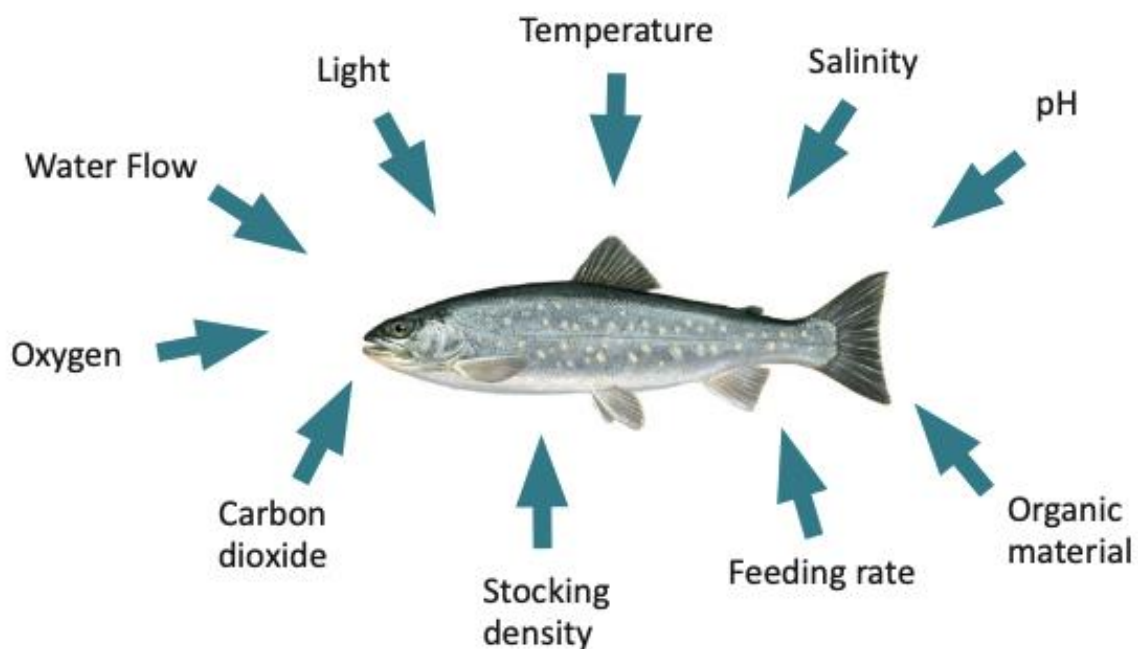
Figur 1. Dagens vs. fremtidens produksjonsstrategi (Terjesen, 2017)

## Tillatelser til drift av akvakulturanlegg

Det er et begrenset antall tillatelser til akvakultur av matfisk for laks, ørret og regnbueørret (Fiskeridirektoratet, u.å. a). Den som driver akvakultur i Norge, trenger en tillatelse regulert gjennom akvakulturloven. Tradisjonelt ble slike tillatelser tildelt vederlagsfritt, mens de i senere tid har blitt auksjonert bort av staten (Bjørndal & Tusvik, 2019). Siste auksjon var i august 2020 (Fiskeridirektoratet, u.å. a), og før det i juni 2018. Innehaveren av en tillatelse kan ha stående en gitt MTB (maksimalt tillatt biomasse) i sjøen til enhver tid. En standard tillatelse av matfiskproduksjon av laks, ørret og regnbueørret er på 780 tonn (Fiskeridirektoratet, u.å. a). Når det gjelder landbasert oppdrett i Norge, har man de siste årene senket terskelen for å investere i landbaserte anlegg (Bjørndal & Tusvik, 2019). I juni 2016 kom Fiskeridirektoratet med en laksetildelingsforskrift som åpnet for vederlagsfri (man må betale saksbehandlingsgebyr) og løpende tildeling av produksjon av laks, ørret og regnbueørret på land (Fiskeridirektoratet, u.å. e).

## RAS – Resirkulerende akvakultursystem

Et RAS-anlegg er designet for å redusere avfallsmengden (Badiola, Basurko, Gabiña, & Mendiola, 2017, Van Rijn, 2013) og vannforbruket (Verdegem, Bosma, & Verreth, 2006) sammenlignet med et tradisjonelt gjennomstrømningsanlegg (Flow through system - FTS), og gir økte muligheter for avfallsbehandling (Badiola et al., 2017, Martins et al., 2010) og gjenbruk av næringsstoffer (Martins et al., 2010) ved å utnytte slammet. Resirkuleringsgraden ligger typisk på 95-99 prosent (Hilmarsen et al., 2018), og muligheter for rensing av vann og slam før utslipp til sjøen reduserer sannsynligheten for uønsket miljøpåvirkning som eutrofiering sammenlignet med FTS (Martins et al., 2010), samtidig viser (Martins et al., 2010) til et energiforbruk ved RAS på 1,4-1,8 ganger høyere enn ved FTS. En fordel med anlegg på land er muligheten for rensing av utslippet slik at miljøpåvirkningen ikke er større enn resipienten kan tåle.



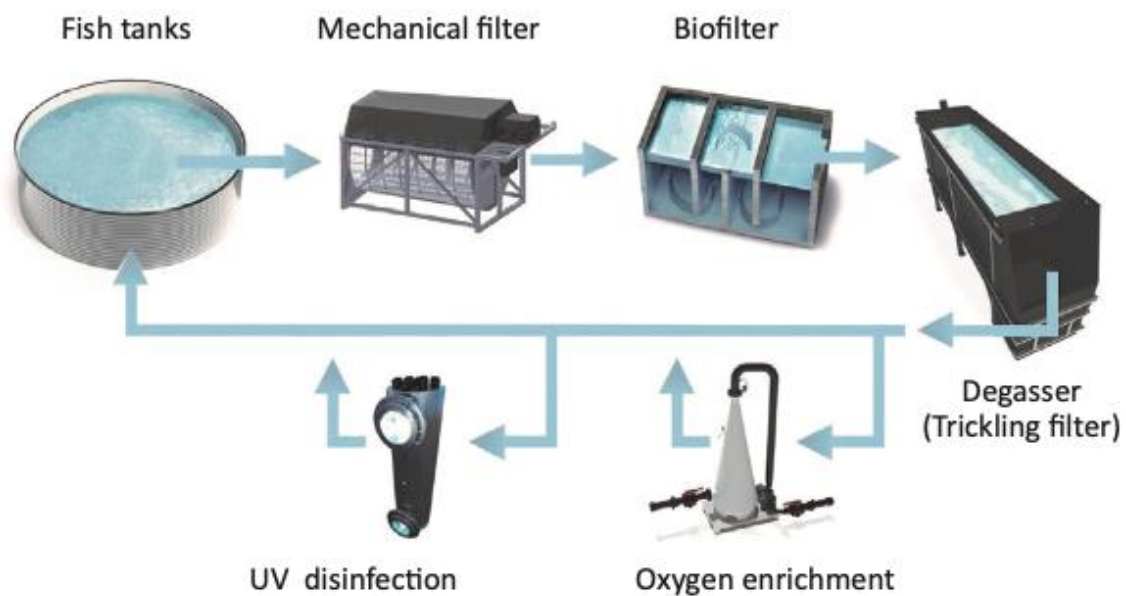
Figur 2. (Bregnballe, 2010)



I et resirkuleringsystem er det viktig å ha kontinuerlig behandling av vannet for å fjerne avfallsprodukter som kommer fra fisken, og holde oksygenivået på et ønskelig nivå som gjør at fisken lever under gode forhold (Bregnballe, 2010). Figur 2 viser viktige faktorer som må tas hensyn til og styres optimalt ved produksjon av laks i RAS-anlegg.

#### Komponenter i RAS-anlegg

I det følgende vil de ulike komponentene og prosessene som inngår i vannbehandlingen i et RAS-anlegg bli beskrevet.



Figur 3. Vesentlige komponenter i et RAS-anlegg og gjensidig plassering (Bregnballe, 2010)

#### Fisketank

Fisken oppholder seg i produksjonstanker. Forholdene i en fisketank må møte fiskens behov både med tanke på vannkvalitet og design. Laks trives i store vannvolumer hvor vannet beveger seg med en viss hastighet (Bregnballe, 2010). Det finnes et stort utvalg av materialer som kan tas i bruk for å bygge fisketank. Det er mest utbredt å bruke en avrundet eller sirkulær form for fisketank med glatte overflater siden det da blir enklere å rengjøre og de er vanligvis utstyrt med sensorer for måling av temperatur og oksygenivå (Svendsen, 2019).

#### Overvåking

For å sikre optimale forhold for fisken i et RAS-anlegg kreves det kontrollsystemer og kontinuerlig monitorering av disse (Bregnballe, 2010). Mange moderne anlegg har et kontrollsystem som overvåker oksygenivået, temperaturen, pH, vannivået og motorfunksjoner. Hvis systemet registrerer at noen av disse parametrene er utenfor ønskelig verdi, vil det prøve å fikse det med en start/stopp funksjon for apparatet det gjelder. Hvis dette ikke fikser problemet umiddelbart, vil det gå en alarm (Bregnballe, 2010). Automatisk fôring er også ofte koblet til et slikt kontrollsystem, slik at fôringen kan koordineres med en høyere dosering av oksygen, da fiskens oksygenforbruk øker når den spiser (Bregnballe, 2010).

### Pumper

Ulike pumpetyper blir brukt for å sirkulere vannet i RAS-systemet, der sentrifugalpumpe er den vanligste (Badiola et al., 2018). Pumping av store vannmasser vil normalt kreve mye energi. Lav løftehøyde for vannet og effektivt installerte pumper vil derfor være viktig for å redusere energiforbruket (Bregnballe, 2010). Løfting av vannet bør ideelt sett bare skje en gang, hvor på tyngdekraften gjør jobben med å føre vannet gjennom systemet tilbake til pumpene (Bregnballe, 2010).

Pumpene kan være plassert i starten av vannprosesseringen, men da etter det mekaniske filteret, og før biofilteret. Dette er for å unngå at biter med organisk materiale som kommer fra fisketanken skal bli ødelagt når vannet pumpes, og dermed bli for små til at de blir fanget opp av det mekaniske filteret (Bregnballe, 2010). Alternativt kan pumpene være plassert mellom vannrensingen og fiskekarene, slik at det pumpes til fiskekarene og renner med selvføll gjennom rensedelen (L. Ydstebø, personlig kommunikasjon, 03. april 2022).

### Temperaturregulering

Vekstraten til fisken er direkte koblet til temperaturen i vannet (Bregnballe, 2010), og opprettholdelse av riktig temperatur er derfor svært viktig.

Vanninntak er en enkel måte å regulere temperaturen i anlegget på. I et lukket RAS-anlegg vil temperaturen i vannet bygge seg opp, ved at energi i form av varme frigjøres fra blant annet fiskens metabolisme, friksjon i pumper og rør, og bakteriell aktivitet i biofilteret (Bregnballe, 2010). Bruk av varmpumpe eller varmeveksler benyttes i tilfeller der kjøling ved hjelp av vanninntak er begrenset eller ikke tilstrekkelig. Ved kaldere klimaforhold kan oppvarming av vannet også være nødvendig (Bregnballe, 2010). Det kalles direkte oppvarming når varmen i vannet gjenbrukes, mens indirekte oppvarming vil si at man tar i bruk varmevekslere i produksjonstanken for å varme opp vannet (Svendsen, 2019).

### Oksygenering

I et RAS-anlegg er fisken helt avhengig av oksygentilførselen i vannet. Dersom det ikke er nok oksygen tilgjengelig, kan det oppstå dannelse av  $H_2S$  som er giftig for fisken. Det er derfor vesentlig å ha konstant tilførsel av frisk og oksygenrikt vann med riktig temperatur (Baklien, 2020).

Tilsetning av oksygen i vannet kan gjøres ved å injisere rent oksygen inn i vannet eller ved at vannet luftes. RAS-anlegg bruker normalt en kombinasjon av lufting og injisering av oksygen i vannet, som kalles for oksygenering. Opprinnelig vil vann ha 100 % metning av oksygen. Men etter å ha vært i fisketanken vil vannet ha en lavere metningsgrad, typisk 70 %, og enda lavere i det vannet har passert gjennom biofilteret (Bregnballe, 2010). Under utlufting av gasser som  $CO_2$ , senere beskrevet i avsnittet «Utlufting av gasser», vil det gjennom samme prosess som fjerner gasser fra vannet også tilsettes oksygen fra lufta, så lenge vannet ikke er mettet med oksygen. Denne prosessen vil typisk heve metningen til rundt 90 %, og for noen systemer helt opp til 100 %. Ofte vil man likevel ha en metningsgrad høyere enn 100 % når vannet ankommer fisketanken for å sikre nok oksygen til stabil og rask fiskevekst (Bregnballe, 2010). For å få til dette må rent oksygen tilføres vannet.

Oksygen kan produseres i en oksygengenerator på anlegget eller transporteres til anlegget i flytende form. En måte å tilsette oksygen på er å blande oksygen og vann sammen under press slik at oksygenet tvinges inn i vannet. Oksygen blir ved hjelp av en pumpe satt under press, typisk blir en oksygenkjegle på 1.4 bar dannet. Deretter blir vann under press pumpet inn i kjeglen med oksygen hvor det blandes. Denne prosessen er svært energikrevende. En annen benyttet metode er en såkalt oksygenplattform. Her vil vann helt enkelt pumpes inn i en tank hvor det blandes med oksygen under et trykk på 0.1 bar. Denne metoden får en lavere metningsgraden, med litt over 100 %, sammenlignet med 200-300 % som kan oppnås ved bruk av en oksygenkjegle. Til gjengjeld er det bare litt av det sirkulerende vannet som kan fraktes gjennom en oksygenkjegle, mens alt vannet i sirkulasjonssystemet kan gå gjennom oksygenplattformen (Bregnballe, 2010).

#### Desinfisering

Desinfisering inngår som en del av vannbehandlingsprosessen i RAS-anlegg og brukes til å redusere mengden mikroorganismer i vannet. Desinfisering kan være med på å fjerne opp til 99% av mikroorganismene i vannet. Det er typisk mikroorganismene; bakterier, virus, sopp og parasitter som det er ønskelig å redusere, da de kan føre til sykdom hos fisken (Svendsen, 2019).

Det finnes ulike metoder å desinfisere vann på, avhengig av bruksområde. Tilsetning av kjemiske midler direkte i vannet; typisk klor, ozon og alkohol, (2) eksponering av mye lys (UV stråling) og oppvarming, (3) Mekanisk filtrering som direkte fjerner partiklene som mikroorganismer kan være festet til og (4) elektromagnetisk stråling (Svendsen, 2019). RAS-anlegg bruker vanligvis UV-stråling og/eller ozon som desinfiseringsmetode.

#### UV-stråling

Desinfiseringen ved bruk av UV-stråling foregår ved at lys med bølglengder som ødelegger DNAet til biologiske organismer sendes inn i vannet (Bregnballe, 2010). I RAS-anlegget er det patogener bakterier og encellede organismer man er ute etter å ødelegge. UV-lyset påvirker ikke fisken da det benyttes utenfor fisketanken. UV dosen som benyttes kan beskrives med enheten mikro Watt-sekunder per  $\text{cm}^2$  ( $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ ) (Bregnballe, 2010). For å kontrollere forekomsten av bakterier og virus må vannet behandles med rundt 2000 til 10 000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . Det vil drepe 90 prosent av organismene. Sopp drepes av en dose på 10 000 til 100 000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ , mens små parasitter krever mellom 50 000 og 200 000  $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  (Bregnballe, 2010).

#### Ozon

Ozon er brukt i RAS-anlegg som desinfeksjon eller som et vannforbedringstiltak som øker utfellingen av fine partikler. Behandling med ozon ( $\text{O}_3$ ) er en svært effektiv måte å ødelegge uønsket organisk materiale og biologiske organismer på (Bregnballe, 2010). Kraftig oksidering\* gjør at mikropartikler brytes ned til molekylære strukturer. Disse molekylene vil binde seg til andre molekyler og danne større partikler, som deretter kan fjernes av de ulike filtrene som inngår i RAS-anlegget. Desinfisering med ozon kalles også for vannpolering, da den gjør vannet klarere (Bregnballe, 2010).

\*) Oksidasjon er en kjemisk prosess hvor et eller flere elektroner forskyves eller blir avgitt fra minst et atom som inngår i reaksjonen (Pedersen, 2021).

Bruken av ozon i fiskeoppdrett har blitt kritisert da feil dosering kan forårsake store skader på fisken (Bregnballe, 2010). Ved innvendig oppdrett kan ozon også være farlig for folk hvis de innånder for mye ozon. For å oppnå et trygt og godt resultat er det essensielt med riktig dosering og monitorering av konsentrasjonen, i kombinasjon med god ventilering.

#### Mekanisk filtrering

Et mekanisk filter fanger opp store partikler i en vannstrøm (Svendsen, 2019). Filtrering av utløpsvannet gjennom et mekanisk filter har vist seg å være den beste løsningen for å fjerne organisk avfall fra en fisketank (Bregnballe, 2010). Etter hvert som filteret får en opphoping av partikler, må filteret renses/spyles eller skiftes slik at vanngjennomstrømningen og filtrering ikke stopper opp.

Mekaniske filtre varierer med størrelsen på hullene i filteret, alt ut ifra mengden partikler man ønsker å skille ut. Fordeler ved mekanisk filtrering er at det videre i prosessen vil være mindre belastning fra organiske partikler. Biofiltreringsprosessen som kommer etterpå vil unngå opphoping. Biofilteret vil ikke tette seg like raskt og får da en mer stabil prosess (Bregnballe, 2010).

Et mye brukt mekanisk filter er trommelfilteret. Prosessen i en trommelfiltrering er som følger (Bregnballe, 2010):

1. Vannet filtreres gjennom trommelens filterelementer. Forskjellen i vannivået på innsiden og utsiden av trommelen er det som driver vannet gjennom filterduken.
2. Avfall fester seg på filterduken for deretter å bli løftet ut av vannet på grunn av den roterende bevegelsen til trommelen.
3. Filteret blir spylt med dyser fra utsiden slik at det organiske avfallet løsner fra filteret og blir fanget i en slam-renne.
4. Slammet renner til en pumpekum og pumpes til slambehandling.

#### Biologisk behandling

Selv om mekanisk filtrering fanger opp og fjerner partikler fra vannstrømmene, er de likevel ikke gode nok til å fjerne alt organisk materialet. Avfall fra fisken i form av små partikler, fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) og nitrogen ( $\text{N}_2$ ), klarer å passere gjennom det mekaniske filteret. Nitrogen i form av ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) er giftig for fisken.

Nitrifiseringsprosessen i det biologiske filteret er en biologisk prosess hvor bakterier omdanner ammoniakk til nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), som er harmløst for fisken (Bregnballe, 2010). Nitrifiseringsprosessen krever tilstrekkelig med oksygen og mangel kan føre til dannelse av hydrogensulfid ( $\text{H}_2\text{S}$ ) som også er giftig for fisken.

## Utlufting av gasser

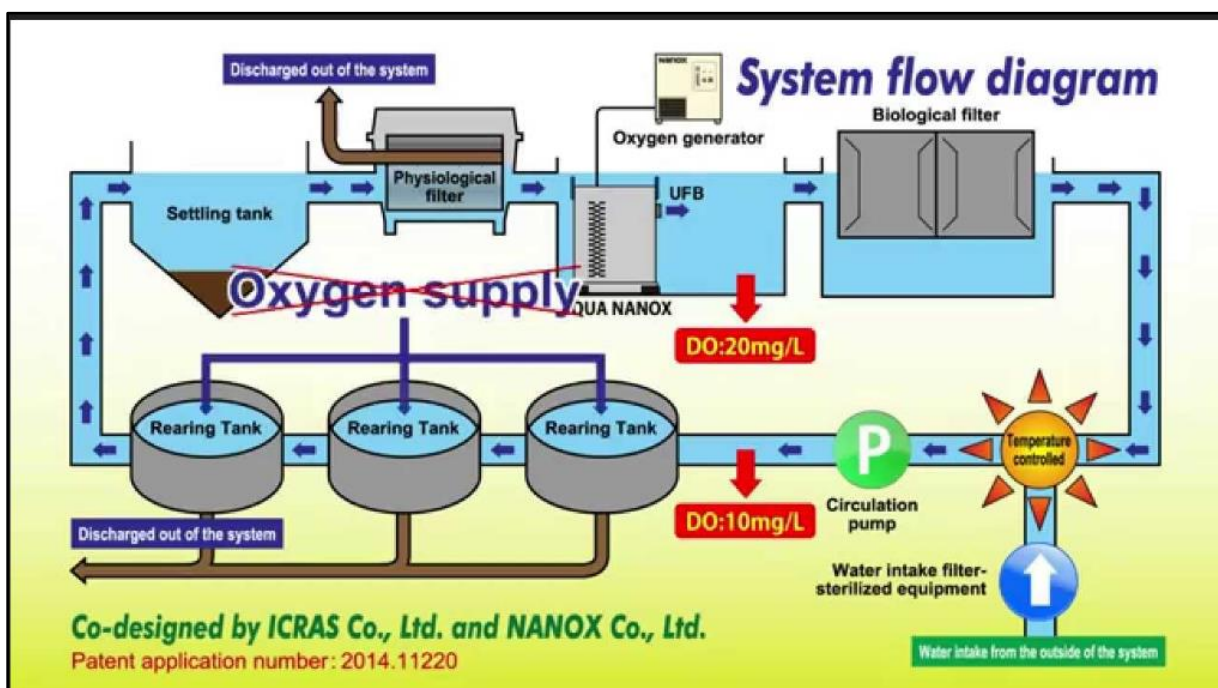
Før vannet renner tilbake til fisketanken må gasser som ved høye nivåer er skadelige for fisken fjernes (Bregnballe, 2010). Dette gjøres vanligvis ved å lufte vannet og på den måten drive gassene ut av vannet. Det er hovedsakelig CO<sub>2</sub> som kommer fra fiskens respirasjon og fra bakterier i det biologiske filteret som må fjernes. Høye nivåer av fritt nitrogen (N<sub>2</sub>) kan også forekomme. Opphoping av disse gassene i vannet vil være svært skadelig for fisken, og kan føre til død. Ved anaerobe forhold vil hydrogen sulfid (H<sub>2</sub>S) kunne dannes, spesielt i saltvann. Denne gassen er svært giftig for fisken, selv ved lave konsentrasjoner, og kan føre til fiskedød. Utlufting av skadelige gasser kan enten bli gjort ved å pumpe luft inn i vannet. Her vil turbulensen som skapes av luftboblene føre gassene ut av vannet. En annen og mer effektiv metode er bruk av degasser (Bregnballe, 2010). En degasser illustrert i Figur 3. fungerer på den måten at vann renner ned gjennom en kolonne som er stabelt med små plastikelementer. Kontakten som oppstår mellom plasten og vannet i degasseren vil skape turbulens og gjøre at gassene i vannet frigjøres (Bregnballe, 2010).

## pH-regulering

I det biologiske filteret vil det oppstå nitrifikasjon (Bregnballe, 2010), som er omdannelse av ammoniakk (NH<sub>3</sub>), ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) og enkle nitrogenforbindelser til nitrater (Bratberg, 2020). Nitratene danner syrer som gjør at pH-verdien i vannet synker. For å opprettholde stabil pH i vannet må en base tilsettes. Natriumhydroksid (NaOH) er mye brukt (Bregnballe, 2010). Et automatisk doseringssystem som reguleres av et pH-meter blir gjerne brukt når NaOH blir benyttet.

## Vanninntak

Inntaksvannet som brukes må være fritt for sykdommer, eventuelt sterilisert før det føres inn i anlegget (Bregnballe, 2010). Bruk av grunnvann fra en brønn eller et borehull er derfor ønskelig sammenlignet med å hente vannet fra for eksempel elv eller sjø (Bregnballe, 2010).



Figur 4. Flytdiagram for et typisk RAS-anlegg (Nanox, 2014, 1:16)

Figur 4 illustrerer et typisk flytdiagram for prosessene i et RAS-anlegg som er beskrevet i avsnittene under «RAS – Resirkulerende akvakultursystemer». Nede til høyre i Figur 4 vises inntak av nytt vann, med påfølgende desinfisering og temperaturkontroll. Videre pumpes vannet inn i fisketankene, og renner videre via en sedimenteringstank, og deretter gjennom et mekanisk filter. Vannet blir så tilsatt oksygen før det går inn i det biologiske filteret, og er klar til gjenbruk.

### **Energikrevende prosesser i RAS-anlegg**

Energibruken og dens relaterte kostnad og miljømessige påvirkning avhenger av type energikilde, hvorvidt det er fornybar energi eller basert på fossile kilder, anleggets lokasjon som da avhenger av områdets energiforsyning, design, og driftsprofil (Badiola, Basurko, Piedrahita, Hundley, & Mendiola, 2018).

Vannbehandlingsløyfen består av flere forskjellige behandlingseenheter, beskrevet under «RAS – Resirkulerende akvakultursystemer», hvor noen av dem krever energi, enten direkte eller indirekte. Pumper krever eksempelvis energi direkte, enten for å løfte vannet opp i karene etter at det ved hjelp av tyngdekraften har rent gjennom behandlingsløyfen, eller for å øke vanntrykket for filtrering, lufting og degassing (Badiola et al., 2018). Biofilteret påvirker indirekte energimengden som kreves ut ifra dets design og/eller driften av det. Eksempelvis vil pumpehøyden og designet til utstyr som inngår i vannsløyfen påvirke pumpehodet og dermed energien som kreves (Badiola et al., 2018).

Temperaturstyring og desinfiseringssenheter vil også kreve energi. For å opprettholde optimal temperatur i fiskekarene vil det kunne kreves oppvarming eller avkjøling av vannet.

### **Miljøavtrykk**

Den norske havbruksnæringens klimaavtrykk omfatter alle utslipp, fra produksjon av fôrråvarer og frem til fisken ligger hos forhandler. Samlet klimaspor for lakseprodukter lå på litt under 8,5 millioner tonn CO<sub>2</sub>e i 2019 (Nistad, Hognes, Jenssen, Winther, Johansen, Hermansen, 2021). Norges direkte klimagassutslipp (utslipp innenfor Norges geografiske grenser) var til sammenligning i 2019 om lag 50,3 millioner tonn CO<sub>2</sub>e (Nistad et al., 2021), og 49,3 millioner tonn CO<sub>2</sub>e i 2020 (Miljødirektoratet, 2021). Her sammenlignes to ulike typer klimaregnskap som ikke direkte kan sammenlignes, men det gir likevel en indikasjon på at klimagassutslippene fra oppdrett av laksefisk er av en betydelig størrelsesorden. Direkte klimagassutslipp fra energibruk i oppdrett av laks og ørret er estimert til 570 000 tonn CO<sub>2</sub>e, eller 697 000 tonn CO<sub>2</sub>e hvis man medregner indirekte utslipp (utslipp fra produksjon av drivstoff, og utslipp fra produksjon av elektrisitet forutsatt nordisk elektrisitetsmiks) (Nistad et al., 2021).

Fôr er innsatsfaktoren i lakseoppdrett med størst innvirkning på klimaet (Hognes, Garrett & SIK, 2014). Ved gjennomføring av et klimaregnskap må man ifølge Hognes et al., (2014) fastsette: 1) Fôrfaktoren, 2) karbonavtrykket til fôret som brukes, og 3) tallfeste forbruket av drivstoff og elektrisitet på oppdrettsanlegget.

## Fôr

I 2016 ble det produsert 1,2 millioner tonn laks, ved bruk av 1,6 millioner tonn fôringredienser (Bellona, 2020). Fôr er den innsatsfaktoren i produksjon av laks som utgjør høyest kost, og er i dag basert på både marine og landbaserte fôringredienser. Fra å bruke hovedsakelig marine ingredienser (rundt 90 % fiskemel- og olje) i 1990, bestod fiskefôret i 2016 av rundt 75 % land- og plantebaserte ingredienser (Bellona, 2020). På en side har dette redusert bruken av begrensede marine kilder, samtidig som en del av miljø- og klimaeffektene har blitt flyttet til andre steder i verdikjeden (Bellona, 2020).

Et fôr inneholder gjerne 50 ingredienser med ulik opprinnelse for å sikre en komplett og balansert ernæring til fisken (Skretting, 2021), hvor hver enkelt ingrediens inngår i en egen produksjonssyklus (Hognes et al., 2014). Fastsettelse av drivhusgassutslippene til hver enkelt ingrediens må derfor inneholde følgende (Hognes et al., 2014):

- Bruken av drivstoff, elektrisitet og gjødsel ved dyrking eller fiskegjødsling av hver ingrediens.
- For ingredienser fra landbruk, må arealendringen forbundet med denne produksjonen inkluderes da den fører til biogene utslipp\*
- Energien som brukes i foredlingen av avlinger og fisk til olje og mel. For disse prosessene er utnyttingsgraden en viktig parameter, da mengden mel og olje man får ut av den enkelte råvare kan variere mye. Da utnyttingsgraden fra de ulike prosessene kan spille en viktig rolle i de endelige utslippsberegningene, er det viktig å undersøke disse nøye.
- Energibruk og utnyttingsgrad ved pelletsfabrikken, hvor mel, olje, bindemidler, mikroingredienser og andre tilsetningsstoffer omdannes til pellets.
- Transport fra havn og jordbruk til mel/olje-fabrikk; til pelletsfabrikk og til slutt til akvakulturanlegget hvor fôret skal benyttes.

Beregning av utslippene til alle ingrediensene i et fôr er svært omfattende, og utslippsfaktoren til fôret som er benyttet i denne oppgaven er derfor innhentet fra fôrprodusenten.

$$\text{Utslippsfaktor}_{\text{fôr}} = \text{Totale klimagassutslipp forbundet med produksjon av fôret} = \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{kg fôr}}$$

\*) Biogene CO<sub>2</sub>-utslipp er det som inngår i det naturlige karbonkretsløpet, altså alle utslipp som stammer fra biomasse som har tatt opp CO<sub>2</sub> gjennom sin levetid «Direkte avskrivning» (Statkraft, u.å) klimagassutslipp.

Ifølge fôrproduzenten Skretting er CO<sub>2</sub>-avtrykket fra produksjonen av deres fiskefôr i 2021 fordelt på følgende måte:

Tabell 2. kg CO<sub>2</sub>e forbundet med produksjonstrinnene til et fiskefôr (M. Martinsen, personlig kommunikasjon, 11.januar 2022)

Produksjon av fôr:	Utslipp (kg CO <sub>2</sub> e/kg fôr)
Inngående logistikk	0,1
Fôringredienser (inkludert arealendring)	2,24
Mølleoperasjoner	0,03
Pakking	0,01
Totalt CO <sub>2</sub> avtrykk (kg CO <sub>2</sub> e/kg fôr) klar til levering	2,37

Siden 2018 har fotavtrykket fra Skretting sitt råvarebruk blitt redusert med 28 % (M. Martinsen, personlig kommunikasjon, 11.januar 2022). Flyfrakt flerdobler klimaavtrykket i alle verdikjeder den inngår i (Bellona, 2020), men ser man bort fra den, utgjør fôret omkring 75 – 83 % av klimagassutslippet til laksen (Bellona, 2020).

#### Biologisk fôrfaktor

Biologisk fôrfaktor (Feed conversion ratio – FCR) er et mål på hvor godt fisken klarer å utnytte fôret, og er forholdet mellom hvor mange kilo fôr som kreves for at fisken skal vokse ett kilo (Misund, 2019). Fôrutnyttelse påvirkes av flere faktorer, blant annet av typen fôr som benyttes (Misund, 2019; Iversen, Hermansen, Nystøyl & Hess, 2017), fiskens helse og størrelse (Misund, 2019; Iversen et al., 2017), som igjen påvirkes av hyppighet knyttet til håndtering av fisken i forbindelse med behandling av lus og sykdommer (Iversen et al., 2017), kjønnsmodning og vanntemperatur (Misund, 2019). Biologisk fôrfaktor vil også kunne påvirkes av størrelsen på smolten som blir satt ut (Iversen et al., 2017). Iversen et al., (2017) begrunner dette med at større smolt vil måtte oppholde seg kortere i sjøen, samtidig som den kan være mer motstandsdyktig mot lus og sykdommer.

#### Økonomisk fôrfaktor

Økonomisk fôrfaktor er kilo fôr som blir benyttet per kilo slakteklar fisk (Misund, 2019). Svinn grunnet dødelighet blir dermed også medregnet i økonomisk fôrfaktor, og den vil derfor være høyere enn den biologiske fôrfaktoren. Det er den økonomiske fôrfaktoren som benyttes i et klimaregnskap (Hognes et al., 2014).

$$A_{FCR} = \frac{\text{kg fôr brukt over tidsperioden } t_f}{\text{kg fisk produsert og levert til slakting i levende vekt over tidsperioden } t_f}$$



## Transport

I 2019 stod transport for rundt 21% av de totale klimagassutslippene til oppdrett av laks og ørret (Nistad et al., 2021), hvor interkontinental eksport med fly (11%) og brønnbåt (5%) stod for de største enkeltbidragene innen denne sektoren. Dette tilsvarer 1 869 340 tonn CO<sub>2</sub>e (Nistad et al., 2021). Nistad et al., (2021) har gitt flere antagelser bak hvert bidrag.

Evaluering av klimagassutslipp fra transport tar for seg hvor mye drivstoff en spesifikk transportmetode forbrenner per kilometer og hvor tung last den transporterer (Hognes et al., 2014). Hvis det benyttes kjøleanretninger i transporten, skal også drivstoff som benyttes for å drive dette, samt kjølemidler som slippes ut, inkluderes i regnskapet (Hognes et al., 2014).

$$T_{drivstoff} = \frac{\text{Liter drivstoff brukt på distansen } k}{\text{tonn med gjennomsnittlig last} + \text{distansen } k} = \frac{l \text{ drivstoff}}{\text{tonn} + km}$$

Ved produksjon og eksport av laks utgjør transport en betydelig del av laksens totale CO<sub>2</sub>e-utslipp. Mye eksporteres til det europeiske markedet på lastebil, men flyfrakt utgjør likevel 51% av de totale transportutslippene (Bellona, 2020). For postsmoltproduksjon i et RAS-anlegg vil transport av fisk inn og ut av anlegget, samt tilførsel av innsatsvarer som fôr og oksygen stå for den største delen av utslippene knyttet til transport (L. Ydstebø, personlig kommunikasjon, 21. mars 2022). Til transport av levende fisk benyttes brønnbåter eller tankbiler (Mattilsynet, 2022). Brønnbåter kan frakte fisken over lengre avstander mellom anlegg eller til slakteriet (Laksefakta, 2021), mens tankbiler i stor grad benyttes ved transport over korte avstander og med mindre biomasse (Mattilsynet, 2022), eksempelvis ved transport av yngel fra et settefiskanlegg til post-smolt- eller matfiskanlegg. I produksjonsfasen på sjøen vil man i tillegg til brønnbåter være avhengig av arbeids- og servicefartøyer av ulike størrelser, og mindre fartøy til personaltransport (Nistad et al., 2021).

## Produksjon

I et RAS-anlegg vil klimaavtrykket fra produksjonsfasen være relatert til bruken av elektrisitet og drivstoff og CO<sub>2</sub>e-utslippet knyttet til bruken av disse, samt avfallsstoffene som slippes ut via overskuddsvannet fra vannbehandlingssløyfen. Settefiskanleggene i Norge bruker nesten utelukkende elektrisitet som energibærer (Nistad et al., 2021), og klimagassutslippene er dermed knyttet til elektrisitetsmiksen som benyttes. Estimert energiforbruk i 2019 var for settefiskanleggene 357 GWh/år (Nistad et al., 2021), som med norsk strømmiks tilsvarer 39 270 tonn CO<sub>2</sub>e i utslipp og ved bruk av europeisk strømmiks 98 175 tonn CO<sub>2</sub>e. For fôrflåten var det totale energiforbruket for 2019 estimert til 261 GWh/år, fordelt på 75 GWh/år elektrisitet og 186 GWh/år diesel/marine gassolje (MGO) (Nistad et al., 2021).

## **Arealendring**

Klimapåvirkningen knyttet til arealendring har de siste årene fått økt oppmerksomhet, også når man snakker om utbygging av store infrastrukturer som boligområder og industri (Winther, Hognes, Jafarzadeh, & Ziegler, 2020). En arealendring fra «natur» til industrialisert grunn, har en klimapåvirkning på 48 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> (Hilmarsen et al., 2018), hvor det ligger antagelser om fjerning av 1 meter mineraljord per kvadratmeter som bygges ut. Denne faktoren vil benyttes i denne oppgaven, og avskrives over anleggets levetid.

### **Arealbehov for landbasert oppdrett (RAS-anlegg) på land**

Arealbehovet for landbasert oppdrett av laks varierer avhengig av hvilken produksjonsteknologi som benyttes. Bruk av RAS-anlegg vil beslaglegge større landareal sammenlignet med et gjennomstrømningsanlegg (Hilmarsen et al., 2018). Forskjellen er i hovedsak arealbehov til vannbehandlingen i et RAS-anlegg og er da avhengig av hvilken type vannbehandling man har (Hilmarsen et al., 2018).

Hilmarsen et al., (2018) har estimert arealbehovet for RAS-anlegg med årlig produksjonskapasitet på 2000, 5000, og 10 000 tonn. Dette er beregninger for produksjon av spiseklar laks på land. Med utgangspunkt i et arealbehov på 6 m<sup>2</sup> per tonn fisk produsert, blir netto bygningsmasse henholdsvis 12 000 m<sup>2</sup>, 30 000 m<sup>2</sup>, og 60 000 m<sup>2</sup>. For å beregne brutto arealbehov per anlegg, bygningsmasse inkludert areal til transport, lager mm. er det benyttet en tilleggsfaktor på 2 for et anlegg på 2000 tonn, og 1,5 for anlegg på 5 000- og 10 000 tonn (lavere tilleggsfaktor grunnet antakelse om skalaeffekt). Arealbehov for hele bygningsmassen vil da ligge på 24 000 m<sup>2</sup>, 45 000 m<sup>2</sup>, og 90 000 m<sup>2</sup>. Det poengteres at beregningene er basert på tall fra tradisjonelle RAS-anlegg, og at med ny teknologi kan oppnå en betydelig reduksjon i arealbehov.

### **Arealbehov for landbasert oppdrett (RAS-anlegg) i sjøen**

Tradisjonelle åpne merdbaserte oppdrettsanlegg i sjøen har en anbefalt minsteavstand på 2,5 km til andre matfiskanlegg hvis MTB er under 3600 tonn (Mattilsynet 2016). For anlegg med MTB større enn 3600 tonn er anbefalt minsteavstand 5 km (Mattilsynet 2016). Minsteavstanden mellom lokalitetene skyldes smittehygieniske årsaker. Hilmarsen et al., (2018) har i sine beregninger antatt samme regler for plassering av anlegg på land når det gjelder avstand mellom inntaksledning/avløpsledning og andre akvakulturanlegg. Resipientens egenskaper må også vurderes ved plassering av landbaserte anlegg (Hilmarsen et al., 2018). Hilmarsen et al., (2018) har ut ifra ulike antagelser beregnet at hvert landbaserte anlegg vil kreve et smittehygienisk sjøareal på 32,6 km<sup>2</sup>. Dette er da kun et smittehygienisk skille mellom lokaliteter, og vil ikke påvirke annen aktivitet på sjøen, eksempelvis ferdse, slik som sjøbasert oppdrett gjør.

## **Miljøpåvirkningen til RAS-anlegg og andre akvakulturteknologier**

Philis et al., (2019) har analysert litteratur som tar for seg 24 LCA-analyser for produksjon av laks og ørret for fire ulike produksjonstyper: 1. lukket sjøbasert, 2. åpent landbasert (FTS), 3. åpent sjøbasert, og 4. lukket landbasert (RAS). Sammenligningen av produksjonstypene er basert på LCA-studier som opererer med

produksjon på 1 tonn levende fisk og tar for seg fire kategorier: Globalt oppvarmingspotensial (GWP), forsurningspotensial (AP), eutrofieringspotensial (EP), og kumulativ energi behov (CED). Philis et al., (2019) viser til at lukket sjøbasert anlegg har det laveste utslippet med et gjennomsnitt på 2404 kg CO<sub>2</sub>e per tonn levende laks, etterfulgt av åpent landbasert med et gjennomsnittlig utslipp på 2613 kg CO<sub>2</sub>e, åpent sjøbasert med 2933 kg CO<sub>2</sub>e -e, og lukket landbasert med 6414 kg CO<sub>2</sub>e. Liu et al., (2016) har sammenlignet RAS med åpne merder i sjøen, og kommet frem til GWP på henholdsvis 3,39 og 3,73 kg CO<sub>2</sub>-e/kg levende laks, hvis man antar at elektrisitetsmiksen som brukes i RAS-anlegget hovedsakelig stammer fra vannkraft. Hvis man benytter den gjennomsnittlige amerikanske elektrisitetsmiksen som er dominert av fossile brensler, vil karbonavtrykket til RAS-anlegget ligge på 7,01 kg CO<sub>2</sub>e/kg levende laks (Liu et al., 2016). Også for AP leverer lukket landbasert dårligst, med gjennomsnittlig utslipp på 26,7 kg SO<sub>2</sub>-e (Philis et al., 2019), hvorpå lukket sjøbasert var best med 15,1 kg SO<sub>2</sub>-e i gjennomsnitt. Lukkede systemer leverer best når det kommer til EP, med gjennomsnittlige utslipp på 17,3 kg PO<sub>4</sub>-e (RAS) og 26,7 kg PO<sub>4</sub>-e (lukket sjøbasert), hvorpå åpne systemer har et utslipp på 47,3 kg PO<sub>4</sub>-e (sjøbasert) og 50,6 kg PO<sub>4</sub>-e (FTS) (Philis et al., 2019). For CED, viser Philis et al., (2019) til at RAS-anlegg har det høyeste energiforbruket med et gjennomsnitt på 133 200 MJ-e. Samtidig er det også RAS-anleggene som har størst variasjon i dataene, noe som indikerer at det er et forbedringspotensial (Philis et al., 2019). Sjøbaserte anlegg har til sammenligning 37 913 MJ-e (åpent) og 54 620 MJ-e (lukket) som gjennomsnittsverdier (Philis et al., 2019). Philis et al., (2019) viser til mangelfull rapportering av sykdom- og lusebehandling i åpne merder i sjøen, noe som ved inkludering vil ha stor innvirkning på den totale miljøpåvirkningen i en LCA-analyse.

**Tabell 3. Miljøpåvirkning/utslipp per tonn levende laks av Philis et al., (2019)**

Anleggstype	CO <sub>2</sub> e (kg)	SO <sub>2</sub> (kg)	PO <sub>4</sub> (kg)	MJ
Lukket sjøbasert	2440	15,1	26,7	54620
Åpent landbasert (FTS)	2613	16,3	50,6	75943
Åpent sjøbasert	2933	18,7	47,3	37913
Lukket landbasert (RAS)	6414	26,7	17,3	133200

## Økonomiske forhold

### CAPEX vs. OPEX

En bedrift opererer med ulike typer utgifter – fra lånekostnader på en fabrikk eller kontorlokaler, til utgifter ved kjøp av råmaterialer til produksjonen eller lønn til ansatte. For å forenkle disse utgiftene er det vanlig å kategorisere dem. Kapitalinvesteringer (Capital Expenditures), heretter CAPEX, og driftskostnader (Operating Expenses), heretter OPEX, er to kategorier som er mye i bruk (Ross, 2021).

CAPEX er langsiktige investeringer som er tenkt å forbedre bedriftens prestasjonsevne i fremtiden. Slike investeringer er typisk eiendom, fabrikk eller utstyr. Hvis et oppdrettsselskap går til innkjøp av en ny fôrflåte vil dette defineres som CAPEX. CAPEX kan ikke trekkes fra inntektene til en bedrift for å senke den skattepliktige inntekten (Ross, 2021).

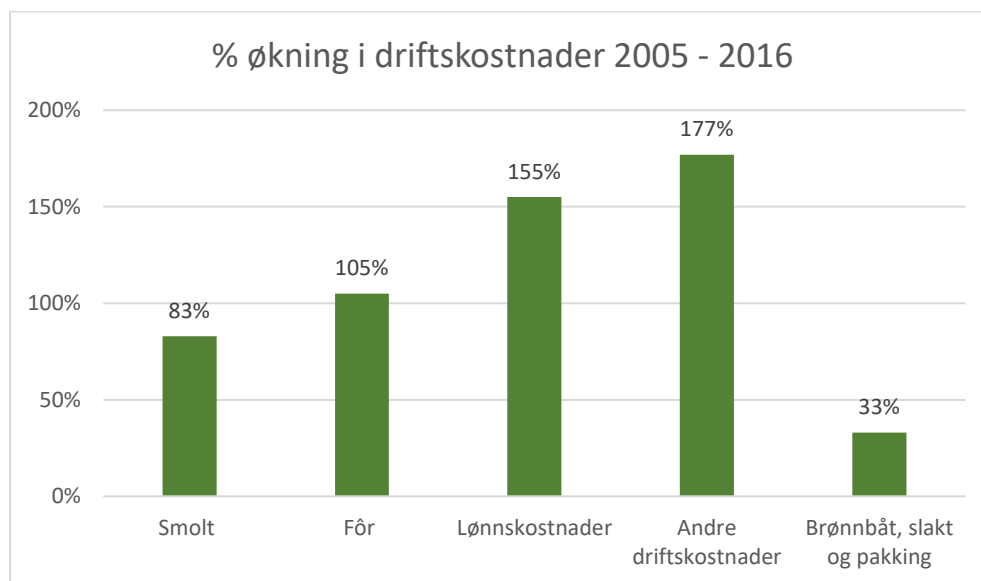
OPEX definerer utgiftene som kommer fra den daglige driften av en bedrift, eksempelvis renter og utbytte, lønn til ansatte, eiendomsskatt og bedriftsreiser. OPEX rapporteres i resultatregnskapet og gir fradrag på skatten det året utgiften påløp (Ross, 2021).

#### CAPEX: Investering i RAS-anlegg

Investeringen i et RAS-anlegg øker fra NOK 150 millioner for et anlegg med produksjonskapasitet på 1,200 tonn til NOK 580 millioner for et RAS-anlegg med kapasitet på 6,000 tonn (Bjørndal & Tusvik, 2019). Dette er ikke inkludert kostnaden knyttet til kjøp av landområdet som anlegget skal plasseres på. Per kilogram produksjonskapasitet blir dette NOK 125/kg og NOK 97/kg for en produksjonskapasitet henholdsvis på 1,200 tonn og 6,000 tonn (Bjørndal & Tusvik, 2019). Disse investeringskostnadene bygger på antagelser om at RAS-anlegget blir bygget med automatisk kontrollsystem for pumper, mekanisk filter etc., og rensesystemer for biofilter, temperaturkontroll og saltinnhold. Det kan være opp mot 20% forskjell i pris på det mest avanserte og det minst avanserte utstyret (Bjørndal & Tusvik, 2019). Prosesser som ikke inngår i vannbehandlingen, slik som fôring, behandling av slammet, og flytting og transport av fisken kommer i tillegg til de nevnte investeringskostnadene.

#### OPEX: Drift av RAS-anlegg

For oppdrettsnæringen generelt var produksjonskostnadene dominert av fôrkostnaden, som i 2019 utgjorde 41% av den samlede produksjonskostnaden på rundt 38 kr/kg rundvekt (Nistad et al., 2021). Kostnadsanalyse utført av Bjørndal og Tusvik (2019) viser til en produksjonskostnad på 40,90 kr/kg levende fisk (43 kr/kg rundvekt\*) for produksjon i RAS-anlegg. Her utgjør fôret 39% av produksjonskostnaden. (Liu et al., 2016) kom i sine kostnadsanalyser frem til at fôr stod for 41% av driftskostnadene for åpne sjøanlegg og 34% for RAS-anlegg. Fôrkostnadene har siden 2005, økt med 105% frem til 2016 (Iversen et al., 2017). Figur 5 viser endringer i noen av driftskostnadene for oppdrettsnæringen.



Figur 5. % økning i driftskostnader 2005 – 2016 (Iversen et al., 2017)

\*)Rundvekt er vekten av fisken før den blir sløyd

### Ikke-kvotepliktige utslipp

Klimagassutslipp som ikke omfattes av EUs klimavotesystem (EU ETS) går under ikke-kvotepliktige utslipp, og innebærer jordbruk, transport, oppvarming og fluorholdige utslipp fra produkter, samt noen utslipp fra industri og petroleum (Miljødirektoratet, u.å). For kvotepliktige utslipp var CO<sub>2</sub>-avgift i 2021 på 591 kr per tonn CO<sub>2</sub> (Meld. St.13, 2020-2021), samtidig som det er vedtatt å øke satsen for 2022 til 766 kr (Regjeringen, 2021), og opp til 2000 kr per tonn CO<sub>2</sub> i 2030 (Regjeringen, 2021). Andre skatter og avgifter skal senkes for grupper som blir berørt av den økte CO<sub>2</sub>-avgiften, slik at det ifølge regjeringens målsetninger skal bli «mer lønnsomt å velge miljøvennlig» (Meld. St.13, 2020-2021). Regjeringen vil også ha en gradvis utfasing frem mot 2030 for bruken av fossile brensel som energikilde i industrien utenfor kvotesystemet, hvor økningen av prisen på CO<sub>2</sub>-kvoten sees på som et viktig virkemiddel, samtidig som forbud mot bruk kan bli iverksatt ved behov (Meld. St.13, 2020-2021).

De fleste klimautslippene til den norske oppdrettsnæringen er i dag ikke-kvotepliktige utslipp (Nistad et al., 2021), men som Nistad et al., (2021) poengterer kan sektorene som er kvotepliktige endres, og økt sats på CO<sub>2</sub>-kvoter kan øke kraftprisene, da kraftproduksjon er kvotepliktig. Der havbruksnæringen er knyttet til kvotepliktige sektorer, kan kostnadene forbundet med økte CO<sub>2</sub>-avgifter føre til økte utgifter for oppdrettsnæring en (Nistad et al., 2021).

### Hva er en Livssyklusanalyse?

Livssyklusanalyse (LCA) er en strukturell, oversiktlig og sammenlignbar analysemetode som er internasjonal standardisert for å identifisere og kvantifisere miljøpåvirkninger og ressursforbruk i hele verdikjeden for et produkt eller en tjeneste. (JRC 2010)



Figur 6. Klimaavtrykket i lakseoppdrett

I tillegg til å inkludere alle prosessene i livsløpet til et produkt, tas også alle prosessene med som understøtter livsløpet til produktet. Eksempler på dette er: utvinning av naturressurser, produksjon og distribusjon av råvarer, og produksjon og distribusjon av energi.

LCA dekker med dette vekselvirkninger i produksjonssystem og kan kvantifisere netto miljøgevinst når man forandrer teknologien i et ledd av verdikjeden og resten av systemet har tilpasset seg denne forandringen (Standard-Norge, 2006a, 2006b).

Eksempel på spørsmål man vil kunne stille seg ved å forandre på teknologien i et ledd:

- Hva er netto klimagevinst ved å gå fra dieselaggregat til elektrisitet når klimapåvirkninger fra strømproduksjon og distribusjon er tatt med?
- Hva blir netto miljøgevinst av å gå over til landbaserte oppdrettssystem når vi tar hensyn til kapitalinvesteringer som da må til og den økte energibruken?

LCA tar normalt for seg et komplimenterende utvalg av miljøpåvirkninger. Slik at en LCA kan avsløre hvordan vi ofte reduserer en miljøpåvirkning på bekostning av en annen.

Eksempel: Bruk av kobbernett til nøter. Hvilke nye miljøpåvirkninger kommer på grunn av utvinningen av det kobberet som skal til for å lage disse nøtene? Redusert begroing og bruk av kjemikaler og energi på bekostning av utvinning av et metall som er stadig mer begrenset og ressurskrevende å utvinne (Skontorp, 2016)

I denne oppgaven er LCA brukt for å identifisere prosessene i verdikjeden for lakseoppdrett med størst miljøpåvirkning. Per dags dato er LCA en av de ledende metodene for å legge til rette for mer miljøvennlige beslutninger.

#### Standarder for LCA

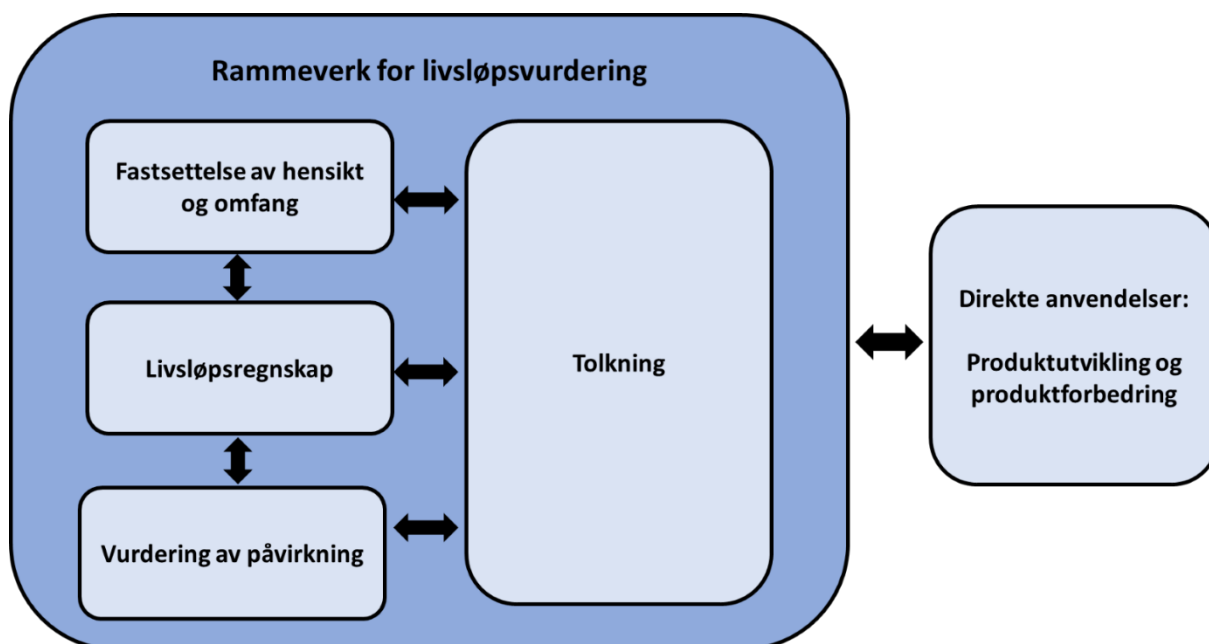
Livssyklusanalysens metode er basert på standardene ISO 14044 og ISO 14044 (Standard-Norge, 2006a, 2006b).

Standarden ISO 14044 beskriver retningslinjer og krav knyttet til utførelse av LCA. Begge standardene ISO 14044 og ISO 14040 danner grunnlaget for andre standarder som blant annet ISO 14025 og ISO 21930 – som videre er standarder knyttet til miljødeklarasjon (EPD) og produktkategoriregler (PCR) (Nguyen et al., 2021).

Standarden ISO 14025 - Miljødeklarasjon type III fastsetter prinsipper og spesifiserer prosedyrer som utarbeider et program for miljødeklarasjon type III, hvor den gir kvantifisert miljødata ved hjelp av forhåndsbestemte parametere og annen miljøinformasjon (Nguyen et al., 2021).

#### Rammeverk

Rammeverket innebærer at metoden skal kunne spore eller identifisere ressurser i form av energi som utvinnes fra naturen og emisjoner som slippes ut i naturen for et bestemt produkt eller prosess som skal vurderes (Nguyen et al., 2021). Figur 7 viser til de fire punktene som danner rammeverket for metoden til å gjennomføre en LCA (Standard-Norge, 2006a, 2006b).



Figur 7. Rammeverk for livsløpsvurdering (Nguyen et al., 2021)

#### Utslippsfaktor

Når alle innsatsfaktorene som kreves ved produksjon av et produkt er kvantifisert, slik som elektrisitet, drivstoff og materialbruk, må disse multipliseres med relevante utslippsfaktorer som inkluderer klimaavtrykket fra produksjonen av innsatsfaktoren, distribueringen av innsatsfaktoren, og det direkte utslippet fra bruken av innsatsfaktoren (Hognes et al., 2014). Da får man et komplett klimagassavtrykk til innsatsvarene fra start til levering.

## Empirisk modell for beregning av energibruk og CO<sub>2</sub>e-utslipp ved landbaserte RAS-anlegg

I dette kapitlet vil metoden som er benyttet bli presentert for å belyse problemstillingen i oppgaven. I det foregående har det blitt foretatt en gjennomgang av relevant litteratur innen bærekraft og klima, produksjon av post-smolt i RAS-anlegg og driverne for endring i den tradisjonelle lakseoppdretten, energibruk og CO<sub>2</sub>e-utslipp relatert til dette, og de økonomiske forholdene knyttet til bygging og drift av et RAS-anlegg.

I den empiriske modellen er det tatt i bruk data fra Tytlandsvik Aqua (TA), som produserer post-smolt i RAS-anlegg. Dette har vært informasjon knyttet til produksjon av post-smolt og energiforbruket ved bygging og drift av anlegget. Ved hjelp av dataene er det beregnet gjennomsnittlig energiforbruk og CO<sub>2</sub>e-utslipp per kg post-smolt produsert for 2021. Dataene har også gitt indikasjon på gjennomsnittlig vekstrate og økonomisk førfaktor i anlegget. Ved bruk av dataene og de resultatene det har gitt, er det utarbeidet en Excel-modell som kan se på fremtidig energiforbruk og CO<sub>2</sub>e -utslipp ved produksjon av post-smolt i et RAS-anlegg.

Som nevnt i kapitlet «Drivhuseffekten» har klimagasser ulik oppvarmingseffekt og ulik levetid i atmosfæren.

For å kunne sammenligne klimagassene konverterer man alle gassene om til CO<sub>2</sub>-verdier, også kalt CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Dette gjøres ved å benytte verdiene for GWP som omregningsfaktor. Ved å regne om til samme enhet, CO<sub>2</sub>e, kan man gjøre direkte sammenligninger av utslipp, selv om man har å gjøre med forskjellige typer klimagasser (Olerud & Lahn, 2020). Denne metoden for utregning av klimagassutslipp er benyttet i denne oppgaven.

Formel – CO<sub>2</sub>e:

$$\text{tonn } CO_2e = \text{tonn } CO_2 * GWP_{(100,CO_2)} + \text{tonn } CH_4 * GWP_{(100,CH_4)} + \text{tonn } N_2O * GWP_{(100,N_2O)}$$

Regneeksempel:

Innenriks sjøfart og fiske i Norge hadde i 2020 et utslipp på 3,6 millioner tonn karbondioksid (CO<sub>2</sub>), 3400 tonn metan (CH<sub>4</sub>), og 100 tonn lystgass (N<sub>2</sub>O) (SSB, 2021). Dette regnes om til CO<sub>2</sub>e på følgende måte:

Utregning:

$$\text{tonn } CO_2e = 3\,600\,000 \text{ tonn} * 1 + 3400 \text{ tonn} * 28 + 100 \text{ tonn} * 273 = 3\,722\,500 \text{ tonn}$$

Smolt produksjon

Evaluering av smoltproduksjon har mange likhetstrekk med produksjon av laks til matfisk. Begge krever kvantifisering av førfaktor, karbonavtrykket til føret og bruken av drivstoff og elektrisitet (Hognes et al., 2014). En viktig forskjell mellom produksjonen av smolt og matfisk er det potensielt høye elektrisitetsforbruket ved behandling- og sirkulasjon av vann i smoltanleggene (Hognes et al., 2014). Når man evaluerer miljøpåvirkningen til smoltproduksjon er det nødvendig å tallfeste hvor mange kilo smolt som kreves for å produsere ett kilo slakteklar laks (Hognes et al., 2014). For å sikre at tap i produksjonen blir inkludert, sammenligner man antall smolt som blir satt ut i sjøen med massen fisk som leveres til slakteriet (Hognes et al., 2014).

$$A_{smolt} = \frac{\text{kg smolt sluppet ut i sjøen}}{\text{kg fisk produsert fra massen av smolt}}$$

Denne oppgaven ser på energiforbruket og CO<sub>2</sub>e-utslippene forbundet med produksjon av post-smolt i et RAS-anlegg, og tar ikke hensyn til smolt som dør når den er fraktet ut til merder i sjøen, slik som Hognes et al., (2014) foreslår. Det er ikke funnet litteratur som viser til forskning på dødsraten for tradisjonell smolt vs. post-smolt i åpne merder, men Hilmarsen et al., (2018) og Iversen et al., (2018) viser til hypoteser om bedre overlevelsessevne for post-smolt. For å kunne sammenligne energiforbruk og CO<sub>2</sub>e -utslipp med andre studier, har vi derfor valgt å benytte funksjonell enhet (FE) som 1 kg levende fisk produsert.

For å kunne evaluere den totale innvirkningen post-smolt produksjon vil ha på det totale klimautslippet til lakseoppdrett, må man kunne sammenligne overlevelsesevnen til tradisjonell smolt og post-smolt i åpne merder i sjøen.



## Utslippsfaktorer & antagelser

Bruk av strøm har ingen direkte utslipp, men strøm produseres med ulike energikilder, og de forskjellige energikildene vil ha ulik klimapåvirkning (NVE, 2020). Det er ikke mulig å spore hvor strømmen kommer fra, og CO<sub>2</sub>e-utslippene må derfor beregnes. Klimadeklarasjon av fysisk levert strøm er altså en forenkling av virkeligheten, som baserer seg på kunnskap om sammensetningen av strømproduksjonen i Norge og i de landene Norge importerer strøm fra. Utslippsfaktoren for strøm benyttet i denne oppgaven er hentet fra NVE, og baserer seg på standardiserte faktorer for CO<sub>2</sub>e-utslipp fra ulike kraftproduksjonsteknologier. Eksempelvis har gass en utslippsfaktor på 0,364 kg CO<sub>2</sub>e /kWh, mens kull har 1 kg CO<sub>2</sub>e /kWh (NVE, 2020). Fornybar energi som vann og vind har null CO<sub>2</sub>e-utslipp forbundet med selve produksjonen.

Tabell 4. Utslippsfaktor og forbruk - Diesel (Terjesen, 2017; Thompson, 2020; SSB,2016)

Diesel	CO <sub>2</sub> e -utslipp	Enhet
Forbrenning	2,68	kg/l
Forbrenning + produksjon	3,24	kg/l
Forbruk	0,35	l/km

Tabell 5. Utslippsfaktor – Strøm (NVE, 2020; SSB, 2016; European Environmental Agency, 2021)

Elektrisitet kilde	CO <sub>2</sub> e -utslipp	Enhet
Norsk miks 2021	0,11	kg/kWh
EU miks 2019	0,275	kg/kWh
Forbruk	2	kWh/km

Tabell 6 Utslippsfaktor – Materiell (EPD Norge, 2021; EPD Norge, 2020; Solli C, u.å)

Materiell	CO <sub>2</sub> e utslipp ved produksjon	Enhet
Betong	2,83	Kg/m <sup>3</sup>
Glassfiber	1,5	Kg/kg
Stål	2,83	Kg/kg
PE	1,93	Kg/kg
Paroc (Steinull)	0,67	Kg/m <sup>3</sup>

Tabell 7. Omregningsfaktor - Energi

Energi		Enhet
Energi i Diesel	0,036204	GJ/liter
Energi i Elektrisitet	0,036	GJ/kWh

## Modell

Dataene i modellen er i hovedsak innsamlet fra TA og delt inn i 4 kategorier:

1. Transport – inkluderer blant annet transport av forbruksmaterialer, fisk og avfall (slam) inn og ut av anlegget.
2. Energikrevende prosesser i RAS-anlegget – som blant annet inkluderer pumping, lufting og rensing av vann i RAS-anlegget.
3. Produksjon – inkluderer blant annet en oversikt over biomasse i anlegget forbruk og forbruk av fôr.
4. Bygg – kartlegging av miljø- og andre kostnader knyttet til bygging av anlegget.

Dette har blitt plassert i regneark ved bruk av Excel, hvor formålet med innsamlingen har vært å kartlegge energiforbruket og klimagassutslippene forbundet med de fire ovennevnte kategoriene. I tillegg er investeringskostnaden forbundet med anlegget plassert i filen «Budsjett». Modellene skiller mellom faktiske tall, hovedsakelig fra 2021, og «prognose». «Bygging» og «Budsjett» inneholder informasjon om byggeprosessen fra oppstart i 2017, og frem til ferdigstillingen av 3 haller i 2020, i tillegg til forventede investeringer, materialbruk og arealendring for videre utbygging av anlegget (3 nye haller, et renseanlegg, et lagerbygg og fjerde etasje-administrasjonsbygg) frem mot 2027. Ved hjelp av faktiske tall og antagelser er det laget en «Prognose» for Transport, Energikrevende prosesser i TA, og Produksjon. Alle modellene følger samme tidslinje, med månedlig oppdeling horisontalt.

### Transport

Regnearket «Transport» er delt inn i 5 kategorier – Fôr, oksygen, smolt, post-smolt og slam. Her er det antatt individuell lastekapasitet for lastebilene som frakter fôr, oksygen, smolt og slam (L. Ydstebø, personlig kommunikasjon, 17. februar 2022). Det samme gjelder for brønnbåten som benyttes ved frakt av post-smolt. Det finnes også andre varer som fraktes inn til Tytlandsvik, men ut ifra samtaler gjort med TA er det disse 5 kategoriene som står for det største bidraget i den daglige driften. Første del av transport-modellen bygger på historiske tall for mengden innsatsfaktorer som er fraktet inn til anlegget i 2021, mens det for antall turer er en kombinasjon av antagelser og historiske tall. Dette er tydeliggjort i modellen. I «prognosen» er disse dataene benyttet til å foreta antagelser for transport i fremtiden.

Transport	År	2021																							
		Januar		Februar		Mars		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Desember	
		Måned	Antall dager per måned	31 jan. 21	28 feb. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	
Fiskefôr	kg			177 549	229 655	175 942	39 896	143 985	364 952	339 428	167 575	258 787	363 232	171 685	108 940										
Smolt	kg			-	-	-	208 969	79 879	11 984	90 082	90 590	-	64 741	-	286 908										
Oksygen	kg			62 162	125 314	104 718	46 211	95 642	139 213	178 443	145 349	85 480	105 739	133 975	87 232										
Post smolt	kg			-	-	886 585	206 963	-	-	497 072	591 684	689 549	-	397 820	252 520										
Lastekapasitet																									
Fiskefôr	kg			30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000										
Smolt	kg			30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000										
Oksygen	kg			30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000										
Post smolt	kg			28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000	28 000 000										
Distanse med lastebil																									
Fiskefôr	km			200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200										
Smolt	km			173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173										
Oksygen	km			200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200										
Post smolt	km			200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200										
Total avstand																									
Fiskefôr	km			1 184	1 531	1 173	266	960	2 433	2 263	1 117	1 725	2 422	1 145	726										
Smolt	km			-	-	-	1 207	462	69	520	523	-	374	-	1 658										
Oksygen	km			800	1 400	1 200	1 000	2 200	2 400	2 600	1 800	1 000	1 800	2 200	600										
Post smolt	km			-	-	200	200	-	-	200	200	200	-	200	200										

Figur 8. Utklipp 1 fra modellen: Transport

I modellen kan man velge hvilken %-grad av diesel og elektrisitet man vil benytte som energikilde. Foreløpig fraktes alle råvarer med dieseldrevne lastebiler, men for å kunne modellere med et eventuelt skifte av energikilde er dette inkludert i modellen.

Transport	År Måned Antall dager per måned	2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021		
		Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember					
		31 jan. 21	28 feb. 21	31 mar. 21	30 apr. 21	31 mar. 21	30 jun. 21	31 jul. 21	31 mar. 21	30 mar. 21	31 mar. 21	30 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21	31 mar. 21
Fordeling Diesel/Elektrisitet		DIESEL																
Fiskefôr	%	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	
Smolt	%	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	
Oksygen	%	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	
Post smolt	%	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	
Fordeling Diesel/Elektrisitet		ELEKTRISITET																
Fiskefôr	%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
Smolt	%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
Oksygen	%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
Post smolt	%	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	
Avstand med Diesel																		
Fiskefôr	km	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	1184	
Smolt	km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oksygen	km	800	1400	1200	1000	2200	2400	2600	1800	1000	1800	2200	600	-	-	-	-	
Post smolt	km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Avstand med Elektrisitet																		
Fiskefôr	km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Smolt	km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Oksygen	km	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Figur 9. Utklipp 2 fra modellen: Transport

For frakt av en råvare med lastebil, regner vi avstand som tur/retur, mens det for brønnbåt antas én vei (antar at brønnbåten koordinerer andre oppdrag på returen). Avstandene er estimater ved bruk av Google Maps.

Tabell 8. Frakt av smolt til TA

Smolt	Transportetappe	Avstand én vei		Avstand tur-retur	
67 %	Fister - TA	30	km	60	km
33 %	Bømlø - TA	200	km	400	km

Tabell 9. Frakt av fôr

Fôr	Transportetappe	Avstand én vei		Avstand tur-retur	
	Skretting (STVG) - TA	100	km	200	km

Tabell 10. Frakt av oksygen

Oksygen	Transportetappe	Avstand én vei		Avstand tur-retur	
	Stavanger - TA	100	km	200	km

Post-smolt fra TA til anlegg i Rogaland og Hardanger. 50% av post-smolten leveres til Grieg Seafood Anlegg og 50% av post-smolten leveres til Bremnes Anlegg.

Tabell 11. Transport av Post-smolt (google maps)

Brønnbåt	Transportetappe	Avstand én vei		Avstand tur-retur	
50 %	Fra TA - Grieg Anlegg	50	km	100	km
	Kvitsøy - TA	50	km	100	km
	Bokn (Boknafjorden) - TA	50	km	100	km
	Rennaren (Rennesøy) - TA	50	km	100	km
	Teistholmen (Bokn) - TA	50	km	100	km
50 %	Fra TA - Bremnes Anlegg	Avstand én vei		Avstand tur-retur	
25 %	Nord-Rogaland (Stord/Bømlø)	150	km	300	km
25 %	Hardanger (Sør-Hordaland)	200	km	400	km

Tabell 12. Transport av slam

Slam	Transportetappe	Avstand én vei		Avstand tur-retur	
	TA - IVAR (Mekjarvik)	100	km	200	km

Det har ikke vært mulig å innhente informasjon om energiforbruket til en lastebil hvor vekten på lasten som transporteres har innvirkning på dieselforbruket. Det er derfor blitt benyttet dieselforbruk knyttet til gjennomsnittsfart, og det tas ikke hensyn til et eventuelt endret dieselforbruk ved ulik last (SSB, 2016).

Transport	År	Måned	2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021	
			Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember				
			31	28	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
		Antall dager per måned	jan. 21	feb. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21
Total energi fra dieselforbruket																		
Fiskefôr	GJ		15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Smolt	GJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oksygen	GJ		10,1	17,7	15,2	12,7	27,9	30,4	32,9	22,8	12,7	22,8	27,9	7,6	-	-	-	-
Post smolt	GJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total energi i strømforbruket																		
Fiskefôr	GJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Smolt	GJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oksygen	GJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Post smolt	GJ		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total energiforbruk																		
Fiskefôr	GJ	SUM (Diesel + EL)	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Smolt	GJ	SUM (Diesel + EL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oksygen	GJ	SUM (Diesel + EL)	10,1	17,7	15,2	12,7	27,9	30,4	32,9	22,8	12,7	22,8	27,9	7,6	-	-	-	-
Post smolt	GJ	SUM (Diesel + EL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figur 10. Utklipp 3 fra modellen: Transport

Da strømmiks benyttet har mye å si for CO<sub>2</sub>e-utslippene ved produksjonen av strømmen, er det under «Utslippsfaktorer» lagt inn en valgbar rad, med Norsk- og Europeisk strømmiks, og samsvarende utslippsfaktor.

Strømmiks benyttet har mye å si for CO<sub>2</sub>e-utslippene ved produksjonen av strømmen. Det er derfor valgt å vurdere flere alternative strømkilder; Norsk strømmiks og Europeisk strømmiks og deres utslippsfaktor. Det er antatt samme utslippsfaktorer for elektrisitet i alle modellene.

Transport	År	Måned	2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021	
			Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember				
			31	28	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
		Antall dager per måned	jan. 21	feb. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21	mar. 21
Utslipp CO <sub>2</sub> fra Diesel																		
Fiskefôr	kg	CO <sub>2</sub> utslipp	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8
Smolt	kg	CO <sub>2</sub> utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oksygen	kg	CO <sub>2</sub> utslipp	743,2	1 300,7	1 114,8	929,0	2 043,9	2 229,7	2 415,5	1 672,3	929,0	1 672,3	2 043,9	557,4	-	-	-	-
Post smolt	kg	CO <sub>2</sub> utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CO <sub>2</sub> utslipp Elektrisitet (EU miks)																		
Fiskefôr	kg	CO <sub>2</sub> utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Smolt	kg	CO <sub>2</sub> utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oksygen	kg	CO <sub>2</sub> utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Post smolt	kg	CO <sub>2</sub> utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total CO <sub>2</sub> utslipp																		
Fiskefôr	kg	SUM CO <sub>2</sub> Utslipp	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8	39,8
Smolt	kg	SUM CO <sub>2</sub> Utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oksygen	kg	SUM CO <sub>2</sub> Utslipp	743,2	1 300,7	1 114,8	929,0	2 043,9	2 229,7	2 415,5	1 672,3	929,0	1 672,3	2 043,9	557,4	-	-	-	-
Post smolt	kg	SUM CO <sub>2</sub> Utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figur 11. Utklipp 4 fra modellen: Transport

Siste del av modellen viser det totale energiforbruket og CO<sub>2</sub>e-utslippene forbundet med dette. Her er det mulig å endre pris for diesel, elektrisitet og CO<sub>2</sub>-kvote. Dette er gjort for å ta hensyn til noe av den omstillingsrisikoen (Nistad et al., 2021) mener havbruk står ovenfor – Prisen på CO<sub>2</sub>-kvoter går opp (Regjeringen, 2021; Regjeringen, 2021), og selv om mesteparten av utslippene til den norske oppdrettsnæringen er utenfor kvotepliktig sektor i dag (Nistad et al., 2021), kan det bli endringer på hvilke sektorer som er kvotepliktige. Økte CO<sub>2</sub>-kvoter vil også ifølge Nistad et al., (2021) føre til økte kraftpriser, da kraftproduksjon er kvotepliktig. Med mål om en større andel fornybar (ikke regulerbar) energiforsyning i verden, blir kraftprisene svært væravhengige og vanskelige å forutse (Nistad et al., 2021).

Transport	År	Måned	2021																							
			Januar		Februar		Mars		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Desember	
			Antall dager per måned		31	28	31	31	31	30	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
<b>Resultater</b>																										
Total energi forbruk	GJ	Energi		25,1	32,7	30,2	27,7	42,9	45,4	47,9	37,8	27,7	37,8	42,9	32,6											
Total CO2 utslipp	kg	CO2 utslipp		783,0	1 340,5	1 154,7	968,9	2 083,7	2 269,5	2 455,3	1 712,1	968,9	1 712,1	2 083,7	597,2											
<b>Energipriser</b>																										
Strøm	Mwh	EUR		140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
Strøm	Mwh	NOK		1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470	1470
Strøm	NOK/kwh	NOK		1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
Diesel	NOK/LIT	NOK		16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
<b>Pris CO2-kvote</b>																										
CO2	tonn	EUR		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
CO2	tonn	NOK		420	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630
CO2	kg	NOK		0,42	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Drivstoffkostnad (inkl CO2 kvote)				6 957,4	7 473,0	7 355,9	7 238,9	7 941,2	8 058,3	8 175,3	7 707,1	7 238,9	7 707,1	7 941,2	7 004,8											

Figur 12. Utklipp 5 fra modellen: Transport

### Energikrevende prosesser i TA

De viktigste og mest energikrevende prosessene i RAS-anlegget er inkludert i regnearket «Energikrevende prosesser i TA», etter samtaler med TA og gjennomgang av litteratur som omhandler energikrevende prosesser i et RAS-anlegg, slik som (Badiola et al., 2018, Svendsen, 2019). Vi har fått data for totalt strømforbruk på anlegget for 2021, og sammenlignet dette med strømforbruket som kommer frem av «prognosen».

	Neglisjerbar
	Ikke i bruk
	Sporadisk i drift

Figur 13. Fargekode

Prosessene er delt inn i kategorier basert på deres driftsstatus. «Neglisjerbare» prosesser er utelatt da de har minimal påvirkning på det totale energiforbruket. I tillegg har vi prosesser som «ikke er i bruk» og noen som er «sporadisk i drift». Resterende prosesser antas å være i drift 24 timer i døgnet.

Energikrevende prosesser i TA	År	Måned	2023																							
			Januar		Februar		Mars		April		Mai		Juni		Juli		August		September		Oktober		November		Desember	
			Antall dager per måned		31	28	31	31	30	31	30	31	30	31	31	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Føringsanlegg	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Spraydyse (Blåsemaskin)	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Blåsemaskin - Luffing	stk	Antall i drift		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Blåsemaskin - Rensing	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Pumpe - SAC	stk	Antall i drift		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Pumpe - Luftkpressor	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Varmveksler	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Generator - Ozon	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Pumpe - generator	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Pumpe - injektor	stk	Antall i drift		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Blåsemaskin Degassing	stk	Antall i drift		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
Pumpe - Avfosforisering	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Pumpe - Dosering kalk	stk	Antall i drift		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Pumpe - Dosering salt	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Hovedpumpe	stk	Antall i drift		48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	
Kjægle - Oksygen	stk	Antall i drift		32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
Varmveksler kaldt vann	stk	Antall i drift		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Pumpe - Kjøling	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Pumpe - Avløpsvann	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Pumpe - Natrium	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Varmveksler avløpsvann	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Varmepumpe reversibel	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Pumpe - Varme RAS	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Varmveksler 1	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Varmveksler 2	stk	Antall i drift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Pumpe - Fisk	stk	Antall i drift		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Pumpe - Slam	stk	Antall i drift		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Pumpe - Brønn	stk	Antall i drift		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7		
Pumpe - Fisk (tillegspumper)	stk	Antall i drift		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		

Figur 14. Utklipp 6 fra modell: Energikrevende prosesser i TA

Modellen tar for seg «antall i drift», «antall ikke i drift» og «totalt tilgjengelig».

Energikrevende prosesser i TA			År 2023											
			Måned											
			Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember
Antall dager per måned			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
			jan. 23	feb. 23	mar. 23	apr. 23	mai. 23	jun. 23	jul. 23	aug. 23	sep. 23	okt. 23	nov. 23	des. 23
Føringsanlegg	kWh/stk	Effekt per stk	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Spraydyse (Blåsemaskin)	kWh/stk	Effekt per stk	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
Blåsemaskin - Lufting	kWh/stk	Effekt per stk	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5
Blåsemaskin - Rensing	kWh/stk	Effekt per stk	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Pumpe - SAC	kWh/stk	Effekt per stk	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Pumpe - Luftkøpressor	kWh/stk	Effekt per stk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Varmeveksler	kWh/stk	Effekt per stk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk
Generator - Ozon	kWh/stk	Effekt per stk	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Pumpe - generator	kWh/stk	Effekt per stk	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355	2,355
Pumpe - injektor	kWh/stk	Effekt per stk	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar
Blåsemaskin Degassing	kWh/stk	Effekt per stk	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75
Pumpe - Avfosforisering	kWh/stk	Effekt per stk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk
Pumpe - Dosering kalk	kWh/stk	Effekt per stk	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pumpe - Dosering salt	kWh/stk	Effekt per stk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk
Hovedpumpe	kWh/stk	Effekt per stk	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Kjøgle - Oksygen	kWh/stk	Effekt per stk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Varmeveksler kaldt vann	kWh/stk	Effekt per stk	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Pumpe - Kjøling	kWh/stk	Effekt per stk	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Pumpe - Avløpsvann	kWh/stk	Effekt per stk	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Pumpe - Natrium	kWh/stk	Effekt per stk	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
Varmeveksler avløpsvann	kWh/stk	Effekt per stk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk
Varmepumpe reversible	kWh/stk	Effekt per stk	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar
Pumpe - Varme RAS	kWh/stk	Effekt per stk	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar	Neglisjerbar
Varmeveksler 1	kWh/stk	Effekt per stk	7,5 (ikke i bruk)	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk
Varmeveksler 2	kWh/stk	Effekt per stk	7,5 (ikke i bruk)	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk	ikke i bruk
Pumpe - Fisk	kWh/stk	Effekt per stk	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Pumpe - Slam	kWh/stk	Effekt per stk	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
Pumpe - Brønn	kWh/stk	Effekt per stk	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Pumpe - Fisk (tillegspumper)	kWh/stk	Effekt per stk	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Figur 15. Utklipp 7 fra modell: Energikrevende prosesser i TA

Energiforbruket til hver prosess er regnet ut ved hjelp av den reelle effekten til hver komponent multiplisert med antall driftstimer. Man har ikke fullstendig informasjon om benyttet effekt og driftstimer, og det vil derfor være knyttet usikkerhet til energiforbruket til prosessene.

I noen tilfeller har vi energibesparing ved at komponentene kjører med en lavere effekt eller at antall driftstimer er redusert. Dette er justeringer gjort på bakgrunn av tall gitt fra TA.

Energikrevende prosesser i TA			År 2023											
			Måned											
			Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember
Antall dager per måned			31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
			jan. 23	feb. 23	mar. 23	apr. 23	mai. 23	jun. 23	jul. 23	aug. 23	sep. 23	okt. 23	nov. 23	des. 23
Føringsanlegg	kWh/stk	% effekt i drift												
Spraydyse (Blåsemaskin)	kWh/stk	% effekt i drift												
Blåsemaskin - Lufting	kWh/stk	% effekt i drift												
Blåsemaskin - Rensing	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - SAC	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - Luftkøpressor	kWh/stk	% effekt i drift												
Varmeveksler	kWh/stk	% effekt i drift												
Generator - Ozon	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - generator	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - injektor	kWh/stk	% effekt i drift												
Blåsemaskin Degassing	kWh/stk	% effekt i drift	25 %	50 %	75 %	100 %	25 %	50 %	75 %	100 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Pumpe - Avfosforisering	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - Dosering kalk	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - Dosering salt	kWh/stk	% effekt i drift												
Hovedpumpe	kWh/stk	% effekt i drift												
Kjøgle - Oksygen	kWh/stk	% effekt i drift												
Varmeveksler kaldt vann	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - Kjøling	kWh/stk	% effekt i drift	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %	30 %
Pumpe - Avløpsvann	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - Natrium	kWh/stk	% effekt i drift												
Varmeveksler avløpsvann	kWh/stk	% effekt i drift												
Varmepumpe reversible	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - Varme RAS	kWh/stk	% effekt i drift												
Varmeveksler 1	kWh/stk	% effekt i drift												
Varmeveksler 2	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - Fisk	kWh/stk	% effekt i drift	48,00	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %	7 %
Pumpe - Slam	kWh/stk	% effekt i drift	60,83	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %
Pumpe - Brønn	kWh/stk	% effekt i drift												
Pumpe - Fisk (tillegspumper)	kWh/stk	% effekt i drift	6,00	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %	1 %

Figur 16. Utklipp 8 fra modell: Energikrevende prosesser i TA

Hovedpumpene som sirkulerer vannet i RAS-anlegget går alltid på full kapasitet i hall 1 og 2, mens i hall 3 kan man regulere driften og tilpasse til behovet i anlegget. Når ny fisk kommer inn i anlegget er biomassen lav og behovet for vannutskifting tilsvarende lav. Dette styrer i hovedsak behovet for tilstrekkelig tilførsel av oksygen og utvasking av CO<sub>2</sub> og NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Ettersom fisken vokser vil behovet for vannutskifting øke og følgelig må pumperaten økes inntil maksimum når fisken oppnår maksimal størrelse før den tas ut av anlegget. Det er også krav til en minste vannføring i anlegget for å sikre selvrensing i kar og rør, så derfor vil man ofte pumpe mer

enn behovet når fisken er liten. TA er et nytt anlegg i sitt slag og det er lite erfaring med denne type anlegg, og man har derfor valgt å ligge høyt på vannsirkulering for å ligge på den sikre siden i forhold til fiskens miljø. Muligheten for regulering av pumpene som er lagt inn i hall 3, vil også bli gjort i nye produksjonshaller siden energiforbruk vil få mer fokus i fremtiden og dermed vil mulighet for regulering av pumpene være nødvendig (L. Ydstebø, personlig kommunikasjon, 14. mai 2022).

Energikrevende prosesser i TA			År 2023													
			Måned		2023		2023		2023		2023		2023		2023	
			Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember		
		Antall dager per måned	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31			
			jan. 23	feb. 23	mar. 23	apr. 23	mai. 23	jun. 23	jul. 23	aug. 23	sep. 23	okt. 23	nov. 23	des. 23		
Føringsanlegg	kg	CO2 utslipp	7 964	7 193	7 964	7 707	7 964	7 707	7 964	7 964	7 707	7 964	7 707	7 964		
Spraydyse (Blåsemaskin)	kg	CO2 utslipp	13 394	12 098	13 394	12 962	13 394	12 962	13 394	13 394	12 962	13 394	12 962	13 394		
Blåsemaskin - Lufting	kg	CO2 utslipp	26 787	24 195	26 787	25 923	26 787	25 923	26 787	26 787	25 923	26 787	25 923	26 787		
Blåsemaskin - Rensing	kg	CO2 utslipp	21 720	19 618	21 720	21 019	21 720	21 019	21 720	21 720	21 019	21 720	21 019	21 720		
Pumpe - SAC	kg	CO2 utslipp	43 439	39 235	43 439	42 038	43 439	42 038	43 439	43 439	42 038	43 439	42 038	43 439		
Pumpe - Luftkpressor	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Varmevexsler	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Generator - Ozon	kg	CO2 utslipp	10 860	9 809	10 860	10 509	10 860	10 509	10 860	10 860	10 509	10 860	10 509	10 860		
Pumpe - generator	kg	CO2 utslipp	1 705	1 540	1 705	1 650	1 705	1 650	1 705	1 705	1 650	1 705	1 650	1 705		
Pumpe - injektor	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Blåsemaskin Degassing	kg	CO2 utslipp	54 299	98 088	162 897	210 190	54 299	105 095	162 897	217 196	52 547	108 598	157 642	217 196		
Pumpe - Avfosforisering	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pumpe - Dosering kalk	kg	CO2 utslipp	4 344	3 924	4 344	4 204	4 344	4 204	4 344	4 344	4 204	4 344	4 204	4 344		
Pumpe - Dosering salt	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Hovedpumpe	kg	CO2 utslipp	260 635	235 412	260 635	252 228	260 635	252 228	260 635	260 635	252 228	260 635	252 228	260 635		
Kjægle - Oksygen	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Varmevexsler kaldt vann	kg	CO2 utslipp	10 860	9 809	10 860	10 509	10 860	10 509	10 860	10 860	10 509	10 860	10 509	10 860		
Pumpe - Kjøling	kg	CO2 utslipp	17 376	15 694	17 376	16 815	17 376	16 815	17 376	17 376	16 815	17 376	16 815	17 376		
Pumpe - Avløpsvann	kg	CO2 utslipp	5 430	4 904	5 430	5 255	5 430	5 255	5 430	5 430	5 255	5 430	5 255	5 430		
Pumpe - Natrium	kg	CO2 utslipp	16	14	16	15	16	15	16	16	15	16	15	16		
Varmevexsler avløpsvann	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Varmepumpe reversible	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pumpe - Varme RAS	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Varmevexsler 1	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Varmevexsler 2	kg	CO2 utslipp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Pumpe - Fisk	kg	CO2 utslipp	8 331	7 525	8 331	8 062	8 331	8 062	8 331	8 331	8 062	8 331	8 062	8 331		
Pumpe - Slam	kg	CO2 utslipp	664	599	664	642	664	642	664	664	642	664	642	664		
Pumpe - Brønn	kg	CO2 utslipp	7 240	6 539	7 240	7 006	7 240	7 006	7 240	7 240	7 006	7 240	7 006	7 240		
Pumpe - Fisk (tillegspumper)	kg	CO2 utslipp	223	202	223	216	223	216	223	223	216	223	216	223		

Figur 17. Utklipp 9 fra modell: Energikrevende prosesser i TA

Modellen regner ut det totale energiforbruket for hver energikrevende komponent som inngår i RAS-anlegget. Antas samme utslippsfaktorer for elektrisitet i alle modellene. Man kan her velge mellom norsk og europeisk strømmiks. Avhengig av hvilken strømmiks som benyttes vil modellen gi totalt CO<sub>2</sub>e-utslipp forbundet med energiforbruket.

Energikrevende prosesser i TA			År 2023													
			Måned		2023		2023		2023		2023		2023		2023	
			Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember		
		Antall dager per måned	31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31			
Resultater																
Totalt Strømforbruk	kWh	Strømforbruk	1 017 954	1 020 242	1 241 154	1 309 117	1 017 954	1 093 117	1 241 154	1 352 754	985 117	1 129 554	1 201 117	1 352 754		
Totalt Energiforbruk	GJ	Energiforbruk	3 665	3 673	4 468	4 713	3 665	3 935	4 468	4 870	3 546	4 066	4 324	4 870		
Totalt CO <sub>2</sub> Utslipp	kg	CO <sub>2</sub> utslipp	495 062	496 197	603 660	636 735	495 062	531 640	603 660	657 959	479 093	549 361	584 187	657 959		

Figur 18. Utklipp 10 fra modell: Energikrevende prosesser i TA

Modellen regner ut totalt energiforbruk, strømforbruk og CO<sub>2</sub>e-utslipp for hver energikrevende komponent som inngår i RAS-anlegget.

### Produksjon

Regnearket «Produksjon» viser til status på antall fisker i anlegget underveis hver måned. Foreløpig er det 3 haller på Tytlandsvik som hver inneholder 4 produksjonstanker, og filene er derfor satt opp likt. Hvert regneark representerer én hall.

Hall 1	År	2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021	
		Måned		Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember		
		Antall dager per måned		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
		jan. 21	feb. 21	mar. 21	apr. 21	mai. 21	jun. 21	jul. 21	aug. 21	sep. 21	okt. 21	nov. 21	des. 21				
Antall fisker																	
Fisk i starten av mnd																	
TA-H101	stk		177 836	177 708	177 602	-	140 817	140 514	140 272	147 470	147 420	177 836	-	-			
TA-H102	stk		145 626	145 522	145 449	-	144 738	144 594	144 420	140 037	140 005	145 626	-	-			
TA-H103	stk		162 886	162 820	162 769	-	195 416	195 350	195 286	199 079	198 395	162 886	197 977	197 764			
TA-H104	stk		120 478	120 398	120 332	-	199 347	199 259	199 169	198 979	198 362	120 478	198 022	197 904			
Fisk i slutten av mnd																	
TA-H101	stk		177 708	177 602	-	140 817	140 514	140 272	147 470	147 420	147 366	177 708	-	140 549			
TA-H102	stk		145 522	145 449	-	144 738	144 594	144 420	140 037	140 005	139 939	145 522	-	130 529			
TA-H103	stk		162 820	162 769	-	195 416	195 350	195 286	199 079	198 395	198 203	162 820	197 764	161 447			
TA-H104	stk		120 398	120 332	-	199 347	199 259	199 169	198 979	198 362	198 210	120 398	197 904	348 624			
Fisk ved levering																	
TA-H101	stk		-	-	177 525	-	-	-	140 227	-	-	-	-	-			
TA-H102	stk		-	-	145 400	-	-	-	144 384	-	-	-	-	-			
TA-H103	stk		-	-	162 714	-	-	-	195 251	-	-	-	-	197 764			
TA-H104	stk		-	-	120 273	-	-	-	199 147	-	-	-	-	197 904			
Fisk mottak																	
TA-H101	stk		-	-	-	141 805	-	-	147 723	-	-	-	-	141 295			
TA-H102	stk		-	-	-	145 025	-	-	140 336	-	-	-	-	131 196			
TA-H103	stk		-	-	-	195 687	-	-	199 824	-	-	-	-	161 645			
TA-H104	stk		-	-	-	199 552	-	-	199 876	-	-	-	-	348 952			

Figur 19. Utklipp 11 fra modell: Produksjon

Siden antall fisk og biomasse i hvert kar er under kontinuerlig endring, prøver modellen å spore opp sammenhengen mellom de ulike karene og hallene. Det vil si at den har med status på beholdning i starten av måneden og slutten av måneden. Dette gir en oversikt over månedlig vektøkning på fisken og det relaterte fôrforbruket.

Hall 1	År	2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021		2021	
		Måned		Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember		
		Antall dager per måned		31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31		
		jan. 21	feb. 21	mar. 21	apr. 21	mai. 21	jun. 21	jul. 21	aug. 21	sep. 21	okt. 21	nov. 21	des. 21				
Gjennomsnittsvekt per fisk																	
Vekt i starten av mnd																	
TA-H101	g		250	447	745	-	353	588	921	267	519	250	-	-			
TA-H102	g		287	509	866	-	364	603	936	279	548	287	-	-			
TA-H103	g		302	512	806	-	116	209	390	61	126	302	438	573			
TA-H104	g		355	618	989	-	109	191	353	65	116	355	363	559			
Vekt i slutten av mnd																	
TA-H101	g		447	745	-	353	588	921	267	519	810	447	-	372			
TA-H102	g		509	866	-	364	603	936	279	548	852	509	-	331			
TA-H103	g		512	806	-	116	209	390	61	126	245	512	573	207			
TA-H104	g		618	989	-	109	191	353	65	116	208	618	559	179			
Vekt levering																	
TA-H101	g				919				1 043								
TA-H102	g				1 152				1 054								
TA-H103	g				1 066				533					573			
TA-H104	g				1 249				475					703			
Vekt mottak																	
TA-H101	g				260				228					306			
TA-H102	g				260				238					261			
TA-H103	g				101				55					169			
TA-H104	g				97				60					142			

Figur 20. Utklipp 12 fra modell: Produksjon

I feltene markert «rød» får man en oversikt over gjennomsnittsvekt for fiskene i karet, som er viktig i forbindelse med status på vekstraten til beholdningen. Gjennomsnittsvekten er i praksis stikkprøver av fisk i karet på gitte tidspunkt (ca. 100 individer).



Hall 1	År	2021												
		Måned	Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember
		Antall dager per måned	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
		jan. 21	feb. 21	mar. 21	apr. 21	mai. 21	jun. 21	jul. 21	aug. 21	sep. 21	okt. 21	nov. 21	des. 21	
<b>BIOMASSE</b>														
Biomasse i starten av mnd														
TA-H101	kg		44 388	79 382	132 367	-	49 709	82 591	129 254	39 326	76 467	44 388	-	-
TA-H102	kg		41 811	74 070	125 930	-	52 674	87 188	135 241	39 092	76 782	41 811	-	-
TA-H103	kg		49 190	83 398	131 145	-	22 602	40 820	76 193	12 230	25 079	49 190	86 748	113 398
TA-H104	kg		42 740	74 417	119 035	-	21 663	38 065	70 224	12 901	23 023	42 740	71 820	110 589
Biomasse slutten av mnd														
TA-H101	kg		79 382	132 367	-	49 709	82 591	129 254	39 326	76 467	119 345	79 382	-	52 284
TA-H102	kg		74 070	125 930	-	52 674	87 188	135 241	39 092	76 782	119 282	74 070	-	43 242
TA-H103	kg		83 398	131 145	-	22 602	40 820	76 193	12 230	25 079	48 546	83 398	113 398	33 443
TA-H104	kg		74 417	119 035	-	21 663	38 065	70 224	12 901	23 023	41 163	74 417	110 589	62 370
Fisk Biomasse ved levering														
TA-H101	kg		-	-	163 145	-	-	-	146 257	-	-	-	-	-
TA-H102	kg		-	-	167 527	-	-	-	152 152	-	-	-	-	-
TA-H103	kg		-	-	173 473	-	-	-	104 069	-	-	-	-	113 398
TA-H104	kg		-	-	150 250	-	-	-	94 595	-	-	-	-	139 122
Fisk Biomasse ved mottak														
TA-H101	kg		-	-	-	36 813	-	-	33 670	-	-	-	-	43 255
TA-H102	kg		-	-	-	37 648	-	-	33 430	-	-	-	-	34 281
TA-H103	kg		-	-	-	19 685	-	-	10 990	-	-	-	-	27 318
TA-H104	kg		-	-	-	19 357	-	-	11 993	-	-	-	-	49 392

Figur 21. Utklipp 13 fra modell: Produksjon

Biomasse er «antall fisk x gjennomsnittlig vekt». Totalen blir gitt i kg for hele beholdningen og det er denne differansen det refereres til når det snakkes om total vekstøkning. Maksimal tillatt biomasse er satt til 75 kg/m<sup>3</sup>. Hvert kar har et volum på 2000 m<sup>3</sup>, noe som gir MTB i hvert kar på 150 tonn. Dette er dimensjonerende krav satt av leverandør (Aquagroup) av anlegget til TA. I følge (Thorarensen & Farrell, 2011) er det lite eller ingen konsistent effekt på vekstrate, fiskevelferd og overlevelsesrate for Atlantisk laks frem til 80 kg m<sup>-3</sup>. Ved en høyere tetthet enn dette viser noen studier til redusert vekstrate (Thorarensen & Farrell, 2011). Om en synkende vekstrate og andre tertiære stress reaksjoner ved høy tetthet skyldes redusert vannkvalitet er usikkert (Thorarensen & Farrell, 2011). For å sikre god fiskevelferd er det derfor anbefalt å være på den sikre siden, og vi mener derfor at MTB i hvert kar satt av TA er fornuftig å benytte i modellen.

Hall 1	År	2021												
		Måned	Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember
		Antall dager per måned	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
		jan. 21	feb. 21	mar. 21	apr. 21	mai. 21	jun. 21	jul. 21	aug. 21	sep. 21	okt. 21	nov. 21	des. 21	
<b>Døde fisk</b>														
TA-H101	stk		128	106	77	988	303	242	298	50	54	44	213	44
TA-H102	stk		104	73	49	287	144	174	335	32	66	46	118	667
TA-H103	stk		66	51	55	271	66	64	780	684	192	226	331	198
TA-H104	stk		80	66	59	205	88	90	919	617	152	188	37	328
<b>Døde fisk</b>														
TA-H101	kg		48	62	66	264	134	179	101	20	35	48	-	230
TA-H102	kg		42	51	49	80	69	134	107	14	44	42	-	176
TA-H103	kg		27	34	51	27	10	18	57	50	31	27	116	35
TA-H104	kg		40	55	66	20	12	23	63	47	22	40	53	49

Figur 22. Utklipp 14 fra modell: Produksjon

Dødeligheten gir en oversikt over hvor mange som dør hver måned. Ved bruk av faktiske tall er det antatt en dødsrate som benyttes i «prognosen».

Data undersøkt av (Thorarensen & Farrell, 2011) indikerer at oksygenmetningen i vannet bør ligge mellom 85% metning og opp mot 120% metning for å opprettholde maksimal vekstrate for Atlantisk laks. Under 85% metning vil vekstraten kunne synke og over 140% metning vil fiskevelferden kunne kompromitteres (Thorarensen & Farrell, 2011). Crampton et al., (2003) viser til et lineært forhold mellom vekst og oksygen tilgjengelig mellom 50% og 100% metning, hvor man ved å øke mengden oksygen tilgjengelig fra 70% til 100% metning, vil kunne oppnå en vekstrateforbedring på 37%. For lukkede systemer, slik som TA, må effekten av økt oksygentilsetning veies opp mot kostnaden det medfører for å oppnå en høyere vekstrate (Thorarensen &

Farrell, 2011). Grunnet manglende informasjon om effekten av oksygenmetningen i vannet på vekst og levetidene til den Atlantiske laksen (Thorarensen & Farrell, 2011), og med indikasjoner om økt dødelighet ved for lave oksygenmetninger (Thorarensen & Farrell, 2011), er det valgt å ikke ha oksygenmetning som en varierende faktor i modellen.

Hall 1	År	2021												
		Måned	Januar	Februar	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Desember
		Antall dager per måned	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
		jan. 21	feb. 21	mar. 21	apr. 21	mai 21	jun. 21	jul. 21	aug. 21	sep. 21	okt. 21	nov. 21	des. 21	
<b>Fôrforbruk</b>														
TA-H101	kg		31 538	33 308	16 919	11 844	29 715	44 344	16 041	33 444	40 156	25 531	-	8 334
TA-H102	kg		29 071	31 676	17 127	13 595	31 125	45 778	17 145	33 933	40 011	26 573	-	8 223
TA-H103	kg		30 811	31 881	16 936	2 650	16 405	31 852	12 890	10 847	21 149	34 446	39 843	5 544
TA-H104	kg		28 545	31 249	20 939	2 028	14 773	28 964	13 592	8 515	16 345	27 636	34 940	11 725

Figur 23. Utklipp 15 fra modell: Produksjon

Fôrforbruket er det faktiske forbruket i kg. Ved å sammenligne økt biomasse (inkludert død fisk) med fôrforbruket, får man den økonomiske fôrfaktoren i anlegget. Det er viktig å dokumentere forbruket da det gir oss økonomisk fôrfaktor når vi sammenligner den med differansen på biomasse over tid. Fôret har som nevnt under «Fôr» i teoridelen, et betydelig utslipp ved produksjon, i tillegg til å være en stor driver i driftsbudsjettet til produksjonen. I «prognosen» har vi benyttet gjennomsnittlig fôrfaktor fra 2021 til å regne ut fôrforbruket til fisken. Dette gjøres ved å multipliser fôrfaktoren med prognostisert produksjon av biomasse (delta biomasse).

De biologiske prosessene som foregår i RAS-anlegget – fiskens oksygenforbruk og akseptabel oksygenmetning i vannet, produksjon av CO<sub>2</sub> og akseptabelt CO<sub>2</sub> nivå i vannet, akseptabelt ammonium nitrogen nivå (TAN), akseptabelt nitritt- (NO<sub>2</sub>-) og nitrat (NO<sub>3</sub>-) nivå – er ikke tatt hensyn til i modellen, da biologien bak vannbehandlingsprosessene er utenfor vårt kompetanseområde.

### Bygging

TA har gitt et overordnet regnskap på forbruk av energi, materialer og areal under byggingen av anlegget deres. Dataene inneholder direkte og indirekte CO<sub>2</sub>e-utslipp fra maskinene som ble benyttet til bygging av 1 av de 3 hallene som er på anlegget. Det er derfor gjort antagelser om samme mengde energiforbruk og CO<sub>2</sub>e-utslipp for bygging av de tre hallene på Tytlandsvik. Det samme gjelder for materialbruk til hver hall. Tallene kommer fra byggingen av hall 3, og det er antatt samme materialbruk for de to andre hallene. For utregning av CO<sub>2</sub>e -utslipp fra produksjon av materialene som er benyttet i anlegget, er det benyttet generelle verdier funnet i litteratur. Forbruk av materialer er kategorisert som betong, stål, polyetylen (PE), og glassfiber. Materialforbruket er overordnede beregninger, og det vil være materialer benyttet i byggeprosessen som ikke er medregnet i regnskapet vårt. Energiforbruk og relaterte utslipp for transport av materialer til byggingen av TA er ikke medregnet. Da de ovennevnte manglene vil ha betydning for det totale CO<sub>2</sub>e -regnskapet for byggeprosessen, vil man måtte ta dette med i betraktning ved videre sammenligning av ulike produksjonsmetoder innen lakseoppdrett.

## Diskusjon & Resultater

### Energibruk for produksjonsfasen på land

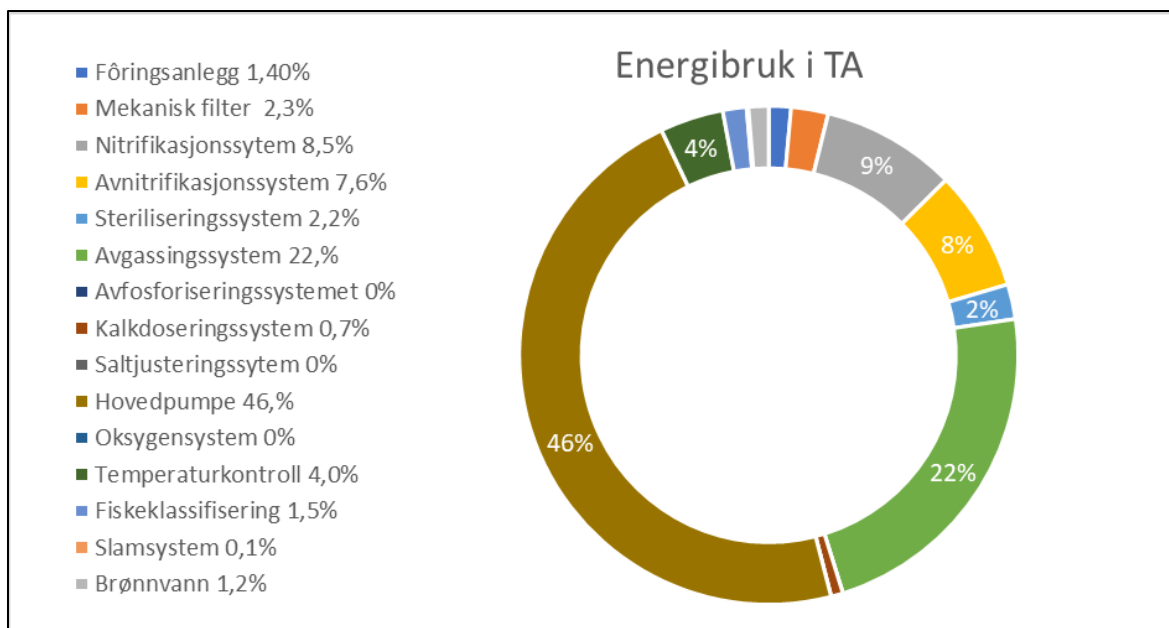
I produksjonsfasen på land er energien som benyttes hovedsakelig elektrisitet (Nistad et al., 2021).

Settefiskanlegg trenger back-up i energiforsyningen hvis et strømbrydd forekommer. I all hovedsak benytter man seg da av dieselaggregat (Nistad et al., 2021). Bruk av dieselaggregat på land vil normalt utgjøre korte perioder av året, og energiforbrukstall for 14 settefiskanlegg, benyttet i rapporten «Energi og klimakartlegging havbruk», viser at 0-14% av energiforbruket ble dekket av diesel (Nistad et al., 2021).

TA benyttet totalt 15 000 L diesel i RAS-anlegget i 2021. Omregnet til energi tilsvarer dette 543,03 GJ. Totalt strømforbruk i TA for 2021 omgjort til energi er 56 050 GJ. Totalt energiforbruk medregnet dieselen er 56593,03 GJ. Dieselforbruket står da for ca. 1% av det totale energiforbruket i RAS-anlegget.

Landbaserte anlegg har et relativt jevnt effektforbruk fordelt utover et døgn sammenlignet med en fôrflåte i sjøen (Nistad et al., 2021). Ifølge Nistad et al., (2019) vil energibruken for et anlegg på land øke ved økende størrelse på fisken som produseres. Dette indikerer også tall fra TA. Ved en syklus på fire måneder fra inntak av smolt til levering av post-smolt, vil eksempelvis blåsemaskinene som benyttes til degassing gå på henholdsvis 25%, 50%, 75% og 100% for de fire månedene fisken er i anlegget (L. Ydstebø, personlig kommunikasjon, 20. mars 2022). Da det ikke er vannmålere i anlegget som viser mengden vann som pumpes (L. Ydstebø, personlig kommunikasjon, 20. mars 2022), vanskeliggjør dette optimalisering av pumpeeffekten. For å oppnå energisparing på anlegget, vil loggføring av benyttet effekt og antall driftstimer for hver komponent, eventuelt de mest energikrevende komponentene være viktig. Dette finnes foreløpig ikke på anlegget. Installasjon av vannmålere vil kunne være et annet energieffektiviserende tiltak for TA, da det vil kunne gi informasjon om den optimale strømningsraten for anlegget og samsvarende effektbehov for pumpene.

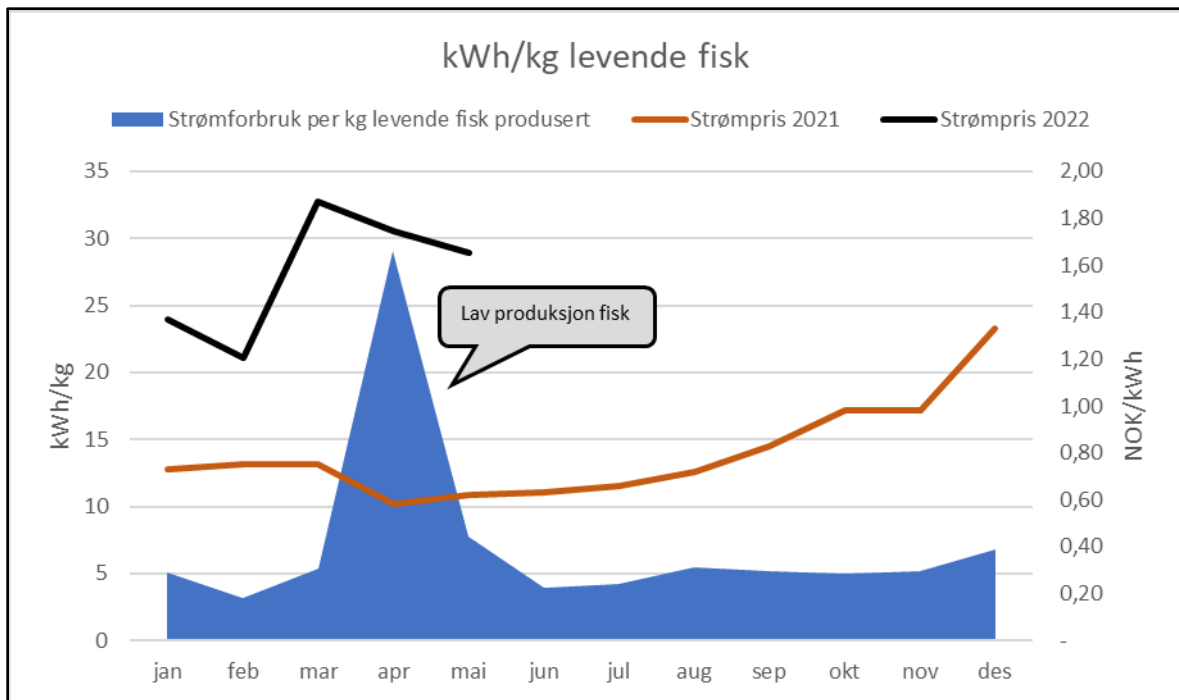
For et RAS-anlegg vil vannbehandling være den mest energikrevende prosessen (Nistad et al., 2021; Svendsen, 2019), med rundt 60% av energibruken (Nistad et al., 2021). Under vannbehandling vil pumping, oksygenering og CO<sub>2</sub>-utlufting ha størst effektbehov (Nistad et al., 2021; Svendsen, 2019). I Tabell 13 ser vi %- fordeling for strømforbruket i RAS-anlegget for hall 1 og hall 2. Dette er en fordeling fra vår modell, som er basert på effekten til hver komponent og antagelser om antall driftstimer. Som hos Nistad et al., (2021) står også hovedpumpene og avgassingssystemet for det største energiforbruket i vannbehandlingen hos TA, med henholdsvis 46% og 22%. Blåsemaskinen i avgassingssystemet fungerer både som utlufter av CO<sub>2</sub> og som tilfører av oksygen til vannet.



Figur 24. Energiforbruk ved produksjon TA

Tabell 13. – Energidrivere i RAS-anlegget til TA

Prosesser	Komponenter	% Energiforbruk
Føringsanlegg	Trekrør	1 %
Mekanisk filter	Spraydyse (Blåsemaskin)	2 %
Nitrifikasjonssystem	Blåsemaskin - Lufting	5 %
Nitrifikasjonssystem	Blåsemaskin - Rensing	4 %
Avnitrifikasjonssystem	Pumpe - SAC	8 %
Steriliseringssystem	Pumpe - Luftkpressor	0 %
Steriliseringssystem	Varmeveksler	0 %
Steriliseringssystem	Generator - Ozon	2 %
Steriliseringssystem	Pumpe - generator	0 %
Steriliseringssystem	Pumpe - injektor	0 %
Avgassingssystem	Blåsemaskin Degassing	22 %
Avfosforiseringssystemet	Pumpe - Avfosforisering	0 %
Kalkdoseringssystem	Pumpe - Dosering kalk	1 %
Saltjusteringssystem	Pumpe - Dosering salt	0 %
Hovedpumpe	Hovedpumpe	46 %
Oksygensystem	Kjegle - Oksygen	0 %
Temperaturkontroll	Varmeveksler kaldt vann	2 %
Temperaturkontroll	Pumpe - Kjøling	3 %
Temperaturkontroll	Pumpe - Avløpsvann	1 %
Temperaturkontroll	Pumpe - Natrium	0 %
Temperaturkontroll	Varmeveksler avløpsvann	0 %
Temperaturkontroll	Varmpumpe reversible	0 %
Temperaturkontroll	Pumpe - Varme RAS	0 %
Temperaturkontroll	Varmeveksler 1	0 %
Temperaturkontroll	Varmeveksler 2	0 %
Fiskeklassifisering	Pumpe - Fisk	1 %
Slamsystem	Pumpe - Slam	0 %
Brønnvann	Pumpe - Brønn	1 %
Fiskeklassifisering	Pumpe - Fisk (tilleggspumper)	0 %



Figur 25. kWh/kg levende fisk produsert

#### Energiforbruk (Strøm)

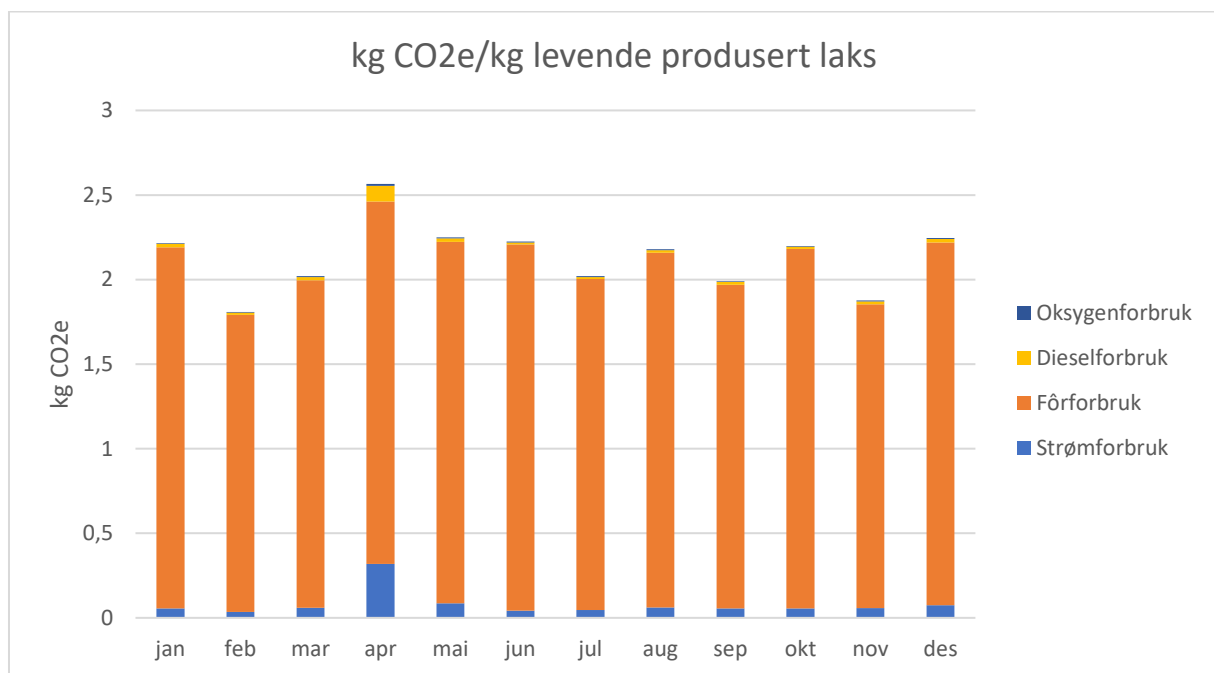
I 2021 hadde TA et gjennomsnittlig strømforbruk på 5,35 kWh/kg levende fisk produsert for produksjonsfasen i RAS-anlegget. Grunnet lav produksjon i april, ble strømforbruket for denne måneden 29,03 kWh/kg levende fisk produsert. Utelater man april fra beregningene, vil TA ha et gjennomsnittlig strømforbruk på 4,98 kWh/kg levende fisk produsert. Måneden med lavest strømforbruk var februar, med 3,191 kWh/kg levende fisk produsert. Energiforbrukstall hentet fra Nistad et al., (2021) viser et gjennomsnittlig energiforbruk for RAS-anlegg på 7,7 kWh/kg levende fisk produsert, med en spredning fra rundt 3 kWh/kg levende fisk produsert for de beste anleggene og 15 kWh/kg levende fisk for de dårligste. Dataene stammer fra 31 settefiskanlegg med produksjon av smolt og postsmolt, hvor både RAS- og FTS-anlegg er inkludert i de 31 anleggene. Tall hentet fra (Nistad, 2020) viser at RAS-anlegg har et gjennomsnittlig energiforbruk på 8,38 kWh/kg laks produsert. Her varierer dataene fra 6 kWh for de beste og opp til 13 kWh for de dårligste. Hilmarsen et al., (2018) anslår et energiforbruk mellom 6-9 kWh/kg fisk produsert for matfisk, og 3-5 kWh/kg fisk produsert for postsmolt. Phillis et al., (2019) har i sin studie regnet ut gjennomsnittlig energiforbruk per tonn levende produsert fisk til 133200 MJ for RAS-anlegg. Hvis vi antar at denne energien kommer fra strømforbruk tilsvarer det 37 kWh/kg levende fisk produsert. Philis et al., (2019) poengterer at RAS-anleggene har stor variasjon i dataen.

Faktorer som kan forklare variasjoner i energiforbruk for produksjon av smolt og post-smolt, er blant annet produksjonsintensitet (kg fisk produsert/volumenhet vann), fiskens størrelse, lokasjon, vannstrøm, type energianlegg, og om det foretas slambehandling (Nistad et al., 2021). Ved sammenligning av tall fra litteraturen, kan man anta at produksjonen på TA er relativt energieffektiv sammenlignet med en del andre anlegg. Mange av anleggene det sammenlignes med antas å være eldre fasiliteter, og post-smolt produksjon i

RAS-anlegg er nokså nytt, så det vil heller ikke være mulig å sammenligne tall fra alle RAS-anlegg direkte opp mot tall fra TA.

### Klimagassutslipp fra produksjonen

I Figur 26 ser vi CO<sub>2</sub>e -utslipp knyttet til produksjonen i TA. Med 94,98% av det totale utslippet er fôret den største bidragsyteren til klimagassutslipp per kg levende fisk produsert. Som nevnt i teoridelen under «Fôr», er fôret den største bidragsyteren til klimagassutslipp også for resten av næringen, hvis man ekskluderer frakt av laks med fly i beregningene. Videre står oksygen for 0,25%, strøm for 3,71% (antatt norsk strømmiks), og diesel for 1,06% av utslippene.



Figur 26. Utslippskilder ved produksjon av post-smolt i Tytlandsvik for 2021

### Fôrforbruk

TA hadde et fôrforbruk på 2 487 854 kg i 2021 og en produksjon av post-smolt på 2 911 800 kg. Dette gir en gjennomsnittlig økonomisk fôrfaktor på 0,85. Med 2,37 kg CO<sub>2</sub>e /kg fôr produsert gir dette 5 896 214 kg CO<sub>2</sub>e - utslipp knyttet til fôret. CO<sub>2</sub>e-utslippene fra fôret blir da 2,025 kg CO<sub>2</sub>e /kg levende fisk produsert.

### Oksygenforbruk

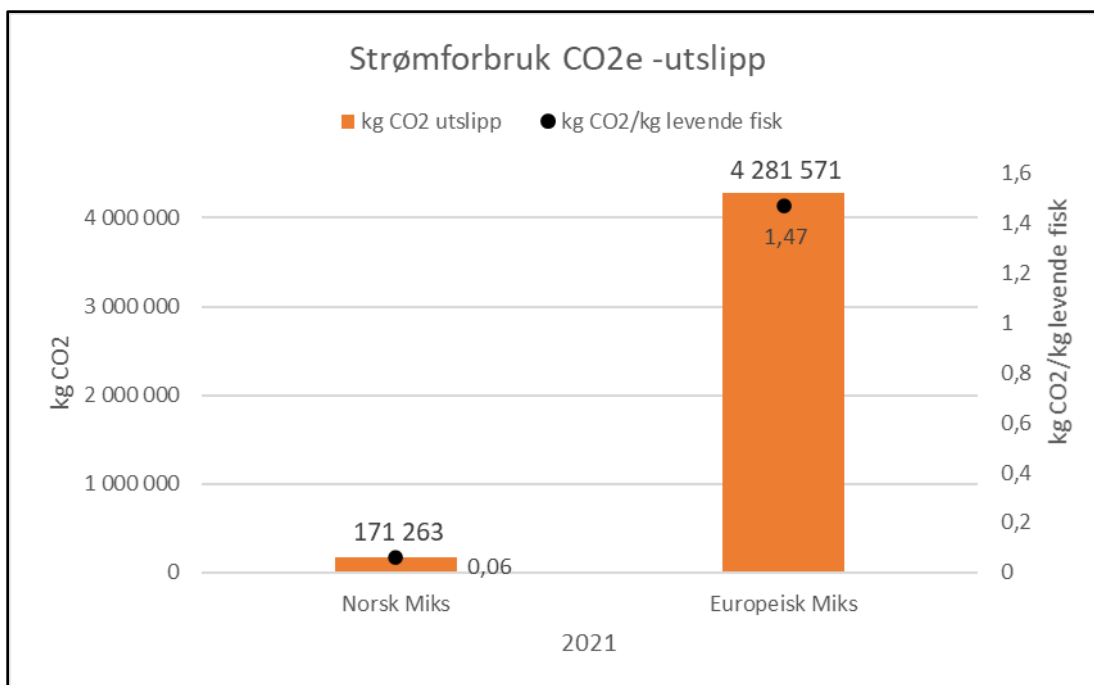
Tallene fra TA oppgir ikke totalt oksygenforbruk på anlegget, men total mengde oksygen fraktet inn til anlegget. Det er den totale mengden fraktet inn til TA som videre er antatt å være oksygenforbruket på anlegget. Ved beregninger av CO<sub>2</sub>e-utslipp knyttet til produksjon av oksygen har vi benyttet en utslippsfaktor på 1 kWh/kg O<sub>2</sub> oksygen produsert. Totalt ble det fraktet inn 1 309 478 kg oksygen til TA, som tilsvarer 14 404 kg CO<sub>2</sub>e antatt norsk strømmiks. Fordelt på biomasse produsert, bidrar oksygen med 0,065 kg CO<sub>2</sub>e/kg levende fisk produsert.

## Dieselforbruk

Det ble under «Energibruk for produksjonsfasen på land» gitt et dieselforbruk på 15 000 L hos TA i 2021. Med oppgitt utslippsfaktor på 3,24 kg CO<sub>2</sub>e/L tilsvarer dette et utslipp på 48 000 kg CO<sub>2</sub>e. Fordelt på biomasse produsert blir dette 0,0167 kg CO<sub>2</sub>e/kg levende fisk produsert. Dieselforbruket på anlegget bidro gjennomsnittlig med 0,0052 kWh/kg levende fisk produsert.

## Strømforbruk

Med et samlet strømforbruk på 15 569 349 kWh i 2021, vil de indirekte CO<sub>2</sub>e-utslippene ved produksjon av strøm tilsvare 4 281 571 Kg CO<sub>2</sub>e/kWh antatt europeisk strømmiks og 171 263 Kg CO<sub>2</sub>e /kWh antatt norsk strømmiks. Totalt produsert biomasse i TA var i 2021 på 2 911 800 kg. CO<sub>2</sub>e-utslipp relatert til strømproduksjon i 2021 blir da 1,47 kg CO<sub>2</sub>e /kg levende fisk produsert for europeisk miks, og 0,059 kg CO<sub>2</sub>e /kg levende fisk produsert for norsk miks.



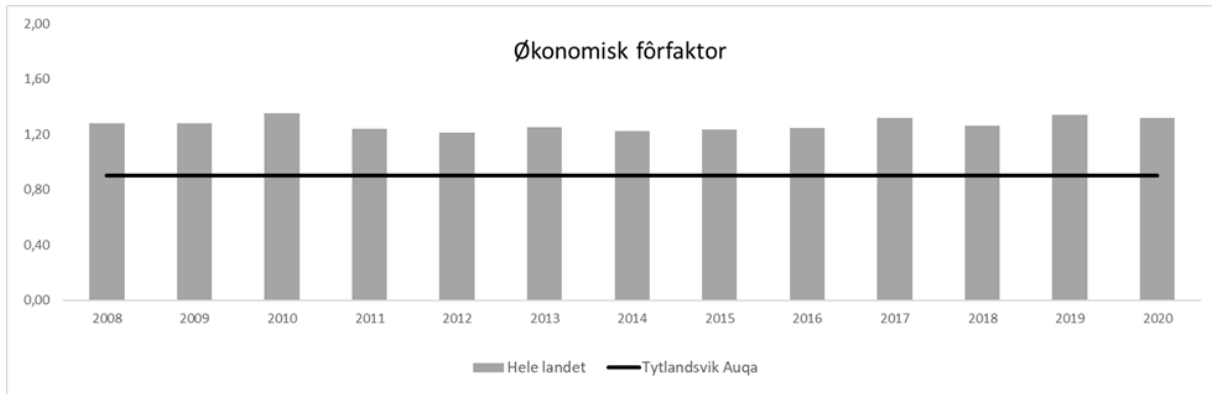
Figur 27. kg CO<sub>2</sub>e/kg levende fisk produsert med norsk- og europeisk strømmiks

Som vi ser i Figur 27, har produksjonen av strømmen mye å si for de indirekte utslippene ved bruk av strøm.

## Fôrfaktor i sjø vs. TA

I 2020 var den gjennomsnittlige økonomiske fôrfaktoren for produksjon i åpne merder på 1,32 (Fiskeridirektoratet, u.å. d). En slik fôrfaktor ville gitt mer enn 55% økning i fôrforbruket for TA, og fôret ville da bidratt med 3,128 kg CO<sub>2</sub>e /kg levende fisk produsert. Van Rijn., (2013) poengterer at riktig drift av et RAS-anlegg gir økte muligheter for effektiv utnyttelse av fôret, noe som ser ut til å være tilfellet ved sammenligning av økonomisk fôrfaktor fra TA og for åpne merder i sjøen. I Figur 28 ser vi gjennomsnittlig økonomisk fôrfaktor for hele landet fra 2008 til 2020 i søylediagrammer, med gjennomsnittlig økonomisk fôrfaktor for TA i 2021 som

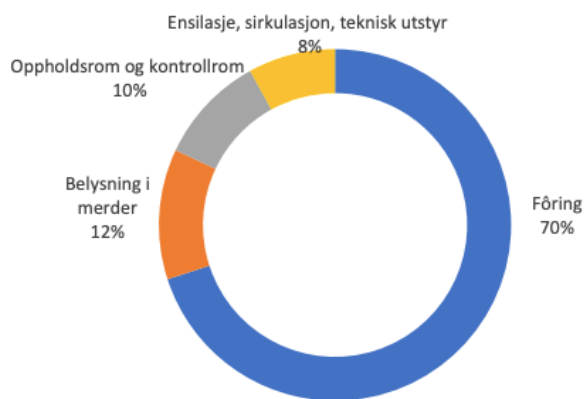
en vertikal linje for visuell sammenligning. Da fôret står for en betydelig kilde til klimagassutslipp ved produksjon, kan man ved bruk av RAS-anlegg betydelig redusere klimagassutslipp knyttet til fôret, sammenlignet med åpne anlegg i sjøen.



Figur 28. Gjennomsnittlig økonomisk fôrfaktor i åpne merder fra 2008 – 2020 & Gjennomsnittlig økonomisk fôrfaktor for TA i 2021

### Energibruk for produksjonsfasen i sjø

En lokalitet i sjøen består av en fôrflåte og et gitt antall merder (Nistad et al., 2021). Energibruk knyttet til drift av et oppdrettsanlegg på sjøen fordeles på fôring av fisken, teknisk utstyr som benyttes ved sirkulasjon og ensilasje (behandling av død fisk), belysning i merdene, og drift av oppholdsrom (Nistad et al., 2021). Typisk fordeling av energibruk ved en fôringsflåte over et år er vist i Figur 29:



Figur 29. Prosentvis fordeling av energiforbruket på en gjennomsnittlig fôringsflåte (Nistad et al., 2021)

I tillegg benyttes det ulike fartøy i driften av et sjøbasert anlegg, hvor noen fartøy benyttes gjennom stort sett hele produksjonssyklusen, mens andre bare utfører arbeid noen få ganger.

Som vist i Tabell 14 er gjennomsnittlig energiforbruk for lokaliteter med landstrøm 0,22 kWh/kg levende fisk produsert mens lokaliteter med dieselaggregat i gjennomsnitt bruker 0,41 kWh/kg levende fisk produsert



(Nistad et al., 2021). Forskjellen i energiforbruket for anlegg med landstrøm eller dieselaggregat er at dieselaggregat har lavere virkningsgrad enn elektrisk energiforsyning (i disse dataene antatt nærmere 100% for elektrisitet og ca. 30-35% for dieselaggregat) (Nistad et al., 2021). Ser man bort i fra energiforbruket til båter som benyttes i produksjonen vil kWh/kg levende fisk produsert bli 0,09 og 0,29 for henholdsvis fôrflåter med landstrøm og fôrflåter med dieselaggregat (Nistad et al., 2021). Tallene i parentes som vises i Tabell 14 viser bredden på dataene som er benyttet i rapporten. Antar man de høyeste energiforbrukstallene fra Nistad et al., (2021) for produksjonsfasen i sjøen på 0,60 kWh/kg levende fisk produsert, og de laveste energiforbrukstallene i produksjonsfasen for TA med 3,19 kWh/kg levende fisk produsert, ser man at produksjon i RAS-anlegget til TA likevel har et mye høyere energiforbruk enn det man har i åpne anlegg på sjøen. En av ulempene med produksjon i RAS-anlegg er det høye energibehovet (Philis et al., 2019; Badiola et al., 2018; Ahmed & Turchini, 2021). Tallene som er benyttet av Nistad et al., (2021) har gjennomgått en filtrering, hvor energibruk bare er medregnet for perioder der det blir produsert mer enn 50% av MTB. Brakkleggingsperioder er også ekskludert. Dette gjør at tallene i Tabell 14 rapporterer et lavere energiforbruk enn det som i realiteten blir brukt over en produksjonssyklus. I starten av en produksjonssyklus har man et relativt høyt energiforbruk selv om biomasseproduksjonen er lav (Nistad et al., 2021). Påveksten (kg fisk per kg fôr) er mye høyere mot slutten av en produksjonssyklus enn det den er i starten (Nistad et al., 2021). En slik filtrering er ikke benyttet i tall fra TA. En eventuell filtrering ville gitt et lavere energiforbruk i RAS-anlegget.

**Tabell 14. Energiforbruk i kWh/kg levende fisk produsert ved drift av oppdrettslokalitet på sjø (Nistad et al., 2021)**

	<b>Landstrøm</b>	<b>Dieselgenerator</b>
<b>Totalt energiforbruk på lokalitet</b>	0,22 (0,11-0,41)	0,41 (0,22-0,60)
<b>Andel av totalt energiforbruk brukt av båter</b>	Rundt 60%	20-40%
<b>Estimert gjennomsnittlig energiforbruk for fôrflåter</b>	0,09	0,29

Forskjellen i energiforbruket til de ulike lokalitetene benyttet av Nistad et al., (2021) antas å være knyttet til reelle forskjeller samt usikkerhet knyttet til rapporteringen, spesielt med tanke på rapportering fra anlegg med dieselaggregat og drivstofforbruk for båter.

#### CO2e-utslipp ved bygging av et RAS-anlegg

Tallene i det følgende er hentet fra byggingen av hall 3 hos TA. Det er usikkerhet knyttet til mengden materiale som er benyttet, og det er blitt gjort antagelser for utslippsfaktoren til de ulike materialene. Det er ikke hensyntatt eventuell resirkulering av materialer ved endt levetid for anlegget. En slik antagelse ville drastisk redusert CO2e-utslippene forbundet med byggingen av anlegget.

**Tabell 15. Steinull**

Steinull			
Tykkelse (mm)	Areal m <sup>2</sup>	CO <sub>2</sub> e	
50	1	0,67 (EPD-Norge, 2020)	
165	838		
100	526		
50	432		
315	1796	7 220	kg CO <sub>2</sub> e

Det er antatt at konstruksjonsstål er typen stål som er benyttet under byggingen av TA. Som man ser fra Tabell 17. er det store variasjoner i utslippene knyttet til produksjon av stålet, og klimagassutslippene relatert til bygging av et RAS-anlegg vil derfor variere mye ut ifra hvilke antagelser som ligger til grunn for beregningene. Ved valg av konstruksjonsstål, står bruk av stål for det klart største bidraget til CO<sub>2</sub>e -utslipp knyttet til materialbruk. Antar man at stålet resirkuleres etter bruk, vil utslippene knyttet til produksjonen av stålet reduseres med 6 983 261 kg CO<sub>2</sub>e.

Tabell 16. Stål

Stål	CO <sub>2</sub> e kg/kg	kg stål	CO <sub>2</sub> e
Primærstål	1,5	3 815 990	5 723 984
Varmevalset stål	1,7	3 815 990	6 487 182
Kaldvalset stål	1,98	3 815 990	7 555 659
Råjern	1,8	3 815 990	6 868 781
Aluminium	16,9	3 815 990	64 490 224
Kopper	4	3 815 990	15 263 958
Gummi	3,18	3 815 990	12 134 847
Glass	1,13	3 815 990	4 312 068

Tabell 17. Stål 2

Stål 2	CO <sub>2</sub> e kg/kg	kg stål	CO <sub>2</sub> e
Konstruksjonsstål	2,83	3 815 990	10 799 251
Konstruksjonsstål (res)	1	3 815 990	3 815 990
Armeringsstål	2,83	3 815 990	10 799 251
Armeringsstål (res)	0,54	3 815 990	2 060 634
Aluminium	8,74	3 815 990	33 351 749
Aluminium (res)	3,24	3 815 990	12 363 806

Utslippene knyttet til produksjon av betong vil også variere. I denne oppgaven er det benyttet utslippsfaktorer uten å ta hensyn til eventuelt gjenbruk av materialer. Betong vil eksempelvis absorbere CO<sub>2</sub> når den er i kontakt med luft. Dette kalles karbonatisering, og fungerer på den måten at CO<sub>2</sub> fra omgivelsene reagerer med CaO som finnes i betong, hvorpå det dannes CaCO<sub>3</sub> (Solli, Nordby, Dahlstrøm, Iversen, u.å). Om lag 15% av alle CO<sub>2</sub>-utslippene knyttet til produksjon av betong blir ifølge (Solli et al., u.å) absorbert i løpet av betongens

levetid, inklusiv knusing og resirkulering av betongen. Betong står for kun 5 634 kg CO<sub>2</sub>e -utslipp per hall, noe som sammenlignet med stål, PE og glassfiber er svært lite.

Tabell 18. Betong

Betong	CO <sub>2</sub> e kg/m <sup>3</sup>	M <sup>3</sup> Betong	CO <sub>2</sub> e
Betong	2,83	1 991	5 634
Betong (res)	1	1 991	1 991

Tabell 19. PE

PE	CO <sub>2</sub> e kg/kg	kg PE	CO <sub>2</sub> e
100 PE rør	1,93 (EPD-Norge, 2021)	363 000	700 590

Tabell 20. Glassfiber

Glassfiber	CO <sub>2</sub> e kg/kg	kg Glassfiber	CO <sub>2</sub> e
Glassfiber	1,5	1 285 065	1 927 598

Ved å gjøre innsparinger på materialbruk av typen stål, PE og glassfiber vil byggingen av kommende haller i Tytlandsvik kunne få et bedre klimagassavtrykk, sammenlignet med dagens haller.

#### Arealbruk

Tabell 21. Arealbruk

Arealendring	m <sup>2</sup>
Per hall	3 500
Administrasjonsbygg	450
Lagerbygg	1 000
Renseanlegg	900
Tilleggsfaktor (Brutto areal)	1,5

Bygningsmassene vil alene kreve 23 350 m<sup>2</sup>. Hver hall hos TA er oppgitt å kreve 3500 m<sup>2</sup>, noe som tilsvarer 2,33 m<sup>2</sup> per tonn levende fisk produsert, da en hall forventes å ha 1500 tonn årlig kapasitet. Ved ferdigstilling av anlegget antas det effektivisering i produksjonen, som gir 1000 tonn ekstra fordelt på de 6 hallene, derav produksjonskapasitet på 10 000 tonn. I Hilmarsen et al., (2018) antas det 6 m<sup>2</sup> per tonn levende fisk produsert, noe som vil si at TA vil beslaglegge et mye mindre areal enn det som er antatt i Hilmarsen et al., (2018), sett at TA produserer planlagt årlig biomasse. Tallene gitt i Hilmarsen et al., (2018) tar utgangspunkt i produksjon av matfisk, noe som vil kunne spille inn på arealbehovet per tonn produsert sammenlignet med produksjon av post-smolt. Hall 1 og hall 2 var i 2021 i full drift, og hadde samlet en produksjon på ca. 2 414 tonn post-smolt. Dette viser at TA foreløpig ikke klarer å produsere opp mot MTB satt for anlegget. Med årets produksjon for hall 1 og 2 ville TA benytte ca. 2,9 m<sup>2</sup> per tonn levende fisk produsert.

For å beregne totalt arealbehov for anlegget, inkludert omkringliggende areal som vei, parkeringsplass etc., blir det benyttet en tilleggsfaktor på 1,5. Denne faktoren er benyttet da den også er brukt i Hilmarsen et al., (2018). Total arealendring forbundet med TA blir da 35 025 m<sup>2</sup>. Dette er mye lavere enn antagelsene for matfiskproduksjon i RAS-anlegg gjort av Hilmarsen et al., (2018), som oppgir bruttoareal på 90 000 m<sup>2</sup> for et anlegg med kapasitet på 10 000 tonn. Hvis arealbruken som er lagt til grunn for TA i denne oppgaven stemmer, kan det tyde på at RAS-anlegg krever mindre landareal enn det som antydes av Hilmarsen et al., (2018).

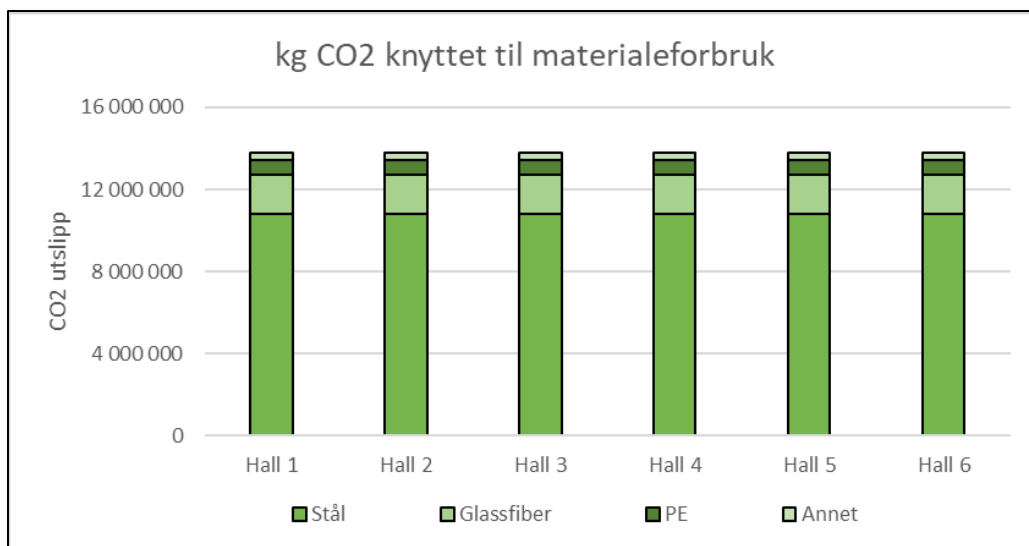
**Tabell 22. Antall tonn laks produsert i Norge i 2021 fordelt på RAS-anlegg med 10 000 tonn kapasitet**

Fylke	Tonn laks produsert (rundvekt) 2021	Antall anlegg (Kapasitet 10 000 tonn)
Troms og Finnmark	367 395	37
Nordland	361 767	36
Trøndelag	260 357	26
Møre og Romsdal	186 136	19
Vestland	272 865	27
Rogaland og Agder	109 354	11
Sum	1 557 875	156

Tabell 22 viser hvor mange RAS-anlegg som kreves hvis man skulle flyttet all produksjon av laks i 2021 på land, antatt produksjonskapasitet på 10 000 tonn. Produsert laks er hentet fra (Fiskeridirektoratet, 2021). Ved bruk av arealberegninger for TA ville dette tilsvare en arealendring på  $156 \cdot 35\,025 \text{ m}^2 = 5\,463\,900 \text{ m}^2$ . Da antas det også at produksjon av post-smolt kan skaleres opp til produksjon av matfisk, uten å måtte dimensjonere RAS-anleggene annerledes. En fotballbane med antatt lengde på 100 meter og bredde på 60 meter har et totalt areal på 6000m<sup>2</sup>. En utbygging av RAS-anlegg for å dekke dagens produksjon, antatt at alle anleggene bygges likt som TA, tilsvarer 911 fotballbaner.

**Tabell 23. CO<sub>2</sub>e – utslipp for bygging av TA**

kg CO <sub>2</sub> eq.	Hall 1	Hall 2	Hall 3	Hall 4	Hall 5	Hall 6	
Anleggsmaskiner	52 770	52 770	52 770	52 770	52 770	52 770	
Materiell Betong	5 634	5 634	5 634	5 634	5 634	5 634	
Materiell Stål	10 799 251	10 799 251	10 799 251	10 799 251	10 799 251	10 799 251	
Materiell PE	700 590	700 590	700 590	700 590	700 590	700 590	
Materiell GRP grating	1 927 598	1 927 598	1 927 598	1 927 598	1 927 598	1 927 598	
Materiell Steinull	7 220	7 220	7 220	7 220	7 220	7 220	
Arealendring	186 800	186 800	186 800	186 800	186 800	186 800	
Inkludert Arealendring (utenfor det arealet)	93 400	93 400	93 400	93 400	93 400	93 400	
<b>SUM Bygging</b>	<b>13 773 262</b>	<b>13 773 262</b>	<b>13 773 262</b>	<b>13 773 262</b>	<b>13 773 262</b>	<b>13 773 262</b>	<b>82 639 575 kg CO<sub>2</sub> eq.</b>



Figur 30. CO<sub>2</sub>e – Utslipp i TA

Tabell 23 viser antatt samlet CO<sub>2</sub>e-utslipp fra bygging av RAS-anlegget på TA, som ved ferdigstilling skal kunne ha en årlig kapasitet på 10 000 tonn post-smolt. Det er ikke medregnet bygging av administrasjonsbygget, lagerbygningen og renseanlegget. CO<sub>2</sub>e-utslippene knyttet til produksjon av inventar og maskiner som benyttes i anlegget er også ekskludert. Beregninger gjort i denne oppgaven har kommet frem til et samlet CO<sub>2</sub>e-utslipp ved bygging av TA på 82 639 575 kg. Det er knyttet usikkerhet til dette resultatet, grunnet usikkerhet som gjelder antagelser om materialbruk, arealbruk, utslippsfaktorer, og enkelte ekskluderinger fra beregningene, eksempelvis transport av materialer til Tytlandsvik. Ved å avskrive CO<sub>2</sub>e-utslippene forbundet med bygging av anlegget over en antatt levetid på 30 år etter ferdigstilling i 2027, forutsatt produksjon på 10 000 tonn post-smolt fra og med 2027. Utslippene blir da 0,27 kg CO<sub>2</sub>e/kg levende fisk produsert. Hvis anlegget har en levetid på 20 år vil det tilsvare 0,41 kg CO<sub>2</sub>e/kg levende fisk produsert.

### Utsett av postsmolt

Hypoteser rundt produksjon og utsett av postsmolt (Hilmarsen et al., 2018):

- *Vekst i norsk lakseproduksjon gjennom økt mulighet for mer effektiv utnyttelse av tilgjengelig MTB.*
- *Kortere produksjonstid i sjøen som bl.a. vil medføre redusert lusepress.*
- *Økt kontroll på ulike produksjonsparametere og dermed redusert risiko*
- *Økt overlevelse gjennom utsett av større og mer robust fisk.*
- *Raskere vekst og bedre velferd.*

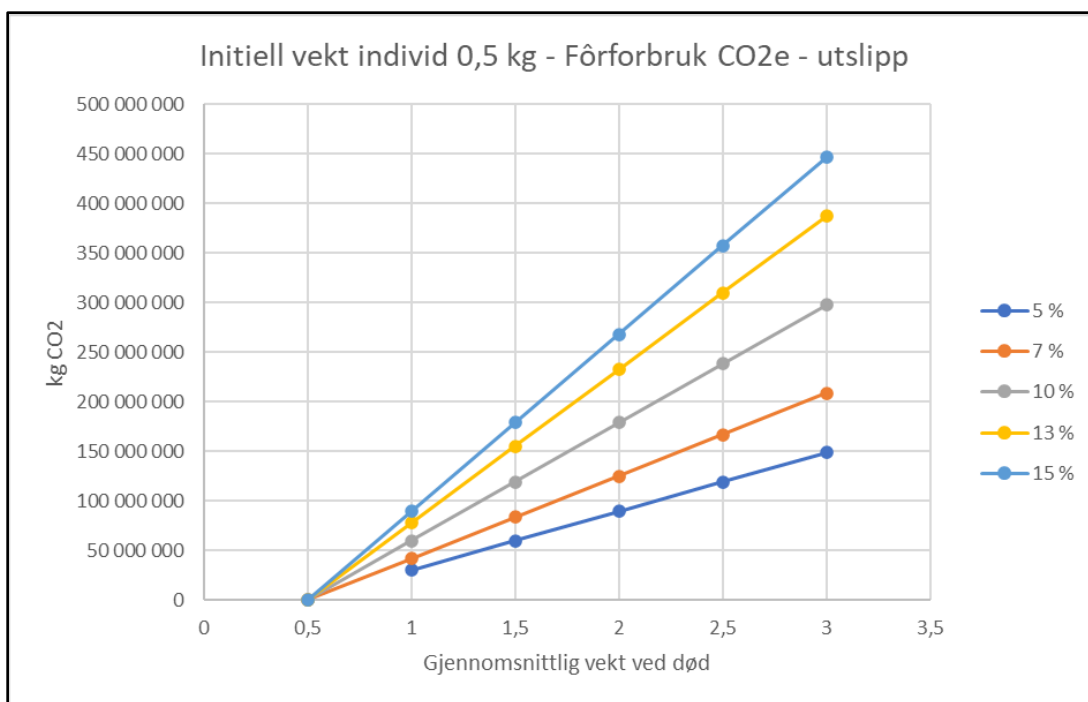
(Iversen, Hermansen, Nystøyl, Marthinussen, & Garshol, 2018) erfarer at tidligere utsett og større smolt, kombinert med et nytt regime for vaksinasjon og forbedringer i rognmaterialet, har ført til økt tilvekst de første månedene etter utsett, i tillegg til lavere svinn i samme del av syklusen. Samtidig har man sett en negativ trend i tilveksthastighet og svinn for de siste månedene av livssyklusen i sjøen (Iversen et al., 2018), noe som har overskygget bedringen i produksjonen rett etter utsett. Hyppigere behandlinger av fisken på grunn av lus og

sykdom blir av Iversen et al., (2018) beskrevet som en viktig årsak til lavere tilvekst (grunnet tap av fôring ved sulting før og etter behandlingen) og større svinn. De ønskede effektene av produksjon av postsmolt er foreløpig ikke oppnådd (Iversen et al., 2018), men Iversen et al., (2018) argumenterer likevel for at resultatet kunne vært verre både for slaktevekt og svinn, med de samme luseutfordringene, gitt en uendret utsettsvekst på smolten.

Tabell 24. Dødelighet for de 13 produksjonsområdene i Norge 2018-2020 (Nedrejord, 2021)

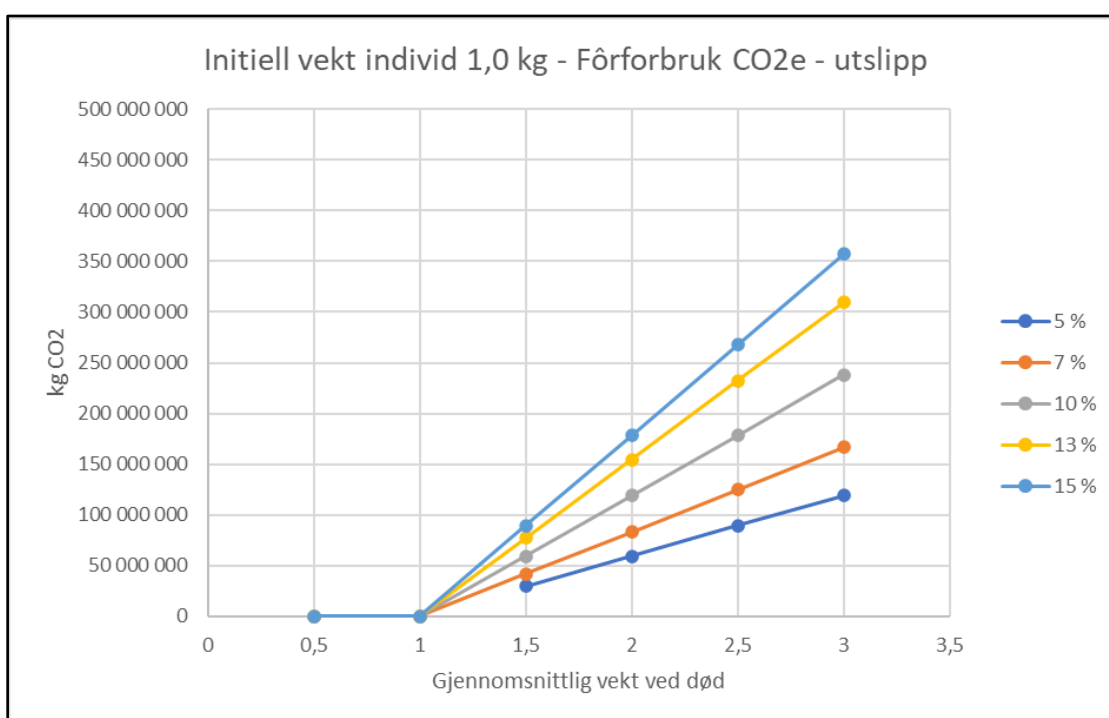
Produksjonsområde	Dødelighet 2018	Dødelighet 2019	Dødeligheten 2020
1	6	10,8	11,3
2	16,3	15,7	14,4
3	20,8	19,1	19,9
4	18	19,4	27,2
5	13,7	15	15,2
6	16,4	12,1	13,5
7	8,2	7,9	10,5
8	13,3	10,2	9,7
9	12,9	28,8	9,6
10	8,4	23	10,2
11	9,6	10,7	15,7
12	11,6	8,2	11,1
13	9,4	16,1	6,7

Som beskrevet i «Smolt produksjon» er det ikke funnet forskning på forskjellen i dødsraten for tradisjonell smolt vs. post-smolt i åpne merder. Gjennomsnittlig dødelighet for de 13 produksjonsområdene i Norge var i 2020 på 13,46% (Nedrejord, 2021). I det følgende er det beskrevet tre senarioer, med utsett av post-smolt på 0,5 kg, 1 kg og 1,5 kg. Dødsrater fra 15% og ned til 5% er inkludert i hvert senario. Dette gjøres for å se hvilken effekt redusert dødelighet vil ha på CO<sub>2</sub>e-utslippene forbundet med fôrforbruket. Økonomisk fôrfaktor benyttet i senarioene er på 1,32, som var den gjennomsnittlige økonomiske fôrfaktoren for åpne merder i sjøen i 2020. Totalt antall døde fisk i 2021 var 51 896 260 (Fiskeridirektoratet, 2021). Det er antatt at gjennomsnittlig dødelighet for 2021 også var på 13,5 prosent, og den totale beholdningen senarioene bygger på er derfor 51 896 260/0,135.

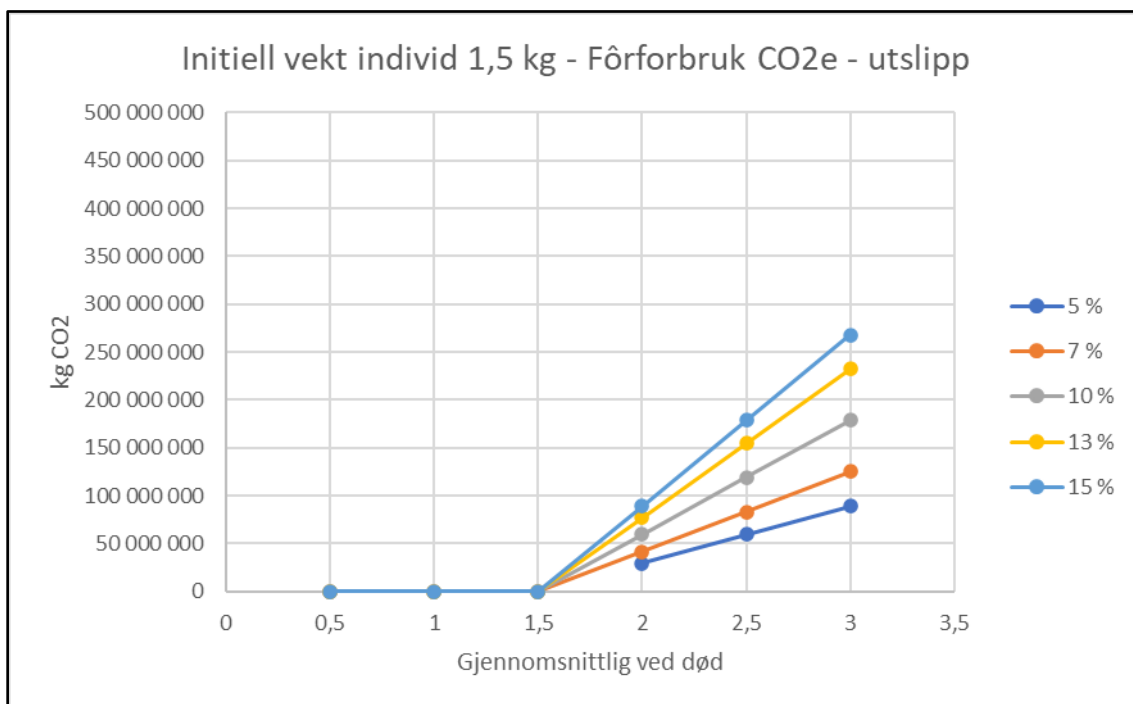


Figur 31. CO<sub>2</sub>e –Utslipp Fôrforbruk 0,5 kg

Figur 31 viser at ved utsett av post-smolt på 0,5 kg og antatt gjennomsnittsvikt på 3 kg for død fisk, vil en reduksjon i dødelighet fra 15% til 5%, tilsvare 300 000 000 kg CO<sub>2</sub>e -utslipp knyttet til fôr brukt på laks som ikke kan konsumeres. Dette er et ekstremt tilfelle, men det viser effekten en mulig redusert dødelighet ved utsett av post-smolt vil kunne ha på de totale CO<sub>2</sub>e -utslippene knyttet til fôrforbruk per kg laks produsert i åpne merder.



Figur 32. CO<sub>2</sub>e – Utslipp Fôrforbruk 1,0 kg



Figur 33. CO<sub>2</sub>e – Utslipp Fôrforbruk 1,5 kg

#### Vekstrate

Thermal growth coefficient (TGC) er en måte å beregne veksten til fisken. TGC er beregnet av (Thorarensen & Farrell, 2011) etter gjennomgang av andre studier, og viser til at det kan forventes en TGC på 2,7-3,0 for Atlantisk post-smolt.

TGC beregnes på følgende måte:

$$TGC = 1000 * (w_2^{1/3} - w_1^{1/3}) / (T * t) \quad (\text{Thorarensen \& Farrell, 2011})$$

TGC fra denne studien er beregnet for vanntemperatur mellom 4 – 14 °C. TA benytter en gjennomsnittstemperatur på 15 °C og det er antatt i denne oppgaven at også denne temperaturen kan benyttes til å regne ut TGC. (Thorarensen & Farrell, 2011) viser til at 15-16 °C er den optimale temperaturen for vekst for Atlantisk laks. Gjennomsnittlig TGC for TA er 2,496, som er noe lavere enn det (Thorarensen & Farrell, 2011) mener skal være mulig å oppnå. Dette er kun tall for én generasjon i TA, noe som øker usikkerheten knyttet til dataene.



Tabell 25. Vekstrate i TA

Kar	Snittvekt mottak (g)	Dager	Snittvekt levering	Temperatur (C°)	TGC
H101	227	97	1 027	15	2,742
H102	238	98	1 052	15	2,702
H103	55	132	573	15	2,274
H104	60	132	753	15	2,617
H201	142	92	642	15	2,468
H202	146	93	623	15	2,345
H203	113	92	554	15	2,444
H204	153	92	634	15	2,345
H304	86	95	513	15	2,526

Tabell 26. Dødelighet i TA

Død fisk i % for Hall 1 (2021)	0,476 %
Død fisk i % for Hall 2 (2021)	0,62 %
Død fisk i % for Hall 3 (2021)	0,414 %

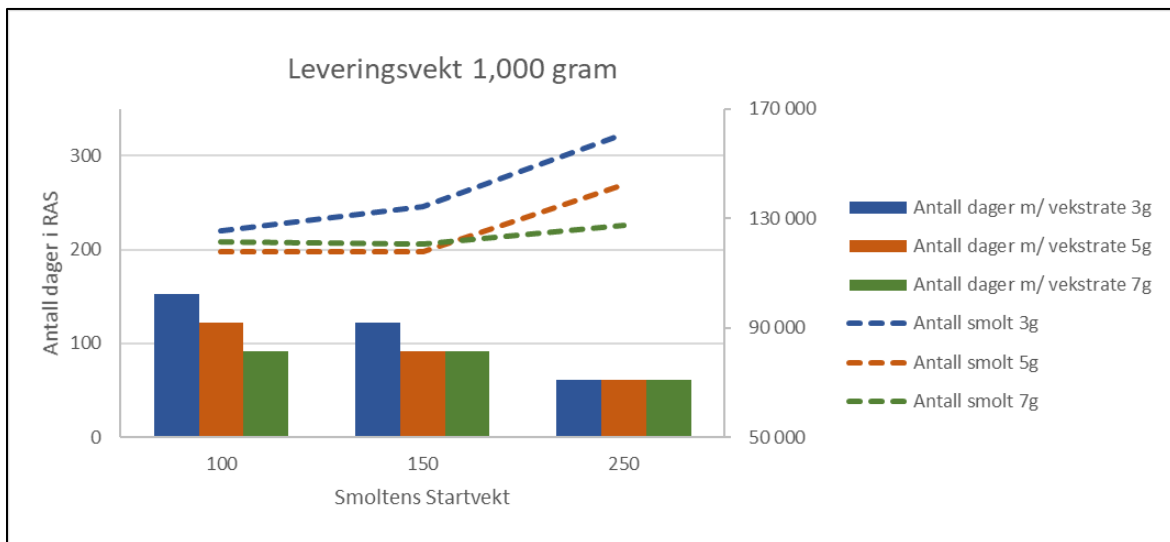
I 2021 døde mindre enn 1% av fisken som var i RAS-anlegget til TA. Hvis man flytter deler av matfiskproduksjonen opp på land for å redusere miljøpresset i fjordene, vil man redusere CO<sub>2</sub>e-utslippene forbundet med fôr som benyttes av fisk som dør. Hvis dødeligheten for produksjon av atlantisk laks i RAS-anlegg holdes nede, også for produksjon av matfisk, er det en mulighet for at kg CO<sub>2</sub>e/kg levende fisk produsert vil kunne være lavere enn for oppdrett i sjøen, selv om man inkluderer de negative klimaeffektene som høyt energiforbruk i produksjonsfasen og store CO<sub>2</sub>e-utslipp knyttet til bygging av anleggene.

Tabell 27. Gjennomsnittlig vektøkning gram/dag 2021

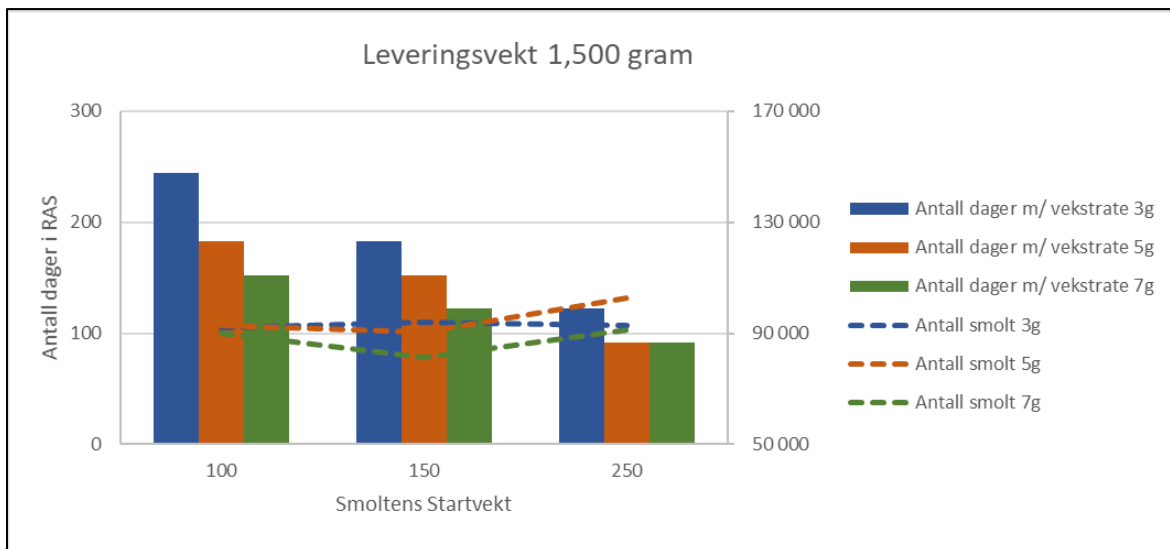
	Gram gjennomsnittlig vektøkning per dag					Startvekt	Sluttvekt
Hall 1							
TA-H101	3	8	10	9		228	1 027
TA-H102	3	9	10	8		238	1 052
TA-H103	1	2	4	6	5	55	573
TA-H104		2	3	5	7	60	559
Hall 2							
TA-H201		1	4	7	7	142	642
TA-H202		2	5	7	5	147	623
TA-H203		1	3	6	7	113	554
TA-H204		1	4	7	6	153	634
Hall 3							
TA-H304	1	2	5			86	513

Tabell 27 viser gjennomsnittlig vektøkning i gram per dag for én generasjon post-smolt produsert i 2021. Ut ifra tallene er det en gjennomgående trend at liten fisk har en lavere vekstrate enn det fisken har når den blir større.

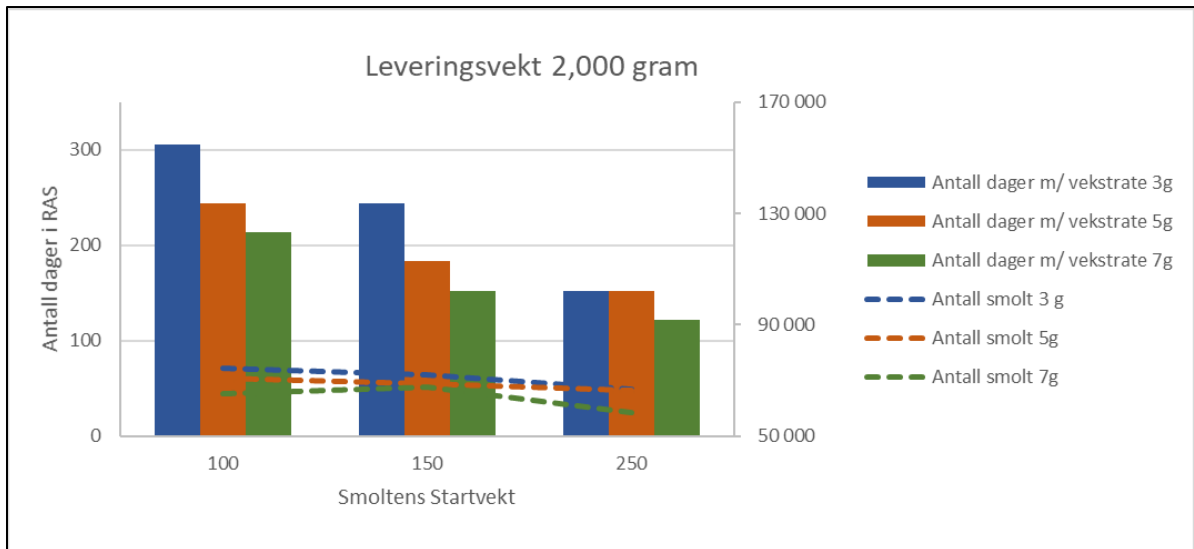
Excel-modellen laget i forbindelse med produksjon i TA ble brukt sammen med Solver-funksjonen for å se på antall dager smolten måtte oppholdet seg i anlegget før den nådde ønsket leveringsvekt på 1000, 1500 og 2000 gram. I tillegg ble modellen brukt til å finne antall fisk som kan tas inn i hvert kar når leveringsvekten økes, samtidig som MTB på 150 tonn ikke overskrides i løpet av produksjonsfasen. Dette er gjort for å kunne se på noen av konsekvensene ved produksjon av større post-smolt i TA. Resultatene er presentert i Figur 35, Figur 36 og Figur 37.



Figur 34. Antall dager i TA og antall fisk ved mottak – Leveringsvekt 1000 g



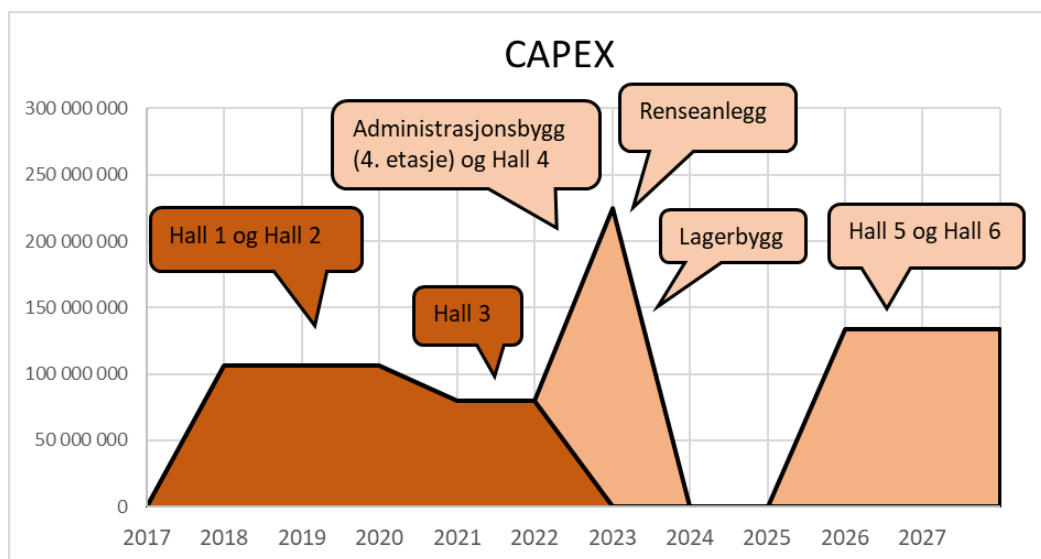
Figur 35. Antall dager i TA og antall fisk ved mottak – Leveringsvekt 1500 g



Figur 36. Antall dager i TA og antall fisk ved mottak – Leveringsvekt 2000 g

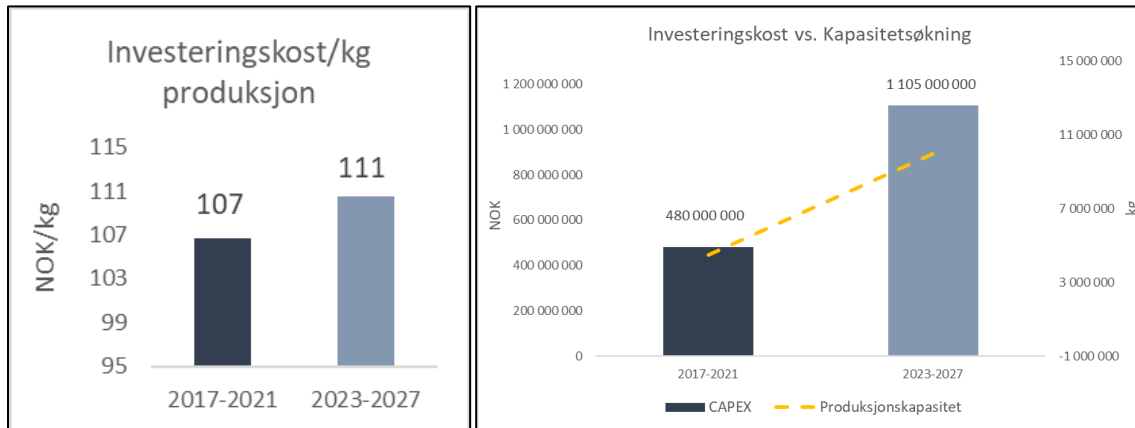
### Økonomien til TA

TA venter å ekspandere anlegget med tre nye haller. Planlegging av prosjektet har allerede begynt med en forventet start i byggeprosessen 2023. Totalt har investeringskostnaden for utbygging av Hall 1, Hall 2 og Hall 3 kostet 480 mill. NOK. Dette inkluderer også et administrasjonsbygg. Ettersom det jobbes med å øke kapasiteten i anlegg, vil det også være behov for et renseanlegg da slamsmengden som produseres vil øke i takt med produksjonen av post-smolt. Renseanlegget vil redusere mengden slam som transporteres ut av anlegget og dermed sette ned transporteringskostandene og CO<sub>2</sub>e-utslipp knyttet til transporten.



Figur 37. Investeringstekstnadene til TA

Figur 37 viser total investeringskostnad for TA. Bygging av hall 4, hall 5 og hall 6, et renseanlegg, et lagerbygg og utvidelse av administrasjonsbygget, er totalt budsjettert til ca. 620 mill. NOK.

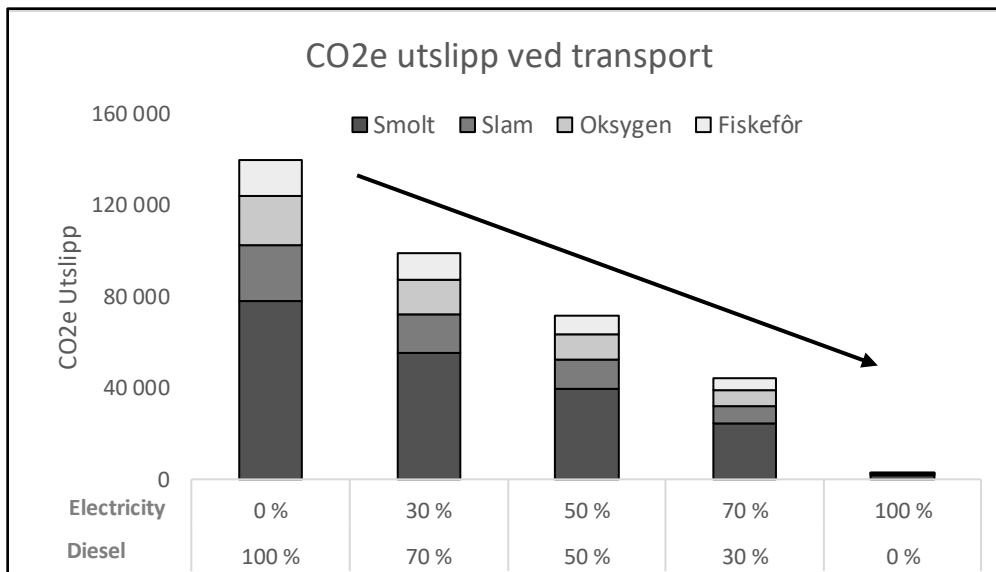


Figur 38. Investeringer vs. kapasitetsøkning.

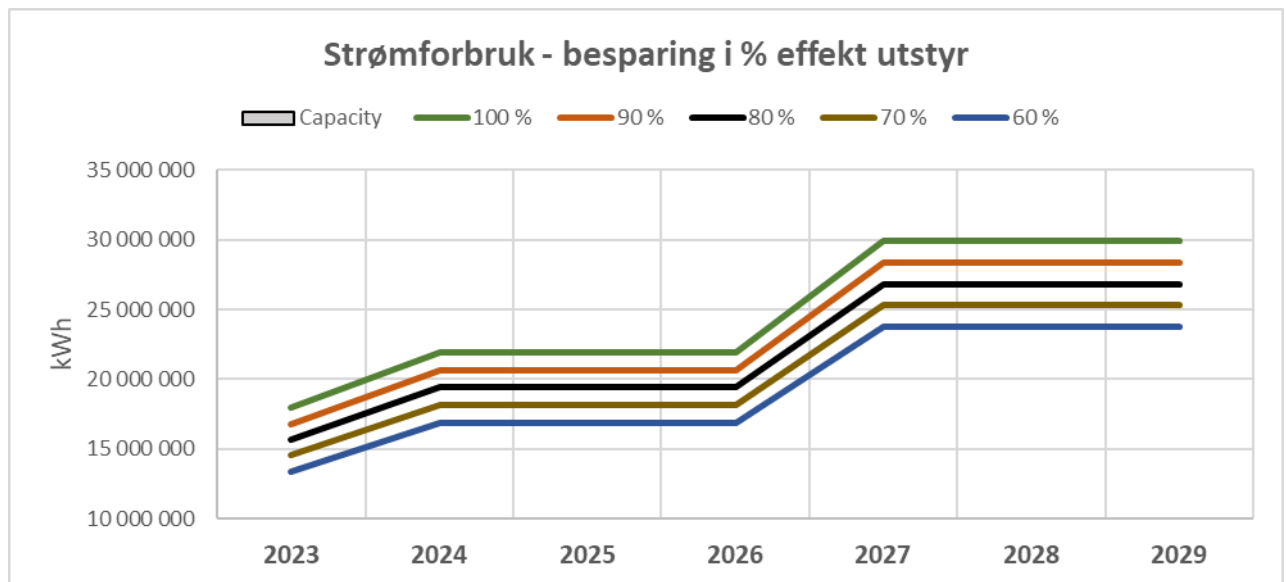
TA planlegger å øke produksjonskapasitet fra 5,000 tonn til 10,000 tonn innen 2027. Denne satsningen har også en betydelig investeringskostnad. Figur 38 viser at den totale investeringskostnaden samlet sett for anlegget vil bli 1,1 milliarder NOK sammenlignet med nåværende investering på 480 millioner. Per kilogram produksjonskapasitet blir dette henholdsvis 107 NOK/ kg produksjonskapasitet og 111 NOK/ kg produksjonskapasitet. Bjørndal & Tusvik, (2019) viser til en reduksjon i investeringskostnaden/kg produksjonskapasitet ved økt produksjonskapasitet. For TA vil kostnaden imidlertid gå opp ved økt kapasitet opp. Dette skyldes blant annet investeringene knyttet til renseanlegget.

### Transportkostnader

Figur 39 viser hvordan CO<sub>2</sub>e-utslippene vil gå ned i takt med redusert dieselforbruk knyttet til transport av smolt, oksygen og fôr til anlegget, og transport av slam ut av anlegget, antatt overgang til elektrisitet (antatt norsk miks) som energikilde. Det er ikke inkludert utslipp fra transport med brønnbåt.

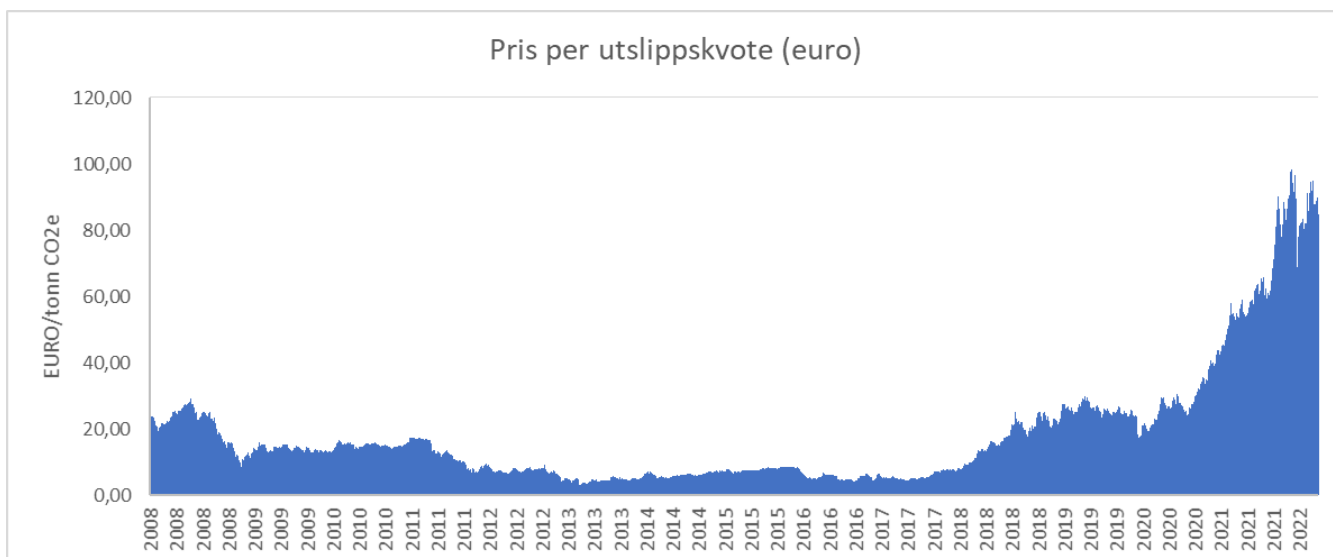


Figur 39. Reduksjon i CO<sub>2</sub>e-utslipp fra transport, antatt overgang til elektrisitet som energikilde



Figur 40. Endringer i energiforbruket for produksjonen antatt energieffektiviserende tiltak

Figur 40 viser endringer i strømforbruk fra produksjonen ved gjennomføring av energieffektiviserende tiltak, nevnt under «Energiforbruk for produksjonsfasen på land».

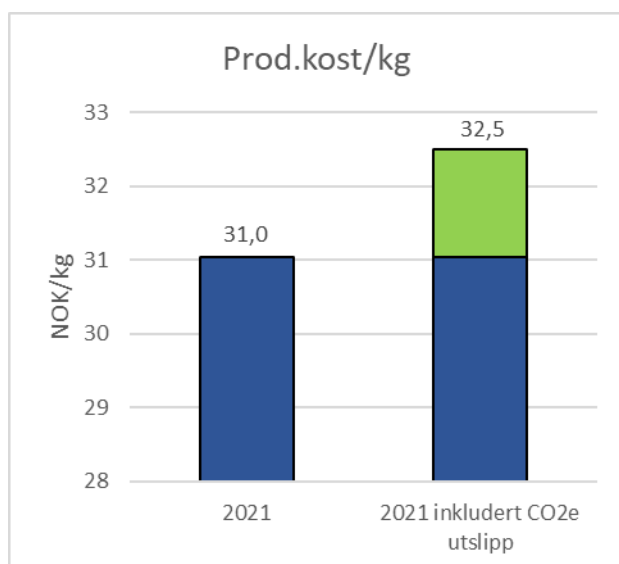


Figur 41. Pris per utslippskvot (Energi og klima, 2022)

Gjennomsnittspris i 2021: 54,66 Euro/tonn CO<sub>2</sub>e (Energi og klima, 2022).

Gjennomsnittspris i 2022: 84,16 Euro/tonn CO<sub>2</sub>e (Energi og klima, 2022).

I 2021 hadde TA en samlet driftskostnad på 90 millioner NOK (før avskrivninger). Med en produksjon på 2 911 800 tonn i 2021 vil det tilsvare 31 NOK/tonn. Hadde CO<sub>2</sub>e-utslipp vært pliktig å kostnadsføre for oppdrettsnæringen ville produksjonskostnaden samlet sett gått opp med 5% i 2021 for TA. Enhetskostnaden/kg ville da også gått opp fra 31 NOK/kg til 32,5 NOK/kg.



Figur 42. Sammenligner produksjonskostnad med og uten CO<sub>2</sub>-kvot

## Konklusjon

Formålet med oppgaven var å få oversikt over energiforbruket og klimagassutslippene knyttet til bygging og drift av et RAS-anlegg for post-smolt. Resultatene viser til at RAS-anlegg har et høyt energiforbruk knyttet til produksjonsfasen. Likevel kan det se ut til at miljø- og vekstforholdene til fisken er betydelig bedre i RAS-anlegg sammenlignet med oppdrett i åpne merder i sjøen. Lav dødelighet i RAS-anlegg gir en bedre økonomisk førfaktor, mer får nyttes, sammenlignet med oppdrett i åpne merder, dvs. mindre førsvinn. Miljøregnskapet har vist at CO<sub>2</sub>e-utslipp knyttet til produksjon i stor grad er forbundet med førforbruket. Da det tyder på at RAS-anlegg, i dette tilfellet TA, er effektive med høy førutnyttelse, kan det lønne seg med produksjon på land over tid, hvis man ser på utslippene alene. Hvis utsett av post-smolt fører til mindre behandling av fisken og en redusert dødelighet for laks i åpne merder, vil de reduserte CO<sub>2</sub>e-utslippene per kg laks produsert som følge av en lavere økonomisk førfaktor i sjøen, potensielt være så store at de vil redusere de totale utslippene til næringen og dermed kompensere for det høye energiforbruket i driften av anleggene, og utslippene knyttet til bygging.

Gjennomsnittlig strømforbruk for produksjonen i TA var 5,35 kWh/kg levende fisk produsert i 2021. Dieselforbruket på anlegget bidro i gjennomsnitt med 0,0052 kWh/kg levende fisk produsert. Hovedpumpene og avgassingssystemet står for det største energiforbruket i vannbehandlingen hos TA, med henholdsvis 46% og 22% av det totale strømforbruket. Med månedlige variasjoner fra 3,191 til 29,03 kWh/kg levende fisk produsert, ser man at det kan være behov for energieffektiverende tiltak i anlegget. For å oppnå energisparing på anlegget, vil loggføring av benyttet effekt og antall driftstimer for hver komponent, eventuelt de mest energikrevende komponentene være viktig. Installasjon av vannmålere vil kunne være et annet energieffektiverende tiltak for TA, da det vil kunne gi informasjon om den optimale strømningsraten for anlegget og samsvarende effektbehov for pumpene.

Beregninger gjort i denne oppgaven kan tyde på at tidligere antagelser knyttet til arealbruk og arealendring ved bygging av et RAS-anlegg har vært for høye. Total arealbruk for RAS-anlegget i Tytlandsvik med kapasitet på 10 000 tonn post-smolt er antatt å kreve 35 025 m<sup>2</sup>, noe som er betydelig lavere enn 90 000 m<sup>2</sup> som er antatt i en tidligere studie.

Utslipp knyttet til produksjon av stål står for de klart største utslippene forbundet med materialbruk i TA, og med antagelser om bruk av konstruksjonsstål og tilhørende utslippsfaktor vil utslippene knyttet til stålet alene bidra med et utslipp på 10 799 251 kg CO<sub>2</sub>e. Antar man at stålet resirkuleres etter bruk, vil utslippene knyttet til produksjonen av stålet reduseres med 6 983 261 kg CO<sub>2</sub>e. Antagelser som gjelder utslipp knyttet til bygging av et RAS-anlegg, vil derfor ha stor innvirkning på beregningene av det totale klimagassavtrykket til anlegget. Ved å gjøre innsparinger på materialbruk av typen stål, PE og glassfiber vil byggingen av kommende haller i Tytlandsvik kunne få et bedre klimagassavtrykk, sammenlignet med dagens haller.

Etter beregninger gjort i modellen for produksjon av post-smolt på 1500 g vil fisken måtte oppholde seg i anlegget mellom 90-250 dager, avhengig av startvekt og vekstøkning. For produksjon av post-smolt på 2000 g vil fisken måtte oppholde seg i anlegget mellom 120-310 dager, også dette avhengig av antatt startvekt og vektøkning.



## Kilder

- Ahmed, N., & Turchini, G. M. (2021). Recirculating aquaculture systems (RAS): Environmental solution and climate change adaptation. *Journal of Cleaner production*, 297, 126604.
- Aqua-calc. (2022) Calculate volume of compounds and materials per weight. <https://www.aqua-calc.com/calculate/weight-to-volume>
- Badiola, M., Basurko, O. C., Gabiña, G., & Mendiola, D. (2017). Integration of energy audits in the Life Cycle Assessment methodology to improve the environmental performance assessment of Recirculating Aquaculture Systems. *Journal of Cleaner Production*, 157, 155-166.
- Badiola, M., Basurko, O. C., Piedrahita, R., Hundley, P., & Mendiola, D. (2018). Energy use in recirculating aquaculture systems (RAS): a review. *Aquacultural engineering*, 81, 57-70.
- Baklien, A. T. (2020, 29. oktober) Nok et rekordår i oppdrettsnæringen. Hentet fra <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/artikler-og-publikasjoner/nok-et-rekordar-i-oppdrettsnaeringen>
- Bellona. (2020, 11. juni). Bærekraftig havbruk 2030. Hentet fra <https://bellona.no/nyheter/havbruk/2020-06-gronn-omstilling-i-havbruket-har-milliardpotensial/attachment/baerekraftig-havbruk-2030>
- Berge, A. (2014, 07. oktober). Pionérene: Brødrene Vik. Hentet fra <https://ilaks.no/pionerene-brodrene-vik/>
- Bjørndal, T., & Tusvik, A. (2019). Economic analysis of land based farming of salmon. *Aquaculture Economics & Management*, 23(4), 449-475.
- Bratberg, E. (2020, 11. desember) Nitrifikasjon. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/nitrifikasjonb>
- Bregnballe, J. (2010). A guide to recirculation aquaculture: an introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems.
- Brønnbåt. (2018, 23. februar) I *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/br%C3%B8nnb%C3%A5t>
- Crampton, V., Hølland, P.M., Bergheim, A., Gausen, M., Næss, A. (2003). Oxygen effects on caged salmon. *Fish Farming International*, pp. 26–27.
- Energi og klima (2022) Kvotemarked: EU og verden. Hentet fra <https://energiogklima.no/klimavakten/kvotemarked-eu-og-verden/>
- EPD-Norge. (2020, 8. desember). *PAROC NATURA Stone Wool Thermal Insulation*. Hentet fra [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1316482-1607426296/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-2582-1308\\_PAROC-NATURA-Stone-Wool-Thermal-Insulation--Lana-.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1316482-1607426296/EPDer/Byggevarer/Isolasjon/NEPD-2582-1308_PAROC-NATURA-Stone-Wool-Thermal-Insulation--Lana-.pdf)
- EPD-Norge. (2021, 8. desember). *PE 100 trykkrørssystem*. Hentet fra [https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321762-1638958512/EPDer/Byggevarer/R%C3%B8rsystemer/NEPD-3264-1905\\_PE-100-trykkrorsystem.pdf](https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321762-1638958512/EPDer/Byggevarer/R%C3%B8rsystemer/NEPD-3264-1905_PE-100-trykkrorsystem.pdf)
- Erko Seafood. (u.å). Laksens livssyklus. Hentet fra <https://erkoseafood.no/laks/>
- Fiskeridirektoratet. (2021). *Biomassestatistikk etter fylke*. Hentet fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Biomassestatistikk/Biomassestatistikk-etter-fylke>
- Fiskeridirektoratet. (u.å). Auksjon i august 2020. Hentet fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Auksjon-av-produksjonskapasitet/Auksjon-august-2020>

- Fiskeridirektoratet. (u.å). Biomasse. Hentet fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Drift-og-tilsyn/Biomasse>
- Fiskeridirektoratet. (u.å). Kapasitetsjustering/ trafikklssystemet. Hentet fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Kapasitetsjustering-trafikklssystemet>
- Fiskeridirektoratet. (u.å). Lønnsomhetsundersøkelse for laks og regnbueørret: matfiskproduksjon. Hentet fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Loennsomhetsundersoekelse-for-laks-og-regnbueoerret/Matfiskproduksjon-laks-og-regnbueoerret>
- Fiskeridirektoratet. (u.å). Tillatelse til akvakultur på land. Hentet fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tildeling-og-tillatelser/Kommersielle-tillatelser/Laks-oerret-og-regnbueoerret/Tillatelse-til-akvakultur-paa-land>
- FN. (2021, 28. oktober). Bærekraftig utvikling. Hentet fra <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling>
- European Environmental Agency. (2021) Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe — European Environment Agency. Hentet fra <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/overview-of-the-electricity-production-3/assessment-1>
- Hilmarsen, Ø., Holte, E. A., Brendeløkken, H., Høyli, R., & Hognes, E. S. (2018). OC2018 A-033- Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks–matfisk og post-smolt.
- Hofstad, K. (2021, 23. desember). Effekt (energi). I *Store norske leksikon*. Hentet fra [https://snl.no/effekt\\_-\\_energi](https://snl.no/effekt_-_energi)
- Hognes, E., Garrett, A., & SIK, F. Z. (2014). Handbook for greenhouse gas assessment of seafood products. *SINTEF Fisheries and Aquaculture*. [https://github.com/anistad/RAS-model/blob/master/Project\\_thesis.pdf](https://github.com/anistad/RAS-model/blob/master/Project_thesis.pdf)
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R., & Hess, E. J. (2017). Kostnadsutvikling i lakseoppdrett. Med fokus på fôr- og lusekostnader. Hentet fra <https://nofimaas.sharepoint.com/sites/public/Cristin/Rapport%2024-2017.pdf?ga=1>
- Iversen, A., Hermansen, Ø., Nystøyl, R., Marthinussen, A., & Garshol, L. D. (2018). Kostnadsdrivere i lakseoppdrett 2018 – Fokus på smolt og kapitalbinding. Hentet fra <https://nofima.brage.unit.no/nofima-xmlui/bitstream/handle/11250/2577667/Rapport%2b37-2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- JRC, E. (2010). International Reference Life Cycle Data System Handbook. European Commission Joint Research Centre and the Institute for Environment and Sustainability.
- Klimastiftelsen. (2021, 8. september). Hvert tonn teller. Hentet fra <https://klimastiftelsen.no/publikasjoner/hvert-tonn-teller/>
- Laksefakta. (2021, 04. oktober). Transport av laks. Hentet fra <https://laksefakta.no/lakseoppdrett-i-norge/transport-av-laks/>
- Lekang, O. I. (2007). *Aquaculture engineering*. Blackwell Pub.
- Lekang, O. I., Salas-Bringas, C., & Bostock, J. C. (2016). Challenges and emerging technical solutions in on-growing salmon farming. *Aquaculture international*, 24(3), 757-766.

- Liu, Y., Rosten, T. W., Henriksen, K., Hognes, E. S., Summerfelt, S., & Vinci, B. (2016). Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): Land-based closed containment system in freshwater and open net pen in seawater. *Aquacultural Engineering*, 71, 1-12.
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C., Heinsbroek, L. T., Schneider, O., Blancheton, J. P., ... & Verreth, J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural engineering*, 43(3), 83-93.
- Mattilsynet. (2016, 1. februar). Stadfestelse av vedtak. Hentet fra [https://www.mattilsynet.no/fisk\\_og\\_akvakultur/akvakultur/klagevedtak\\_om\\_akvakultur/2015143774.38967/binary/2015-143774](https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/akvakultur/klagevedtak_om_akvakultur/2015143774.38967/binary/2015-143774)
- Mattilsynet. (2022, 21. april). Fakta om brønnbåter og annen transport av levende fisk. Hentet fra [https://www.mattilsynet.no/fisk\\_og\\_akvakultur/akvakultur/bronnbat/fakta\\_om\\_bronnbaater\\_og\\_annen\\_transport\\_av\\_levende\\_fisk.5742](https://www.mattilsynet.no/fisk_og_akvakultur/akvakultur/bronnbat/fakta_om_bronnbaater_og_annen_transport_av_levende_fisk.5742)
- Meld. St.13 (2020-2021). Klimaplan for 2021-2030. Det Kongelige Klima- og Miljødepartement. <https://www.regjeringen.no/contentassets/a78ecf5ad2344fa5ae4a394412ef8975/nn-no/pdfs/stm202020210013000dddpdfs.pdf>
- Miljødirektoratet. (2020) Greenhouse Gas Emissions 1990-2018, National Inventory Report. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1643/m1643.pdf>
- Miljødirektoratet. (2021, 03. november). Norske utslipp og opptak av klimagasser. Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/>
- Miljødirektoratet. (2022, 06. mai). Drivhuseffekten. Hentet fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/Tema/Klima/Drivhuseffekten/>
- Miljødirektoratet. (u.å). Tiltak for å redusere ikke-kvotepiktige klimautslipp. Hentet fra <https://www.miljodirektoratet.no/tjenester/klimatiltak/klimatiltak-for-ikke-kvotepiktige-utslipp-mot-2030/?sector=-10>
- Misund, B., Oglend, A., Ache, F. (2018, November) The Case and Cause of Salmon Price Volatility
- Misund, B. (2019, 21. juni). Fôrfaktor. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/f%C3%B4rfaktor>
- Misund, B. (2021, 18.februar). Fiskeoppdrett. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/fiskeoppdrett>
- Nanox {anox0704}. (2014, 2. juni). A closed resirculating aquaculture system (CRAS) using oxygenated ultra fine bubbles. {Video}. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=W6lDgj5YwZg>
- Nedrejord, R. (2021, 10. mars). *Fortsatt høy dødelighet i norsk oppdrett – 52,1 millioner laks døde i merdene i fjor*. Hentet fra <https://www.intrafish.no/nyheter/fortsatt-hoy-dodelighet-i-norsk-oppdrett-52-1-millioner-laks-dode-i-merdene-i-fjor/2-1-976988>
- Nesfossen Smolt. (u.å). Litt om laksens livssyklus – fra rogn og gjennom de ulike livsstadiene til ferdig matfisk. Hentet fra <https://www.nesfossen.no/laksens-livssyklus/>
- Nguyen, A. K. (2021). *Miljøpåvirkning av et ventilasjonssystem evaluert med LCA program i tidlig prosjekteringsfase* (Master's thesis, University OsloMet, Oslo).

- Nistad, A. A. (2020). *Current and future energy use for Atlantic salmon farming in recirculating aquaculture systems in Norway* (Master's thesis, NTNU).
- Nistad, A. A., Hognes, E. S., Jenssen, J. I., Winther, U., Johansen, U., & Hermansen, T. S. (2021). Potensialet for reduserte klimagassutslipp og omstilling til lavutslippssamfunnet for norsk oppdrettsnæring. Hentet fra <https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/7649011/Rapport%20-%20Energi%20og%20klimakartlegging%20havbruk%20-%20Av%20Asplan%20Viak%20og%20SINTEF%20Ocean.pdf>
- NVE. (2020, 15. juni). Hvor kommer strømmen fra? Hentet fra <https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/>
- Olerud, K. & Lahn, B. (2020, 09. januar). CO2-ekvivalenter. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/CO2-ekvivalenter>
- Pedersen, B. (2021, 7. april). Oksidasjon. I *Store norske leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/oksidasjon>
- Philis, G., Ziegler, F., Gansel, L. C., Jansen, M. D., Gracey, E. O., & Stene, A. (2019). Comparing life cycle assessment (LCA) of salmonid aquaculture production systems: status and perspectives. *Sustainability*, 11(9), 2517.
- Plessner, T. S. W. (2015 26.juni). Hvordan prosjektere miljøvennlig med livsløpsvurdering (LCA). <https://www.sintef.no/siste-nytt/2015/hvordan-prosjektere-miljovennlig-med-livslopsvurde/>
- Powell, A., Treasurer, J. W., Pooley, C. L., Keay, A. J., Lloyd, R., Imsland, A. K., & Garcia de Leaniz, C. (2018). Use of lumpfish for sea-lice control in salmon farming: challenges and opportunities. *Reviews in Aquaculture*, 10(3), 683-702.
- Regjeringen. (2021, 10. Januar). Avgiftssatser 2022. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/avgiftssatser-2022/id2873933/>
- Regjeringen. (2021, 8. November). Avgift på utslipp av klimagasser og veibruksavgift. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/avgift-pa-utslipp-av-klimagasser-og-veibruksavgift/id2884952/>
- Regjeringen. (u.å). Forskrift om opprinnelsesgarantier for produksjon av elektrisk energi. Hentet fra [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/pdf\\_filer/forskrifter-lover/merknader\\_til\\_forskrift\\_om\\_opprinnelsesgarantier\\_for\\_produksjon\\_av\\_elektrisk\\_energi.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/pdf_filer/forskrifter-lover/merknader_til_forskrift_om_opprinnelsesgarantier_for_produksjon_av_elektrisk_energi.pdf)
- Rosenthal, H. (1986). *Flow-through and Recirculation Systems: Report of the Working Group on Terminology, Format, and Units of Measurement* (No. 49). Food & Agriculture Org..
- Ross, S. (2021, 30. mars). CAPEX vs. OPEX: What's the difference? Hentet fra <https://www.investopedia.com/ask/answers/112814/whats-difference-between-capital-expenditures-capex-and-operational-expenditures-opex.asp>
- Skontorp, E. & SINTEF Fiskeri og havbruk (2016 august). Miljøanalyse og Livsløpsanalyse (LCA). [https://tekmar.no/wp-content/uploads/2016/08/Milj%C3%B8analyse-og-LCA\\_SINTEF.pdf](https://tekmar.no/wp-content/uploads/2016/08/Milj%C3%B8analyse-og-LCA_SINTEF.pdf)
- Skretting. (2021). Hvilke råvarer inneholder fôr fra Skretting? Hentet fra <https://www.skretting.com/no/aapenhet-og-tillit/ofte-stilte-spoersmaal/hvilke-raavarer-inneholder-for-fra-skretting/>

- Solli, C., Nordby, A. S., Dahlstrøm, O., & Iversen, M. S. (u.å). Byggematerialer og klima {Powerpoint lysbilder}. Hentet fra <https://www.ntnu.no/documents/1264930397/1265429912/2+-+sollie.pdf/7c4b196e-f306-40af-bc1d-fa9b0acfe2c3>
- SSB. (2000, 23. august). Akvakultur (avsluttet i Statistisk sentralbyrå), 1999, foreløpige tall. Hentet fra <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/fiskeoppdrett/aar-forelopige/2000-08-23>
- SSB. (2016). Drivstofforbruk og utslipp per kjørte kilometer for et utvalg av trafikksituasjoner og kjøretøygrupper. <https://www.ssb.no/318322/drivstofforbruk-og-utslipp-per-kjorte-kilometer-for-et-utvalg-av-trafikksituasjoner-og-kjoretoygrupper.2016.g-km>
- SSB. (2021, 03. november). Utslipp til luft. Hentet fra <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/forurensning-og-klima/statistikk/utslipp-til-luft>
- SSB. (u.å) Energiinnhold, tetthet og virkningsgrad
- SSB. (u.å). Sal av petroleumsprodukt og flytande drivstoff. Hentet fra <https://www.ssb.no/statbank/table/09654/chartViewLine/>
- Standard-Norge. (2006a). NS-EN ISO 14040:2006 - Miljøstyring, Livsløpsvurdering, Prinsipper og rammeverk.
- Standard-Norge. (2006b). NS-EN ISO 14044:2006 - Miljøstyring - Livsløpsvurdering - Krav og retningslinjer.
- Statkraft (u.å) Lær mer om CO2. <https://www.statkraftvarme.no/kunnskapscenter/barekraft/utviklingsprosjekter/ccs---karbonfangst-og-lagring/lar-mer-om-co2/>
- Statkraft. (u.å). Opprinnelsesgarantier: Sikre 100 prosen fornybar kraft. Hentet fra <https://www.statkraft.no/nyheter/nyheter-og-pressemedlinger/arkiv/2020/opprinnelsesgarantier-sikrer-100-prosent-fornybar-kraft/>
- Svendsen, O. I. (2019). *Komponenter og energiforbruk i RAS-anlegg* (Master's thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås).
- Terjesen, B. F. (2017). *30 år med settefisk, 1986 til 2016 – hva nå?* {Powerpoint lysbilder}. Hentet fra <https://tekset.no/wp-content/uploads/2017/02/2-Terjesen.pdf>
- Thompson. S. (2020 februar) Klimagassutslipp ved ulike drivlinjer og drivstoff. <https://www.drivkraftnorge.no/contentassets/32918edde2e64aed8f9e5ccaa3278d0f/rapport-om-klimagassutslipp-fra-kjoretoy.pdf>
- Thorarensen, H., & Farrell, A. P. (2011). The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems. *Aquaculture*, 312(1-4), 1-14.
- Trykk (fysikk). (2019, 31. oktober). I *Store norske leksikon*. Hentet fra [https://snl.no/trykk\\_-\\_fysikk](https://snl.no/trykk_-_fysikk)
- Van Rijn, J. (2013). Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 53, 49-56.
- Verdegem, M. C. J., Bosma, R. H., & Verreth, J. A. J. (2006). Reducing water use for animal production through aquaculture. *Water resources development*, 22(1), 101-113.
- Winther, U., Hognes, E. S., Jafarzadeh, S., & Ziegler, F. (2020). Greenhouse gas emissions of Norwegian seafood products in 2017. *SINTEF Ocean*.

Zhang, S. Y., Li, G., Wu, H. B., Liu, X. G., Yao, Y. H., Tao, L., & Liu, H. (2011). An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. *Aquacultural Engineering*, 45(3), 93-102.