

# Rapport

## Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks – matfisk og post-smolt

### Forfatter(e)

Øyvind Hilmarsen (SINTEF nord) og Even Ambros Holte (SINTEF Ocean)

Hanne Brendeløkken og Randulf Høyli (SINTEF nord), Erik S. Hognes (Asplan Viak)





# Rapport

## Konsekvensanalyse av landbasert oppdrett av laks – matfisk og post-smolt

RAPPORTNR	PROSJEKTNR	VERSJON	DATO
OC2018 A-033	302003741	1.0	2018-09-19

**EMNEORD:**

Arealbruk, vannforbruk, logistikk, energiforbruk, klimaavtrykk, krav til utslipp, slam, risikoanalyse – teknisk og biologisk

**FORFATTER(E)**

Øyvind Hilmarsen (SINTEF nord) og Even Ambros Holte (SINTEF Ocean)  
Hanne Brendeløkken og Randulf Høyli (SINTEF nord), Erik S. Hognes (Asplan Viak)

**OPPDRAKSGIVER(E)**

FHF – Fiskeri- og Havbruksnæringens Forskningsfond

**OPPDRAKSGIVERS REF.**

Kjell Maroni

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

83 + vedlegg

**GRADERING**

Unrestricted

**GRADERING DENNE SIDE**

Unrestricted

**ISBN**

978-82-7174-332-1

**SAMMENDRAG**

Rapporten er resultat av et forskningsprosjekt utført på oppdrag for Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF). Hovedformålet har vært å analysere mulige konsekvenser ved å flytte all eksisterende og fremtidig produksjon av atlantisk laks, henholdsvis matfisk og postsmolt over i lukkede landbaserte system.

Konsekvensanalysen belyser faktorer som arealbehov, vannforbruk, logistikk, energiforbruk, klimaavtrykk, slam, og krav til utslipp. Tekniske og biologiske risikofaktorer er også vurdert. Hovedfokus hva gjelder teknologi har vært på resirkuleringsanlegg (RAS), men betraktninger knyttet til gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk er også utført enkeltvis.

**PROSJEKTLEDER**

Even Ambros Holte

**KONTROLLERT AV**

Ulf Winther

**GODKJENT AV**

Arne Fredheim

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBESKRIVELSE</b>
1.0	2018-03-23	Rapportutkast oversendt referansegruppe for kommentarer
2.0	2018-06-22	Rapportutkast oversendt referansegruppe for kommentarer
3.0	2018-08-10	Rapportutkast oversendt referansegruppe for kommentarer
4.0	2018-09-19	Endelig rapport overlevert oppdragsgiver

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Sammendrag</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Innledning</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Metode</b> .....	<b>9</b>
3.1	Definisjoner .....	9
3.2	Avgrensning .....	10
3.3	Metode teknologisk konsekvensanalyse .....	11
3.4	Metode klimaavtrykk .....	12
3.4.1	Data .....	13
3.4.2	Datakilder .....	13
3.4.3	Datagrunnlag .....	14
3.4.4	Avgrensninger .....	15
<b>4</b>	<b>Utvikling og fremtidsutsikter</b> .....	<b>16</b>
4.1	Matfisk .....	16
4.2	Settefisk (smolt og post-smolt) .....	18
<b>5</b>	<b>Resirkuleringsanlegg kontra gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk</b> .....	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>Dimensjonerende kriterier</b> .....	<b>21</b>
6.1	Dimensjonerende kriterier – matfisk .....	21
6.2	Dimensjonerende kriterier – post-smolt .....	22
<b>7</b>	<b>Konsekvensanalyse – landbasert matfiskoppdrett</b> .....	<b>23</b>
7.1	Arealbruk - matfisk .....	23
7.1.1	Arealbruk sjø - matfisk .....	24
7.1.2	Arealbruk land - matfisk .....	26
7.2	Logistikk – landbasert produksjon av laks .....	30
7.3	Vannforbruk – landbasert matfisk .....	32
7.3.1	Vannforbruk landbasert matfisk – RAS .....	33
7.3.2	Vannforbruk landbasert matfisk– gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk .....	34
7.4	Energiforbruk – landbasert matfisk .....	35
7.4.1	Energiforbruk landbasert matfisk – RAS .....	35
7.4.2	Energiforbruk matfisk - gjennomstrømningsanlegg .....	36
7.5	Klimaavtrykk – matfisk og post-smolt .....	37
7.5.1	Resultat landbasert oppdrett av matfisk .....	37
7.5.2	Resultat smolt og post-smolt .....	38
7.5.3	Resultat ved produksjonsøkning landbasert oppdrett .....	39
7.5.4	Sensitivitetsanalyser .....	39
7.5.5	Infrastruktur/Kapitalinvesteringer .....	40

7.5.6	Beste og verste tilfelle .....	41
7.5.7	Diskusjon.....	41
7.5.8	Datakvalitet.....	42
7.6	Krav til utslipp - matfisk .....	43
7.7	Slam fra landbasert – matfisk .....	44
7.7.1	Forbrenning .....	46
7.7.2	Biogassproduksjon.....	47
7.7.3	Gjødsel i landbruket.....	47
<b>8</b>	<b>Konsekvensanalyse – landbasert settefiskoppdrett (smolt og post-smolt) .....</b>	<b>48</b>
8.1	Arealbruk postsmolt .....	48
8.1.1	Arealbruk postsmolt – sjø.....	48
8.1.2	Arealbruk postsmolt – land .....	49
8.2	Logistikk – settefisk (smolt og post-smolt) .....	51
8.3	Vannforbruk – settefisk (smolt og post-smolt) .....	51
8.4	Energiforbruk – settefisk (smolt og post-smolt) .....	52
8.5	Klimaavtrykk – settefisk (smolt og post-smolt).....	52
8.6	Krav til utslipp – settefisk (smolt og post-smolt) .....	52
8.7	Slam – settefisk (smolt og post-smolt).....	53
<b>9</b>	<b>Teknologisk og biologisk risikoanalyse for landbasert post-smolt- og matfiskoppdrett .....</b>	<b>54</b>
9.1	Generell kompetanse.....	54
9.2	Funksjonsvennlighet, driftsvennlighet og vannkvalitet .....	56
9.3	Prosjektering og bygging.....	62
9.4	Tetthet, veksthastighet, svinn.....	65
9.5	Sykdom, parasitter og bakteriell kontroll .....	68
9.6	Kvalitativ risikoanalyse.....	71
<b>10</b>	<b>Konklusjon og punkter til videre arbeid .....</b>	<b>74</b>
<b>11</b>	<b>Takk til .....</b>	<b>76</b>
<b>12</b>	<b>Referanser.....</b>	<b>77</b>

#### BILAG/VEDLEGG

Ingen

## 1 Sammendrag

Denne rapporten er resultat av et forskningsprosjekt utført på oppdrag for Fiskeri og Havbruksnæringens Forskningsfond (FHF). Hovedformålet har vært å analysere mulige konsekvenser ved å flytte all eksisterende og fremtidig produksjon av atlantisk laks, henholdsvis matfisk og post-smolt, over i lukkede landbaserte system. Konsekvensanalysen belyser faktorer som arealbehov, vannforbruk, logistikk, energiforbruk, klimaavtrykk, slam, og krav til utslipp. Tekniske og biologiske risikofaktorer er også vurdert. Hovedfokus hva gjelder teknologi har vært på resirkuleringsanlegg (RAS), men betraktninger knyttet til gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk er også utført for enkelte faktorer.

I et nasjonalt perspektiv er det stor interesse for landbasert oppdrett, særlig knyttet til oppdrett av settefisk (smolt og post-smolt), men også innen oppdrett av matfisk. Vedrørende sistnevnte kan en vise til 12 initiativ som er på planleggingsstadiet og hvor om lag halvparten har fått innvilget konsesjon. Likefullt registreres det at mange har utfordringer knyttet til finansiering, da særlig hvor privat og investeringsvillig kapital ikke er tilstede. I tillegg nevnes initiativet til Fredrikstad Seafoods, som for tiden er eneste anlegg under bygging, hvor første utsett av lakseyngel er planlagt til desember 2018. Det er også forventninger knyttet til at Salmofarms kommer i land med sin finansieringsprosess i løpet av Q3/Q4 2018.

Gitt en full overgang til landbasert **oppdrett av matfisk**, inkludert fremtidig vekst, viser konsekvensanalysen at en med utgangspunkt i dagens RAS-teknologi vil legge beslag på et betydelig landareal. Dersom alle anlegg bygges med årlig produksjonskapasitet på 10 000 tonn vil det være behov for 130 anlegg, og et estimert bruttoareal på 11 700 mål. Arealbeslag for samme anleggstype per anlegg er estimert til 90 000 m<sup>2</sup>, mens et anlegg basert på gjennomstrømningssteknologi med gjenbruk vil kreve nærmere 64 000 m<sup>2</sup>. Ved full produksjonsdekning vil det gi et totalt arealbehov på 8 288 mål. Samtidig blir det i en slik debatt viktig å diskutere hva som er å anse som "betydelig" areal, og at sammenligninger gjøres mot øvrig norsk arealkrevende industri. Arealbeslag knyttet til jordbruk for Finnmark ble i 2016 estimert til ca. 92 500 mål, landets fylke med minst andel jordbruksareal sett bort fra Oslo. Videre er Tromsøya 21 700 mål, noe som betyr at en full dekning av landbasert virksomhet for dagens produksjon vil kreve om lag 54% av Tromsøya sitt totale landareal. En overgang til landbasert virksomhet vil medføre et estimert energiforbruk på mellom 7,8 og 11,7 TWh, og antas være relativt likt for begge anleggstyper. Her med utgangspunkt i et årlig energiforbruk per kg produsert laks på henholdsvis 6 kWh og 9 kWh. Til sammenligning er årlig energiforbruk for Oslo om lag 9 TWh per år, og totalt forbruk for metallindustrien var i 2017 ca. 33 TWh. I tillegg til et betydelig vedheftet vannforbruk, estimert til ca. 0,520 og 33,7 milliarder m<sup>3</sup> per år for henholdsvis RAS og gjennomstrømming med gjenbruk, vil en storstilt landbasert virksomhetsform også medføre produksjon av en vesentlig mengde slam. Ved dagens produksjon av matfisk på land vil det teoretisk produseres 238 333 tonn slam med 90 % tørrstoff. For sistnevnte er gode kommersielle løsninger med tanke på utnyttelse og avhending fortsatt ikke godt nok etablert, og må følgelig videreutvikles. Klimaregnskapet viser at laks produsert i landbaserte oppdrettsanlegg kan ha et klimaspor på 4-6 kg CO<sub>2</sub>e/kg matfisk produsert. Dette intervallet kommer av spennet i viktige parameter som økonomisk førfaktor energiforbruk, arealbruk og fabrikkens levetid. Et scenario satt opp med parameter antatt som mest sannsynlig resulterte i et klimaspor på 5,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg matfisk produsert på land. Videre, til tross for at datagrunnlag og metode ikke muliggjør en direkte sammenligning mellom øvrige landbasert virksomhet for matproduksjon, viser tall at landbasert oppdrett befinner seg i spennet for klimasporet til kylling (2 - 6 kg CO<sub>2</sub>e/kg kjøtt), og svin (3,5 - 11 kg CO<sub>2</sub>e/kg kjøtt). Og med god margin under rødt kjøtt (14-30 kg CO<sub>2</sub>e/kg kjøtt).

Det konkluderes videre med at det ennå er store mangler knyttet til vitenskapelige dokumenterte data for produksjon av matfisk for atlantisk laks på land, og hvor det driftsmessige erfaringsgrunnlaget foreløpig er spredt på få internasjonale produsenter med relativt kort historikk.

Når det gjelder **settefiskproduksjon (smolt og post-smolt)**, viser industrien et økende fokus mot å produsere en stadig større smolt, altså post-smolt (200 gram – 1000 gram). En tydelig bekreftelse på dette er de siste 5-10 års økning i investeringer og store utbygginger. Både knyttet til bygging av nye anlegg, men også utvidelse og oppgradering av eksisterende. En utvikling som i stor grad ser ut til å være drevet av forventninger knyttet til bl.a. mer effektiv utnyttelse av tilgjengelig MTB, kortere produksjonstid i sjø – som igjen vil føre til redusert lusepress, samt raskere vekst og bedre fiskevelferd. Per i dag finnes ingen oppdatert offisiell statistikk hva gjelder eksisterende antall RAS-anlegg i kommersiell drift, men Hjeltnes, et al. (2017) viser til tall fra 2013 om at det da fantes 23 anlegg. Det er bygget et betydelig antall anlegg siden den gang, og det er et uttalt behov for en kartlegging av dagens anlegg. Gitt en full overgang til landbasert post-smolt produksjon viser det store bildet at det er behov for relativt få men store RAS-anlegg, forutsatt at alle anlegg bygges med årlig produksjonskapasitet på 3 000 tonn. Med utgangspunkt i dagens produksjon av settefisk (340 mill.), og at all fisk produseres med en snittvekt på 0,5 kg, vil det anslagsvis være behov for totalt 57 RAS-anlegg med et estimert totalt arealbehov på 1 020 mål. En dobling av produsert biomasse gir en tilnærmet dobling av antall anlegg, (113), og et totalt arealbehov tilnærmet 2 040 mål. Hva gjelder vannforbruk ved RAS viser estimatene at dagens produksjon av settefisk, med en snittvekt 0,15 kg, vil gi et totalt årlig vannforbruk på om 20,4 millioner m<sup>3</sup> per år. Dersom fisken produseres med en snittvekt på 0,5 kg vil vannforbruket øke til 68 millioner m<sup>3</sup> per år. Gitt et energiforbruk på 3 kWh/kg fisk produsert, og at all settefisk i Norge blir produsert ved bruk av RAS-teknologi til en størrelse på 0,5 kg, gir et estimert totalt årlig energiforbruk på 0,5 TWh. Dersom energiforbruket øker til 5 kWh/kg fisk vil det totale energiforbruket for samme produksjon øke til 1,5 TWh. Ved dobling av produksjonen blir estimert totalt energiforbruk for samme vektklasse 1,0 TWh og 3,1 TWh, da gitt energiforbruk per kilo produsert settefisk på henholdsvis 3 kWh og 5kWh. Tallene viser dermed at en økning i antall kWh/kg settefisk produsert fra 3 kWh til 5 kWh gir relativt store utslag for det totale forbruket (estimert til en tredobling), noe som igjen understreker viktigheten av å utvikle mer energieffektive løsninger for RAS-anlegg. Det samlede klimaregnskapet ble 4,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg smolt solgt. Ved endring av dagens produksjon av settefisk til postsmolt med størrelse 0,5 kg, vil det gi en total produksjon av slam med 90 % tørrstoff på 28 050 tonn per år. Fordelt på 57 anlegg innebærer at hvert anlegg årlig vil produsere om lag 492 tonn slam med 90 % tørrstoff.

Hva gjelder **teknologisk og biologisk risiko** drøfter rapporten risikoelement og reduserende tiltak knyttet til generell kompetanse, funksjons- og driftsvennlighet, prosjektering og bygging, tetthet, veksthastighet og svinn, samt sykdom parasitter og bakteriell kontroll. Det generelle bildet er komplekst og sammensatt, og at det er mange fellesnevner mellom landbasert oppdrett av matfisk og settefisk. Landbasert oppdrett er som kjent en intensiv produksjonsform, og som i øvrige industrier, stilles det stadig strengere krav til kompetanse etter hvert som produksjons- effektivitet og intensivitet øker. Viktigheten av dette blir ikke mindre sett i lys av de uhell og tilfeller av død og massedød ved flere matfisk- og settefisk anlegg, både nasjonalt og internasjonalt. For å lykkes med landbasert oppdrett (matfisk og settefisk), er det derfor nødvendig å sikre et kompetent og ikke minst tverrfaglig miljø. Særlig ettersom aktiviteter er knyttet til bl.a. biologi, vannkjemi, teknologi, elektrisitet, ventilasjon, prosjektering, byggeprosesser, og generell røkterkompetanse. Dette gjelder helt fra design av anlegg til bygging og oppstart av produksjon, og ikke minst ved daglig drift og periodisk vedlikehold. Særlig røkter-rollen har endret seg mye og tilgang på dyktige røktere fremheves som en mangelvare for landbasert virksomhet, ettersom RAS medfører et stort behov for å forstå samspillet



mellom prosesseteknologi og biologi. Næringen har også hatt – og har fortsatt – utfordringer knyttet til optimal håndtering av fisk og styring av optimal vannkvalitet. For å bygge den nødvendige kompetansen blir derfor dokumentering av erfaring fra de prosjekter og anlegg som startes svært viktig, og særlig sett i lys av "jakten på de konstadseffektive løsningene". Herunder også tiltak og løsninger for redusert risiko, og kanskje særlig en betydelig økt innsats innenfor det biologiske fagfeltet. Dette betyr at kompetanse knyttet til røkting og teknologi må heves gjennom en samlet innsats fra hele næringen, inkludert FoU og forvaltning, og den praktiske erfaringen må dokumenteres. Dette blir spesielt viktig ettersom RAS er inne i en fase hvor utviklingen går svært raskt. Uten en slik dokumentasjon reduseres næringens mulighet til å høste erfaringer, ettersom anlegg og teknologi bygges og endres i et stadig økende tempo.

Følgende punkter er identifisert som sentrale for videre arbeid (ikke prioritert rekkefølge):

1. Fremskaffe oppdatert oversikt dagens settefiskproduksjon i Norge, antall landbaserte anlegg (matfisk og settefisk), men tilhørende produksjons-kapasitet og teknologi.
2. Ved design av anlegg bør kompetanse knyttet til Computational Fluid Dynamics (CFD) analyse heves og utnyttes i større grad, bl.a. for å sikre optimal vannkvalitet og stabil vannutskiftning, samt unngå "stillestående" vann.
3. Økt innsats knyttet til dokumentering og formidling av erfaringsbasert kunnskap på tvers av produsenter og leverandører, både i forhold til design av anlegg og ikke minst drift av RAS-anlegg.
4. Tekniske løsninger, protokoller og prosedyrer for å sikre optimal vannkvalitet, særlig sett i lys av at stor fisk (over 1,5 kg) ser ut til å være mer miljø-sensitiv enn liten fisk. Herunder også hvilke barrierer som må etableres for å minimere risiko for inntak av smittekilder via vannkilde (barrierer for rensing av vann).
5. Etablere verifiserte vannkvalitetsparameter for RAS, da både for liten fisk (under 1,5 kg), og for stor fisk (over 1,5 kg). Dette koblet mot krav for dimensjonering av system for vannrensing og barrierer for vanninntak. Dette vil bedre beslutningsgrunnlag for risikostyring av produksjon og økt sannsynlighet for oppnåelse av planlagt vekt.
6. Styrke innsatsen mot opprettelse av effektive transportløsninger for håndtering av slam, samt løsninger for videreforedling.
7. Etablere nye krav for rapportering av meldepliktige tilfeller av svinn og dødelighet, slik at kjent årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet, vannforbruk rapporteres inn sammen med andel tappt biomasse.
8. Utvikle nye tekniske løsninger for redusert energiforbruk ved RAS og gjennomstrømming med gjenbruk.
9. Behov for å videreutvikle fôr tilpasset landbasert oppdrett, både i forhold til ernæringsmessig kvalitet og teknisk kvalitet. Dagens fôr er i stor grad tilpasset merdbasert oppdrett.
10. Bruke avl og genetikk for å få frem en atlantisk laks rettet mot landbasert oppdrett, hvor bl.a. to viktige forskningsområder vil være å avle frem laks med økt toleranse mot partikkelmengder i vann og høyere CO<sub>2</sub>-toleranse. Her ligger det et betydelig forskningsbehov, som også vil ha stor verdi for produksjon av laks ved lukkede anlegg i sjø.
11. Økt innsats for identifisering av faktorer som bidrar til tidlig kjønnsmoden fisk, samt reduserende tiltak.

## 2 Innledning

Fra prosjektforslaget heter det: "Grunnet eksterne effekter ved tradisjonelt sjøbasert oppdrett av laks, særlig lakselus og rømming, er det stor interesse for nye teknologier og driftsløsninger som kan redusere disse problemene. Både i og utenfor Norge er det stor interesse for lukket landbasert teknologi. Bl.a. i USA, der et landbasert anlegg med produksjonsmål på 90.000 tonn er under planlegging i Miami (Sapphire Seafood Ltd), må nevnes spesielt. Analyser viser at landbasert produksjon av laks under jevne forutsetninger kan være økonomisk og miljømessig interessant, særlig der produksjonen blir lagt nært til markedet. (Bjørndal og Tusvik, 2017; Liu mfl., 2016; DnB Markets 2017). Det er allerede flere etableringer av landbasert oppdrett av matfisk i Norge under planlegging, hvorav ett anlegg er under utbygging. Samtidig blir flere initiativ lansert. Det er relativt få etablerte anlegg for produksjon av matfisk på global basis. Det er likevel klart at det i Norge og tradisjonelle produsentland er flest initiativ på produksjon av stor-smolt eller post-smolt med RAS-teknologi. I tillegg er det enkelte som foreslår at all norsk oppdrettslaks skal produseres i lukka anlegg, enten på land eller i flytende anlegg i sjø, for blant annet å minske utfordringene med lakselus, rømming og utslipp av organisk materiale. Spesielt blir det hevdet at dette er nødvendig dersom produksjonen av laks skal flerdobles frem mot 2030 og 2050.

Hovedformålet til denne delen av rapporten er derfor å belyse mulige konsekvenser og ulike risikofaktorer ved å flytte all eksisterende og fremtidig produksjon av henholdsvis matfisk og post-smolt over i lukkede landbaserte system. Fremtidig produksjon ansees da å være vesentlige bidrag mot å realisere de politiske vekstambisjoner satt for havbruksnæringen frem mot 2030 og 2050 (Olafsen, et al., 2012). Resultatene er tenkt å utgjøre et faglig grunnlag i debatten om oppdrett i lukkede system og fremtidig utvikling av næringen. Arbeidet har analysert og diskutert konsekvensene relatert til en rekke ulike faktorer, og utgjør således viktige innspill til de økonomiske analysene:

- Arealbruk (m.a. hvor store og hva slags type areal som vil bli utnyttet), alternativ bruk av aktuelle areal og arealkostnader.
- Logistikk, både med tanke på produksjon og når det gjelder leveranser, samt sammenhengen med geografisk fordeling av areal.
- Vannforbruk.
- Energiforbruk.
- Klimaavtrykk.
- Krav til utslipp (organisk materiale, patogen).
- Slam (mengde, behandling, potensial for bruk).
- Teknologisk og biologisk risikoanalyse hvor det gjøres en drøfting av sentrale forutsetninger som krav til kompetanse, funksjons- og driftsvennlighet, byggefase, fisketetthet, veksthastighet, svinn, sykdom/parasitter m.m.

Rapporten gir en kort innføring i valg av metoder som er benyttet for å gjennomføre konsekvensanalysen av overnevnte punkter, inkludert sentrale definisjoner og naturlig avgrensninger for arbeidet (kapittel 3). Påfølgende kapittel gir et generelt innblikk hva gjelder utviklingstrekk og fremtidsutsikter knyttet til landbasert oppdrett av både matfisk og settefisk (smolt og post-smolt), før kap. 5 gir en kort beskrivelse av hvordan ulike teknologiske løsninger for produksjon (RAS og gjennomstrømming), kan påvirke lokalisering, vannforbruk, samt hvordan disse håndteres gjennom påfølgende konsekvensanalyse. Kap. 6 presenterer anleggenes dimensjonerende kriterier (post-smolt og matfisk), og utgjør et viktig grunnlag for de analyser som er gjennomført. Kap. 7 og kap. 8 presenterer konsekvensanalysen av henholdsvis matfisk og post-smolt,

før en i kap. 9 drøfter og diskuterer sentrale parameter knyttet til teknisk og biologisk risiko. Kap. 10 gir en kort oversikt over hovedfunn og sentrale punkter for videre arbeid.

### 3 Metode

Kapittelet gir en kort innføring omkring prosjektets avgrensning, sentrale definisjoner, anvendt metode for gjennomføring av konsekvensanalysene. Metoden anvendt for utredning av klimaavtrykk er beskrevet separat (kapittel 3.4).

#### 3.1 Definisjoner

##### Produksjonsteknologi

Det finnes hovedsakelig to ulike produksjonsteknologier for landbasert oppdrett av settefisk (smolt og post-smolt) og matfisk: (1) Recirculating Aquaculture System (RAS), og (2) Gjennomstrømmingsanlegg. Følgende definisjoner er lagt til grunn for denne rapporten.

1. Gjennomstrømmingsanlegg: Vannet som benyttes til produksjon føres inn i anlegget ved ett inntakspunkt, sirkuleres gjennom karene med fisk, for så føres ut av systemet. Tradisjonelt var dette systemet bygget opp helt uten gjenbruk, noe man i senere tid har gått mer og mer bort i fra. I dag designes slike anlegg hovedsakelig med en viss andel gjenbruk av vann. Vannet blir tilsatt oksygen og luftere installeres for å fjerne CO<sub>2</sub>. Graden av gjenbruk av vann kan typisk være 30-70%, og som følgelig gir ulikt spesifikt vannforbruk (l/min/kg fisk), (Aspaas, 2014). For denne type anlegg benyttes *ikke* biologiske filter.
2. Recirculating Aquaculture Systems (RAS): For at produksjonen av laks (settefisk og matfisk) skal kunne økes ytterligere på samme vannkilde er det nødvendig å resirkulere vannet. Slike anlegg har mange paralleller med øvrige kommunale vannbehandlingsanlegg, hvor flyten av vann "er det som driver prosessene ved at den frakter oksygen til fiskekulturen, mottar avfallsstoffer fra fiskekulturen og frakter avfallsstoffer fra oppdrettstankene til vannbehandlingsenheten" (Rosten et al., 2011, s. 39). Vannet må da renses for ammoniakk ved bruk av biologiske filter og partikulært materiale ved bruk av mekaniske filter, sedimentasjon og kjemiske prosesser. Typisk resirkuleringsgrad er i området 95-99 prosent og all fisk går på temperaturregulert vann frem til utsett i sjø eller slakt. Majoriteten av anlegg oppdretter fisken på brakkvann med en salinitet på 12-14 promille (Aspaas, 2014), samt at enkelte produsenter bruker ferskvann med tilsatt sjøvann (2-3 promille).

##### Anleggstyper

Ettersom prosjektet omtaler "lukkede anlegg" og "semi-lukkede" anlegg er det også her nødvendig med en begrepsavklaring.

1. I følge Rosten, et al. (2011, s 39) er "lukkede" anlegg "kun anlegg med full resirkulering (RAS) inkludert de-nitrifisering og effektiv slam-behandling og -utnyttelse, som nærmer seg en korrekt bruk av ordet "lukket", selv om all matproduksjon i prinsippet vil ha utveksling med det eksterne miljø".
2. "Semi-lukkede" anlegg kan på samme måte som "lukkede" anlegg kjennetegnes ved at produksjonsmiljøet er fysisk avsperrret mot det ytre miljø, men at man i dette tilfellet har en viss form for styrt vannflyt gjennom systemet. Følgende kategorisering av semi-lukkede system legges til grunn for dette prosjektet (Rosten, et al., 2011):

Kategori 1:	Kategori 2:	Kategori 3:	Kategori 4:
Vegg eller duk / not som avgrensning av fisk og omgivelser	Som Kat.1 med tillegg av;	Som Kat.2 med tillegg av ;	Som Kat. 1-3 med tillegg av;
Styrt inntak av vann	Dobbel rømmingssikring	Fjerning av fiskepatogener fra inntaksvann (UV)	RAS – systemer for å redusere vannforbruk
Styrt avløp av vann	Fjerning av lakseluslarver fra avløp med filter		
	Rensing av slam med filter		

**Figur 1:** Kategorisering av "semi-lukkede" anlegg for produksjon av laks (Kilde: Rosten, et al., 2011)

### Settefisk - smolt og post-smolt

Både smolt og post-smolt faller inn under kategorien settefisk, og selv om flere hevder at overgangen mellom disse to størrelse etter hvert vil viskes ut, er det for prosjektet sin del viktig med en klargjøring av begrepene (Referansegruppemøte nr. 1, 2018).

1. Smolt: Snittvekt ansees å være 150 gram, og fisk som veier mellom 70 gram og 200 gram anses å tilhøre denne kategorien.
2. Post-smolt: All fisk over 200 gram og opp til 1 kg defineres som post-smolt. Per i dag anslås snittvekt til omkring 250 gram.

## 3.2 Avgrensning

I forhold til avgrensning har rapporten et tydelig fokus mot anlegg basert på RAS-teknologi. Dette fordi RAS per i dag vurderes som den dominerende teknologien når man snakker om landbasert produksjon av matfisk og settefisk (smolt og post-smolt). Aktualiteten av teknologien styrkes ytterligere ettersom størrelsen, og dermed vannforbruk, på anlegg øker. Dette understøttes av teknologivalget til mange av den siste tids investeringer i nye anlegg, både nasjonalt og globalt (Referansegruppemøte nr. 1, 2018). Samtidig skal det understrekes at noen av de anlegg som har fått innvilget konsesjon for landbasert produksjon av matfisk, baseres på gjennomstrømmingsteknologi med en viss grad av gjenbruk (f.eks. Bulandet Miljøfisk<sup>1</sup>, Salmon Evolution<sup>2</sup> og Hjelvik Matfisk AS<sup>3</sup>). Det er også flere prosjekt med gjennomstrømningsanlegg under utvikling og prosjektering. I lys av overnevnte vil det derfor være både relevant og interessant å diskutere gjennomstrømningsanlegg for noen utvalgte faktorer i konsekvensanalysen (f.eks. arealbruk, vannforbruk og energiforbruk).

Videre er utgangspunktet for analysen gitt i prosjektforslaget, og det gjøres en vurdering av de nevnte faktorer: arealforbruk, logistikk, vannforbruk, energiforbruk, klimaavtrykk, krav til utslipp, slam, teknologisk og biologisk risikoanalyse, inkludert en drøfting av sentrale krav til kompetanse, driftsvennlighet, byggefase, fisketetthet, veksthastighet, svinn, sykdommer og parasitter.

<sup>1</sup> <https://www.nrk.no/sognogfjordane/slik-vil-det-sja-ut-nar-dei-produserer-laks-pa-land-1.13709350>

<sup>2</sup> <https://ilaks.no/fylket-gir-salmon-evolution-tilsagn-om-landbasert-oppdrett-blir-det-storste-anlegget-i-europa/>

<sup>3</sup> <https://ilaks.no/smoltprodusent-vil-produsere-2-000-tonn-matfisk-pa-land/>

### 3.3 Metode teknologisk konsekvensanalyse

Overordnet sett kan den metodiske tilnærmingen og fremgangsmåten for rapporten visualiseres som vist i figuren nedenfor.



**Figur 2:** Overordnet metodisk tilnærming

Som grunnlag og forutsetning for å kunne utføre mest mulig riktige analyser, samt sikre relevant kobling med økonomisk analyse og produksjonsrisiko (dvs. rapport III og IV), har det vært viktig å (1); etablere en felles definisjon for ulike størrelser post-smolt og ulike størrelser i produksjonskapasitet (sistnevnte særlig for matfisk), og (2); en felles definisjon av dimensjonerende kriterier for ulike anleggsstørrelser. Vedrørende datainnsamling har prosjektet kombinert ulike informasjonskilder:

- Benyttet *eksisterende litteratur* som tidligere prosjektrapporter, publiserte artikler, offentlig statistikk og presentasjoner fra ulike konferanser
- Diskusjoner med prosjektets *referansegruppe*, både i form av offisielle prosjektmøter og bilaterale samtaler/intervju.
- *Intervju og samtaler* med teknologileverandører og produsenter med nasjonalt fokus, men også noen med internasjonal bakgrunn. Etersom både internasjonal og nasjonal erfaring med oppdrett av matfisk på land er begrenset til et fåtall av aktører, har erfaringsbasert informasjon fra noen av disse vært av stor verdi for prosjektet. Det har også vært gjennomført samtaler og korrespondanse med en rekke aktører i næringen og fra forvaltningssektoren. Det skal samtidig nevnes at det til tider har vært svært krevende å avdekke erfaringsbasert data for landbasert virksomhet. Særlig hva gjelder produksjon av matfisk, da flertallet av aktørene er forsiktige med å dele informasjon.

I forbindelse med intervju har prosjektet henvendt seg spesifikt mot nøkkelinformanter. Dette er personer som sitter i sentrale posisjoner i de ulike selskapene og organisasjonene, samt øvrige som besitter inngående kunnskap om næringen. Disse har således inngående teknologisk kunnskap, og besitter et høyt kunnskapsnivå hva gjelder forsknings- og utviklingsbehov. Majoriteten av informanter representerer industrien, og deres uttalelser betraktes derfor som interessante og viktige for videre vurdering av resultatene.

I følgende drøftinger og analyser har prosjektet derfor valgt å legge betydelig vekt på informasjon samlet inn gjennom ulike samtaler, da denne er å anse som mest oppdatert. Samtidig er relevant informasjon fra nylige foredrag og eksisterende publikasjoner hensyntatt. For definering av fremtidige produksjon er det tatt utgangspunkt i de estimater som er presentert i rapporten "Verdiskaping basert på produktive hav i 2050" (Olafsen, et al., 2012).

Analysene knyttet til produksjon av matfisk er basert på følgende:

- Anleggskapasitet: 5 000 tonn og 10 000 tonn per år.
- Dagens produksjon (2017): 1,3 Mill. tonn per år.
- Dobling av dagens produksjon: 2,6 Mill. tonn per år.
- Femdobling av dagens produksjon: 6,5 Mill. tonn per år.

Analysene knyttet til produksjon av postsmolt er basert på følgende:

- Anleggskapasitet: 3 000 tonn per år.
- Størrelse fisk: 150 gram, 500 gram og 1 000 gram.

De faktorer som er analysert, både for landbasert produksjon av matfisk og post-smolt er gjengitt i kap 3.2.

### 3.4 Metode klimaavtrykk

Vedrørende analyse av klimaavtrykk gir følgende en overordnet beskrivelse av metode for landbasert oppdrett av atlantisk laks – post-smolt og matfisk. Dette i tillegg til systemavgrensninger. Arbeidet er gjennomført av Asplan Viak i samarbeid med SINTEF Ocean.

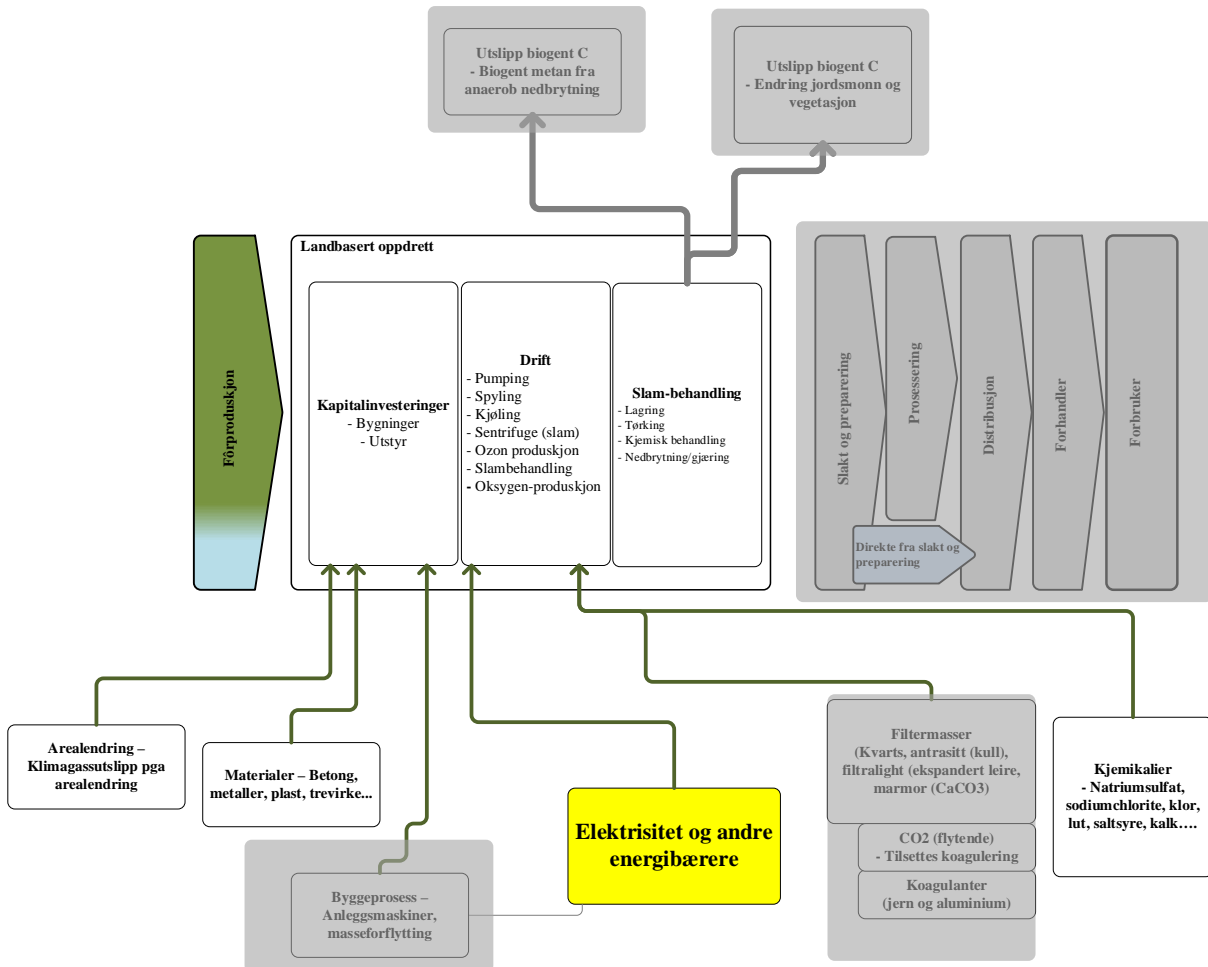
Klimaregnskapet er gjennomført med metodikk for livløpsregnskap (Life Cycle Assessment, LCA), (ISO, 2006a; ISO 2000; ISO, 2006b).

Først ble det gjennomført et detaljert klimaregnskap for ett basis scenario: Et landbasert RAS-anlegg med årlig kapasitet på 5 000 tonn matfisk solgt til menneskelig konsum (levende vekt) per år. Dette scenarioet ble så brukt som grunnlag for å beregne det samlede klimaregnskapet gitt en overføring av dagens totale produksjon fra til landbasert produksjon, som igjen er benyttet for å studere betydningen av viktige klimaaspekt som for eksempel føreffektivitet og energibruk.

Formålet med regnskapet er å belyse klimaregnskapet ved å overføre dagens produksjon, og fremtidig vekst, til lakseoppdrett på land. Målgruppen for analysen er beslutningstakere som vil forstå de store klimaeffektene av en endring i den norske havbruksnæringen der mer av produksjonen skjer på land. Analysene kan ikke brukes til kommersielle utsagn om produktene. Enhver bruk av resultatene må skje med en forståelse av de metodiske valgene som ligger til grunn for analysen, avgrensninger og presisjonene og helheten i datagrunnlaget. Videre bemerkes følgende:

- **Funksjonell enhet:** Klimaregnskapet gjennomføres for produksjonen av 1 kg slakteklar levende fisk for menneskelig konsum og for 1,0 kg smolt klar til salg.
- **Allokering:** Forbruk og utslipp i RAS-anlegget allokeres 100% til massen som går til menneskelig konsum eller som selges videre som smolt. Verdiene som er benyttet for klimasporet til føret kommer fra analyser gjennomført med masseallokering.
- **Substitusjon/kreditt:** Det er ikke spekulert eller tatt hensyn til at energi og næringsstoffer i utstrømmer som f. eks. slam eller dødfisk kan brukes som innsatsfaktor i kommersielle produkter og redusere etterspørsel etter eksisterende produkter.
- **Systemgrenser:** Analysen inkluderer livsløpet til laksen fra føreproduksjon og frem til at fisken er klar for slakt. Analysen bokføre direkte og indirekte utslipp forårsaket av kapitalinvesteringer og forbruk i produksjonen.

Figur 3 viser hvilke klimaspekt som er inkludert. Kjente klimaspekt som ikke er inkludert er markert med grått.



**Figur 3:** Systemgrenser for analysen. Viser forbruk, aktiviteter og utslipp som inkluderes i analysen. Deler som markert med grått er kjente klimaspekt i livsløpet til sjømat som ikke er inkludert i klimaregnskapet.

### 3.4.1 Data

Datagrunnlaget for analysen er hentet fra næringsaktører, tidligere LCA-prosjekt, litteratur og LCA-databaser. Da det per i dag er få operative anlegg for matfiskproduksjon i RAS-anlegg, er følgelig også erfaringsgrunnlaget begrenset hva gjelder faktisk forbruk- og utslippstall fra slik produksjon. Analysen baserer seg altså i hovedsak på estimater og planer.

### 3.4.2 Datakilder

Data for forbruks- og kapitalinvesteringer i RAS-anlegget, for eksempel betong til å konstruere anlegget og kjemikalier brukt i driften av anlegget, er i hovedsak inkludert med data fra LCA-databasene Ecoinevnt v3 (Ecoinvent, 2009) og ELCD-databasen (EC and E. Commission, 2015).

### 3.4.3 Datagrunnlag

Tabell 1 viser data som er benyttet i klimaregnskapet av et RAS-anlegg med en årlig kapasitet på 5 000 tonn levende fisk for menneskelig konsum. I tillegg inkluderer regnskapet utslippsfaktorer og aktiviteter listet opp her:

- Elektrisitet. Inkludert med klimasporet til den nordisk el-miksen av produksjon og import over årene 2012-2017, klimasporet gjelder for lavspenning strøm og inkluderer distribusjon og transformasjon i nettverket: 0,114 kg CO<sub>2</sub>e/kWh. Denne verdien er hentet fra egne beregningsmodeller i Asplan Viak.
- Fôr. Klimasporet til fôret er inkludert med data fra en LCA av det gjennomsnittlige laksefôret i 2012, 3,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg fôr (Hognes, 2014). Klimapåvirkning fra arealendring pga. forbruk av soya er en av de viktigste klimaaspektene i dette fôret. Klimasporet til norsk laksefôr endrer seg etterhvert som at sammensetningen endrer seg, men for å vise frem betydningen til fôret (dvs. fôreffektiviteten) i klimaregnskapet til RAS-produksjon så vurderer vi disse verdiene som gode nok.
- Arealendring. Klimapåvirkning fra arealendring får stadig større oppmerksomhet også når det gjelder store utbygninger av infrastruktur, boliger og industri. I denne analysen har vi benyttet at klimapåvirkningen av arealendring, fra «natur» til industrialisert grunn, har et klimapåvirkningspotensial på 48 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>. Det er da antatt at det fjernes 1 m mineraljord. Dette blir da avskrevet over anleggets levetid. Data fra interne modeller i Asplan Viak.
- Konstruksjon av fabrikk bygningen er inkludert med Ecoinvent datasettet «Building, hall, steel construction {GLO}» og «Building, hall, wood construction {GLO}». Det er antatt at halvparten er stålbygg og resten trekonstruksjon.
- Utstyret i RAS-anlegget er inkludert med data fra følgende mengder for et anlegg med årlig kapasitet på 5 000 tonn:
  - Betong: 58 200 tonn (Data fra Marine Harvest sitt anlegg i Steinsvik, Kyst, 2018a)
  - Polyetylen (PE) rør: 809 tonn (data fra Troms Stamfiskstasjon, Olsen, 2017)
  - Stål: 1 430 tonn
  - Glassfiber: 881 tonn
- Transport av fôr: 2 000 km
- Håndtering av avfall (ikke slam): Plast, metall og restavfall.



**Tabell 1** Data, alle data fra SINTEF Ocean/referansegruppen

Forbruk, aktivitet eller utslippsfaktor	Data og enhet	Basis scenario (x/kg fisk produsert til menneskelig konsum)
Økonomisk fôrfaktor (EFCR).	Matfisk: 1,15 kg fôr/kg fisk produsert til menneskelig konsum Post-smolt: 1,0 kg fôr/kg fisk solgt	1,15
Slam mengde produsert	1,5-2,0 kg slam med 10v% tørrstoff per kg fôr	1,7
Forbruk av elektrisitet. Totalt forbruk for all aktivitet på og rundt anlegget	Matfisk: 6-9 kWh/kg fisk til menneskelig konsum produsert Post-smolt: 3-5 kWh/kg fisk produsert	7,5
Forbruk av oksygen	Matfisk: 0,8-1,0 kg flytende O <sub>2</sub> / kg fôr Post-smolt: 0,5- 0,7 kg flytende O <sub>2</sub> / kg fôr	1,035
Levetid/brukstid for anlegget	10 til 30 år	20
Årlig produksjonskapasitet	Matfisk: 5 000 tonn fisk til menneskelig konsum per år Post-smolt: 3 000 tonn fisk per år	
Areal endret.	Matfisk: 6 m <sup>2</sup> per tonn årlig produksjon Post-smolt: 2-3 m <sup>2</sup> per tonn årlig produksjon	6
Total arealendring for anlegg pluss resten av eiendommen	3x arealet til produksjonsanlegget	18
Saltvann input. Liter saltvann tilført per kg fisk produsert	400 liter/kg fôr	460

### 3.4.4 Avgrensninger

Følgende punkter lister opp en del kjente aktiviteter og forbruk som ikke er tatt med i dette klimaregnskapet.

- Eventuell sammenligning med dagens produksjon vil skje på grunnlag av tidligere analyser. Dvs. at viktige endringer som økt produksjonskostnad og økt aktivitet for å bekjempe lus ikke er tatt hensyn til i de tallene som er fra 2012.
- Klimaregnskapet inkluderer IKKE en del kjente klimaaspekter ved landbasert oppdrett:
  - Masseflytting fra bygging av anleggene
  - Utslipp og substitusjonseffekter fra bruk av slam. Eventuell anaerob nedbrytning av slam (eller annet organisk materiale), kan forårsake utslipp av biogent metan som kan gi store bidrag til klimaregnskapet. Slam kan brukes som en ressurs i produksjon av for eksempel bioenergi og fôrråvarer, men i denne analysen er det ikke tatt hensyn til potensielle effekter av at slam erstatter og slik reduserer etterspørselen av andre råvarer.

## 4 Utvikling og fremtidsutsikter

Til tross for flere initiativ og prosjekter, inkludert pågående bygging av anlegg for landbasert produksjon av laks i Fredrikstad, ansees *hoved-driveren* bak landbasert oppdrett i Norge hovedsakelig ikke å være produksjon av matfisk. Ei heller at "alt" skal flyttes over i landbaserte anlegg. Produksjonsformen omtales i stedet som et meget viktig bidrag for reduksjon av den tid fisken oppholder seg i sjø – altså produksjon av post-smolt. Her ligger en klar henvisning til utfordringen næringen har i dag med lakselus, både med tanke på svinn i produksjon og den økonomiske kostnaden som er vedheftet lusebehandling. Herunder er også den miljømessige påvirkningen knyttet til ulike behandlingsmetoder. Samtidig anses de løsninger som tas frem av den samlede norske oppdrettsnæringen å være svært anvendelige, også for produksjon av matfisk ved lukkede anlegg i sjø og på land.

For prosjektet har det derfor vært viktig å avdekke ulike forventninger knyttet til både betydning og rolle vedrørende landbasert produksjon av atlantisk laks. Dette i et 10-15 års perspektiv. Drøftingen nedenfor er delvis basert på de samtaler som er gjennomført med ulike personer representert ved industri og forvaltning, og følgelig anonymisert.

### 4.1 Matfisk

Endringen i konsesjonsbetingelsen for landbasert, hvor selve konsesjonen nå er vederlagsfri (Regjeringen, 2016), gir en viktig åpning for at ulike aktører skal kunne opprette virksomhet for oppdrett av laks basert på ulike kommersielle vurderinger. Flere anser dette som betydningsfullt for en sunn utvikling av den norske oppdrettsnæringen, at det legges til rette for en utvikling langs flere teknologiakser (Figur 4), og derigjennom en styrking av den totale konkurransekraften. Dette fordi metoden har verdi for mange fiskearter, også i et globalt perspektiv ettersom den åpner det opp for lokal produksjon av fremmede arter. Samtidig vil det gi mulighet til å posisjonere seg sterkt i et stadig voksende globalt marked, både for produsenter og for utstørsleverandører. Dette krever samtidig at nasjonen har et tydelig og forutsigbart regelverk, og en forvaltning som evner å ligge i forkant med den industrielle utvikling.



**Figur 4:** Dagens vs. fremtidens produksjonsstrategi (Kilde: Terjesen, 2017)

Det som per i dag rettferdiggjør landbasert produksjon av atlantisk laks anses av mange hovedsakelig å være relatert til økt produksjon av mat basert på en økonomisk lønnsom drift, samt reduserte kostnader knyttet til logistikk og frakt. Samtidig gir det også mulighet til etablering av nisjeproduksjon mot ulike spesialiserte produkter og markeder. Herunder mer miljøvennlig fisk som er mindre utsatt for lus, samt muligheten til å redusere lokal slam-påvirkning i fjorder. Fisken går også i et mer stabilt strømsatt system som mange forventer vil gi bedre fiskekvalitet. Sett i lys av de eksisterende driftsfordelene Norge har med tanke på tilgjengelige sjøareal, er det mest nærliggende å tro at, på kort- til mellomlang sikt, vil mesteparten av slike anlegg mest sannsynlig etableres i utlandet. Til tross for dette forventes realisering av flere nasjonale prosjekter, selv om mange tar til ordet for dyr arbeidskraft, høye investeringer – og per i dag – svært begrenset med driftserfaring.

Det er likefullt knyttet stor interesse til hvordan de nye anlegg for landbasert produksjon av matfisk vil fungere, nasjonalt som internasjonalt. I denne sammenhengen er det interessant å bemerke at flere landbaserte matfiskanlegg for laks har utfordringer med å oppnå et produksjonsvolum som står i forhold til anleggets designede kapasitet. Til eksempel har Jurassic Salmon en reel produksjon på 400-500 tonn, noe som er et betydelig avvik fra anleggets designede kapasitet på 1 000 tonn (Intrafish, 2018). Samme erfaring identifiseres hos Langsand Laks (ca. 800 tonn vs. 1 000 før utvidelse), og Kuterra (ca. 400 tonn vs. 500) (Summerfelt, 2016). Hva gjelder nasjonal interesse for landbasert oppdrett av matfisk gir oversikten nedenfor et godt bilde av situasjonen.

**Tabell 2:** Prosjekter under utvikling for landbasert oppdrett av matfisk (Kilde: Flere; Akvakulturregisteret, 2018)

Selskap/Prosjekt	Godkjent tillatelse	Teknologi	Lokalisering	Oppgitt årlig prod. kap. (tonn)
Salmo Terra <sup>4</sup>	Nei	RAS	Øygarden	8 000
Kobbervik og Furuholmen Oppdrett AS <sup>5</sup>	Nei	RAS	Årskog i Fitjar	10 000
Green Seafood Group <sup>6</sup>	Nei	Ikke kjent	Tjuin (Verran Kommune)	4 800
Losna Seafoods <sup>7</sup>	Nei	RAS	Averøy og Losna	Ikke kjent
Salmo Evolution <sup>8</sup>	Ja	Gjennomstrømming	Fræna	28 800
Andfjord	Nei	Gjennomstrømming	Andøya	10 000
Gaia Salmon	Nei	Gjennomstrømming	Træna	7 500
Hjelvik Matfisk AS	Ja	Gjennomstrømming	Hjelvik II	2 000
Tomren Fish AS	Ja	RAS	Trohaugen	5 000
Bulandet miljøfisk AS	Ja	Gjennomstrømming	Gjørøy Nord	5 500
Havlandet Havbruk A/S	Ja	RAS	Botnaneset II	2 000
Salmofarms AS	Ja	RAS	Rjukan II	10 000
Fredrikstad Seafoods AS	Ja	RAS	Fredrikstad Innovasjonspark	2 400

<sup>4</sup> <https://www.kyst.no/article/slik-vil-salmo-terra-produsere-laks-paa-land/>

<sup>5</sup> <https://www.kyst.no/article/foerste-soeknad-om-landbasert-matfisk-i-hordaland-gaar-for-10-000-tonn/>

<sup>6</sup> <https://ilaks.no/venter-pa-forskriftsendring-for-a-kunne-bygge-landbasert-oppdrettsanlegg-i-verran/>

<sup>7</sup> <https://ilaks.no/geir-nordahl-pedersen-jeg-vil-ikke-gi-deg-hele-oppskriften/>

<sup>8</sup> <https://ilaks.no/fylket-gir-salmon-evolution-tilsagn-om-landbasert-oppdrett-blir-det-storste-anlegget-i-europa/>

Utviklingen i Norge innen landbasert oppdrett av matfisk på lengre sikt er selvsagt vanskelig å forutse. Gitt at lakseprisen holder seg noenlunde høy (dagens nivå), kan en se for seg at flere aktører vil forsøke å etablere matfiskproduksjon på land. Samtidig vil også sykdomsrisiko i sjø også være en viktig styrende faktor, og som kjent er den svært vanskelig å forutse. Både i forhold til bekjempelse av lus og dens utvikling i forhold til resistens, samt utviklingen innen virus-relaterte sykdommer.

I lys av utviklingskonsesjonene ventes realisering av flere prosjekter for produksjon av matfisk i semi-lukkede og lukkede systemer i sjø. I følge kyst.no (2018b), er så mange som 18 søknader basert på nærmest lukkede systemer i sjø. Her nevnes, "Egget" fra Hauge Aqua, AkvaDesign. "Flexifarm" fra Cermaq, "Pipefarm" fra Lerøy Seafood, "Stadionbassenget" til Stadion Laks, "Salmon zero" fra Eide Fjordbruk, med flere. En del av de prosjekterte lukkede systemer i sjø har betydelig potensial for overføring av både teknologi og kompetanse til landbasert, samtidig som en slik overføring også kan gå motsatt vei. Særlig ettersom lukkede anlegg på sjø har mange sammenfallende utfordringer med anlegg på land.

Uansett utvikling i laksepris og realisering av utviklingskonsesjoner vil det være viktig for Norge som oppdrettsnasjon å være konkurransedyktig på teknologi innen landbasert oppdrett for derigjennom kunne tilby attraktive teknologiske løsninger og kompetanse for et globalt marked. Med den samlede teknologiske og biologiske kompetansen som norsk oppdrettsnæring totalt besitter, inkludert FoU-kapasitet, har Norge svært gode posisjoneringsmuligheter.

## 4.2 Settefisk (smolt og post-smolt)

Oppdrett av settefisk (smolt og post-smolt) har i løpet av de siste 5-10 år vært gjenstand for økende fokus fra næringen, da spesielt i forhold til valg av *produksjonsteknologi* og *produksjonsstrategi*.

Når det gjelder valg av *produksjonsteknologi* for nye anlegg har man sett en tydelig dreining over mot Resirkulerende Akvakultur Systemer (RAS). Dette til fordel for mer tradisjonelle gjennomstrømningsanlegg. Til tross for fortsatt betydelige utfordringer, som vil bli nærmere belyst i kap 9 (Teknologisk og biologisk risikoanalyse), er det noen få men viktige grunner til denne utviklingen (Norvik, 2018; Terjesen, 2017; Holm, et. al., 2015; Referansegruppemøte 1, 2018):

- Tilgang på ferskvann: Gjennomstrømningsanlegg krever som kjent betydelige vannmengder sammenlignet med RAS (se kap 8.3 om vannforbruk). Tilgangen på slike store – og nye – vannkilder er per i dag svært begrenset sett i et nasjonalt perspektiv.
- Økonomi: RAS åpner opp for store muligheter knyttet til redusert vannforbruk, samt besparelser knyttet til energiforbruk for oppvarming av vann. Sistnevnte særlig aktuelt i vinter- og vår sesong.
- Teknologi: Det er gjort teknologiske fremskritt innen RAS, mye drevet av et økende fokus på vannkvalitet og produksjonseffektivitet.
- Endringer i nasjonale regelverk for nasjonal settefiskproduksjon, hvor begrensningen i størrelse ble endret fra 250 gram til 1000 gram.
- Endringer i veterinærers syn på landbasert virksomhet.

I forhold til *produksjonsstrategi* har industrien vist et økende fokus mot å produsere en stadig økende størrelse av smolt, altså post-smolt. Et generelt utviklingstrekk for produksjon av post-smolt kan sies å være at det tradisjonelle skillet mellom settefisk fase og post-smolt viskes ut (Terjesen, 2017). Da særlig sett i lys

av de hypoteser som etter hvert har vokst frem, og som i løpet av de nærmeste årene vil valideres eller reformuleres. Kort oppsummert antas det at produksjon og utsett av post-smolt vil medføre (Terjesen, 2017; Holm, et. al., 2015):

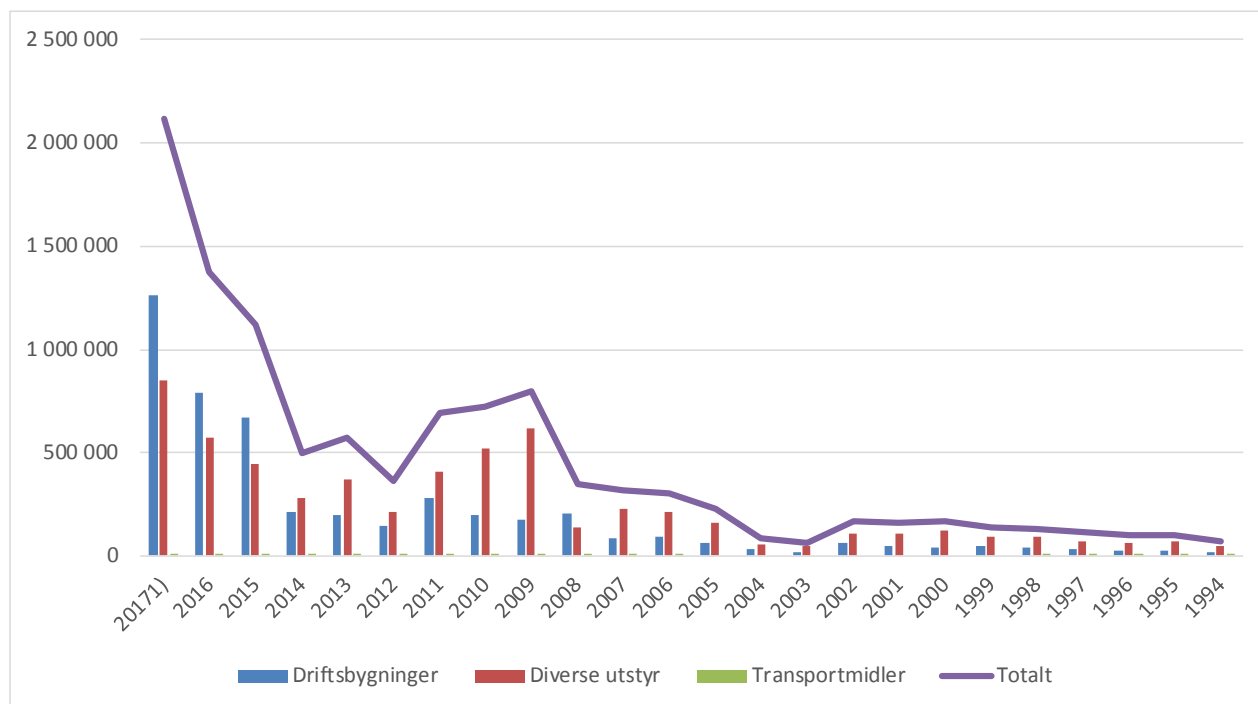
- Vekst i norsk lakseproduksjon gjennom økt mulighet for mer effektiv utnyttelse av tilgjengelig MTB.
- Kortere produksjonstid i sjø som bl.a. vil medføre redusert lusepress.
- Økt kontroll på ulike produksjonsparameter og dermed redusert risiko.
- Økt overlevelse gjennom utsett av større og mer robust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

Det er også gjort store investeringer i nye anlegg, og følgelig en betydelig økning i produksjonskapasitet. Eksempelvis er følgende anlegg bygget, eller under oppføring, basert på RAS teknologi. Tabell 3 viser et tilfeldig utvalg av anlegg og er ikke ment å være uttømmende:

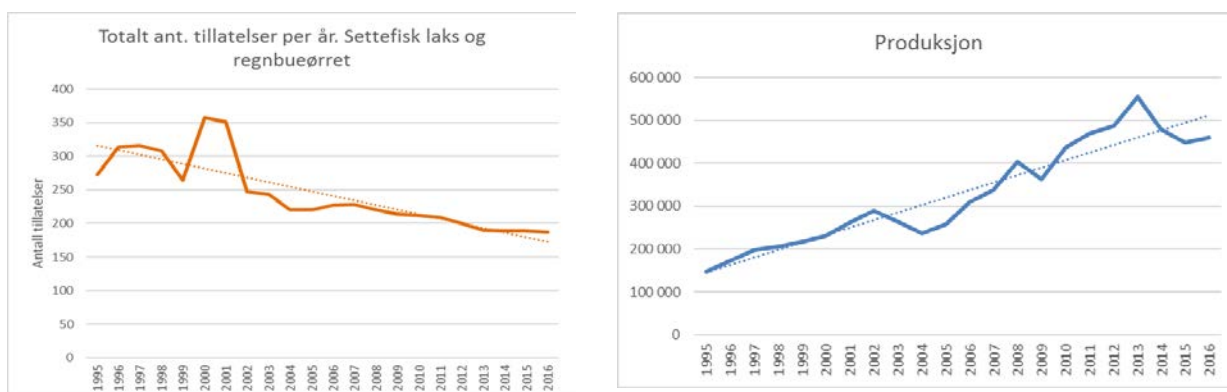
**Tabell 3:** Smolt og post-smolt anlegg bygget i nyere tid (etter 2015), (Kilde: Krüger Kaldnes Referanseliste, 2017; Billund Aquakulturservice AS, 2018).

Produsent	Produksjonskapasitet per år	Teknologi- leverandør og type
Marine Harvest, Steinsvik	7,5 mill. post-smolt (å 250g)	Krüger Kaldnes, RAS
Helgeland Smolt,	4,0 mill. post-smolt (å 500g)	Krüger Kaldnes, RAS
Troms Stamfiskstasjon AS.	15,0 mill. smolt	Billund Aquakulturservice, RAS
Lerøy Midt Belsvik	14,0 mill. smolt	Billund Aquakulturservice, RAS
Lerøy Laksefjord	12,5 mill. smolt	Billund Aquakulturservice, RAS
SalMar Follafoss	6,0 mill. post-smolt (å 250g)	Krüger Kaldnes, RAS
SalMar Tromsø	15 mill. smolt	Billund Aquakulturservice, RAS
Smoltanlegget Salangsverket	6,0 mill. post-smolt (å 250g)	Krüger Kaldnes, RAS
Astafjord smolt	3,0 mill pot-smolt (å 250g)	Krüger Kaldnes, RAS

Figurene nedenfor visualiserer investeringstakten innen settefiskproduksjon, samt utviklingen i antall anlegg mot produsert biomasse. Figur 5 viser en solid økning i investeringer de siste 6-7 årene, og av Figur 6 ser en at antall anlegg går ned, mens veksten i produksjon tilsier færre og større anlegg.



**Figur 5:** Årlig investeringer i settefiskanlegg, løpende priser (Fiskeridirektoratet, 2018)



**Figur 6:** Totalt antall tillatelser vs. total årlig produksjon av settefisk/ynge 1.000 stk. (laks og regnbueørret) (Tabell 08967, [www.ssb.no](http://www.ssb.no); Tabell A.05.003, [www.fiskdir.no](http://www.fiskdir.no))

Tatt i betraktning eksisterende investeringstakt og produksjonseffektivitet, vil produksjon av post-smolt trolig bare øke, både i antall og volum. Særlig sett i lys av eksisterende reguleringer, dvs. mulighet til å produsere post-smolt innen allerede godkjente settefisklokaliteter, samt muligheten til økt utnyttelse av MTB i sjø.

## 5 Resirkuleringsanlegg kontra gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk

Som nevnt innledningsvis vil valg av teknologisk løsning for landbasert matfiskoppdrett av laks og ørret være avgjørende for lokalisering av denne type virksomhet, nasjonalt som internasjonalt. Ved valg av gjennomstrømmingsteknologi vil anleggene måtte lokaliseres ved kysten og i områder uten sekundærrensekrav. Ved valg av RAS vil anleggene kunne lokaliseres i områder nærmere logistikk knutepunkter og med lettere tilgang til arbeidskraft. Anleggene kan også bygges i innlandet, og med en resirkuleringsgrad på over 99 prosent av vannet i oppdrettsanlegget, er behovet for nytt spedevann sterkt redusert sammenlignet med gjennomstrømningsanlegg. RAS gir dermed muligheten til å etablere oppdrett av laks og ørret nærmere eller i de største markedene (USA, Asia, Russland, EU). Hva gjelder begge anleggstyper er man heller ikke avhengig av tilgang på en beskyttet kyst, som for oppdrett i merder i sjø.

Valg av produksjonsteknologi har altså ulik påvirkning med tanke på hvilke konsekvenser en slik utbygging vil få med hensyn til geografisk fordeling av anlegg. Samtidig vil valget ha ulik påvirkning for blant annet energiforbruk og vannforbruk, men også logistikk. De biologiske og driftsmessige utfordringer og risikoer vil også være forskjellige. Sistnevnte diskuteres i eget kapittel – teknologisk og biologisk risiko (kap. 9).

Analysen har først og fremst et nasjonalt perspektiv, men utbredelsen av produksjonsmetoder basert på RAS gjør spørsmålsstillingen bredere. Dersom oppdrett av laks og ørret skal flyttes på land, er det da sannsynlig at det vil skje i Norge? Svaret på dette spørsmålet er ikke en del av denne analysen, men spørsmålet er svært aktuelt og godt illustrert gjennom Atlantic Sapphire sin pågående bygging av et stort landbasert resirkuleringsanlegg for atlantisk laks i Florida, USA.

## 6 Dimensjonerende kriterier

For prosjektet har det vært helt sentralt å definere et sett med dimensjonerende kriterier som utgangspunkt for gjennomføring av konsekvensanalysene for matfisk og settefisk (smolt og post-smolt). Arbeidet knyttet til denne prosessen har vært omfattende og til dels krevende. Særlig sett i lys av manglende driftserfaring knyttet til landbasert oppdrett av matfisk, men også grunnet ulike oppfatninger omkring hva verdien for de ulike kriteriene burde settes til. Med utgangspunkt i de kriterier som er fremkommet gjennom tidligere forskningsresultater, kombinert med innspill fra utstyrproducenter, anlegg under utvikling, og driftserfaring fra oppdrettere, har prosjektet definert et sett med konservative dimensjonerende kriterier. I tillegg har prosjektets referansegruppe bidratt med verdifulle innspill og avklaringer.

### 6.1 Dimensjonerende kriterier – matfisk

Basert på samtaler med ulike industriaktører og prosjektets referansegruppe er følgende dimensjonerende kriterier lagt til grunn for analysen av matfisk (Tabell 4). Kriteriene representerer et anlegg med årlig kapasitet for produksjon av 5 000 tonn hel fisk. Det antas at kriteriene vil være tilsvarende for et anlegg med årlig produksjonskapasitet 10 000 tonn hel fisk. Analysene inkluderer også tall for et 2 000 tonn anlegg hvor de samme dimensjonerende kriteriene er benyttet.

**Tabell 4:** Dimensjonerende kriterier for landbasert RAS matfiskanlegg (5.000 tonn hel fisk)

Dimensjonerende kriterier 5.000 og 10.000 tonns anlegg	Verdi
Gjennomsnittlig førfaktor (økonomisk)	1,15
Fisketetthet (kg/m <sup>3</sup> )	65 kg
Arealbehov (m <sup>2</sup> /tonn fisk produsert)	6 m <sup>2</sup>
Totalt energibehov for anlegg (kWh/kg produsert)	6-9 kWh
Vannforbruk – nytt vann (Liter/kg fôr per døgn)	400 liter
Slamproduksjon (kg slam med 10% tørrstoffinnhold per kg fôr)	1,5 kg
Oksygenforbruk (kg/per kg fôr tildelt)	0,8-1,0 kg O <sub>2</sub>

Samtlige av analysene er basert på tall relatert til levende hel fisk (WFE).

## 6.2 Dimensjonerende kriterier – post-smolt

Basert på samtaler med ulike industriaktører og prosjektet referansegruppe er følgende dimensjonerende kriterier lagt til grunn for analysene (Tabell 5). Kriteriene representerer et anlegg med årlig kapasitet for produksjon av post-smolt på 3.000 tonn. Tilsvarende som for matfisk er også disse kriteriene å anse som konservative.

**Tabell 5:** Dimensjonerende kriterier for post-smolt RAS anlegg (3.000 tonn)

Dimensjonerende kriterier for 3.000 tonns anlegg	Verdi
Gjennomsnittlig førfaktor (økonomisk)	1,0
Fisketetthet (kg/m <sup>3</sup> )	65 kg
Arealbehov (m <sup>2</sup> /tonn fisk produsert)	2-3 m <sup>2</sup>
Totalt energibehov for anlegg (kWh/kg produsert)	3-5 kWh
Vannforbruk – nytt vann (Liter/kg fôr per døgn)	300-500 liter
Slamproduksjon (kg slam med 10% tørrstoffinnhold per kg fôr)	1,5 kg
Oksygenforbruk (kg/per kg fôr tildelt)	0,5-0,7 kg O <sub>2</sub>



## 7 Konsekvensanalyse – landbasert matfiskoppdrett

Norsk matfiskoppdrett av laks og ørret er bygget opp omkring oppdrett i åpne merder i sjø på lokaliteter lokalisert langs norskekysten fra Lindesnes til Kirkenes. Det er godkjent over 1000 lokaliteter og over 550 er i bruk til enhver tid (Fiskeridirektoratet, 2018). Rapporten analyserer konsekvensene av å flytte alt norsk oppdrett av laks og ørret på land og hvilken konsekvens dette vil få nasjonalt med tanke på arealbruk, logistikk, vannforbruk, energiforbruk, klimaavtrykk krav til utslipp, og slamproduksjon.

### 7.1 Arealbruk - matfisk

Selv om tilgang til areal ikke ansees å være en begrensende faktor i seg selv, er det å identifisere egnede lokaliteter utfordrende og ansett som tidkrevende. Herunder tilgang til areal som gir minimal konflikt med øvrige interesser. En stor andel av anlegg vil trolig etableres i strandsonen, og dermed potensielt komme i konflikt med øvrige interesser, da det er stor forskjell på å etablere anlegg i allerede eksisterende industriområder kontra øvrige områder. Samtidig, for at næringen skal ha forutsigbare rammevilkår, er det viktig at det vises (lokal-) politisk vilje til å få regulert områder, også for attraktive areal. Med tanke på hva som ansees som attraktivt areal så er det flere forhold som påvirker dette, og ut i fra nevnte punkter kan prosessen med å finne et slikt areal være sammensatt:

- Tilgang til rene vannressurser – ferskvann og sjøvann
- Rette forhold for å kunne ha utslipp i sjø.
- Lavtliggende landområder for å minimere løftehøyde på vann og dermed reduksjon av pumpekostnader.
- Allerede eksisterende infrastruktur (vei og transport-infrastruktur, tilgang til energi, vann og kloakk, etc.).
- Attraktivitet for ansatte – sentralisering av anlegg i forhold til øvrige lokale tilbud.
- Komplementære aktører og underleverandører, og gjerne geografisk nærhet til disse.
- Politisk vilje og interesse, samt øvrige insentiver.
- Eiendomspris og nærhet til marked, både rent geografisk og til viktige logistikk-knutepunkt.

Med tanke på lokalisering kan man med utgangspunkt i teknologien bygge store RAS-anlegg i innlandet, og i teorien plassere de hvor som helst så lenge det er relativt god tilgang på vann og arbeidsressurser. Så kan en også hevde at landbasert oppdrett av matfisk vil legge beslag på betydelig areal. Dette gjør det både viktig og nødvendig å sørge for en konstruktiv debatt omkring hva som er å anse som "betydelig" areal, og at det areal som øvrige landbaserte næringer og industrier legger beslag på, må sees i sammenheng. Analysen nedenfor gir derfor noen tallfestede betraktninger knyttet til dette.

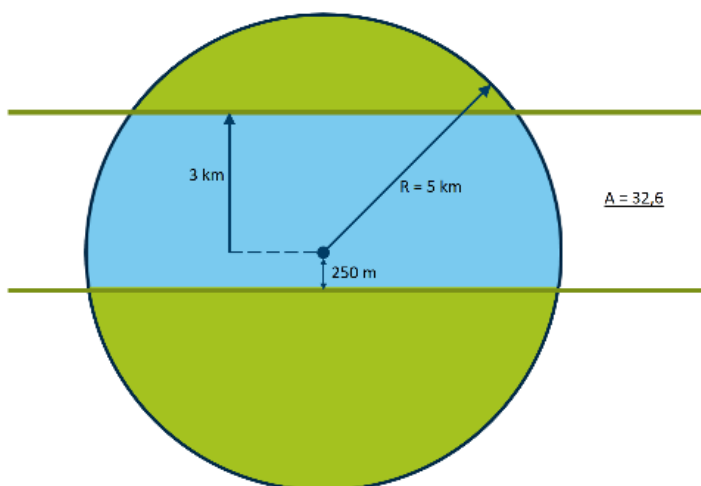
I denne analysen er det beregnet hvor mye areal på land som en flytting av all norsk lakse- og ørretproduksjon vil legge beslag på, både i ren bygningsmasse og totalt landareal inklusiv omkringliggende areal (brutto areal). Det er også beregnet hvor mye sjøareal landbasert oppdrett vil beslaglegge med bakgrunn i smittehygieniske krav. Dette basert på retningslinje for behandling av søknader etter forskrift 17.juni 2008 nr. 823 om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m. (Lovdata, 2008) med veileder til saksbehandling.

### 7.1.1 Arealbruk sjø - matfisk

Arealbruk for sjøarealer til havbruksformål er et sammensatt begrep og kan beregnes på flere måter. For landbasert oppdrett vil lokalisering på land være påvirket av de samme smittehygieniske krav som stilles til akvakulturvirksomhet i sjø. Dette er regulert gjennom lov og forskrift, med veileder til saksbehandling (Forskrift om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m., og særlig § 7). Disse krav vil avgjøre hvor stort sjøareal et landbasert oppdrettsanlegg vil båndlegge i forhold til annen akvakulturvirksomhet.

For tradisjonelle åpne merdbaserte oppdrettsanlegg i sjø krever Mattilsynet minimumsavstander mellom lokaliteter av smittehygieniske årsaker. For oppdrettslokaliteter over 3120 tonn MTB kreves det som regel oppdrettsfrie branngater på 5 km mellom lokalitetene. I denne analysen er det tatt utgangspunkt i at landbaserte oppdrettsfiskanlegg vil måtte følge den anbefalte minsteavstanden på 5 km mellom inntaksledning/avløpsledning og andre akvakulturanlegg. I tillegg til dette avstandskravet vil resipientens egenskaper avgjøre hvor landbaserte oppdrettsanlegg kan lokaliseres, selv om avstandskravet på fem km mellom inntaks/utslippsledninger er oppfylt. Dersom resipienten tåler en slik belastning, kan det teoretisk sett lokaliseres landbaserte oppdrettsanlegg med utslippspunkt/inntaksledning hver femte kilometer langs kysten. Gitt overføring av dagens produksjon i sjø til land, samt at samtlige av disse anlegg etableres i kystsonen, er det derfor rimelig å anta at de to produksjonsformene vil båndlegge samme mengde areal i sjø. Således vil begrensninger knyttet til øvrig akvakulturvirksomhet i disse områdene være relativt lik.

For å beregne hvor stort sjøbasert areal som et landbasert oppdrettsanlegg har behov for som smittehygienisk barriere, er det tatt utgangspunkt i et tenkt utslippspunkt 250 meter fra land som senter i en sirkel med radius fem kilometer. Arealet i en slik tenkt sirkel med radius på 5 km er 78 km<sup>2</sup>, men den delen av sirkelen som er areal på land må trekkes fra, både på den landsiden anlegget er lokalisert på og på motsatt side av sundet eller fjorden (Figur 7). Sund og fjorder i Norge er de fleste steder smalere enn 5 km. Ettersom det ikke finnes data på gjennomsnittlig bredde på sund og fjorder i Norge, er det derfor antatt en bredde på 3,25 km i denne analysen. Dette forutsetter at de smittehygieniske sonene ikke overlapper hverandre. Dersom anlegg ligger på rekke og rad langs kysten vil en slik tenkt sirkel med radius 5 km overlape hverandre og det teoretiske arealbehovet vil bli lavere. Det er tatt utgangspunkt i at hvert landbasert anlegg har behov for et smittehygienisk areal på 32,6 km<sup>2</sup>.



**Figur 7:** Behov for smittehygienisk areal i sjø for landbasert oppdrett

Arealbehovet i sjø for landbasert oppdrett er kun knyttet til kravet om et smittehygienisk skille mellom akvakultur-aktiviteter, og setter dermed en grense på hvor tett oppdrettsanlegg kan være lokalisert. Annen aktivitet som f.eks. ferdsel og friluftsliv på sjø vil ikke bli begrenset av denne type oppdrettsvirksomhet, slik sjøbasert merdoppdrett fører til.

For å illustrere det totale arealbehovet i sjø ved landbasert oppdrett er arealbehovet beregnet ved dagens årlige produksjon på 1,3 mill. tonn, en dobling til 2,6 mill. tonn og en femdobling til 6,5 mill. tonn per år. Det er tatt utgangspunkt i en anleggsstørrelse med en årlig produksjon på 2 000, 5 000 og 10 000 tonn per år (Tabell 6). For definering av fremtidige produksjon er det tatt utgangspunkt i de estimater som er presentert i rapporten "Verdiskaping basert på produktive hav i 2050" (Olafsen, et al., 2012).

**Tabell 6:** Estimert antall anlegg og totalt arealbehov i sjø ved ulike anleggsstørrelser inkludert nasjonal produksjonsøkning

Arealbehov i sjø basert på produksjon per år i tonn							
Årlig anleggskapasitet (Tonn)		2 000 tonn		5 000 tonn		10 000 tonn	
Årlig produksjon laks og regnbueørret	(Mill. Tonn)	Ant. anlegg	Areal (km <sup>2</sup> )	Ant. anlegg	Areal (km <sup>2</sup> )	Ant. anlegg	Areal (km <sup>2</sup> )
Produksjon 2017	1,3	650	21 190	260	8 476	130	4 238
Dobling av dagens produksjon	2,6	1 300	42 380	520	16 952	260	8 476
Femdobling av dagens produksjon	6,5	3 250	105 950	1 300	42 380	650	21 190

Estimert arealforbruk per anlegg er 32,6 km<sup>2</sup>.

Gitt at alle anlegg etableres i kystsonen, kan man fra tabellen lese at det er behov for 260 landbaserte oppdrettsanlegg med en årlig produksjonskapasitet på 5 000 tonn for å dekke dagens lakse- og ørretproduksjon i Norge. Dette vil kreve et teoretisk samlet sjøareal på ca. 8 500 km<sup>2</sup>. Satt i perspektiv disponeres over 1 000 lokaliteter i sjø for å produsere 1,3 millioner tonn laks og ørret. Gitt en situasjon hvor

produksjonskapasiteten per anlegg økes til 10 000 tonn per år, vil behovet for antall landbaserte anlegg reduseres til 130 for å dekke Norges produksjon i dag. Dersom det tas utgangspunkt i en dobling av dagens produksjon til 2,6 millioner tonn, vil det være behov for 260 anlegg à 10 000 tonn og med et arealbehov i sjø på 8 500 km<sup>2</sup>.

Fastlands-Norges indre sjøareal (innenfor grunnlinja) er på 89 091 km<sup>2</sup> (Statens kartverk, 2017). Dersom scenariet med en fem-dobling av Norges produksjon av laks og ørret skulle realiseres som landbasert oppdrett vil arealbehovet øke til 21 190 km<sup>2</sup>, tilsvarende ca. 24 prosent av Norges indre sjøareal.

Det er en utfordrende og tidkrevende øvelse å kunne gi et godt anslag på hvor mye av dette sjøarealet som ikke vil være tilgjengelig for landbasert oppdrett. Uansett, på generelt grunnlag kan en si at det er mange hensyn å ta hva gjelder tilgang til fysisk infrastruktur som vei og elektrisitet. I tillegg består en del av det indre sjøarealet av resipienter som ikke tåler store belastninger av organisk materiale og som derfor ikke vil kunne håndtere en for tett konsentrasjon av landbasert oppdrett med utslipp til sjø. Det er også sjøareal som er avsatt til nasjonale laksevassdrag.

### 7.1.2 Arealbruk land - matfisk

For landbasert matfiskoppdrett av laks og regnbueørret er det få erfaringer å vise til nasjonalt. Seks anlegg har fått konsesjon for landbasert matfiskoppdrett i Norge, hvorav ett som nevnt er under bygging. Hvilken type areal som vil bli benyttet ut over det som er prosjektert er derfor vanskelig å anslå. Vurderinger om lokalisering av slike anlegg er avhengig av mange faktorer som vanntilgang, infrastruktur, nærhet til markedet, valg av teknologi og tilgang på arbeidskraft mfl. Sammenlignet med tradisjonell sjøbasert drift, skal det også nevnes at etablering av landbaserte landanlegg langt på vei medfører irreversible inngrep i naturen, inngrep som kan skape betydelig debatt og konflikt. Dersom en legger ned en sjølokalitet vil man relativt enkelt kunne fjerne alle fysiske installasjoner og resipienten vil overtid gjenskape sitt naturlige miljø (les: sjøbunn).

Teknologivalg for et landbasert matfiskanlegg er avgjørende for hvilke lokaliteter som er egnet eller ikke. Dersom hovedvekt av landbaserte oppdrettsanlegg blir realisert som gjennomstrømningsanlegg må anlegget lokaliseres ved kysten med god tilgang til sjøvann og en god resipient. Dersom anlegget velger resirkuleringsteknologi (RAS), kan anlegget i prinsippet bygges ved bruk av grunnvann og justering av salinitet ved bruk av salttilsetting. Sistnevnte står derfor mye friere til å velge lokalitet ut fra andre hensyn som f.eks. logistikk og nærhet til marked.

Produksjonsstrategi vil også påvirke valg av lokalisering. Dersom matfiskanlegget baserer seg på kjøp av settefisk, er det for alle praktiske formål nødvendig å transportere settefisken inn til matfiskanlegget ved bruk av brønnbåt. Det er dermed nødvendig med tilgang til sjø. Dersom det etableres eget klekkeri og starfôringsavdeling, vil anlegget ikke ha samme behov for tilgang til sjø. Hvor oppdretteren velger å slakte fisken vil også påvirke lokaliseringen og behovet for brønnbåt. Dette vil også påvirke størrelsen på et landbasert matfiskanlegg. Et landbasert oppdrettsanlegg med slakteri vil ønske en stabil og kontinuerlig drift på slakteriet for å sikre stabil arbeidskraft og god utnyttelse av investeringene i slakterikapasitet.

Arealbehov for landbasert matfiskoppdrett er noe forskjellig avhengig om oppdrettsanlegget er basert på gjennomstrømmingsteknologi med gjenbruk eller RAS. RAS trenger større areal for vannbehandlingsdelen enn et gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk, og da spesielt med tanke på behovet for biofilter. Tabellene nedenfor presenterer estimert arealbehov per anlegg for ulike anleggsstørrelser (Tabell 7 og Tabell 9), samt estimert antall anlegg som er nødvendig å etablere gitt en overgang til landbasert produksjon (Tabell 8 og Tabell 10). Beregningene forutsetter at alle anlegg etableres enten med RAS eller gjennomstrømming som produksjonsteknologi. Dette er i realiteten en forenkling av virkeligheten, da en storstilt overgang til landbasert produksjon mest sannsynlig vil innebære en miks av de to teknologiene.

## RAS

For å beregne arealbehov per anlegg for de ulike anleggsstørrelsene er det tatt utgangspunkt i dimensjonerende kriteriet for arealbehov – 6 m<sup>2</sup> per tonn fisk produsert. Dette gir netto arealbehov for selve bygningsmassen. For å beregne totalt arealbehov, inkludert omkringliggende areal, er det estimert en tilleggsfaktor på 2 per m<sup>2</sup> per tonn fisk produsert for anlegg med årlig produksjonskapasitet på 2 000 tonn. Tilleggsfaktoren for anlegg med produksjonskapasitet på 5 000 og 10 000 tonn er satt til 1,5 m<sup>2</sup>. Sistnevnte er antatt lavere ettersom en viss skalaeffekt kan forventes (Tabell 7).

**Tabell 7:** Estimert arealbehov per anlegg for ulike anleggsstørrelser - RAS

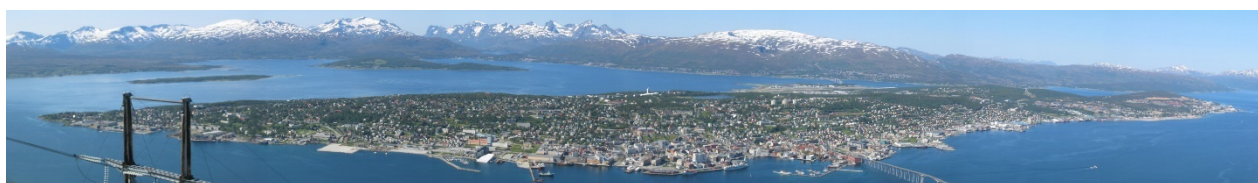
Arealbehov på land per anlegg basert på produksjon per år i tonn			
Årlig anleggskapasitet i tonn	2 000	5 000	10 000
<b>Netto arealbehov i m2 (bygningssmasse)</b>	12 000	30 000	60 000
<b>Tilleggsfaktor areal i m2 (vei, tomt, etc.)</b>	2	1,5	1,5
<b>Brutto arealbehov per anlegg (m2)</b>	24 000	45 000	90 000

Det spesifikke arealbehovet per tonn produsert biomasse i RAS-anlegg er oppgitt til å ligge i området 6-9 m<sup>2</sup>/tonn av Billund Akvakultur. Med utgangspunkt i 6 m<sup>2</sup>/tonn vil et anlegg med en produksjonskapasitet på 2 000 tonn per år kreve et netto bygningsareal på 12 000 m<sup>2</sup>. En fotballbane med internasjonale mål har et areal på litt over 7 000 m<sup>2</sup>, slik at et nytt moderne matfiskanlegg vil kreve et bygningsareal på nesten 1,7 fotballbaner. Til sammenlikning vil et anlegg med årlig kapasitet på 10 000 tonn kreve et netto bygningsareal på om lag 60 mål, tilsvarende 8,6 fotballbaner. I tillegg kreves det noe areal omkring anlegg til transport, lager mm. For anlegg bygget på eksisterende industriområder er det vanskelig å anslå eksakt areal som nødvendig, men det er ikke uvanlig at det totale arealet er det dobbelte av bygningsmassen. Med utgangspunkt i estimert arealbehov per RAS-anlegg er totalt arealbehov for en full overgang til landbasert oppdrett utledet (Tabell 8).

**Tabell 8:** Estimert totalt brutto arealbehov på land ved bygging av RAS-anlegg.

Totalt arealbehov på land basert på produksjon per år i tonn							
Årlig anleggskapasitet (Tonn)		2 000		5 000		10 000	
Årlig produksjon laks og regnbueørret	(Tonn)	Ant. anlegg	Areal (mål)	Ant. anlegg	Areal (mål)	Ant. anlegg	Areal (mål)
Produksjon 2017	1 300 000	650	15 600	260	11 700	130	11 700
Dobling av dagens produksjon	2 600 000	1 300	31 200	520	23 400	260	23 400
Femdobling av dagens produksjon	6 500 000	3 250	78 000	1 300	58 500	650	58 500

Gitt en overgang til landbasert virksomhet vil dagens produksjon av laks og ørret kreve et totalareal på land tilsvarende 11 700 mål ved en anleggsstørrelse på 5 000 tonn. Dette tilsvarer 260 anlegg à 45 mål (brutto arealbeslag). Ved bygging av 10 000 tonnsanlegg vil dagens produksjon kreve et totalt areal tilsvarende for 5 000 tonns anlegg, hvor det bemerkes at det er behov for færre anlegg og brutto arealbeslag per anlegg vil øke fra anslagsvis 45 mål til 90 mål. Satt i perspektiv ble arealbeslag knyttet til jordbruk for Finnmark i 2016 estimert til ca. 92 500 mål, landets fylke med minst andel jordbruksareal sett bort fra Oslo. Videre er Oslo kommune 454 kvadratkilometer, og Tromsøya 21,7 kvadratkilometer. En full dekning av landbasert virksomhet for dagens produksjon vil dermed kreve om lag 54% av Tromsøya sitt totale landareal.


**Figur 8:** Tromsø-øya (Kilde: wikipedia)

### Gjennomstrømming med gjenbruk av vann

Dersom anleggene bygges som gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk vil disse måtte etableres i kystsonen, og en kan derfor forvente en viss grad av interessekonflikt (nedbygging av strandsone, ivaretagelse av biologisk mangfold, byggeforbud i 100-metersbeltet, etc.). Innsamlet data har avdekket at et gjennomstrømningsanlegg har et dimensjonerende arealbehov i området 2,5 til 6 m<sup>2</sup> per tonn fisk produsert. For de utførte beregningene er det derfor tatt utgangspunkt i et dimensjonerende arealbehov på 4,25 m<sup>2</sup> per tonn produsert fisk (Tabell 9).

**Tabell 9:** Estimert arealbehov per anlegg for ulike anleggsstørrelser - gjennomstrømming med gjenbruk

Arealbehov på land per anlegg basert på produksjon per år i tonn			
Årlig anleggskapasitet	2 000	5 000	10 000
Netto areal per anlegg i m <sup>2</sup>	8 500	21 250	42 500
Tilleggsfaktor m <sup>2</sup>	2	1,5	1,5
Brutto arealbehov per anlegg (m <sup>2</sup> )	17 000	31 875	63 750

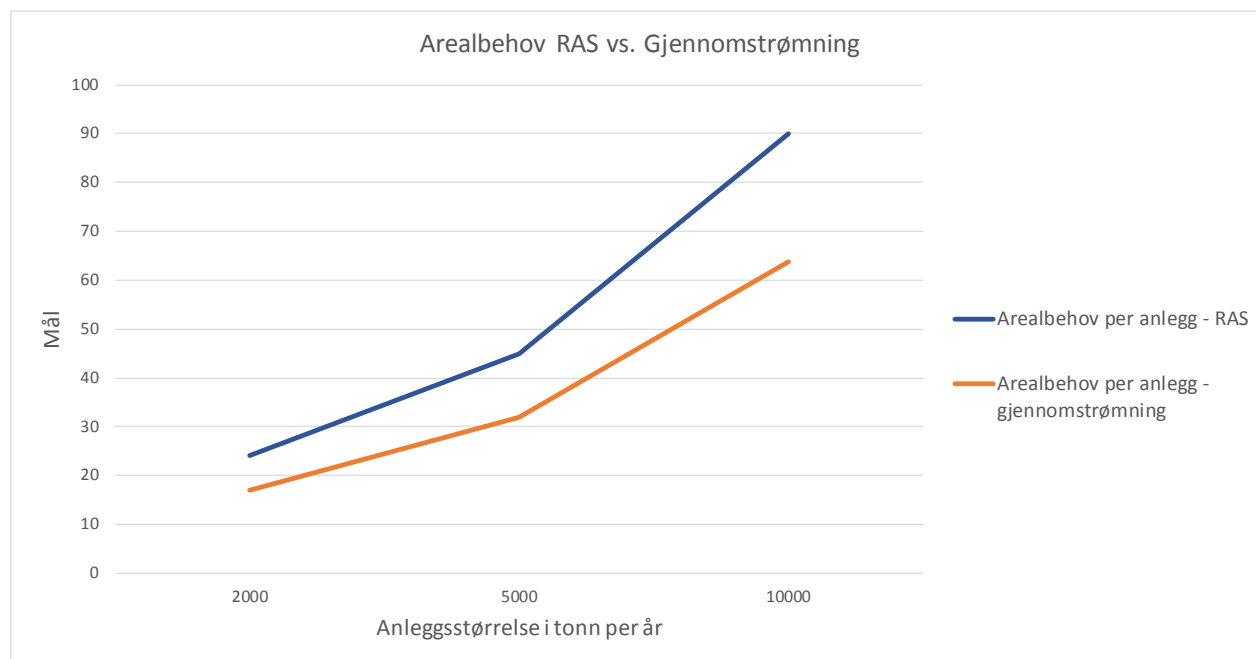
Estimatene viser at et anlegg med en produksjonskapasitet på 2 000 tonn per år kreve et netto bygningsareal på ca. 8 500 m<sup>2</sup>, mens et for 10 000 tonn vil kreve et netto areal på ca. 42 500 m<sup>2</sup>.

Med utgangspunkt i gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk vil en overgang til landbasert produksjon gi følgende konsekvenser hva gjelder antall anlegg og beslaglagt areal (Tabell 10).

**Tabell 10:** Estimert totalt arealbehov på land ved bygging av gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk

Areal på land og årlig produksjon i tonn							
Årlig anleggskapasitet (Tonn)		2 000		5 000		10 000	
Årlig produksjon laks og regnbueørret	(Tonn)	Ant. anlegg	Areal (mål)	Ant. anlegg	Areal (mål)	Ant. anlegg	Areal (mål)
Produksjon 2017	1 300 000	650	11 050	260	8 288	130	8 288
Dobling av dagens produksjon	2 600 000	1 300	22 100	520	16 575	260	16 575
Femdobling av dagens produksjon	6 500 000	3 250	55 250	1 300	58 500	650	41 438

Estimatene for arealbehov for både RAS og gjennomstrømming med gjenbruk viser at sistnevnte vil være betydelig mindre arealkrevende, og en rask sammenstilling av brutto arealbehov for de ulike anleggstypene er gjengitt nedenfor (Figur 9). Samtidig skal det understrekes at utregninger for RAS er basert på tall fra tradisjonell RAS. Ved bruk av ny teknologi (RAS 2020), kan man oppnå en betydelig reduksjon i areal, opp mot 50%.



**Figur 9:** Estimert brutto arealbehov per anlegg – RAS vs. gjennomstrømming med gjenbruk

Med tanke på geografisk beliggenhet og bruk av areal gir tabellen nedenfor et bilde av antall anlegg som må bygges for å dekke inn høstet mengde laks per fylke (Tabell 11). Dette gitt at man tar utgangspunkt i at det

kun bygges anlegg med en årlig kapasitet på 5.000 tonn eller 10 000 tonn. Samtidig skal en bemerke at en kraftig øking i landbasert oppdrett mest sannsynlig vil innebære at flere anlegg vil bygges med en årlig produksjonskapasitet opp mot – og over – 10.000 tonn. For øvrige betraktninger knyttet til en mulig utbyggingshastighet, se kap. 9.3. Foreløpige tall for produksjonen av atlantisk laks for 2017 er lagt til grunn for utregningen (1.219.235 tonn), oppgitt i rund vekt (Whole Fish Equivalent – WFE). Oversikten nedenfor tar også utgangspunkt i at dagens produksjonsstruktur – fylkesvis fordeling av tillatelser – opprettholdes.

**Tabell 11:** Estimert antall landbaserte anlegg per fylke for å dekke dagens produksjon (Kilde: SSB, Tabell 07326 Akvakultur. Salg av slaktet matfisk, etter region, fiskeslag, statistikkvariabel og år, 2017)

Fylke	Tonn produsert	Antall anlegg à 5 000 tonn	Ant. anlegg à 10 000 tonn
Finnmark	86 659	18	9
Troms	179 943	36	18
Nordland	262 955	53	27
Trøndelag	179 567	36	18
Møre og Romsdal	162 548	33	17
Sogn og Fjordane	93 529	19	10
Hordaland	160 851	33	17
Rogaland	78 751	16	8
Agder	14 426	3	2

## 7.2 Logistikk – landbasert produksjon av laks

Betraktninger knyttet til logistikk er på mange områder sammenfallende for både post-smolt og matfisk, og behandles således i ett og samme kapittel.

Dagens produksjonssystem er lagt opp med tanke på produksjon i sjø og favner hele verdikjeden, fra fôrproduksjon, til produksjon og distribusjon av settefisk, samt frakt av slakteklar fisk til slakteri. Majoriteten av de involverte aktørene er per i dag lokalisert med umiddelbar nærhet til sjø. Dette fordi bruk av ulike typer fartøy spiller en sentral rolle i logistikksystemet. Både i forhold til transport av fôr, men også ved transport av settefisk og slakteklar fisk. Det er derfor rimelig å anta at denne etablerte strukturen vil være førende med tanke på lokalisering og den geografiske fordelingen av landbaserte anlegg for matfisk og settefisk (Tabell 11). En klar indikasjon hva gjelder sistnevnte er den kapasitetsøkning vi opplever i dag, og at disse anleggene uten unntak etableres i kystsonen. Dette til tross for at RAS som teknologi egentlig ikke setter noen begrensning med tanke på lokalisering. Så lenge man har tilstrekkelig tilgang på gode vannkilder kan RAS anlegg likegodt etableres i innlandet som ved kystnære strøk.

Gitt at majoriteten av nye anlegg, både settefisk og matfisk, legges til sjø vil dagens transportstruktur med all sannsynlighet videreføres. For de anlegg som legges til innlandet vil mye av logistikken måtte utføres med veibaserte løsninger, med en dertil økning i den totale belastningen på infrastruktur og antall lastebiler. En analyse og kvantifisering av denne effekten er både krevende og utfordrende, men det er likefullt gjort noen betraktninger knyttet til dette.

Med utgangspunkt i totalt årlig fôrforbruk for den norske oppdrettsindustrien, fordeler den seg som følgende for perioden 2011 til 2017 (Tabell 12). Merk at disse tallene også inkluderer fôrforbruk for settefisk innen alle typer av akvakulturvirksomhet.



**Tabell 12:** Omsetning av fôr i akvakulturnæringen fordelt på måned, tall i tonn (Kilde: Fiskeridirektoratet, 2018b)

Måned	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
Januar	117 177	107 609	115 335	109 885	92 974	101 609	71 016
Februar	89 099	86 263	88 250	90 542	60 216	86 132	55 813
Mars	91 738	87 864	99 155	85 068	59 661	88 032	60 999
April	93 215	88 279	96 633	89 763	67 433	87 422	62 255
Mai	111 428	111 960	102 581	110 168	95 302	102 588	101 677
Juni	146 339	137 601	135 984	146 910	130 308	130 181	122 091
Juli	185 712	178 012	180 168	193 382	196 456	181 941	167 310
August	235 135	221 308	212 812	204 455	218 152	218 438	205 439
September	215 768	210 611	211 163	208 674	218 150	203 039	212 596
Oktober	223 144	177 491	195 379	195 899	198 517	194 323	178 643
November	175 905	164 829	169 670	165 074	155 447	151 273	150 963
Desember	144 577	137 085	139 321	142 597	131 794	118 916	120 409
<b>Totalt</b>	<b>1 829 236</b>	<b>1 708 912</b>	<b>1 746 451</b>	<b>1 742 417</b>	<b>1 624 410</b>	<b>1 663 894</b>	<b>1 509 211</b>

Gitt en overgang fra dagens sjøbaserte produksjon til landbasert virksomhet, og at 50% av disse nye lokalitetene etableres i innlandet, vil tilførsel av f.eks. fôr for disse lokalitetene i stor grad måtte utføres med veibaserte løsninger. For 2017 vil det innebære at 914.618 tonn fôr vil måtte transporteres med lastebil. Dersom 25% av alle landanlegg etableres i innlandet vil fôrforbruket for disse samlet tilsvare 457.309 tonn (2017 tall).

**Tabell 13:** Fôrforbruk per år fordelt på antall turer

Måned	2017	50% av 2017	25% av 2017	Ant turer à 19 tonn (50%)	Ant turer à 19 tonn (25%)
Januar	117 177	58 589	29 294	3 084	1 542
Februar	89 099	44 550	22 275	2 345	1 172
Mars	91 738	45 869	22 935	2 414	1 207
April	93 215	46 608	23 304	2 453	1 227
Mai	111 428	55 714	27 857	2 932	1 466
Juni	146 339	73 170	36 585	3 851	1 926
Juli	185 712	92 856	46 428	4 887	2 444
August	235 135	117 567	58 784	6 188	3 094
September	215 768	107 884	53 942	5 678	2 839
Oktober	223 144	111 572	55 786	5 872	2 936
November	175 905	87 953	43 976	4 629	2 315
Desember	144 577	72 289	36 144	3 805	1 902
<b>Totalt</b>	<b>1 829 236</b>	<b>914 618</b>	<b>457 309</b>	<b>48 138</b>	<b>24 069</b>

Hvor mange lastebiler per år som vil være nødvendig for å dekke dette behovet er svært vanskelig å si noe konkret om, ettersom det vil være en funksjon av geografisk fordeling av anlegg og avstand mellom disse

og de ulike fôrfabrikker (altså hvor mange anlegg en lastebil kan betjene). Uansett, med utgangspunkt i at hver lastebil kan frakte 19 tonn (Lovdata, 2014), vil det for 2017 vært nødvendig å gjennomføre 48.137 turer dersom 50% av anleggene legges i innlandet. Ved en overgang tilsvarende 25% vil det kreve et behov for 24.069 turer à 19 tonn. Da har vi også – for enkelhets skyld – tatt høyde for at alle transporter kan gjennomføres med vogntog og kjøres på veier som tillater nyttelast på 19 tonn, noe som i praksis ikke kan gjennomføres til det fulle. Dette fordi flere fylkes- og kommuneveier har begrensninger knyttet til både tillatt lengde og lastevekt, hvorav noen også kan ha sesongbaserte begrensninger i tillegg. De aller fleste hovedveier (E6, E39, etc.) har tillatt totalvekt på 60 tonn for normaltransport, mens det for mindre veier (dvs. fylkes- og kommuneveier) eksisterer flere begrensninger i forhold til tillatt totalvekt (50, 40, 32 og 28 tonn) (Statens vegvesen, 2018).

Videre, en overgang til landbasert oppdrett vil medføre nye verdikjeder og transportbehov. Da særlig knyttet til håndtering og uttransport av slam. Per i dag eksisterer det få gode og kommersielt bærekraftige løsninger for en effektiv håndtering av dette bi-produktet, og er således et punkt som må sees nærmere på. Et eksempel på en mulig løsning er Skretting sitt pågående initiativ om å etablere en fast tjeneste som transporterer fôr inn til landbaserte anlegg, for så hente ut slam til viderefordeling. Enten til bruk innen jordfordeling eller som bidrag til produksjon av bio-energi (Skretting, 2018). Sistnevnte er et godt eksempel på en mulig løsning for transport av slam gjennom en allerede etablert transporttjeneste, som ellers går med tomme fartøy tilbake til fôrfabrikk.

I lys av overnevnte, samt at dette med fôr og slam generelt sett er to store "varegrupper" i verdikjeden, betyr at effektive løsninger for håndtering av disse bør prosjekteres inn ved nye landanlegg så tidlig som mulig, enten de er lokalisert i kystsonen eller i innlandet. Transport av oksygen er også en potensiell varegruppe som kan skape et betydelig transportbehov, gitt at løsninger for lokal produksjon av oksygen ikke inkluderes i prosjekteringen av anlegget.

Dersom de landbaserte anleggene blir plassert langs kysten vil transport av fisk, fôr og slam med stor sannsynlighet transporteres med sjøbaserte løsninger. Dagens logistikkmønstre forventes dermed ikke å endres i særlig grad.

Gitt full overgang til landbasert oppdrett er det også rimelig å anta at dagens transport ut til marked ikke vil endres i nevneverdig grad. Dette fordi mange av de nasjonale landbaserte anlegg som planlegges – samt er under bygging – er prosjektert med egne slaktelinjer. Dette innebærer at slaktet fisk vil transporteres til marked med dagens transportstruktur. En mulig overgang til sjø-baserte transporttjenester vedrørende eksport av slaktet fisk ansees således ikke å fremprovoseres av en overgang til landbasert produksjon, ei heller om den legges til innlandet.

For anlegg som etableres internasjonalt og i de aktuelle markedene (ref. Atlantic Sapphire), vil transportbehovet være annerledes.

### 7.3 Vannforbruk – landbasert matfisk

Produksjon av laks krever store mengder vann for å tilfredsstille fiskens høye krav til vannkvalitet. Vannet sørger for nødvendig tilførsel av oksygen og frakter bort fiskens metabolske avfallsstoffer som f.eks. faeces, CO<sub>2</sub> og ammoniakk. Ved beregning av vannbehov for landbasert matfiskoppdrett er det derfor naturlig å

beregne vannbehovet både ved bruk av RAS og gjennomstrømnings-teknologi med gjenbruk. Særlig sett i lys av de ulike nasjonale prosjekter som er under planlegging, hvorav flere tar utgangspunkt i gjennomstrømming (se Tabell 2). Sistnevnte anlegg er planlagt med oksygenering og utlufting av CO<sub>2</sub>, men uten biologiske filtre for fjerning av ammoniakk (f.eks. Bulandet Miljøfisk, Hjelvik Matfisk AS).

### 7.3.1 Vannforbruk landbasert matfisk – RAS

Ved bruk av RAS-teknologi i oppdrett er det vanlig å beregne behovet for nytt vann (ferskvann, brakkvann eller sjøvann), som en funksjon av fôrforbruk. Behovet for nytt vann er avhengig av fiskens metabolisme og størrelsen og type biologisk rensing anlegget er designet for. Den vanligste form for biologisk rensing av vannet innebærer en omdanning av ammoniakk til nitritt og nitrat ved bruk av biologiske filtre. Det kreves i vanlig drift mellom 300-500 liter vann per kg fôr per døgn. Analysen har tatt utgangspunkt i denne formen for biologisk rensing. Det nevnes samtidig at det også finnes resirkuleringsanlegg som renser vannet for nitrat, og som dermed ytterligere reduserer behovet for nytt vann. Dette er derimot en mindre utbredt RAS-teknologi, men som mottar økende oppmerksomhet og etterspørsel.

For å få et anslag på hvor mye vann som totalt behøves for å flytte norsk oppdrett på land ved oppdrett i RAS-anlegg, er det lagt til grunn en økonomisk fôrfaktor på 1,15, et spede vannsbehov på 400 liter per døgn per kg fôr, og jevn produksjon gjennom hele året. Sistnevnte innebærer ingen avbrytning av produksjon for brakklegging av anlegg. Vannbehovet for enkeltanlegg vil variere med hvilken produksjonsstrategi som er valgt. Dersom det er valgt en strategi med jevn produksjon og høsting og slakt av tilveksten daglig, vil vannbehovet være tilnærmet konstant gjennom året. Dersom det er en strategi der det produseres i batcher, med "all fisk inn-all fisk ut", vil vannbehovet variere med biomassen i anlegget. Likefullt vil det totale vannforbruket per år bli om lag likt ved begge tilfeller (**Tabell 14**).

I dagens matfiskproduksjon av laks og regnbueørret ved bruk resirkuleringsteknologi brukes gjerne brakkvann med en saltholdighet på omlag 12-14 promille. Dette er vesentlig lavere sammenlignet med tidligere praksis, hvor saltholdighet på ca. 20 promille var mer vanlig. Dersom brakkvann med en slik saltholdighet er en forutsetning for landbasert matfiskproduksjon basert på resirkulering, vil omlag 60 prosent av vannbehovet måtte dekkes av en ferskvannskilde og 40 prosent fra sjøvannskilde. Hele vannbehovet kan dekkes direkte fra en brakkvannskilde, slik f.eks. Fredrikstad Seafood gjør. Tilgang på ferskvann er en mye større flaskehals enn tilgang på sjøvann. Det vil også sette sterke begrensninger på lokalisering av denne type anlegg. Med det er mulig både teknologisk og biologisk å bruke rent sjøvann i landbaserte matfiskanlegg basert på resirkuleringsteknologi, men erfaring viser økt risiko ved denne produksjonsformen, se kap 9. I denne analysen er det tatt utgangspunkt i at vannbehovet kan dekkes ved bruk av både rent sjøvann med 33-34 promille saltholdighet og en brakkvannproduksjon med saltholdighet på 12-14 promille.

**Tabell 14:** Estimert vannforbruk ved landbasert oppdrett basert på resirkuleringsanlegg.

Årlig produksjon laks og regnbueørret	Produksjon per år (tonn)	Vannforbruk saltvann RAS (m <sup>3</sup> /år)	
		Ferskvann	Saltvann
Vann	N/A	Ferskvann	Saltvann
Produksjon 2017	1 300 000	343 200 000	176 800 000
Dobling av dagens produksjon	2 600 000	686 400 000	353 600 000
Femdobling av dagens produksjon	6 500 000	1 716 000 000	884 000 000

Ved bruk av RAS-teknologi vil dagens produksjon av laks og regnbueørret kreve et vannforbruk på 0,520 milliarder kubikk per år. Dette kan dekkes gjennom bruk av rent sjøvann, brakkevannskilder med 10-14 promille saltholdighet eller ferskvann blandet med sjøvann til saltholdighet på 12-14 promille. Ved å blande ferskvann med sjøvann vil dagens produksjon lakseproduksjon vil kreve 343 millioner kubikk ferskvann per år. Satt i perspektiv produserer norske kommunale vannverk totalt 683 millioner kubikk vann per år.

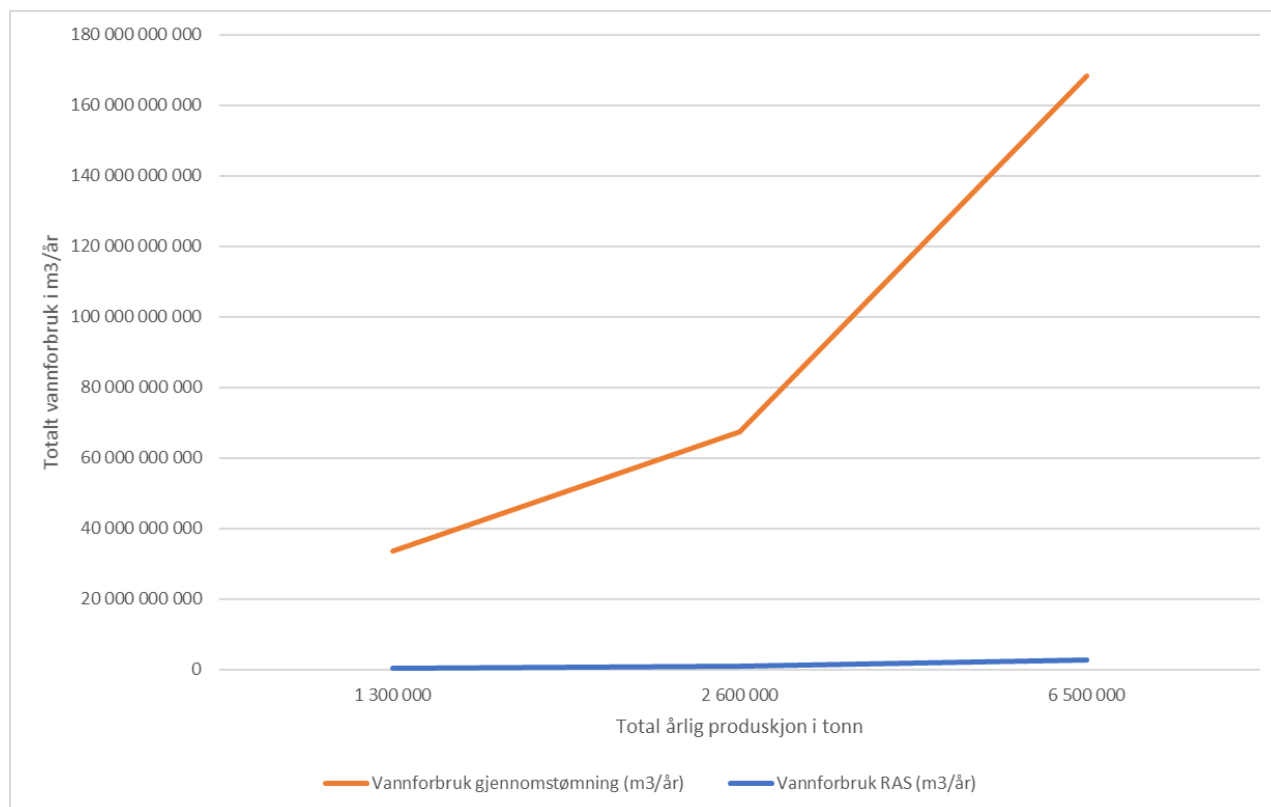
### 7.3.2 Vannforbruk landbasert matfisk– gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk

Ved bruk av tradisjonell gjennomstrømningsteknologi er det vanlig å beregne et vannforbruk på 0,3 liter per minutt per kg fisk (Referansegruppemøte 1, 2018). Tatt i betraktning at de aller fleste av planlagte gjennomstrømningsanlegg planlegges med en viss prosentvis gjenbruk av vannet (45%-70%), er det derfor mest naturlig og relevant å benytte sistnevnte som underlag for utregningene. I beregningene for landbasert produksjon med gjennomstrømningsanlegg er det tatt utgangspunkt i bruk av sjøvann, med en gjenbruksprosent på ca. 45% og et spesifikt vannforbruk på 0,085 liter per minutt per kg fisk (Tabell 15). Gjennomsnittlig stående biomasse er basert på tilgjengelig statistikk ved Fiskeridirektoratet (2017).

**Tabell 15:** Estimert vannforbruk landbasert oppdrett gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk.

Produksjon laks og regnbueørret	Produksjon per år (tonn)	Gj. snitt stående biomasse (kg)	Vannforbruk (m <sup>3</sup> /år)
Produksjon 2017	1 300 000	754 000 000	33 685 704 000
Dobling av dagens prod.	2 600 000	1 508 000 000	67 371 408 000
Femdobling av dagens prod.	6 500 000	3 770 000 000	168 428 520 000

Dagens norske laks og ørretproduksjon vil kreve omlag 33,7 milliarder kubikk sjøvann per år, en vannmengde som er betydelig større sammenlignet med estimert forbruk for RAS – 0,520 milliarder kubikk per år. En dobling og femdobling av produksjonen innebærer et sjøvannsforbruk på henholdsvis 67,4 og 168,4 milliarder kubikk per år for gjennomstrømning og henholdsvis 1,04 og 2,60 milliarder kubikk per år for RAS. Til sammenlikning hadde den norske husholdning i 2017 et estimert gjennomsnittlig forbruk per tilknyttet innbygger på 179 liter per person per døgn, og den totale leveransen fra vannverk inn på kommunalt nettverk er for 2017 estimert til 0,683 milliarder m<sup>3</sup> (SSB, 2018b). I følge Norsk Vann går ca. 1/3 av vannet i ledningsnettet tapt grunnet lekkasjer, mens ca. 42% går til husholdningenes forbruk, 12% går til næringsvirksomhet og annen industri, ca. 7% til næringsmiddelvirksomhet og ca. 8% til andre formål (norsk.vann.no).



**Figur 10:** Estimert totalt vannforbruk gjennomstrømming med gjenbruk vs. RAS ved dagens produksjon, dobling og femdobling.

## 7.4 Energiforbruk – landbasert matfisk

Energiforbruk for landbasert oppdrett av matfisk fordeler seg på pumping av inntaksvann, oppvarming av vann i energianlegg, trykksetting av vann for oksygentilsetting, pumping av luft for CO<sub>2</sub>-utlufting, drift av filter, ventilasjon, varme, kjøling ved behov, samt normalt forbruk tilsvarende øvrige industri- og næringsbygg. Det involverer også produksjon av smolt og drift av slakterianlegg.

### 7.4.1 Energiforbruk landbasert matfisk – RAS

Beregninger knyttet til energiforbruk i landbasert matfiskoppdrett i RAS-anlegg er basert på erfaringstall fra leverandører og produsenter, hvor reelt energiforbruk anslås å ligge mellom 6-9 kWh per kg fisk produsert. Erfaringstall fra operative anlegg avdekker derimot at en kan forvente et energiforbruk på nærmere 6 kWh. Det innbefatter all elektrisk energi som brukes ved anlegget.

Tabell 16 presenterer estimert energiforbruk ved RAS-anlegg gitt ulikt strømforbruk per kilo fisk produsert, for dagens produksjon og fremtidig vekst oppgitt i TWh.

**Tabell 16:** Estimert totalt energiforbruk ved landbasert oppdrett ved bruk av resirkuleringsteknologi (TWh)

Årlig produksjon laks og regnbueørret	Prod. per år (tonn)	Energiforbruk ved 6 kWh/kg	Energiforbruk ved 7,5 kWh/kg	Energiforbruk ved 9 kWh/kg
Produksjon 2017	1 300 000	7,8 TWh	9,8 TWh	11,7 TWh
Dobling av dagens produksjon	2 600 000	15,6 TWh	19,5 TWh	23,4 TWh
Femdobling av dagens produksjon	6 500 000	39,0 TWh	48,8 TWh	58,5 TWh

En overføring av dagens norske laks- og ørretproduksjon til landbasert virksomhet gir estimert totalt energiforbruk på mellom 7,8 og 11,7 TWh per år, ved bruk av RAS-teknologi. En dobling av dagens norske lakseproduksjon gir en tilnærmet dobling av energiforbruket, som anslås å variere mellom 15,6 og 23,4 TWh per år. Ved en femdobling av produksjonen anslås totalt energiforbruk å variere mellom 39 og 58,5 TWh per år. Med utgangspunkt i dagens produksjon innebærer dette at et 2 000, 5 000 og 10 000 tonn stort anlegg vil forbruke henholdsvis 12, 30 og 60 GWh per år. Til sammenligning er energiforbruket i Oslo tilnærmet 9 TWh per år, og i 2017 hadde øvrig norsk kraftkrevende industri som oljeraffinering, kjemisk og farmasøytisk industri et årlig forbruk på 24,7 TWh, mens metallindustri hadde et årlig forbruk på 33,0 TWh (SSB, 2018a). Sett i et nasjonalt perspektiv var det totale norske fastlandsforbruket av elektrisk energi i 2016 på 122,4 TWh (NVE, 2017), mens samlet produksjon var på 147,2 TWh (NVE, 2018).

**Tabell 17:** Estimert totalt energiforbruk som prosentvis andel av totalt produsert energi (147,2 TWh).

Tot. produksjon	%-vis andel ved 6 kWh	%-vis andel ved 7,5 kWh	%-vis andel ved 9 kWh
1 300 000	5%	7%	8,0%
2 600 000	11%	13%	15,9%
6 500 000	27%	33%	39,8%

Tabell 17 viser at ved en full overgang fra dagens produksjon i sjø til landbasert produksjon av matfisk, anslås totalt energiforbruk å utgjøre mellom 5% og 8 % av dagens totale energiproduksjon i Norge. Ved en dobling av produksjonen anslås energiforbruket til å variere mellom 11% og 15,9% av den totale nasjonale energiproduksjonen.

#### 7.4.2 Energiforbruk matfisk - gjennomstrømningsanlegg

For landbasert matfiskoppdrett ved bruk av tradisjonell gjennomstrømningssteknologi finnes det få erfaringstall fra Norge. Det er gjort et arbeid på kartlegging av energiforbruk i settefiskanlegg med gjennomstrømningssteknologi i 2005, finansiert av ENOVA SF (konfidensiell rapport), men dette er en produksjonsform som ikke direkte kan sammenliknes med fullskala landbaserte matfiskanlegg basert på gjennomstrømningssteknologi med gjenbruk.

Hva gjelder energiforbruk for gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk av vann har prosjektet gjennom intervju og datafangst fått opplyst et spesifikt forbruk på 6-7 kWh per kg fisk produsert. Dette inkludert temperering av vann (+/- 13 grader) året rundt og en gjenbruksgrad på 60-70%. I lys av de beregninger og estimat utført for RAS er det dermed mulig å anta at totalt energiforbruk, samt forbruk ved respektive anleggstørrelser, vil være tilnærmet likt for RAS og gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk.

## 7.5 Klimaavtrykk – matfisk og post-smolt

Da prosjektet har et hovedfokus på RAS-anlegg er klimaregnskap gjennomført kun for nevnte teknologi ved landbasert oppdrett av Atlantisk laks, matfisk og post-smolt. Regnskapet er basert på data fra SINTEF Ocean og offentlig tilgjengelig litteratur, og inkluderer livsløpet til fisken fra fôrproduksjon og frem til slakteferdig fisk eller salgbar smolt. Kapittelet omhandler vurderinger knyttet til både matfisk og settefisk.

Regnskapet viser at laks produsert i landbaserte oppdrettsanlegg kan ha et klimaspor på **4-6 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kg matfisk produsert (CO<sub>2</sub>e/kg)**. Dette intervallet kommer av spennet i viktige parameter som økonomisk førfaktor energiforbruk, arealbruk og fabrikkens levetid. Et scenario satt opp med utgangspunkt i de dimensjonerende kriteriene resulterte i et klimaspor på **5,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg matfisk produsert på land**. Tilsvarende for produksjon av post-smolt ga et klimaspor på **4,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg produsert**.

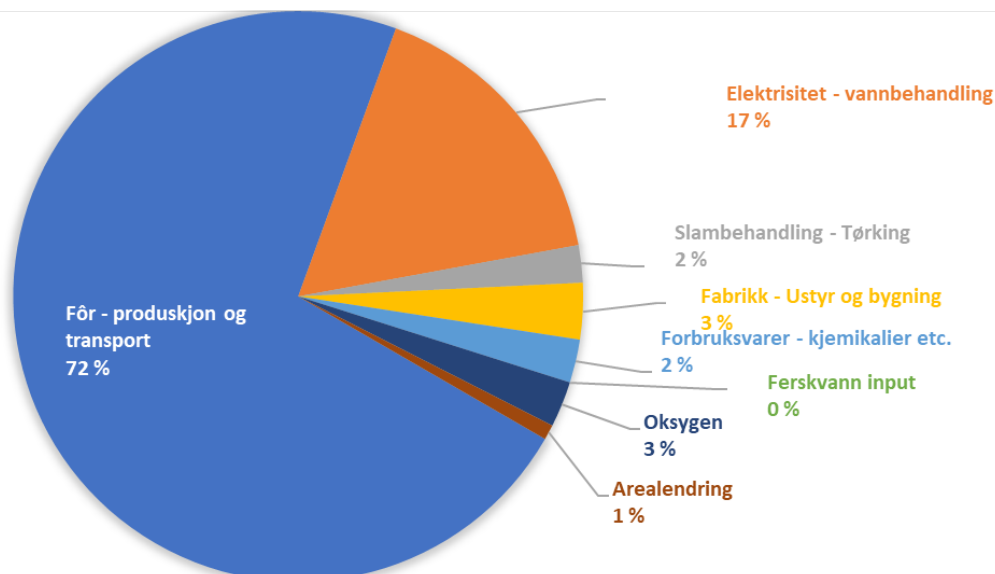
De viktigste klimaaspektene i landbasert oppdrett er føreffektiviteten og hvor mye energi som brukes i vannbehandlingen. I tillegg viser analysen at også utstyr, bygninger, andre forbruksvarer og arealendring står for nesten 10% av klimaregnskapet. Altså er det mer enn bare føreffektivitet og energibruk som må tas hensyn til i utviklingen av klimavennlig landbasert oppdrett.

Klimasporet til laks produsert på land ble sammenlignet med klimasporet til laks produsert i åpen merd i sjø. Fisk fra landbasert oppdrett med en økonomisk førfaktor på 1,15 har et klimaspor som er 28% høyere enn fisk fra oppdrett i åpen merd i sjø med en økonomisk førfaktor på 1,25. I en slik sammenligning er det viktig å legge merke til at det er stor variasjon i den økonomiske førfaktoren i den norske havbruksnæringen. I dag kan mange som driver oppdrett i åpen merd i sjø ha en økonomisk førfaktor så høy som 1,6 og da kan en landbasert produksjon med lavere førfaktor oppnå et lavere klimaspor.

### 7.5.1 Resultat landbasert oppdrett av matfisk

Klimasporet per kilo matfisk produsert ble **5,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg fisk til menneskelig konsum**. Figur 11 viser hvordan klimasporet fordeler seg på ulike aktiviteter og innsatsfaktorer. Fôr er som forventet den største bidragsyteren til klimasporet, dette er også konklusjonen i det som finnes av LCA-analyser av lakseoppdrett opp til eksport. Den nest største bidragsyteren er forbruket av elektrisitet. Bidraget fra slambehandlingen kommer også fra forbruk av elektrisitet grunnet tørkeprosessen. De resterende bidragene kommer fra forbruk av innsatsfaktorer som oksygen og kjemikalier, infrastruktur (bygningen og utstyret) og arealendring.

Klimabidraget fra bygging av fabrikken er høyt. Størrelsen på dette bidraget avgjøres av hvor mye fisk man antar at det produserer før anlegget går ut av drift eller avhendes. Her er det antatt en brukstid på 20 år. Klimapåvirkningen kommer fra betong (~ 50%), stål (~ 27%), PE rør (~ 15%), og det resterende fra glassfiber.



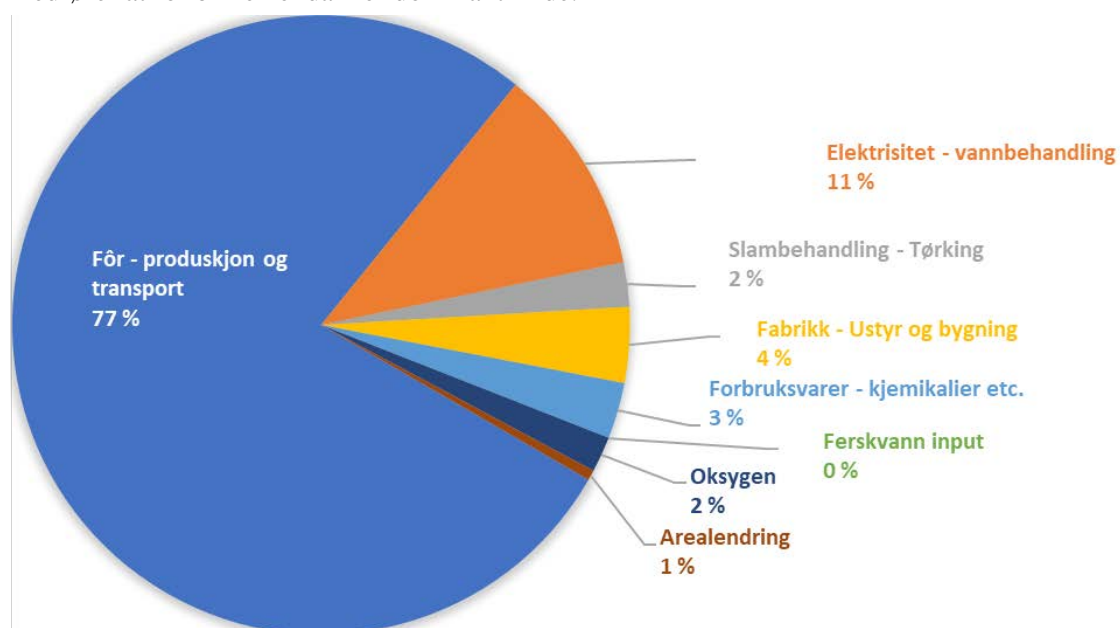
**Figur 11:** Fordeling av klimasporet til matfisk produsert i RAS anlegg

### 7.5.2 Resultat smolt og post-smolt

Det som skiller data for smoltproduksjonen fra matfisk (se Tabell 1) og resultatene for matfisk (kapittel 7.5.1) er:

- bedre økonomisk fôrfaktor (EFCR), 1,00 kg fôr/kg smolt.
- lavere elforbruk, 3 kWh/kg smolt.
- og mindre arealbruk 3 m<sup>2</sup>/per tonn årlig produksjon.
- Produksjonskapasitet for anlegget 3 000 tonn/år.

Det samlede klimaregnskapet ble **4,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg smolt solgt**, og fordelingen av klimasporet er presentert i Figur 12. Sammenlignet med matfisk så er energiforbruk mindre viktig i klimasporet for smolten, noe som medfører at fôr blir en enda mer dominant kilde.



**Figur 12:** Resultat klimaregnskap for smoltproduksjon

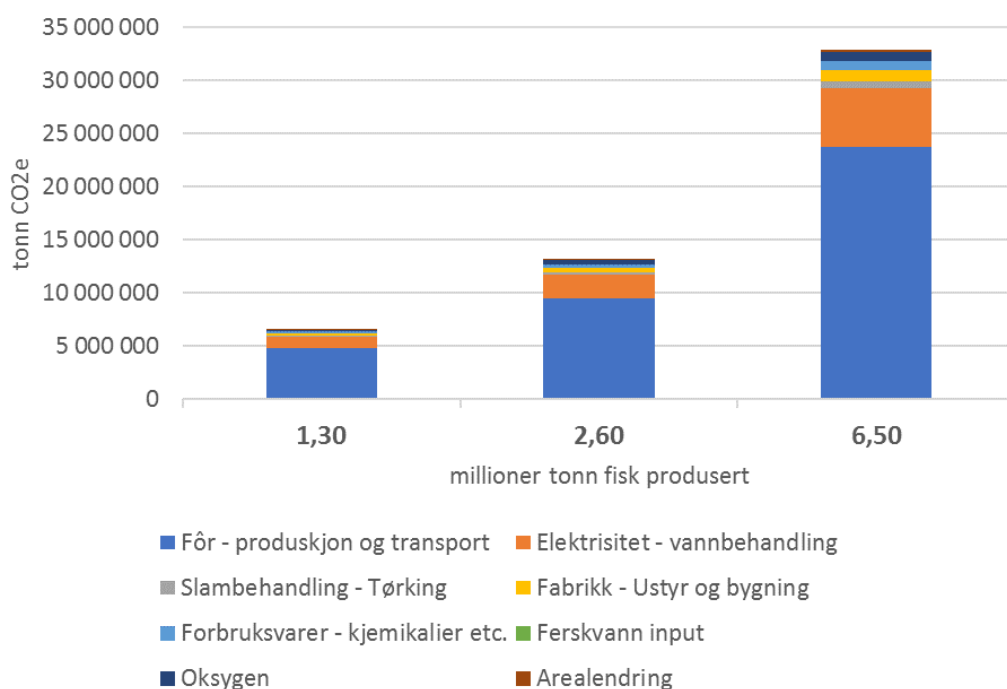


### 7.5.3 Resultat ved produksjonsøkning landbasert oppdrett

Figur 13 viser hvordan det samlede klimaregnskapet utvikler seg når skalaen på landbasert oppdrett øker. I et tilfelle der man produserer 2,3 millioner tonn fisk på land, med de parameter lagt til grunn for denne analysen, er det samlede utslippet av klimagasser, globalt oppvarmingspotensial, på 13 millioner tonn CO<sub>2</sub>e. Dette er altså en situasjon der man har en landbasert oppdrettsvirksomhet som er dobbelt så stort som dagens norske lakseoppdrett. Dette er i all hovedsak utslipp som skjer utenfor Norges grenser.

For å illustrere hva 13 millioner tonn CO<sub>2</sub>e betyr kan man gjøre følgende sammenligninger:

- Samlet utslipp fra norsk territorium (inkludert sokkelen) var i 2016 på 53,3 millioner tonn CO<sub>2</sub> ekvivalenter<sup>9</sup>. Dette er da kun direkteutslipp og ikke det samlede klimasporet til norsk aktivitet og forbruk. Et estimat på klimasporet til nasjonen Norge, direkte utslipp og indirekte utslipp «Importert» via varer, ga at samlet klimaspor på 76 millioner tonn CO<sub>2</sub>e<sup>10</sup> tilbake i 2004.
- Sektoren «olje og gassutvinning» stod for et utslipp på ca. 15 millioner tonn CO<sub>2</sub>e i 2016. Igjen kun direkte utslipp innenfor norsk sektor.



**Figur 13:** Samlet klimaregnskap ved storskala landbasert oppdrett

### 7.5.4 Sensitivitetsanalyser

Det følgende viser hvordan klimasporet endrer seg med variasjon i noen utvalgte parameter. Parameterne er valgt ut basert på hvor viktige de er for det totale klimasporet og ren nysgjerrighet.

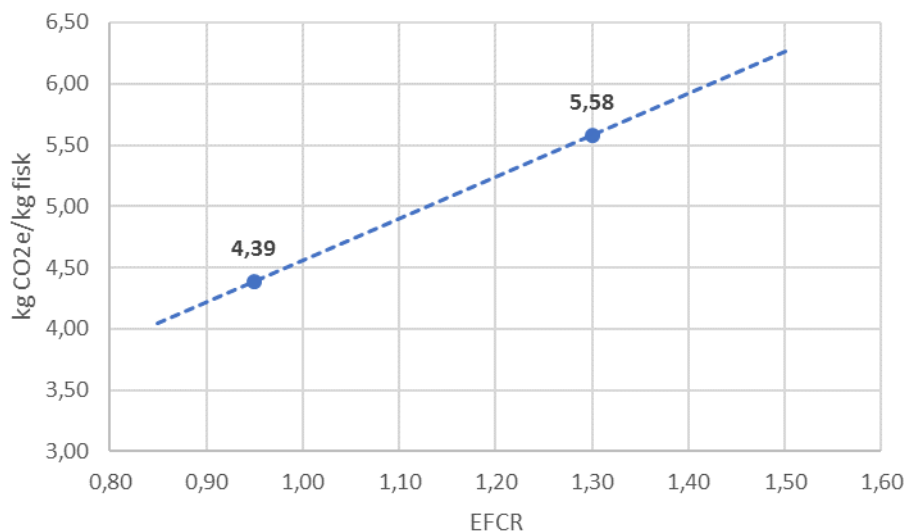
#### Fôrfaktor matfisk

Figur 14 viser hvordan klimasporet til fisken endrer seg med en endring i fôrfaktoren (EFCR) fra 0,95 til 1,3 kg fôr/kg fisk produsert. En endring i EFCR på 1% gir 0,74 % endring i klimaregnskapet når alt annet er

<sup>9</sup> <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/klimagassn/aar-endelige>

<sup>10</sup> [http://carbonfootprintofnations.com/content/environmental\\_footprint\\_of\\_nations/](http://carbonfootprintofnations.com/content/environmental_footprint_of_nations/)

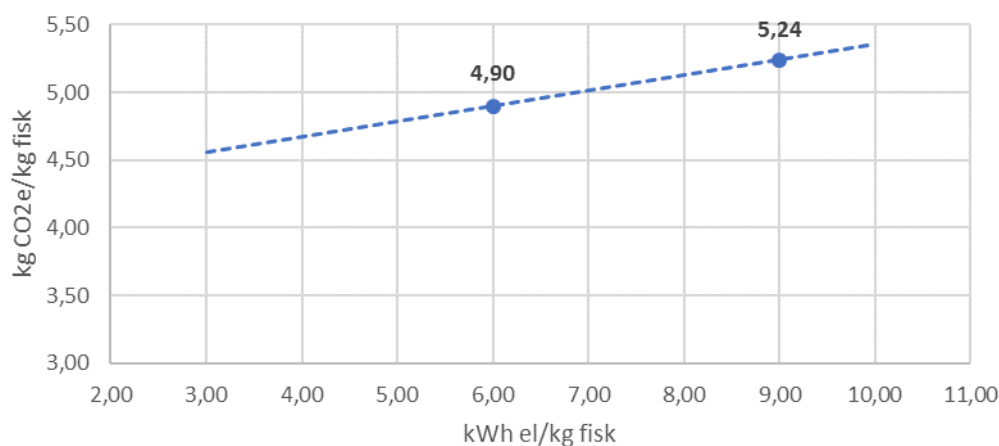
holdt likt. Dette bekrefter tydelig at føreffektiviteten er den dominerende parameteren i klimaregnskapet til oppdrettslaks også i en landbasert produksjon.



**Figur 14:** Endring i EFCR vs. endring i klimasporet til produktet

### Energiforbruk

Figur 15 viser hvordan klimaregnskapet per kg matfiskfisk produsert endrer seg dersom det samlede elforbruket endrer seg fra 6 til 9 kWh/kg fisk produsert. Når alt annet holdes likt så fører 1 % endring i elforbruket til 0,14 % endring i det samlede klimaregnskapet. I tillegg til å effektivisere energibruken kan også egen produksjon av elkraft i f. eks. solceller redusere klimabidraget fra strømproduksjonen.

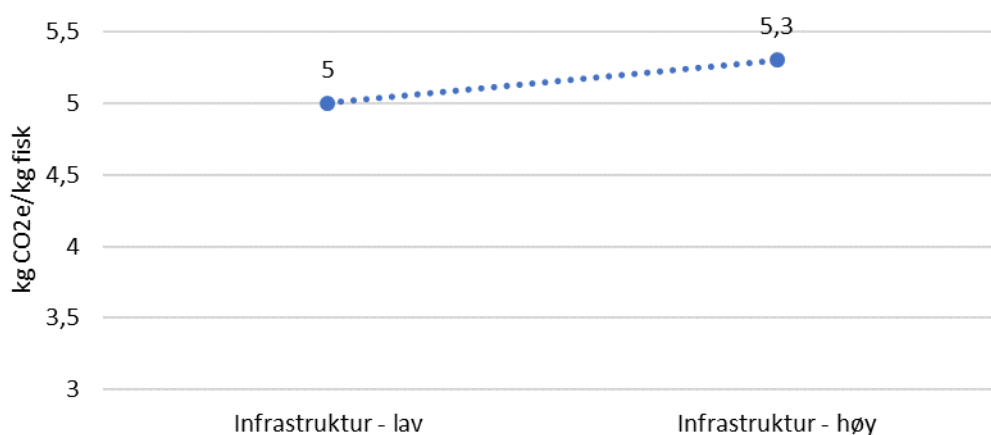


**Figur 15:** Endring i elforbruk per kg fisk vs. endring i klimasporet til produktet

### 7.5.5 Infrastruktur/Kapitalinvesteringer

Figur 16 viser hvordan klimaregnskapet endrer seg når antagelsen om samlet levetid/brukstid for utstyret og fabrikkbygningen endres fra 10 til 30 år, samt arealbruken endres fra 6 til 8 m<sup>2</sup>/tonn årlig produksjon

Dette viser at antagelsen om hvor lenge anlegget vil produsere er av betydning, men det er også et poeng å tenke på materialvalg for å holde klimabidraget fra infrastruktur så lavt som mulig. For eksempel er det stor variasjon i klimasporet til betong, og som alene utgjør en stor del av klimasporet til anlegget.

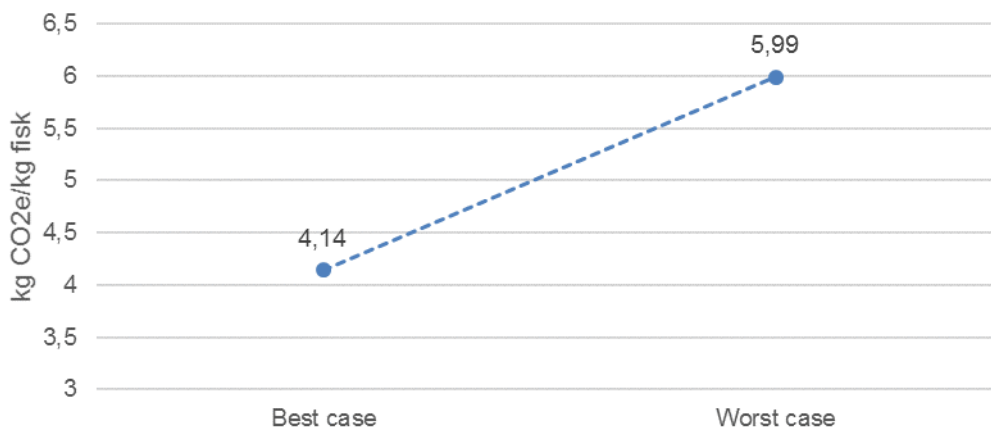


**Figur 16:** Endring i antagelser om infrastruktur vs. endring i klimasporet til produktet

### 7.5.6 Beste og verste tilfelle

Figur 17 viser to tilfeller for landbasert matfiskproduksjon der de viktigste parameterne for klimaregnskapet er satt enten som den «beste» eller den «verste» fra de data som ble samlet inn. Her er altså to tilfeller som begge kan være oppnåelige:

- I «best case» er EFCR 0,95 kg fôr/kg fisk, energiforbruk 6 kWh/kg fisk, arealbruk 6 m<sup>2</sup> per kg produsert og levetid på fabrikken og utstyr 30 år.
- I «worst case» er EFCR 1,3 kg fôr/kg fisk, energiforbruk til 9 kWh/kg fisk, arealbruk 8 m<sup>2</sup> per kg produsert og levetid på fabrikken og utstyr 10 år.



**Figur 17:** Endring i klimaspor ved "beste" og "verste" tilfelle av EFCR og strømforbruk

### 7.5.7 Diskusjon

#### Landbasert oppdrett vs. åpent merdbasert oppdrett i sjø

Klimasporet til norsk oppdrettslaks, produsert i åpen merd i sjø, er studert i flere omganger, den siste (for oss kjente) komplette analysen er basert på tall fra 2012 (Hognes, 2012). Der fikk laksen fra oppdrett i åpen merd i sjø et klimaspor på 4,0 kg CO<sub>2</sub>e/kg spisbar slakteklar fisk. I denne analysen ble det benyttet masseallokering så resultatet er det samme for slakteklar levende fisk ved merdkanten. Dette var for en produksjon med en økonomisk fôrfaktor (EFCR) på 1,2. Fôret hadde samme klimaspor som det benyttet i denne analysen av landbasert oppdrett.

Sammenligner vi resultatene fra oppdrett i åpen merd i sjø fra 2012 med våre resultat for landbasert oppdrett (med en EFCR på 1,15), ser man at landbasert oppdrett har et klimaspor per enhet fisk som er ca 28% høyere (4,0 vs. 5,1 kg CO<sub>2</sub>e/kg fisk). Samtidig skal det nevnes at effektiviteten til norsk oppdrettsnæring for oppdrett av matfisk ved åpen merd i sjø, har endret seg siden 2012. I 2016 var den gjennomsnittlige økonomiske førfaktoren på 1,25, men det er høy variasjon bak dette snittet. I følge Fiskeridirektoratets «Lønnsomhetsundersøkelser for laks og regnbueørret»<sup>11</sup> har mange selskap en økonomisk førfaktor så høy som 1,6 (og noen har så lav som 0,9).

Dersom man sammenligner våre resultat fra landbasert oppdrett med de minst effektive produsentene i åpen merd, med en økonomisk førfaktor på 1,6 så blir klimasporet for åpent oppdrett i sjø nærmere 5,3 kg CO<sub>2</sub>/kg fisk til menneskelig konsum<sup>12</sup>. Dette er omtrent midt i det intervallet denne analysen klimaregnskapet til landbasert oppdrett gir (se kap 7.5.6).

### Landbasert oppdrett vs. andre kjøttprodukter

Sammenligning mellom ulike matvaregrupper er vanskelig og det er utfordrende å sikre at metodikk og datagrunnlag for analysene er sammenlignbare. Det finnes også mye tall og resultater som er dårlig dokumentert, basert på svake analyser eller som til og med har politisk eller kommersiell slagside. Likevel kan man på et visst nivå si noe generelt om klimasporet til ulike proteinkilder. Med et klimaspor på 4-6 kg CO<sub>2</sub>e/kg fisk plasserer laks fra landbasert oppdrett seg i spennet for klimasporet til kylling og svin (se verdier nedenfor). Og med god margin under rødt kjøtt.

Sammenlignet med andre sjømatprodukter vil laks fra landbasert oppdrett ligge over produkter som norske blåskjell og pelagisk fisk som har klimaspor lavere enn 1 kg CO<sub>2</sub>e/kg spisbart produkt. Landbasert laks vil også legge seg godt over de viktigste produktene fra hvitfisknæringen (fiske), men her er variasjonen noe større. Produkter som torsk har som regel et klimaspor rundt 3-4 kg CO<sub>2</sub>e /kg fisk levert til kai (Ziegler, et al. 2012).

Her gjengis noen verdier fra analyser av populære kjøttprodukter:

- Storfekjøtt 14-30 kg CO<sub>2</sub>e/kg kjøtt (van Oort and Andrew 2016; Hognes, et al., 2011; Blonk, 2014; Fremtiden i våre hender, 2018).
- Kylling 2 - 6 kg CO<sub>2</sub>e/kg kjøtt (van Oort and Andrew 2016; Hognes, et al., 2011; Blonk, 2014; Fremtiden i våre hender, 2018; Winther, et al., 2009).
- Svin 3,5 - 11 kg CO<sub>2</sub>e/kg kjøtt (Ziegler, et al., 2012; van Oort and Andrew 2016; Fremtiden i våre hender, 2018; Winther, et al., 2009).

### 7.5.8 Datakvalitet

Regnskapet baserer seg på erfaringsdata fra smoltproduksjon og forbrukstall og effektivitet eksperter forventer at man kan oppnå for landbasert oppdrett av matfisk i stor skal. Altså presenteres det her et klimaregnskap basert på estimater og antagelser og ikke faktiske forbrukstall. Det er også noen klimaspekter

<sup>11</sup> <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Statistiske-publikasjoner/Loennsomhetsundersoekelser-for-laks-og-regnbueoerret>

<sup>12</sup> Mer detaljer om sammenligningen: I analysen fra 2012 utgjorde før ca. 95% av klimasporet. En endring i EFCR fra 1,2 til 1,6 er en økning på 33%. Altså øker 95% av klimasporet med 33% og samlet klimaspor vil bli nærmere 5,3 kg CO<sub>2</sub>/kg fisk til menneskelig konsum.

ved landbasert oppdrett som ikke er inkludert i regnskapet (se kap. 3.4.4), men basert på en helhetlig vurdering så ansees datagrunnlaget å være tilstrekkelig til å besvare formålet med analysen: Å belyse klimaeffektene av en økning i norsk lakseoppdrett på land og øke kunnskapen om klimasporet til landbasert oppdrett av laks.

## 7.6 Krav til utslipp - matfisk

Krav til utslipp fra landbasert oppdrettsvirksomhet reguleres gjennom Lov om vern mot forurensinger og om avfall (Forurensingsloven) og Forskrift om begrensning av forurensing (Forurensingsforskriften), på lik linje som annen landbasert virksomhet. Selve utslippstillatelsen gis av fylkesmann og miljødirektoratet.

Etablering av landbaserte oppdrettsanlegg er delegert og godkjennes i dag av fylkeskommunen etter akvakulturloven, tilhørende forskrift om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m. og retningslinje til behandling av søknader etter forskrift 17.juni 2008 nr. 823 om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m.

Ved søknad om etablering av landbasert oppdrettsvirksomhet må gjeldende fylkesmann godkjenne en utslippstillatelse etter søknad fra virksomheten. Gjennom en slik behandling settes det krav om rensing av utslipp fra oppdrettsvirksomheten på lik linje som avløp fra annen type landbasert virksomhet og kommunalt avløpsvann. For suspendert stoff fastslår forskriften at mengden må reduseres med minst 50 prosent av det som bli tilført renseanlegget. Dette gjelder i områder som kun har krav til primærrensing, såkalte mindre følsomme områder og omfatter kysten fra Lindesnes til Grense Jakobselv. Generelt sett settes det krav til at resipienten skal tåle belastningen av utslippene av organiske materiale, og det må derfor gjøres omfattende undersøkelser i forkant for kartlegging av resipients miljøtilstand og ikke minst tåleevne. Under drift av anlegget settes det krav til gjennomføring av et risikobasert miljøovervåkingsprogram, som skal gjennomføres av et kvalifisert og uavhengig organ etter nasjonale standarder.

Utslippstillatelsen for oppdrettsvirksomhet innebærer renskrav for organisk stoff (Totalt organisk karbon, TOC), næringssalter som Total nitrogen (N-tot) og Total fosfor (P-tot). I tillegg settes det generelle krav til utslippsreducerende tiltak, støy, lukt og utslipp til grunn. Det settes også krav til avfallsbehandling, bruk av kjemikalier og legemiddel. Et anlegg må også etablere en beredskapsplan dersom tilfeller av akutt forurensing skulle inntreffe, og produsenter må derfor ha beredskap for å kunne håndtere utslipp av større mengder produksjonsavfall som følge av uhell (f.eks. driftsstans på utstyr, sykdom, utslipp av vann fra syk fisk, eller annet).

Landbasert oppdrettsvirksomhet vil medføre et kontinuerlig punktutslipp av organisk materiale i motsetning til sjøbasert oppdrett, som har krav om jevnlig brakklegging av oppdrettslokaliteten. Ved godkjenning av utslippstillatelser fra landbasert oppdrett vil en dermed ikke kunne ta hensyn til brakklegging, men må beregne at utslippet vil være kontinuerlig.

For landbasert oppdrettsvirksomhet må store vannmengder renses kontinuerlig for organisk stoff. Landbaserte oppdrettsanlegg som resirkulerer vannet (RAS) er omfattende vannrensing en del av den teknologiske løsningen for tilfredsstillende drift og dette gjennomføres for denne type anlegg. Ved

tilfredsstillende behandling av slammet fra resirkuleringssystemet, vil dermed utslipp gjennom avløp til det ytre miljø være begrenset ved bruk av denne teknologien.

For gjennomstrømningsanlegg må avløpsvannet renses før det slippes ut til det ytre miljø i h.h.t. den utslippstillatelsen virksomheten har. Denne type landbaserte oppdrettsanlegg har et høyt vannforbruk og det vil være store mengder avløpsvann med lav konsentrasjon av avfallsstoffer som må renses kontinuerlig for å kunne oppfylle krav i utslippstillatelsen.

Ved etablering i innlandet vil sekundærrensekrav slå inn, og ifølge gjeldene forskrift kreves en renseprosess der både (Lovdata, 2007):

- BOF5 -mengden i avløpsvannet reduseres med minst 70% av det som blir tilført renseanlegget, eller ikke overstiger 25 mg O<sub>2</sub> /l ved utslipp, og
- KOFcr -mengden i avløpsvannet reduseres med minst 75% av det som blir tilført renseanlegget, eller ikke overstiger 125 mg O<sub>2</sub> /l ved utslipp.

## 7.7 Slam fra landbasert – matfisk

Sett bort i fra noen få pilot-prosjekter (Skretting<sup>13</sup>, Smøla Klekkeri og Settefiskanlegg<sup>14</sup>), finnes det få gode og velutviklede kommersielle løsninger for bærekraftig utnyttelse av slam. Det å realisere en effektiv og økonomisk bærekraftig bruk av denne ressursen er derfor en viktig utfordring. Ikke bare gitt en storstilt utbygging av landbasert produksjonskapasitet for matfisk, men også sett i lys av den nasjonale investeringstakten knyttet til landbaserte anlegg innen settefisk (smolt og post-smolt). Effektive løsninger for dette krever også en logistikk-kjede som foreløpig har få økonomiske oppsider. Med det sagt er det flere FoU-initiativ knyttet til dette, både til produksjon av energi og som viktig innsatsfaktor for produksjon av børstemark, mikroalger og tare (Aspaas et al., 2016). Per i dag leveres slam til 3 ulike formål, noe som blir ytterligere belyst nedenfor.

Organisk produksjonsavfall som død fisk, fôr-rester, slam m.m. skal håndteres på en slik måte at det ikke oppstår fare for forurensing. Oppsamling av organisk avfall som ikke inneholder antibiotika eller andre legemiddel, skal så langt som mulig utnyttes til fôrprodukt og gjødsel/jordforbedringsmiddel eller biogass/energiformål og skal håndteres i henhold til gjeldende regelverk på dette området (Forskrift om transport og behandling av animalsk avfall, og anlegg som behandler animalsk avfall, forskrift om gjødselvarer mv. organisk opphav, og annet relevant regelverk).

Slamproduksjon beregnes basert på biomasseproduksjon, fôrfaktor og teoretiske omregningsfaktorer kjent fra litteraturen. Slike omregningsfaktorer er utarbeidet for settefiskanlegg, og i denne rapporten er det antatt lik slamproduksjon fra matfiskoppdrett som ved settefiskproduksjon. Den spesifikke slamproduksjon som er å finne i vitenskapelig arbeider ligger typisk mellom 0,7 og 2,0 kg slam (10 prosent tørrstoffinnhold) pr. kg fôr, mens en typisk fôrfaktor vil være mellom 0,8-1,1 (Blytt, Haraldsen, Helness, Paulsrud, & Ulgenes, 2011). Beregningene i Tabell 18 tar utgangspunkt i en fôrfaktor på 1,1, og en spesifikk slamproduksjon med 10% TS (tørrstoffinnhold) på 1,5 kg slam pr. kg fôr. Slammengdene er også illustrert i tørket tilstand med 90 prosent TS, noe som er typisk for kommersielle tørkeanlegg. Mengdene beskriver hvor mye slam som produseres på anlegget, og ikke hvor mye som eventuelt måtte overføres til resipienten (dvs. utslipp).

<sup>13</sup> <https://ilaks.no/nytt-prosjekt-gjenvinner-slam-fra-landbasert-oppdrettsanlegg-til-verdifull-gjodsel/>

<sup>14</sup> <https://ilaks.no/smola-producerer-300-000-kwh-per-ar-med-biogass-fra-fiskeslam/>

**Tabell 18:** Teoretisk estimerte total årlig slamproduksjon.

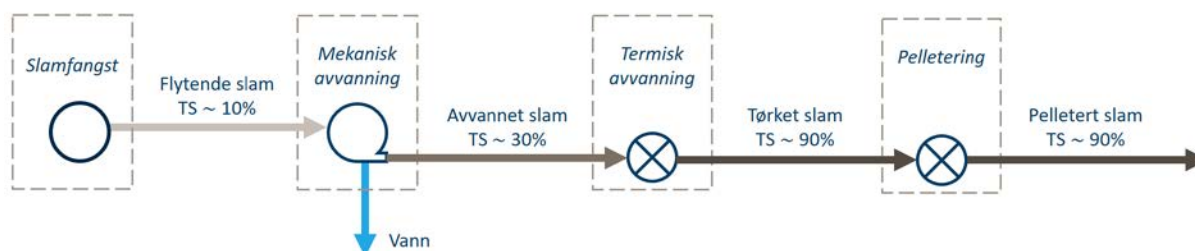
Produksjon laks og regnbueørret	Biomasse (tonn)	Slam (10 % TS, tonn)	Slam (90 % TS, tonn)
Produksjon 2017	1 300 000	2 145 000	238 333
Dobling av dagens produksjon	2 600 000	4 290 000	476 667
Femdobling av dagens produksjon	6 500 000	10 725 000	1 191 667

Estimatene i Tabell 18 gir grunnlag for utredning av årlig produksjon av slam per anlegg oppgitt i tonn (Tabell 19).

**Tabell 19:** Årlig produksjon av slam for ulike anleggsstørrelser i tonn

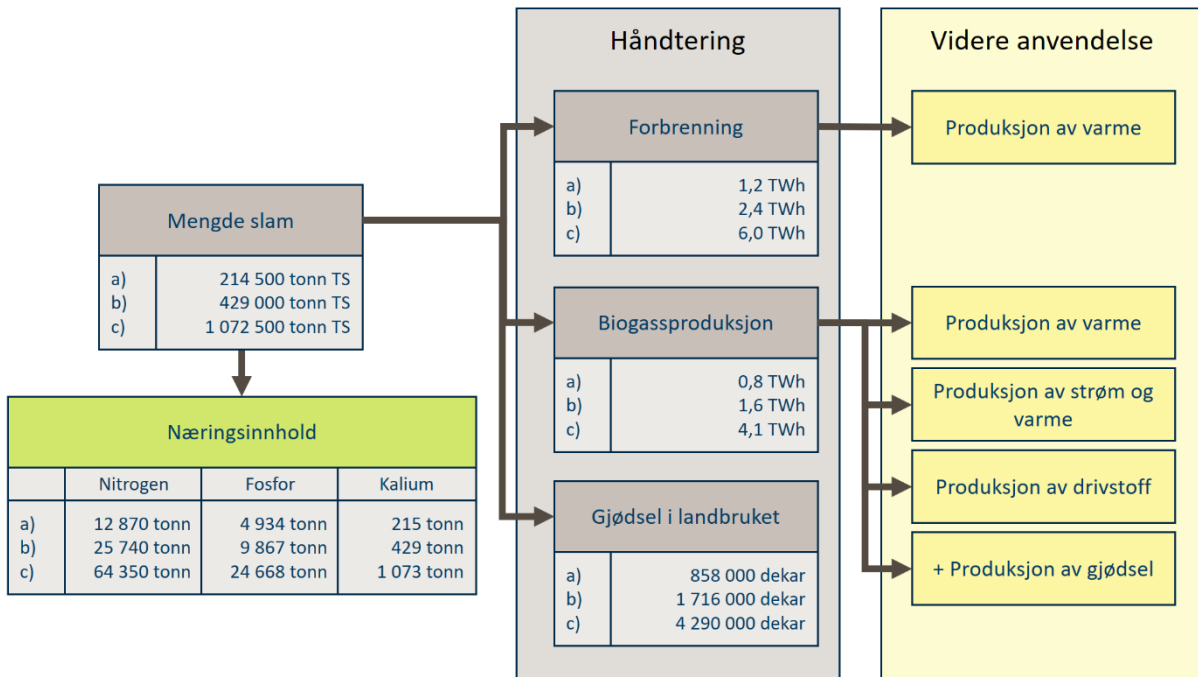
Anlegg (årlig prod. kap)	Slam per anlegg (10% tørrstoff)	Slam per anlegg (90% tørrstoff)
2 000 tonn	3 300	330
5 000 tonn	8 250	825
10 000 tonn	16 500	1 650

Metoder og teknologier for behandling av slam er utredet og beskrevet gjennom flere tidligere studier (Blytt, et al., 2011; Rosten, et al., 2013; Aspaas, et al., 2016). Typisk kan det deles inn i noen overordnede steg i behandlingsprosessen, herunder slamfangst, avvanning, og eventuelt tørking. Det finnes også systemer som håndterer flere av disse stegene i en integrert prosess. I henhold til Figur 18 kan slike systemer grovt deles inn etter hvilket tørrstoffinnhold (TS) slammet har etter behandling. Ofte har råslam rundt 10% TS og kan avvannes mekanisk til rundt 30% TS, og deretter tørkes til over 90% TS. Videre kan tørket slam pelletteres slik at tettheten øker og opptar mindre volum ved lagring og transport. Hvilket tørrstoffinnhold slammet bør ha avhenger i stor grad av sluttanvendelse, samt lokale forutsetninger slik som lagringskapasitet, logistikk og infrastruktur.



**Figur 18:** Tørrstoffinnhold i behandlet slam

Som tidligere beskrevet, er det tatt utgangspunkt i tre ulike scenarier for årlig produksjon av matfisk; a) dagens årlige produksjon på 1,3 mill. tonn, b) dobling til 2,6 mill. tonn, c) femdobling til 6,5 mill. tonn. Potensialer for bruk av slam som oppstår ved de ulike scenarioene illustreres i Figur 19 ved forbrenning, biogassproduksjon og gjødsel til landbruket.



**Figur 19:** Bruk og potensialer for slam

Slam fra oppdrett inneholder mange viktige næringsstoffer, og mengden nitrogen, fosfor og kalium er estimert med utgangspunkt i gjennomførte analyser av næringsinnholdet i slam fra tre kommersielle settefiskanlegg (Ytrestøyl, Aas, Nerdal, & Berge, 2016). Basert på disse analysene er gjennomsnittlig verdier for næringsinnholdet i slam satt til 23 kg fosfor/tonn TS, 1 kg kalium/tonn TS, og 6% nitrogen.

### 7.7.1 Forbrenning

Fiskeslam har et høyt energiinnhold og er således godt egnet til forbrenning. Analyser av brennverdien for slam fra settefiskanlegg viser at 1 kg slam med 100% TS inneholder 20 MJ (Ytrestøyl, Aas, Nerdal, & Berge, 2016). Dette forutsetter at slammet har gjennomgått en energikrevende tørkeprosess, og teoretisk kreves det 2257 KJ for å fordampe 1 kg vann. Med utgangspunkt i dagens biomasseproduksjon, vil det dermed være behov for ca. 300 GWh for å tørke generert slam fra 30 til 90 prosent tørrstoff.

Fordelen med å benytte slam som energikilde til forbrenning, er at det kan erstatte annen fossilt brensel og dermed bidra til å redusere klimagassutslipp. Ulempen med å forbrenne slam er at mange viktige næringsstoffer går tapt, og dermed mister man viktige ressurser som kunne inngått videre i kretsløpet.



### 7.7.2 Biogassproduksjon

Slam fra havbruksnæringen har et høyt potensial for biogassproduksjon. Gebauer, et al., gjennomførte i 2016 forsøk på biogassproduksjon fra settefiskslam. Metanproduksjonen ble målt til 60,5 Nm<sup>3</sup>/tonn fiskeslam med 15,9% TS. Biogassproduksjonen basert på slam fra oppdrett av matfisk beregnes med utgangspunkt i denne analysen.

Fordelen med biogassproduksjon er at næringsstoffene i slammet kan gjenvinnes i tillegg til at man produserer energi. Næringsstoffene inngår i bioresten som er et produkt fra prosessen, og kan dermed gjenvinnes som eksempelvis gjødsel. Biogassen er energirik og kan anvendes som drivstoff eller til produksjon av strøm og varme. Slam fra dagens oppdrett har et biogasspotensial tilsvarende 0,8 TWh, og ved en femdobling av dagens produksjon er det mulig å produsere rundt 4,1 TWh. Til sammenligning er energiforbruket for fiskebåter i Norge rundt 4,3 TWh (Spilde, 2016), og dermed kan nesten hele energibehovet i fiskeflåten dekkes av biogass produsert av slam gitt en femdobling av dagens produksjon av matfisk gjennom landbaserte anlegg.

### 7.7.3 Gjødsel i landbruket

Mengden gjødsel som benyttes på landbruksareal fastsettes gjennom en gjødselplan. Planen tar utgangspunkt i blant annet jordart og jordanalyser for pH, fosfor, kalium og moldinnhold. Gjødselbehovet for nitrogen, fosfor og kalium skal tilpasses plantenes behov, og dermed kan ulike jordforhold og veksttyper gi ulikt gjødselbehov. Med basis i gjødsselforsøk gjennomført av Brod, et al., (2016), kan man anta at mengden slam som kan benyttes som gjødsel er rundt 0,25 tonn TS pr. mål. Dette er tatt som utgangspunkt for å beregne mulig spredeareal for slam. Tungmetallinnholdet i gjødselvaren kan også være med på å sette begrensninger for mengden som kan spredes. Overstiger tungmetallinnholdet kvalitetsklasse III, kan det ikke benyttes til mat- eller fôrvekster. Er gjødselvaren innenfor kvalitetsklasse II kan det benyttes på jordbruksareal med inntil 2 tonn TS pr. mål pr. 10 år, og innenfor kvalitetsklasse I kan det benyttes inntil 4 tonn TS pr. mål pr. 10 år. Kvalitetsklasse 0 har ingen bruksbegrensninger.

Fosforinnholdet i slam fra dagens produksjon av laks og regnbueørret er estimert til nesten 5 000 tonn. Landbruket i Norge benytter i dag mellom 8 000 og 9 000 tonn fosfor i mineralgjødsel, og dermed kan slam fra havbruksnæringen redusere store deler av behovet for mineralgjødsel.

## 8 Konsekvensanalyse – landbasert settefiskoppdrett (smolt og post-smolt)

Settefiskproduksjon tilpasses den produksjonskapasitet og temperatur hvert selskap har ved sine lokaliteter i sjø. Det planlegges både utsett av smolt på vår og høst, og i tillegg planlegges produksjon av settefisk ut i fra størrelse og på hvilken tid på året fisken skal settes i sjø.

For disse analysene har vi tatt utgangspunkt i at all settefisk som produseres føres opp til lik størrelse, og at fisken skal fortsette vekst til slaktevekt ute i sjø ved tradisjonell merdbasert produksjon. Dette er en forenkling av virkeligheten, og ment som eksemplifisering av "ekstrem tilfeller". Til tross for at virkelig produksjon vil kreve en kombinasjon av ulike smolt-størrelser, har vi likefullt gjort denne forenklingen. Nettopp fordi kombinasjonen av ulike smolt-størrelser er sterkt knyttet til produksjons- struktur og strategi for den enkelte oppdretter, og dermed vanskelig å generalisere.

I 2016 ble det produsert 340,8 mill. settefisk av laks og ørret i Norge. For å beregne konsekvensene ved å forlenge denne produksjonen, til også inkludere post-smolt (250 gram – 1000 gram), er det nødvendig og å beregne biomasse av både dagens og fremtidig settefiskproduksjon. Som allerede nevnt er det fremsatt flere positive betraktninger knyttet til utsett av økt størrelse på settefisk, som blant annet redusert tid i sjø og derigjennom økt mulighet for en mer optimal utnyttelse av eksisterende MTB. Gitt reelt og driftsmessig gjennomslag for denne produksjonsformen vil dette bidra til å øke den totale produksjonen av atlantisk laks i Norge.

I denne analysen er det tatt utgangspunkt i at antall settefisk er konstant og størrelsen øker fra et gjennomsnitt på 0,15 kg i dag til en *gjennomsnittlig* størrelse på 0,5 kg og 1 kg. Dette vil i praksis gi en tre - og tidobling av biomassen i dagens settefiskanlegg.

**Tabell 20:** Estimert biomasse for post-smolt ved snittvekt 0,15 kg, 0,5 kg og 1,0 kg.

Antall settefisk	Biomasse (tonn)		
	Snittvekt 0,15 kg	Snittvekt 0,5 kg	Snittvekt 1,0 kg
340 000 000	51 000	170 000	340 000

### 8.1 Arealbruk postsmolt

Settefiskanleggene i Norge er lokalisert i strandsonen med tilgang på ferskvann og saltvann. I henhold til Fiskeridirektoratets statistikk er det 195 tillatelser i drift i 2018 (Fiskeridirektoratet, 2018). En viktig faktor for hvor slik anlegg lokaliseres er tilgang til gode vannkilder, både ferskvann og saltvann. En annen viktig faktor er logistikkrelaterte fordeler knyttet til transport av settefisk fra landanlegg til anlegg i sjø.

#### 8.1.1 Arealbruk postsmolt – sjø

Når det gjelder sjøareal, smittevernsone og avstand mellom settefiskanlegg gjelder de samme forskrifter som nevnt i analysen for matfisk. Ref. lokalisering av akvakulturanlegg regulert i Forskrift om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m., og Retningslinje til behandling av søknader etter forskrift 17.juni 2008 nr. 823 om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m. Dette gir samme føringer hva gjelder minsteavstand mellom anlegg (5 km), samt resipientens egenskaper til å håndtere en

eventuell belastning fra et anlegg. Dersom resipienten tåler en slik belastning, og det finnes gode ferskvannskilder, kan det i prinsippet lokaliseres settefiskanlegg hver femte kilometer langs sjøen.

Bygging av nye postsmoltanlegg skjer i stor grad på eksisterende settefisklokaliteter. Det er sannsynlig at denne utviklingen vil fortsette. Konsekvensen av en slik utvikling er at arealbeslag i sjø ikke vil øke i særlig grad. Nye store settefiskanlegg som erstatter et eldre settefiskanlegg vil beslaglegge samme areal i sjø som det gamle anlegget. Estimert antall anlegg og tilhørende beslaglagt areal i sjø for ulike produksjoner av biomasse og nevnte vektklasser (0,15, 0,5 og 1,0), er gjengitt i tabellen nedenfor (Tabell 21).

**Tabell 21:** Estimert antall km<sup>2</sup> areal i sjø og antall anlegg basert på en anleggsstørrelse med produksjonskapasitet på 3000 tonn per år

Årlig prod. laks og regnbueørret	Antall og størrelse'	Biomasse (tonn)	Antall anlegg	Areal i sjø (km <sup>2</sup> )
Produksjon 2017	340 Mill fisk a 0,15 kg	51 000	17	554
Produksjon 2017	340 Mill fisk a 0,5 kg	170 000	57	1 847
Produksjon 2017	340 Mill fisk a 1,0 kg	340 000	113	3 695
Dobling av dagens produksjon	680 Mill fisk a 0,15 kg	102 000	34	1 108
Dobling av dagens produksjon	680 Mill fisk a 0,5 kg	340 000	113	3 695
Dobling av dagens produksjon	680 Mill fisk a 1,0 kg	680 000	227	7 389
Femdobling av dagens produksjon	1 700 Mill fisk a 0,15 kg	255 000	85	2 771
Femdobling av dagens produksjon	1 700 Mill fisk a 0,5 kg	850 000	283	9 237
Femdobling av dagens produksjon	1 700 Mill fisk a 1,0 kg	1 700 000	567	18 473

I følge Fiskeridirektoratets statistikk (2018), er det 195 tillatelser for settefiskanlegg. Gitt at en tillatelse tilsvarer ett anlegg og hvor alle er i drift, legger de tilsammen beslag på om lag 6 400 km<sup>2</sup> i sjø. Som ved matfisk kan dette arealet ikke benyttes til øvrige akvakulturformål. Her skal det legges til de 195 anleggene også inkluderer mindre anlegg som benyttes til FoU og således har en svært liten produksjon. Til sammenligning vil en produksjon av settefisk à 0,5 kilo legge beslag på 1 874 km<sup>2</sup>, da gitt at all fisk produseres ved anlegg med årlig produksjonskapasitet på 3 000 tonn. En dobling av produksjon vil beslaglegge 3695 km<sup>2</sup> sjøareal, også under forutsetning om at all fisk produseres opp til 0,5 kg.

### 8.1.2 Arealbruk postsmolt – land

Nye moderne settefiskanlegg for laks bygges i all hovedsak med resirkuleringsteknologi der all oppdrettsvirksomhet og prosessutstyr er plassert innendørs. Anleggene bygges med høy produksjonskapasitet og er gjerne i størrelse fra 8 000-12 000 m<sup>2</sup> netto bygningsareal, og en produksjonskapasitet på 2 000-3 000 tonn biomasse per år (f.eks. SalMar Senja, Marine Harvest Steinsvik, Grieg Seafood – Tytlandsvik Aqua). Anleggene designes for innblanding av sjøvann og produksjonen av postsmolt skjer i brakkvann med en salinitet på ca. 12-14 promille. Disse anleggene er også designet for produksjonen av stor postsmolt, basert på sjøvannstillsetting og RAS-teknologi (iLaks, 2018a).

Som allerede nevnt gjøres det for tiden betydelige investeringer i mange nye settefiskanlegg over hele landet, og omhandler rene nybygg samt ombygging av eksisterende settefiskanlegg basert på gjennomstrømningsanlegg. Ved ombygging fem- til ti-dobles produksjonskapasiteten. De fleste nye

settefiskanlegg bygges på allerede eksisterende industriområder med oppdrettsvirksomhet, mens noen anlegg bygges på industriarealer som har vært brukt til annen type industri. Det bygges også noen få settefiskanlegg der helt nye landarealer tas i bruk.

I tillegg til god tilgang på både ferskvann og sjøvann har moderne settefiskanlegg behov for kaianlegg for mulighet til å skipe ut settefisk med brønnbåt. Det kreves naturlig nok også god tilgang til øvrig infrastruktur som vei og elektrisitet. Gitt at en ikke benytter seg av oppsalting av ferskvann, betyr dette at fremtidige anlegg for produksjon av settefisk og post-smolt må ha tilgang på ferskvann, sjøvann og kai, samt lokaliseres ved eksisterende infrastruktur som veg og elektrisitet. Anleggene vil derfor mest sannsynlig i all hovedsak lokaliseres i strandsonen langs kysten, og i stor grad benytte eksisterende settefisklokaliteter. På lengre sikt vil det være aktuelt å ta i bruk nye landlokaliteter, men at dette behovet nok vil være begrenset.

Hvordan økningen i produksjonen av laks og regnbueørret vil fordele seg geografisk mellom de nye produksjonsområdene, vil også avgjøre hvor nyinvesteringene i settefiskanlegg vil komme. Produksjonsøkningene fordelens etter trafikklysmetoden, der smittepresset av lakselus for villaks avgjør hvilken produksjonsområder som får tilbud om å kjøpe tillatelser til å øke produksjonen i sjø. Arealbehov på land for settefiskanlegg er rent teoretisk beregnet i tabellen nedenfor, hvor en tilleggsfaktor på 2 per m<sup>2</sup> per tonn er benyttet for å estimere brutto arealbehov. Dette basert på et dimensjonerende kriterium på 3m<sup>2</sup> per tonn produsert smolt.

**Tabell 22:** Estimert totalt brutto arealbehov for landbaserte settefiskanlegg

Årlig prod. laks og regnbueørret	Antall	Biomasse (tonn)	Antall anlegg	Areal på land (mål)
Produksjon 2017	340 Mill fisk a 0,15 kg	51 000	17	306
Produksjon 2017	340 Mill fisk a 0,5 kg	170 000	57	1 020
Produksjon 2017	340 Mill fisk a 1,0 kg	340 000	113	2 040
Dobling av dagens produksjon	680 Mill fisk a 0,15 kg	102 000	34	612
Dobling av dagens produksjon	680 Mill fisk a 0,5 kg	340 000	113	2 040
Dobling av dagens produksjon	680 Mill fisk a 1,0 kg	680 000	227	4 080
Femdobling av dagens produksjon	1 700 Mill fisk a 0,15 kg	255 000	85	1 530
Femdobling av dagens produksjon	1 700 Mill fisk a 0,5 kg	850 000	283	5 100
Femdobling av dagens produksjon	1 700 Mill fisk a 1,0 kg	1 700 000	567	10 200

Estimatene viser at det er behov for relativt få store anlegg for å dekke det totale nasjonale behovet for settefisk. Dersom fisken produseres med en snittvekt på 0,5 kg vil en ved dagens produksjon ha behov for 57 anlegg, som igjen vil kreve et areal på 1 020 mål. En dobling av kapasitet ved produksjon av samme snittvekt innebærer et behov for 113 anlegg, med et totalt arealbehov på 2 040 mål. Dersom alle dagens 195 settefiskanlegg fornyes til nye store settefiskanlegg med en produksjonskapasitet på 3 000 tonn per år, vil de kunne produsere en biomasse på 585 000 tonn per år. Med en fiskestørrelse på 1,0 kg og 0,5 kg vil anleggene kunne produsere henholdsvis 585 eller 1 170 millioner settefisk per år.

## 8.2 Logistikk – settefisk (smolt og post-smolt)

Betraktninger knyttet til logistikk for smolt og post-smolt er i stor grad sammenfallende med matfisk (se kapittel 7.2).

## 8.3 Vannforbruk – settefisk (smolt og post-smolt)

Tradisjonelt sett har oppdrettsanlegg for produksjon av settefisk i landbaserte anlegg som nevnt vært bygget med gjennomstrømmingsteknologi. Ved slike anlegg har det spesifikke vannforbruket tradisjonelt vært redusert ved bruk av oksygentilsetting i innløpet og fjerning av CO<sub>2</sub> ved bruk av forskjellig type luftere på kar-nivå. På denne måten har man ved bruk av de samme vannmengdene kunnet øke produksjonen. Gjennom økningen av Norges totale laks og ørretproduksjon har behovet for settefisk økt.

Tilgjengelige ferskvannskilder er per i dag en begrenset ressurs, og de fleste settefiskanlegg bygget i nyere tid har derfor blitt etablert med RAS som produksjonsteknologi (se Tabell 3), særlig ettersom denne teknologien gir en betydelig reduksjon i behovet for nytt vann per kilo produsert biomasse. Basert på de samme vannkildene kan dermed produksjonen av settefisk økes sterkt, både i antall og størrelse.

Nye RAS settefiskanlegg er designet med inntak av både ferskvann og sjøvann, særlig med tanke på produksjon av post-smolt i brakkvann. Fiskens prestasjoner ser ut til å være bedre i brakkvann enn ved bruk av fullt sjøvann, og de biologiske filterne i resirkuleringsanlegg fungerer bedre ved en slik salinitet (Referansegruppemøte 1, 2018). For å beregne vannforbruk for postsmoltproduksjon basert på RAS er det benyttet et spesifikt vannforbruk på 500 l/døgn/kg fôr og en fôrfaktor på 1,0.

**Tabell 23:** Estimert vannforbruk ved postsmoltproduksjon av tilsvarende dagens produksjon, en dobling og femdobling

Årlig produksjon postsmolt	Produksjon per år (tonn)	Vannforbruk (m <sup>3</sup> /år)
340 Mill settefisk a 0,15 kg	51 000	20 400 000
340 Mill settefisk a 0,5 kg	170 000	68 000 000
340 Mill settefisk a 1,0 kg	340 000	136 000 000
680 Mill settefisk a 0,15 kg	102 000	40 800 000
680 Mill settefisk a 0,5 kg	340 000	136 000 000
680 Mill settefisk a 1,0 kg	680 000	272 000 000
1 700 Mill settefisk a 0,15 kg	255 000	102 000 000
1 700 Mill settefisk a 0,5 kg	850 000	340 000 000
1 700 Mill settefisk a 1,0 kg	1 700 000	680 000 000

Estimatene gjengitt i tabellen over viser at dagens produksjon av settefisk på 0,15 kg vil gi et totalt årlig vannforbruk på om 20,4 millioner m<sup>3</sup> per år. Dersom fisken produseres opp til 0,5 kg vil vannforbruket øke til 68 millioner m<sup>3</sup> per år. En dobling av biomassen gir en dobling av vannforbruk.

## 8.4 Energiforbruk – settefisk (smolt og post-smolt)

For å beregne estimert energiforbruk for produksjon av settefisk (smolt og post-smolt), tas det kun utgangspunkt i RAS, da denne – stor grad – er den foretrukne teknologien. Tilsvarende som for produksjon av matfisk fordeler energiforbruket for landbasert oppdrett av post-smolt seg på pumping av inntaksvann, oppvarming av vann i energianlegg, trykksetting av vann for oksygentilsetting, pumping av luft for CO<sub>2</sub>-utlufting, drift av filter, ventilasjon, varme, kjøling ved behov, samt forbruk som normalt ved industri- og næringsbygg. Estimert energiforbruk ved produksjon av settefisk er basert på et spesifikt energiforbruk på mellom 3-5 kWh/kg produsert (Referansegruppemøte 1, 2018).

**Tabell 24:** Estimert energiforbruk ved postsmoltproduksjon av tilsvarende dagens produksjon, en dobling og femdobling

Årlig produksjon av settefisk	Prod per år (tonn)	Energiforbruk ved 3 kWh/kg (TWh)	Energiforbruk ved 5 kWh/kg (TWh)
340 Mill settefisk a 0,15 kg	51 000	0,2	0,5
340 Mill settefisk a 0,5 kg	170 000	0,5	1,5
340 Mill settefisk a 1,0 kg	340 000	1,0	3,1
680 Mill settefisk a 0,15 kg	102 000	0,3	0,9
680 Mill settefisk a 0,5 kg	340 000	1,0	3,1
680 Mill settefisk a 1,0 kg	680 000	2,0	6,1
1 700 Mill settefisk a 0,15 kg	255 000	0,8	2,3
1 700 Mill settefisk a 0,5 kg	850 000	2,6	7,7
1 700 Mill settefisk a 1,0 kg	1 700 000	5,1	15,3

Gitt et energiforbruk på 3 kWh/kg fisk produsert, og at all settefisk (smolt og post-smolt) i Norge blir produsert ved bruk av RAS-teknologi til en størrelse på 0,5 kg, gir et totalt årlig energiforbruk på 0,5 TWh. Dersom energiforbruket øker til 5 kWh/kg fisk vil det totale energiforbruket for samme produksjon øke til 1,5 TWh. Ved en dobling av produksjon vil energiforbruket for samme vektklasse bli 1,0 TWh og 3,1 TWh, gitt energiforbruk per kilo produsert settefisk på henholdsvis 3 kWh og 5 kWh. Tallene viser dermed at en økning i antall kWh/kg settefisk produsert fra 3 til 5 gir relativt store utslag for det totale forbruket (estimert til en tredobling), noe som igjen understreker viktigheten av å utvikle mer energieffektive løsninger for RAS-anlegg.

## 8.5 Klimaavtrykk – settefisk (smolt og post-smolt)

Beregninger vedrørende klimaregnskap for post-smolt er utført i kapittel for matfisk (se kapittel 7.5).

## 8.6 Krav til utslipp – settefisk (smolt og post-smolt)

Vennligst se kapittel 7.6, da betraktninger og analyser tilhørende dette kapittelet har betydelige fellesnevner og overlapp med landbasert oppdrett av matfisk.

## 8.7 Slam – settefisk (smolt og post-smolt)

Produksjon av slam ved settefiskproduksjon er estimert ved samme metode som for matfisk (se kapittel 7.7), og samme scenarier for postsmoltproduksjon som øvrige kapitler for postsmolt.

**Tabell 25:** Estimert slamproduksjon ved en postsmoltproduksjon av tilsvarende dagens produksjon, en dobling og femdobling

Produksjon laks og regnbueørret	Prod per år (tonn)	Slamproduksjon (10 prosent tørrstoff, tonn)	Slamproduksjon (90 prosent tørrstoff, tonn)
340 Mill settefisk a 0,15 kg	51 000	84 150	8 415
340 Mill settefisk a 0,5 kg	170 000	280 500	28 050
340 Mill settefisk a 1,0 kg	340 000	561 000	56 100
680 Mill settefisk a 0,15 kg	102 000	168 300	16 830
680 Mill settefisk a 0,5 kg	340 000	561 000	56 100
680 Mill settefisk a 1,0 kg	680 000	1 122 000	112 200
1 700 Mill settefisk a 0,15 kg	255 000	420 750	42 075
1 700 Mill settefisk a 0,5 kg	850 000	1 402 500	140 250
1 700 Mill settefisk a 1,0 kg	1 700 000	2 805 000	280 500

Estimatene viser at ved dagens produksjon av settefisk med snittvekt 0,15 kg, vil det gi en total teoretisk produksjon av slam med 10 % tørrstoffinnhold på 84 150 tonn og 8 415 tonn med tørrstoffinnhold på 90 %. Dersom all settefisk i dag produseres med en snittvekt på 0,5 kg vil tilsvarende slam-mengde bli 280 500 tonn med 10 % tørrstoffinnhold og 28 050 tonn med 90 % tørrstoffinnhold. Gitt en dobling i antall settefisk til 680 mill. per år med snittvekt på 0,5 kg vil den teoretiske slamproduksjonen bli på 561 000 tonn med tørrstoffinnhold 10 % og 56 100 tonn med tørrstoffinnhold på 90 %.

## 9 Teknologisk og biologisk risikoanalyse for landbasert post-smolt- og matfiskoppdrett

Landbasert oppdrett er som kjent en intensiv produksjonsform med en betydelig høyere tillatt fisketetthet per kubikkmeter vann sammenlignet med sjø-basert oppdrett. Som i øvrige industrier, stilles det derfor stadig strengere krav til kompetanse etter hvert som produksjons- effektivitet og intensivitet øker. Viktigheten av dette blir ikke mindre sett i lys av de uhell og tilfeller av død og massedød ved flere anlegg, både nasjonalt og internasjonalt, og hvor det til tider har vært utfordrende å finne en klar årsakssammenheng (Intrafish, 2017; iLaks, 2017a; Sæther, 2018). RAS er derfor av mange ansett som en utfordrende produksjonsform og som fortsatt befinner seg i en tidlig utviklingsfase, da spesielt med tanke på matfiskproduksjon av laks.

Ettersom teknologiske og biologiske risikofaktorer i stor grad er sammenfallende for landbasert produksjon av matfisk og post-smoltproduksjon er tilhørende analyser og drøftinger samlet i samme kapittel. Kapitlet har et hovedfokus på RAS og gir en overordnet biologisk og teknologisk risikoanalyse for landbasert oppdrett, hvor generelle drøftinger er utført for følgende faktorer: krav til kompetanse, funksjons- og driftsvennlighet, byggefase, tetthet, veksthastighet, svinn og sykdom/parasitter. For noen av disse faktorene har prosjektet også gjennomført en kvalitativ risikoanalyse, inkludert flere øvrige relaterte faktorer:

- Redusert tilvekst.
- Økt svinn/dødelighet.
- Sykdom og parasitter.
- Redusert kvalitet.

Som grunnlag for de utførte analyser og drøftinger har prosjektet i intervjusammenheng fått informasjon som er taushetsbelagt, men som likevel danner grunnlaget for en del generelle betraktninger knyttet til risiko. Disse betraktningene danner også et viktig grunnlag for den kvalitative risikoanalysen utført av prosjektet, hvor sannsynlighet/frekvens og konsekvens av uønskede hendelser klassifiseres som høy, middels og lav for utarbeidelse av en risikomatrix.

### 9.1 Generell kompetanse

Moderne landbasert oppdrett av settefisk og matfisk foregår i store og komplekse prosessanlegg, og som er avhengig av kontinuerlig drift for å sikre riktige miljømessige forhold for produksjon av levende fisk av god kvalitet. Dette setter høye krav til teknisk design, utstyr og kompetanse. De samme kravene stilles til biologisk-, vannkjemisk- og mikrobiell kompetanse, og er tilsammen nødvendig for å for å sikre kontinuerlig oppetid ved alle systemer og redundans ved uhell og planlagt vedlikehold. Landbasert oppdrett av laks er derfor en utfordrende produksjonsform sammenlignet med sjøbasert produksjon i merd, og mange faktorer er avhengig av hverandre i et komplekst samspill for å skape gode miljøforhold for produksjon av fisk. Dersom en eller flere av disse faktorene fungerer sub-optimalt eller dårlig, vil det slå negativt ut i produksjon og i verste fall føre til akutte situasjoner der hele eller deler av biomassen går tapt. Slike tilfeller har næringen – som tidligere nevnt – erfart ved flere tilfeller, nasjonalt og internasjonalt.

For å lykkes med landbasert oppdrett er det derfor nødvendig å sikre et kompetent og ikke minst tverrfaglig miljø knyttet til bl.a. biologi, vannkemi, teknologi, elektrisitet, ventilasjon, prosjektering, byggeprosesser, og generell røkterkompetanse. Dette gjelder helt fra design av anlegg til bygging og oppstart av produksjon, og ikke minst ved daglig drift og periodisk vedlikehold. Særlig røkter-rollen har endret seg mye ettersom RAS medfører et stort behov for å forstå spillet mellom prosess teknologi og biologi. Således er den



økende interessen rundt de etablerte studier knyttet til RAS og landbasert oppdrett en positiv trend. NTNU kan blant annet vise til om lag 40 studenter som er involvert i et eget masterprogram hvor hovedfokus er RAS (Attramadal, 2018). I tillegg tilbyr videregående skoler ved flere fylker VG2 kurs innen akvakultur. Videre finnes det også tilbud om høyere utdanning ved utvalgte øvrige universiteter (f.eks. Bergen, Ås og Tromsø). Universitetet i Tromsø har nylig fått tildelt NOK 13,5 Mill for etablering av et forsøksanlegg for oppdrett av fisk i RAS. Anlegget skal stå ferdig i 2020 og vil være et svært positivt bidrag for den nordlige landsdelen med tanke på felles kompetanseheving innen RAS (Hjeltnes, et al., 2012; Havbruksstasjonen.no).

Ifølge Hjeltnes, et al. (2017) var det 23 RAS anlegg i Norge i 2013, og det er bygget et betydelig antall anlegg siden den gang. De største oppdrettskonsernene har bygget flere RAS-anlegg, og gjennom intern erfaringsutveksling opparbeidet mye og verdifull kunnskap. Videre, ettersom hver produksjonssyklus for settefisk i RAS er relativt kort (ca. 3 mnd.), medfører dette at driftspersonell ved slike anlegg "raskt" bygger erfaringsbasert kompetanse. Slike prosesser er viktig for å sikre gode fagarbeidere og spesialister, og ikke minst gode driftsledere. Enkeltstående settefiskoppdrettere har derimot noe større utfordringer knyttet til dette.

Til tross for dette blir dyktige røktere fremhevet som en mangelvare, og hvor det er et sterkt behov for økt rekruttering. Næringen har også hatt – og har fortsatt – utfordringer knyttet til styring av optimal vannkvalitet og optimal håndtering av fisken. Dette blir ytterligere understreket i Norsk Fiskerinæring (2018), hvor bl.a. behovet for økt kompetanse innen drift av prosessanlegget (kontrollere og styre vannkjemi, partikkelhåndtering, vannbehandling, varmesystemer og ventilasjon), og kompetanse om biologi og fysiologi nevnes spesielt. I tillegg må folk være villig til å jobbe og bo i distriktene, da de fleste anlegg ikke er lokalisert i umiddelbar nærhet til større byer og tettsteder.

For å bygge den nødvendige kompetansen blir derfor dokumentering av erfaring fra de prosjekter og anlegg som startes svært viktig, og særlig sett i lys av "jakten på de konstadseffektive løsningene". Herunder også tiltak og løsninger for redusert risiko, og kanskje særlig en betydelig økt innsats innenfor det biologiske fagfeltet. Dette betyr at kompetanse knyttet til røkting og teknologi må heves gjennom en samlet innsats fra hele næringen, inkludert FoU og forvaltning, og den praktiske erfaringen må dokumenteres. Dette blir spesielt viktig ettersom RAS er inne i en fase hvor utviklingen går svært raskt. Uten en slik dokumentasjon reduseres næringens mulighet til å høste erfaringer, ettersom anlegg og teknologi bygges og endres i et stadig økende tempo. Økt grad av standardisering kunne derfor vært fordelaktig, da det er betydelig lettere å bygge kompetanse på tvers av mer homogene systemer. For eksempel ville en standardisert metode for datainnsamling vært fordelaktig med tanke på benchmarking på tvers av anlegg og produsenter, og dermed være en viktig kilde for videre læring og kompetanseheving.

Til tross for nevnte kompetansebehov og utfordringer driver majoriteten store settefiskprodusenter per i dag meget effektivt. Det er imidlertid et steg opp til de planlagte store anlegg for landbasert matfisk. På mange måter kan den samlede kompetansen som er nødvendig for å oppnå suksess innen landbasert oppdrett av matfisk sees på som en kombinasjon av settefiskkompetanse og kompetanse knyttet til tradisjonell produksjon i merd. Videre er personer med driftsrelatert erfaring fra landbasert matfiskproduksjon av laks per i dag er svært begrenset, spredt på et lite antall produsenter. I lys av at dette er en kunnskap som må bygges opp, vil erfaringsoverføring fra drift av post-smoltanlegg til anlegg for matfiskproduksjon på land være svært formålstjenlig.

**Risikoelement:**

- Mangel på akkumulering av viktig erfaringsbasert RAS-kunnskap ved de største oppdrettsselskapene, både i forhold til design og drift.
- Mangel på dyktig røkterkompetanse og driftsledere for landbaserte anlegg.
- For lite fokus på biologi, vannkjemi og håndtering av fisk.
- Manglende samspill mellom biologi og teknologi, både i forhold til utvikling/design av nye løsninger og ved drift.
- Rask utbyggingstakt hvor stadig nye løsninger tas i bruk, og i mange tilfeller uten god nok verifikasjon av tidligere/eksisterende løsninger.
- Generelt lav kompetanse knyttet til oppdrett av matfisk på land, hovedsakelig grunnet få utbygde anlegg og relativt kort historikk.

**Risikoreduserende tiltak:**

- Sikre en ytterligere styrking av det tverrfaglige samarbeidet gjennom en tettere kobling av teknologi og biologi. Felles utviklingsløp innen design og drift av anlegg bør inkludere erfaringsutveksling på tvers av aktører, herunder forvaltning, FoU og akademia.
- Dokumentering av erfaringsbasert kunnskap, både som underlag for effektiv erfaringsutveksling og for videre FoU.
- Økt grad av standardiserte anlegg, og standardisert metode for datainnsamling.
- FoU infrastruktur som for eksempel SFI CtrlAqua, SINTEF SeaLab, Forskningsstasjon Sundalsøra, og Forskningsstasjon Tromsø.
- Styrke kompetanse innen landbasert matfisk ved overføring av kompetanse fra store settefiskanlegg og sjøbasert virksomhet.
- Utdanning av RAS-spesialister ved videregående/høyere utdanninger

## 9.2 Funksjonsvennlighet, driftsvennlighet og vannkvalitet

Oppdrett av settefisk i tradisjonelle gjennomstrømningsanlegg kan ansees som et relativt passivt system, hvor vannutskifting skjer ved selvføll. Det er dermed få rene tekniske risikofaktorer. Samtidig skal det bemerkes at kompleksiteten har økt ved at flere anlegg har etablert systemer som muliggjør en viss grad av gjenbruk av vannet. Økt gjenbruk av vann medfører bl.a. integrering av systemer for oksygenering av inntaksvann og fjerning av CO<sub>2</sub>. Dette gir utslag i økt kompleksitet, men ettersom teknologi knyttet til disse faktorene ansees å være moden og med høy driftssikkerhet, er den antatte risikoen ved slike anlegg betydelig mindre sammenlignet med RAS. Gjennomstrømningsanlegg har også flere verifiserte parametre å styre etter hva gjelder vannkvalitet (Noble, 2017; Hjeltnes, 2012).

Sammenliknet med gjennomstrømmingsteknologi er man i RAS-anlegg avhengig av et biologisk filter med levende materiale (bakterier) for å omdanne fiskens avfallsstoffer fra metabolske prosesser til ufarlige forbindelser (f.eks. omdanning av ammoniakk til nitritt og nitrat, og foregår i to trinn ved forskjellige bakteriekolonier i det biologiske filteret). Det er i tillegg nødvendig å tilsette mineraler for justering av pH, god filtrering av vannet for partikulært materiale, samt at det generelle kravet til styring og kontroll av vannkvalitet øker betraktelig. Her spiller det biologiske filteret en helt avgjørende rolle og lever i et samspill med fiskebiomassen i anlegget. God kontroll på alle biologiske prosesser i oppdrettsanlegget er derfor helt

nødvendig for å sikre god fiskevelferd og en god produksjon av fisk, postsmolt eller matfisk. Dette setter høye krav til teknisk utstyr, sikkerhetssystemer og kompetanse og erfaring hos personell.

**Driftserfaringer fra RAS settefiskanlegg** knytter seg til både tekniske og ikke minst biologiske faktorer, og erfaring viser bl.a. at særlig sykdom i en RAS-enhet kan være svært utfordrende å bli kvitt (HNytt, 2018; Hjeltnes, 2012). Smittestoffene kan etablere seg i biofilm eller i organisk materiale, og som er vanskelig å rengjøre. Mest sannsynlig utfall er at RAS-enheten må vaskes ned og desinfiseres. Dette er en prosess som kan ta lang tid, opp mot 6 måneder (Referansegruppen, Norsk Fiskerinæring, 2018) ettersom bakteriekulturen i biofilteret må re-etableres før enheten igjen kan produsere som normalt. Anlegget eller enheten vil under en slik periode stå uten fisk og representerer dermed tapt produksjon og inntekter.

Design med hensyn til biosikkerhet er derfor helt avgjørende med tanke på evnen til å gjennomføre en god risikostyring av anleggets produksjon. Et risikoreduserende tiltak kan derfor være å øke kapasitet på biofilter, eller kalkulere med en andel redusert kapasitet på biofilteret. Anlegg kan også etablere hus-kulturer av bakteriestammer for biofilter for å sikre raskere reetablering. I tillegg vil flere separate vannbehandlingssystemer og biofilter redusere risiko for sykdomsspredning i anlegget ved et utbrudd av sykdom.

Ved produksjon av postsmolt i RAS brukes både brakkvann ved omlag 12 promille og ferskvann med sjøvannstilsetning 2-3 promille. Det har vært mange tilfeller av akutt stor dødelighet ved bruk av brakkvann i RAS. Erfaringer viser at økt innblanding av sjøvann i produksjon gir utslag i økt risiko. Dette fordi sulfatet i sjøvann under anaerobe forhold omdannes av sulfatreduserende bakterier til hydrogensulfid ( $H_2S$ ), som selv ved svært lave konsentrasjoner kan resultere i akutt dødelighet. I RAS-anlegg utgjør dette en økt risiko for akutt forgiftning og dødelighet, dersom partikulært materiale kan bli akkumulert i rørbend, pumpesummer eller liknende. Her har det som nevnt vært flere tilfeller av dødelighet og svinn, og hvor det til tider har vært utfordrende å se en klar årsakssammenheng (Sæther, 2018).

Det er en ulik praksis på dette området i Norge. SalMar bruker ikke brakkvann i sine RAS-anlegg. Marine Harvest har tidligere brukt brakkvann i RAS, men har i senere tid gått bort fra dette. Lerøy bruker fortsatt brakkvann i RAS og fortsette med dette. Årsaken til en ulik praksis på dette område kan skyldes forskjellig teknologi, kompetanse eller risikonivå.

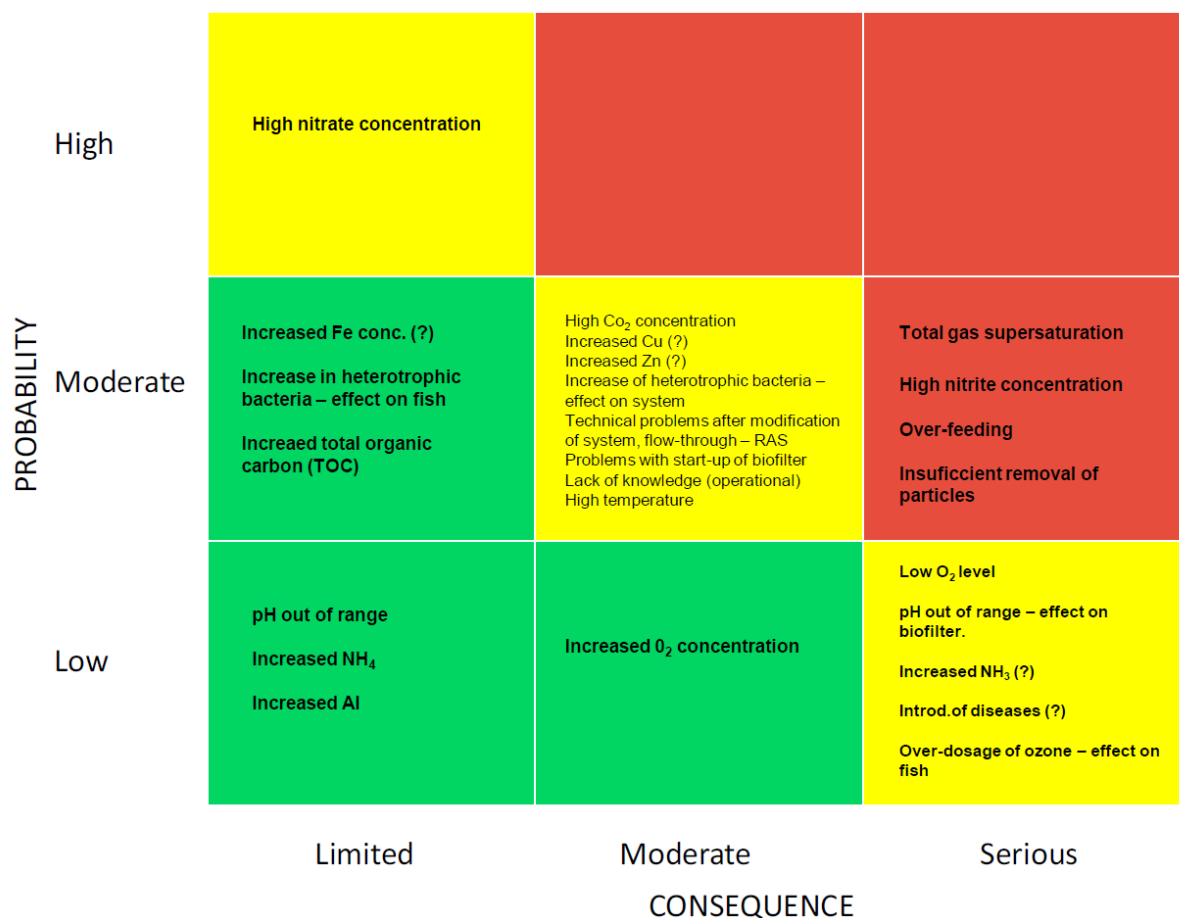
Øvrige prosesstekniske utfordringer som det ofte henvises til er nitrogenovermetning og  $CO_2$ -forgiftning. Av risikoreduserende tiltak vises det særlig til designfasen, hvor design av rørsystemer, pumpesummer og vannbehandlingsanlegg må forhindre dødsoner (stillestående vann), sedimentering av partikulært materiale, eller dårlig gjennomstrømming i vannforsyningsystemet. Det å ha en god og stabil sirkulasjon av vann fremheves som helt sentralt (Sæther, 2018). Denne risikoen øker ytterligere ved produksjon av fisk på rent sjøvann med 33-34 promille saltholdighet.

Når det gjelder **driftserfaringer fra RAS matfiskanlegg** er de basert på få produsenter med relativt kort historikk. I Danmark har Langsand Laks vært i drift siden 2011 og Danish Salmon i Hirtshals siden 2013. Jurassic Salmon i Polen åpnet sitt anlegg i 2015. Felles for alle anleggene er at de drives med RAS-teknologi, men med noe forskjellige vannkilder, fra grunnvann, brakkvann til sjøvann. Vedrørende salinitet har prosjektet fått opplyst at anlegget i Fredrikstad vil kjøre smoltproduksjon på ferskvann med gradvis salinitet

opp til 10 promille, og vekstanlegget vil kjøre på 14-16 promille. Når Langsand II kommer i drift vil vekstanlegget kjøre på 22 promille. Med et sagt er flere av disse forsiktige med tanke på hvor åpent de kommuniserer sine erfaringer, positive som negative. Likefullt, for å nå de produksjonsmål som er satt stilles det store krav til å produksjonsplanlegging og risikostyring for å utnytte tilgjengelig karvolum og kapasitet på biofilter fullt ut. Erfaringer fra Jurassic Salmon i Polen (Intrafish, 2018), viser at de har utfordringer med å realisere produksjonskapasiteten som anlegget er designet for (400-500 tonn per år vs. 1000 tonn per år). Samme erfaring identifiseres hos Langsand Laks (ca. 800 tonn per år vs. 1000 tonn per år før utvidelse), og ved Kuterra (ca. 400 tonn per år vs. 500 tonn per år) (Summerfelt, 2016). Realisering av planlagt veksthastighet fra 1,5 til 5 kg fremstår her som en betydelig utfordring, og per i dag ligger slaktevekt nærmere 4 kg enn 5 kg. I tillegg nevnes Langsand Laks sitt tilfelle av massedød i 2017 der 250 tonn laks døde, noe som tilskrives H<sub>2</sub>S-forgiftning (iLaks, 2017). Overnevnte anlegg har også hatt utfordringer knyttet til vannkvalitet, vannrensing, sykdom, bismak og tidlig kjønnsmodning. Endring av lokalisering på vanninntak og dybde har gitt positive utslag for vannkvalitet og sykdom, samt at problemet med bismak i stor grad er løst gjennom å øke tiden fisken går i "smaksfjerning". Vedrørende sistnevnte er en mulighet å øke andelen nytt vann i anlegget gjennom en periode på ca. 8 dager. Å bygge videre på disse erfaringene blir derfor helt sentralt for etablering av nye landbaserte matfiskanlegg. Tidlig kjønnsmodning er et velkjent problem ved tilsetning av saltvann i postsmoltproduksjon ved bruk av RAS-teknologi (Hjeltnes et al. 2016). Ved produksjon av matfisk på rent ferskvann, er det en betydelig risiko for at hannfisk blir kjønnsmoden under produksjonen (Davidson et al., 2016). Når det gjelder risikoreducerende tiltak ved tidlig kjønnsmodning av matfisk, er riktig lysstyring, temperatur og salinitet de viktigste faktorene (Good and Davidson 2016), men er behov for ny kunnskap dette området.

For gjennomstrømningsanlegg kreves større vannmengder sammenlignet med RAS for å kontinuerlig sørge for tilstrekkelig vannutskifting. Sikkerheten omkring vannforsyningssystemene må likefullt være høy uavhengig av produksjonsteknologi og investeringen i sikkerhetssystemer som nødstrømsaggregatet og driftsorganisasjon blir svært viktig for å redusere risiko for uplanlagt nedetid eller sykdomsutbrudd og svinn. Riktig vannkvalitet er avgjørende for fiskens vekst, kvalitet og fiskevelferd og dermed økonomisk resultat. Anleggets vannkvalitet avgjøres av vannkilde, anleggsdesign, vannbehandlingssystem og driftskonsept.

Som ledd i den overordnede risikoanalysen er det svært relevant å vise til allerede eksisterende dokumentasjon, da spesielt rapporten utgitt av Vitenskapskomiteen for mattrygghet, (VKM), i 2012, "Risk assessment of recirculation systems in salmonid hatcheries". I rapporten presenteres følgende risikomatrix, hvor ulike risikofaktorer er organisert etter sannsynlighet for anslag og antatt konsekvens (Figur 20).



**Figur 20:** Sammendrag av risikoanalysen (Hjeltnes, et al., 2012, s. 63)

Majoriteten av de faktorer som er gjengitt i risikomatrisen er relatert til forhold som kan redusere vannkvaliteten, og som i ytterste konsekvens kan resultere i betydelig svinn og dødelighet ved et anlegg. Av andre faktorer nevnes tekniske problemer ved oppstart av et anlegg, samt mangel på operasjonell kompetanse og erfaring.

I tillegg gir håndboken fra Nofima (2017) "Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd", gode innspill hva gjelder tiltak og operasjonelle anbefalinger for bl.a. å sikre god vannkvalitet og fiskevelferd. Håndboken gir god innsikt i faktorer knyttet til utfordringer for fiskens velferd, både knyttet til miljø og biosikkerhet, men også relevante oppdrettsprosedyrer. Håndboken presenterer også en rekke operative velferdsindikatorer knyttet til miljø (f.eks. oksygen, temperatur, ammoniakk, m.m.), gruppe (f.eks. appetitt, vekst, dødelighet, m.m.) og individbaserte forhold (f.eks. grad av avmagring, skjelltap og hudtilstand, øyestatus, m.m.). Det gis også en tabell over vannkvalitetsparameter med angitt middelverdi for både gjennomstrømningsanlegg og RAS-anlegg.

**Tabell 26:** Forskjellen i vannkvaliteten mellom ferskvannsresirkuleringssystem (RAS) og gjennomstrømmingssystem (GS) under produksjon av atlantisk laksesmolt (Kolarevic, et al. 2012). Vannkvalitetsparametere er presentert som middelverdier  $\pm$  SD (n = 4 kar for hvert produksjonssystem) (Noble, et al., 2017, s. 154).

Vannkvalitetsparameter	Produksjonssystem	
	GS	RAS
pH	6,68 $\pm$ 1,16	7,28 $\pm$ 0,12
$\Delta\text{H}^+$ ( $\mu\text{mol/L}$ )	0,15 $\pm$ 0,09	0,04 $\pm$ 0,02
Alkalinitet (mg/L)	17,0 $\pm$ 1,7	48,0 $\pm$ 6,6
$\text{CO}_2$ (mg/L)	4,8 $\pm$ 1,3	4,6 $\pm$ 1,2
TSS (mg/L)	0,7 $\pm$ 0,3	3,4 $\pm$ 1,2
Turbiditet (NTU)	0,42 $\pm$ 0,18	1,38 $\pm$ 0,43
TAN (mg/L)	0,2 $\pm$ 0,0	0,3 $\pm$ 0,1
$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	0,01 $\pm$ 0,00	0,06 $\pm$ 0,04
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	0,46 $\pm$ 0,04	22,73 $\pm$ 3,43

Håndboken fremstår derfor som det ett av de mest oppdaterte dokumentene for risikostyring ved RAS- og gjennomstrømningsanlegg. Dette til tross for av rapporten belyser flere kompetansegap, hvorav noen er spesielt rettet mot RAS (Noble, et al., 2017):

- TAN: Samtlige studier er så langt utført ved gjennomstrømningsanlegg, og det er derfor et behov for å verifisere optimale nivåer av  $\text{NH}_3\text{-N}$  for RAS.
- $\text{CO}_2$ : Samtlige studier er så langt utført i gjennomstrømningsanlegg, og det er behov for å verifisere optimale nivåer av  $\text{CO}_2$  i RAS-miljøer.

Hovedutfordringen knyttet til risiko for dårlig vannkvalitet er forgiftning knyttet til  $\text{H}_2\text{S}$  og tilstrekkelig desinfisering av inntaksvann. Langsand Laks og Akvafresh på Sotra har installert flere barrierer for inntaksvannet ved bruk av membranteknologi, i tillegg til mekaniske filter og UV.

$\text{H}_2\text{S}$ -forgiftning har tatt livet av mye postsmolt i Norge de siste 10 årene gjennom tilfeller av akutt dødelighet. Dette gjelder for RAS-anlegg som bruker brakkvann og rent sjøvann. Årsakene har vært design og drift av anlegg, som har ført til anaerobe forhold og dannelsen av  $\text{H}_2\text{S}$  med påfølgende dødelighet som resultat.  $\text{H}_2\text{S}$  kan også dannes når det er mangel på nitrat i vannet ved denitrifikasjonsprosessen. Generelt er det viktig å designe anlegget slik at det ikke oppstår dødsoner der slam under anaerobe forhold kan danne  $\text{H}_2\text{S}$ , unngå slamtepper og bio-fouling. Tiltak for å redusere risiko for  $\text{H}_2\text{S}$ -forgiftning er å overvåke redox-potensialet, sikre god gjennomstrømming, måle  $\text{H}_2\text{S}$  og ha nitrat stående for tilsetning i vannet ved behov (Buran Holan, 2018).

I forhold til risiko for **rømming** er det rapportert svært få tilfeller fra landbasert produksjon av matfisk, mens det er registrert flere tilfeller av rømming ved smoltanlegg. Som eksempel anslagsvis 20 000 smolt fra Framnessmolt sitt anlegg i Nordland (iLaks, 2018b), ukjent antall fra settefiskanlegget Lianeset i Solund kommune (iLaks; 2018c), og om lag 40 000 smolt fra Akvafarm sitt anlegg i Bergsfjorden (NRK, 2016).

Som et risikoreducerende tiltak trådte en ny teknisk forskrift for landbasert oppdrett i kraft 1.1.2018. Hensikten med forskriften er at rømmingssikkerheten skal ivaretas for hele akvakulturanlegget og i alle ledd og med lasting av fisken. Alle landbaserte anlegg som prosjekteres og bygges fra denne dato, må dokumentere at anlegget samsvarer med kravene i forskriften og i NS 9416:2013. For eksisterende anlegg foreslås det at oppdretter må dokumentere tilfredsstillende tilstandskrav gjennom en rømmingsteknisk rapport, og at det utstedes en brukstillatelse for anlegget.

Når det gjelder risiko for **miljø** er det rimelig å anta at landbasert produksjon av settefisk og matfisk vil kunne bidra til å redusere påvirkningen på det ytre miljøet, dette gitt at en utbygging på land medfører en reduksjon i antall lokaliteter, samt at landbasert virksomhet er pålagt strengere rensekrav enn merdbasert oppdrett. Samtidig er også risiko for rømming lavere sammenlignet med tradisjonell produksjon i merd. Dette til tross for kjente tilfeller med rømming fra enkelte settefiskanlegg. Vedrørende påvirkning på resipient, vil RAS-anlegg mest sannsynlig ha et positivt bidrag, ettersom mye av avfallsstoffene kan renses ut av avløpsvannet med dagens teknologi.

Som nevnt er og blir optimalisering av anlegg og oppbygging av kompetanse på drift helt sentralt for å kunne lykkes med RAS, og aktører må investere i topp kvalifiserte ressurser. Både for produksjon av matfisk og settefisk. I tillegg må gode metoder for måling og kvantifisering av driftsuhell utvikles, samt dokumentering av effekten ved iverksatte mottiltak. En slik satsning vil bidra til bedre kontroll med sentrale produksjonsparametere og dermed økt bio-sikkerhet. Herunder også økt forståelse av de vanligste vannparameterne med tanke på årsaks- og virkningsforhold i tilfeller med svinn og massedød, samt kritiske nivåer og grenseverdier. Særlig ettersom man med landbasert oppdrett går fra "den enkle" sjøbaserte produksjonsformen til "den mer kompliserte" landbaserte. Fravær av en slik satsning kan være til hinder for videre utvikling, ettersom industrien løper risikoen med å gjøre samme "negative" erfaringer flere ganger. Dette er noe som særlig landbasert matfiskproduksjon dessverre kan lide under, sett i lys av at dette er en ung næring som befinner seg i en bratt læringskurve, og hvor behovet for å dele beste praksis er og blir svært viktig. Videre, har risikobildet frem til i dag vært basert på en produksjonsteknologi som er lite avansert, mens man med RAS beveger seg høyere opp med tanke på kompleksitet. Dette innebærer at driftsfilosofi må endres og risikobasert produksjonsstyring må få en tydelig posisjon i den daglige driften.

<p><b>Risikoelement:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Rømming fra settefiskanlegg og matfiskanlegg på land.</li><li>• Massedød knyttet til f.eks. H<sub>2</sub>S og gassovermetning, men også uklar(e) årsaksforhold.</li><li>• Utbrudd av sykdom, og tilbakevennende tilfeller.</li><li>• Oppnåelse av tilstrekkelig desinfisering av anlegg etter desinfisering og re-etablering av bio-filter.</li><li>• Soner med stillestående vann, utilstrekkelig sirkulering.</li><li>• Realisering av planlagt vekstrate fra 1,5 til 5 kilo.</li><li>• Tidlig kjønnsmodning.</li></ul>
<p><b>Risikoreducerende tiltak:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Flere barrierer mot rømming.</li><li>• Utvikle verifiserte vannkvalitetsparameter spesifikt for RAS, både for ferskvann og brakkvann.</li><li>• Utvikle design og driftsprotokoller knyttet til H<sub>2</sub>S-problematikken.</li><li>• Etablering av åpent tilgjengelig database for dokumentering av negative driftserfaringer, samt effekten av iverksatte (risikoreducerende) tiltak. Fokus på årsaks- og virkningsforhold.</li><li>• Design av anlegg for å realisere optimal vannflyt og -sirkulasjon (økt bruk av CFD analyse), herunder design og lokalisering av vanninntak, samt desinfisering av inntaksvann.</li><li>• Sikre optimal lysstyring og vanntemperatur for redusert sannsynlighet for kjønnsmodning.</li></ul>

### 9.3 Prosjektering og bygging

Siden 2008 har det vært en sterk økning i investeringer i settefiskanlegg i Norge (se tabell 3). Med noen få unntak bygges de fleste landbaserte settefiskanleggene med RAS-teknologi, og til tross for nevnte utfordringer innen drift er den ansett den mest aktuelle produksjonsteknologien for fremtiden (Norsk Fiskerinæring, 2018). Denne utviklingen har i stor grad vært anført av ønske om redusert produksjonstid i sjø, MTB-reguleringen, økte luseproblemer og utlysningen av utviklingskonsesjoner. Dette har ført til en omlegging av produksjonsstrategi og da særlig mot utsett av større settefisk i sjø. Dette har igjen økt etterspørsel etter landbasert oppdrettskapasitet. I dag dekkes denne økte etterspørselen hovedsakelig gjennom utvidelse av eksisterende eller bygging av nye RAS-anlegg for settefiskproduksjon.

Utviklingen har satt eksisterende RAS-leverandører under press, og flere befinner seg per i dag tett opp mot kapasitetsgrensen. I lys av forventinger om flere liknende utbygginger og satsning på RAS, samt overnevnte driftsrelaterte erfaringer, innebærer det at Norge trenger økt kompetanse og kapasitet knyttet til design av slike anlegg. Ikke nødvendigvis for å kunne møte en storstilt nasjonal kapasitetsutvidelse innen matfisk, men like mye for å kunne stå bedre rustet til å møte internasjonal etterspørsel innen både settefisk og matfisk. Et marked med potensielt store muligheter for norske leverandører, og som per i dag i stor grad domineres av utenlandske aktører (f.eks. Billund Akvakultur AS, Krüger Kaldnes - Danmark). Når det gjelder selve byggefasen er kapasiteten hos dagens entreprenører ikke ansett som en særlig begrensning, og det rapporteres om flere aktører som ønsker samarbeid med RAS-leverandører.

Med det sagt vil en mulig storstilt nasjonal utbygging av landbasert oppdrett, være svært avhengig av den kapasiteten som til enhver tid er å finne hos entreprenører og leverandører. Per i dag fremstår kapasiteten ved leverandørsiden som noe anstrengt, og vil – på kor sikt – være en potensiell flaskehals dersom en ønsker



å overføre store deler av den sjøbaserte kapasiteten til land (jf. intervju med leverandører og produsenter). Samtidig vil det på noe lengre sikt være svært sannsynlig at flere RAS-leverandører etablerer seg i markedet.

**Tabell 27:** Estimert utbyggingshastighet gitt overføring av dagens produksjonsvolum og en dobling

Anleggskap. (tonn per år)		5 000	10 000	5 000	10 000	5 000	10 000
<b>Dagens prod. kap</b>	Tot ant. anlegg	260	130	260	130	260	130
	anlegg per år	15	15	20	20	25	25
	<i>Antall år før full dekning</i>	<i>17</i>	<i>9</i>	<i>13</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>5</i>
	<i>Antall år for 50% dekning</i>	<i>9</i>	<i>4</i>	<i>7</i>	<i>3</i>	<i>5</i>	<i>3</i>
<b>Dobbling av dagens prod. kap</b>	Tot ant. anlegg	520	260	520	260	520	260
	anlegg per år	15	15	20	20	25	25
	<i>Antall år før full dekning</i>	<i>35</i>	<i>17</i>	<i>26</i>	<i>13</i>	<i>21</i>	<i>10</i>
	<i>Antall år for 50% dekning</i>	<i>17</i>	<i>9</i>	<i>13</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>5</i>

Tabell 27 viser et grovt overslag over hvor lang tid det vil ta – teoretisk sett – å bygge det nødvendige antall anlegg for å realisere 50% og 100% dekning av dagens produksjonsvolum, samt tilsvarende tidshorisont ved dobling av produksjonen. Med utgangspunkt i dagens produksjon, og forutsatt at det bygges 15 anlegg hvert år à 10 000 tonn, vil det i teorien ta 9 år før man oppnår full dekning og 4 år før man oppnår 50% dekning. Gitt dobling av oppdrettsproduksjon vil tidshorisonten på utbyggingen i teorien være henholdsvis 17 og 9 år. Dersom det bygges 20 anlegg à 10 000 tonn hvert år vil det teoretisk kunne ta 7 og 3 år før en oppnår 100% og 50% dekning av dagens produksjon. Tilsvarende tall gitt dobling av oppdrettsproduksjon gir en estimert tidshorisont på henholdsvis 13 og 7 år. En overgang til landbasert oppdrett vil dermed ikke bare representere en ren kapasitetsutfordring for leverandører og underleverandører, men også være svært tidkrevende i seg selv.

Dette fordi utbygging av store landbaserte oppdrettsanlegg er omfattende prosesser med betydelige kostnadsrammer (NOK 100-800 mill.), og involverer byggherre, prosjektledelse, prosjekterende ingeniører, leverandører, samt entreprenører som gjennomfører selve byggingen. I slike prosesser er det alltid en risiko for at mange involverte ofte besitter smal kompetanse, noe som kan gå ut over helhets bildet. Særlig dette med biologi kan miste nødvendig fokus. Dette understreker viktigheten av å etablere en effektiv og flerfaglig arbeidsmåte når man definerer produksjonsplan og utfører design av anlegg. Således er det helt nødvendig å kombinere kompetanse innen byggteknikk, teknologi, økonomi, produksjon og biologi. Til tross for at dette gjøres i mer og mer utstrakt grad, fremheves fortsatt behovet for at denne type samarbeid må strykes. Eksempel på dette er feil i prosjekteringsarbeidet som førte til flere måneders forsinkelse for Fredrikstad Seafoods sitt anlegg i Fredrikstad (Kyst, 2017). I så måte blir det spennende å følge planlagte utbyggingen til Salmofarms anlegg i Rjukan, som forventer å lukke finansieringsprosessen i løpet av september 2018. Bygging forventes å kunne igangsettes allerede inneværende høst eller våren 2019 (iLaks, 2018d).

Til tross for overnevnte finnes det omfattende ingeniørkompetanse i Norge som har god erfaring med prosjektering av RAS-anlegg. I tillegg har de store oppdrettsselskapene gjennomført flere utbygginger av store landbaserte settefiskanlegg, og derigjennom opparbeidet verdifull byggherrekompetanse. Mindre selskaper som gjennomfører sin første store utbygging vil måtte skaffe seg denne kompetansen på andre måter. En mulighet er direkte fra leverandører som kan videreføre sine erfaringer fra ferdigstilte prosjekter.

Evnen til å realisere prosjektene og bygge landbaserte oppdrettsanlegg er også sterkt knyttet til tilgang på nødvendig kapital. Særlig innen matfiskanlegg har flere norske aktører betydelige utfordringer. Dette til tross for at de kan vise til godkjente tillatelser fra Fiskeridirektoratet. En hovedgrunn til dette er at i tilfeller hvor privat og investeringsvillig kapital ikke er tilstede, har øvrige finansieringsmekanismer få – om ingen – suksesshistorier eller referansepunkter for en eventuell investering. Hverken nasjonalt eller internasjonalt. Dette bidrar til å øke investeringsrisikoen, og dermed også usikkerheten knyttet til mulig tildeling av nødvendig kapital.

Dagens største RAS settefiskanlegg er i størrelsesorden 2 000-3 000 tonn per år (iLaks, 2018a), mens det for matfiskproduksjon planlegges landbaserte RAS anlegg i Norge med en årlig produksjonskapasitet fra 2 000 til 10 000 tonn (Salmo Farms og Salmo Terra). Det planlegges også gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk hvor årlig kapasitet er nærmere 29 000 tonn (Salmo Evolution). De største anleggene innebærer en betydelig økning i skala, opp mot 10 ganger. Dette gjelder størrelsen på alt fra kar, til pumper, volumstrøm, oksygeneringsanlegg, biofilter m.m. Med denne økningen i skala øker også den økonomiske risikoen, både for byggherre og for leverandørene. De økonomiske konsekvensene øker gitt situasjoner hvor en opplever forsinkelser i første utsett av biomasse. Størrelsene og omfang på disse utbyggingene gjør det også utfordrende rent risikomessig også for leverandørene, da feil og problemer kan få store konsekvenser dersom anlegget ikke leverer kontraktmessig.

Når det gjelder koblingen mellom design av anlegg og risiko knyttet til produksjon av biomasse, kan produksjonsrisiko reduseres ved å designe flere separate RAS-enheter i et og samme anlegg (benytte flere uavhengige parallelle vannløp). Dersom det oppstår sykdom vil den kunne isoleres til en RAS-enhet og tiltak kan iverksettes. Som beskrevet i kap 9.5 er det i tillegg en rekke risikoreduserende tiltak knyttet til sikring av optimal vannkvalitet og stabil vanngjennomstrømming i anlegget. Samtidig designes anlegg med alarmsystem og automatisk overvåking av viktige vannkvalitetsparameter.

For å sikre vekst og suksess knyttet til landbaserte RAS-anlegg er det også avgjørende at industrien får tilgang til nok personell med kompetanse på vannkvalitet i RAS. Det betyr at en må jobbe videre med å utvikle systemer og teknologiske løsninger for å sikre tilstrekkelig vannrensing, herunder optimal plassering av vanninntak. For sistnevnte er det viktig at dette ikke legges for høyt i vannsøylen, da dette kan gi utfordringer knyttet til inntak av lus og alger. Dersom det legges for dypt kan det medføre en merkostnad knyttet til oppvarming av vann. Samtidig er nærhet til øvrig akvakultur også en faktor som spiller inn på plassering av vanninntak.

<b>Risikoelement:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kapasitetsutfordringer vedrørende design og bygging av RAS-anlegg, både med tanke på settefisk- og matfiskanlegg.</li><li>• Involvering av flere områder som krever spisskompetanse innen mange fagfelt kan gå ut over "helhetsbildet", og særlig samspillet mellom biologi og teknologi.</li><li>• Riktig dimensjonering og design ved store matfiskanlegg (10 000 tonn &lt;).</li></ul>
<b>Risikoreduserende tiltak:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gradvis utbygging av landanlegg kombinert med dokumentering av erfaringer.</li><li>• Dokumentering og formidling av "negative" og positive erfaringer for felles kompetanseheving, og som underlag for mer optimalt anleggs-design.</li><li>• Tverrfaglig samarbeid ved kobling av produksjons (inkludert økonomisk) - og biologisk kompetanse.</li><li>• Økt erfaringsutveksling mellom produsent og leverandører vedrørende design men også bygging og bygge-strategi, både positive og negative.</li></ul>

## 9.4 Tetthet, veksthastighet, svinn

### Tetthet

I kapittel 6 er det dimensjonerende kriteriet for tetthet ved landbasert oppdrett av laks og ørret satt til 65 kg/m<sup>3</sup> for både postsmolt og matfisk. Dette kriteriet er basert på samtaler med flere leverandører, samt prosjektets referansegruppe, og ansees som et konservativt anslag. Forsøk gjennomført på post-smolt med størrelse 115 g ved 9,3 grader celsius konkluderer med at det er mulig å oppdrette postsmolt med en tetthet opp til 75 kg/m<sup>3</sup>, men tettheter på 100 kg/m<sup>3</sup> og 125 kg/m<sup>3</sup> gir negative effekter på vekst, stress og finneslitasje (Calabrese et al., 2017). Aktuelle risikoelement vedrørende for høy fisketetthet er oppsummert nedenfor, inkludert risikoreduserende tiltak.

<b>Risikoelement:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Redusert tilvekst</li><li>• Slitasje på finner og hud</li><li>• Redusert andel "optimal" fisk</li><li>• Sårdannelse</li></ul>
<b>Risikoreduserende tiltak:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Redusere tetthet i kar</li></ul>

### Veksthastighet

Veksthastighet hos fisk avhengig av størrelse og påvirkes sterkt av faktorer som tilgjengelighet av fôr, temperatur, fotoperiode og miljømessige forhold. Termal Growth Rate (TGC) er i vekstforsøk satt til 2,7 (Thoraresen og Farell 2011), mens den er rapportert av oppdrettsnæringen til å være mellom 2,4-2,5 i norsk, skotsk og Chilens industri (Neuman et al., 2004). En TGC på 2,7 bør kunne brukes i prosjektering av postsmoltanlegg, men for matfisk og i tilfeller hvor fisken må håndteres bør en lavere TGC vurderes. Dette fordi det er ikke er mulig å vise til kjente tilfeller innen landbasert oppdrett av matfisk hvor en har realisert en TGC på 2,7. Dette basert på dagen kompetanse og teknologi. Dette understøttes av at ingen slike anlegg kan vise til at designet årlig produksjonskapasitet er realisert.

Ved landbasert matfisk i RAS-anlegg har realisering av planlagt veksthastighet over 1,5 kg erfaringsvis vist seg som en særlig utfordring. Flere produsenter opplever fisk over 1,5 kg som mer sårbar sammenlignet med mindre fisk (smolt og post-smolt), særlig knyttet til fôr, vannkvalitet og tetthet. Det har gjennom dette studiet ikke vært mulig å finne årsaken til disse vekstutfordringene. Erfaringsbasert kunnskap peker mot at dette kan ha en sammenheng med for høy fisketetthet, redusert vannkvalitet, utfordringer med sortering og plassering av fisk i anlegget gjennom livssyklusen, en kombinasjon av flere nevnte faktorer eller andre ting. Om denne problemstillingen vil dukke opp i gjennomstrømningsanlegg med/uten gjenbruk er ikke mulig å fastslå, men bør ikke utelukkes og tas hensyn til ved planlegging og design.

Vekst hos stor laks i kommersielle landbaserte anlegg med og uten RAS-teknologi er et område hvor det per i dag finnes lite tilgjengelig datamateriale, både dokumentert erfaringsbasert kunnskap og fra forskning.

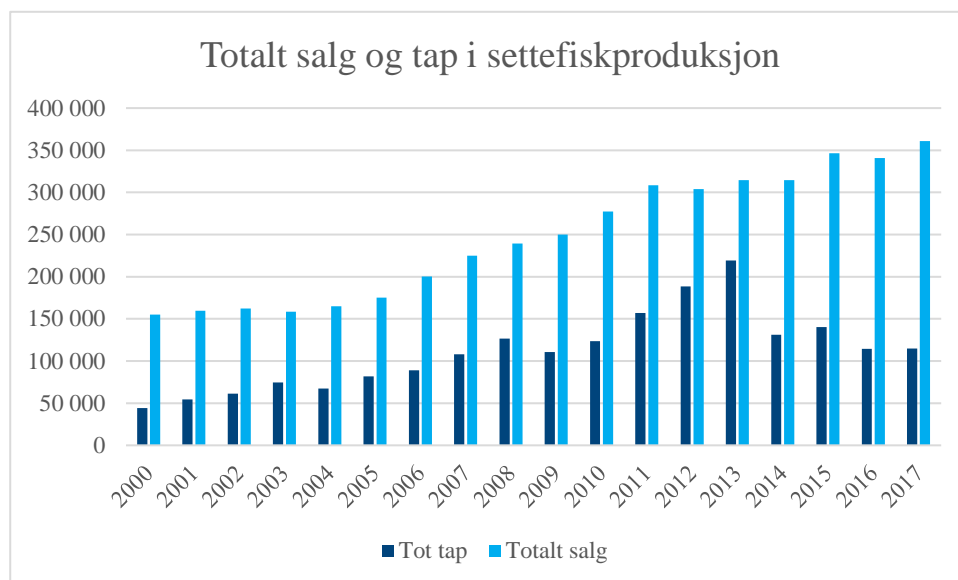
<b>Risikoelement:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Redusert tilvekst.</li></ul>
<b>Risikoreduserende tiltak:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Redusere tetthet.</li><li>• Redusere konsentrasjoner av vannkvalitetsparametere som CO<sub>2</sub>, TAN, mfl.</li><li>• Redusere resirkuleringsgrad og dermed øke vannutskifting.</li><li>• Redusere håndtering i anlegget gjennom livssyklusen.</li><li>• Økt fokus på genetik da dagens arbeid primært er fokusert på et merd-basert produksjonsmiljø. Fokus har vært på resistens mot lus og div sykdommer, men det er egentlig ikke relevant for landbasert. Landbasert er mer aktuelt for f.eks. partikkelmengde i vann, høy CO<sub>2</sub>. Det er således behov for et eget genetikprogram for landbasert, et område hvor det foreligger mye arbeid.</li></ul>

### Svinn og dødelighet

Prosjektet har forsøkt å etablere et datamateriale omkring dødelighet og svinn for postsmoltproduksjon i RAS-anlegg, relatert til destruksjon, sykdom og hendelser med høy akutt dødelighet. Ettersom Fiskeridirektoratet ikke oppgir data spesifikt for RAS-anlegg eller postsmoltproduksjon for settefiskproduksjon i Norge, og Mattilsynet heller ikke kan vise til en nasjonal oversikt over hvilke anlegg som bruker RAS-teknologi, har dette arbeidet vært svært vanskelig. De data som er tilgjengelig er for alle settefisklokalteter uavhengig av teknologi.

Ved unormalt høy dødelighet melder settefiskprodusentene dette som en meldepliktig hendelse til Mattilsynet. Selv om rapportene er offentlig tilgjengelig, er de av en slik kvalitet at det er ikke er mulig å gjøre statistiske analyser basert på innholdet. Det som rapporteres er i stor grad produsent, lokasjon, type produksjon (dvs. settefisk eller matfisk), og dato for hendelse. Rapporteringen mangler altså vesentlige opplysninger om teknologi, årsaksforhold, dødelighet i absolutte eller relative tall. I dialogen med Mattilsynet omkring innholdet i rapportene vedrørende meldepliktige hendelser, kom det frem et ønske fra tilsynets side om bedre kvalitet og opplysninger i disse rapportene. Konklusjonen er at per i dag finnes ingen slik offentlig tilgjengelig statistikk for postsmoltproduksjon i RAS-anlegg i Norge.

Det er derfor et tydelig behov for å gjennomføre et arbeid som muliggjør kvantifisering av svinn, dødelighet og destruksjon i landbasert oppdrett (postsmolt og matfisk, hvor bl.a. teknologiske løsninger, saltholdighet, vannforbruk og årsaksforhold er med som parameter.



**Figur 21:** Totalt tap og salg av settefisk i perioden 2000-2017, (Fiskeridirektoratets statistikk, alle tall i tusen).



**Figur 22:** Oversikt over dødelighet og destruksjon av fisk i settefiskproduksjon i perioden 2004-2017 (Fiskeridirektoratets statistikk, alle tall i tusen)

**Tabell 28:** Estimert andel død/destruksjon av brutto produsert settefisk (basert på antall solgt settefisk + antall fisk død/destruert, tall oppgitt i prosent)

År	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Andel død/destruksjon %	22	25	27	32	29	32	31	32	35	31	31	34	38	41	29	29	25	24

\*utregningene i denne tabellen er gjort ved å dele summen av dødfisk og destruert fisk på summen av dødfisk, destruert fisk og totalt solgt settefisk (brutto produksjon).

Figur 22 og Tabell 28 viser at andelen tap (død og destruksjon) per år lå mellom 22-41 prosent av brutto produsert settefisk (solgt settefisk + antall død/destruksjon) i perioden 2000-2017. Den sterke økningen av totalt svinn i årene 2011-2013 skyldes i hovedsak økt destruksjon av settefisk i denne perioden.

I perioden frem til 2005 ble settefisk i Norge i all hovedsak produsert i gjennomstrømningsanlegg og andelen svinn i forhold til brutto produsert settefisk var på 22-32 prosent for settefisknæringen totalt (Fiskeridirektoratet). Dette vil variere for enkeltanlegg basert på uhell, teknisk svikt, ekstraordinære hendelser og destruksjon. Produksjonsstrategi med hensyn til tapere, vil her spille inn. Et eksempel fra Sisomar (gjennomstrømningsanlegg) viser et totalt smoltutbytte på 93-95,4% i årene 2014-2015 fordelt på klekkeri og starforing 2-3%, 1 gram til levert smolt 1-2%, destruering pga. størrelse/avvik 1-3 % (Jøstensen, 2016). Det må legges til at for dette anlegget ble tapere ikke destruert i denne perioden, men sortert ut i egne kar og ble brukt videre i produksjon. Årsaker til svinn i settefiskproduksjon er uklekket rogn, deformiteter rogn/ungel, små fisk/tapere, utkast vaksinerings og destruerings.

Når det gjelder dødelighet i landbaserte kommersielle matfiskanlegg for atlantisk laks finnes det ikke offentlig tilgjengelig datamateriale, men basert på driftserfaringer er en dødelighet på under 2 prosent oppnådd. Dette tallet inkluderer ikke akutte hendelser.

<b>Risikoelement:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Høyere daglig dødelighet enn beregnet.</li><li>• Økt andel tapere som må destrueres.</li><li>• Akutt dødelighet pga. uhell.</li></ul>
<b>Risikoreducerende tiltak:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gradvis utbygging av landanlegg.</li><li>• Øke sikkerhetsnivå på teknisk drift og biologiske prosedyrer.</li><li>• Økt kompetanse og erfaring på drift av landbaserte RAS-anlegg.</li><li>• På overordnet nivå; ved tilfeller av meldepliktig svinn og dødelighet i RAS bør årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet og vannforbruk avdekkes og rapporteres inn sammen med tapt biomasse.</li></ul>

## 9.5 Sykdom, parasitter og bakteriell kontroll

Hensikten med denne studien er ikke å ta for seg hele sykdomsbildet i norsk lakse- og ørretproduksjon, da denne er godt dokumentert i de årlige fiskehelserapportene fra Veterinærinstituttet. Hovedfokus for denne rapporten er heller på spesielle sykdomsutfordringer i landbasert oppdrett av laks og ørret, og da særlig for RAS-anlegg.

RAS-teknologi reduserer behovet for nytt vann inn i anlegget og gir følgelig økt mulighet til å behandle inntaksvannet på en slik måte at sannsynligheten for å få inn smittsomme bakterier, parasitter eller virus reduseres sterkt. Dette fremheves ofte som en av de store fordelene ved landbasert oppdrett av laks. Likefult, når et landbasert oppdrettsanlegg bruker sjøvann til produksjonen av settefisk eller matfisk av laks eller ørret, kan alle sykdommer som er i sjø i prinsippet forekomme. Dersom det også brukes ferskvann vil fisken være

utsatt for sykdommer som forekommer i tradisjonell settefiskproduksjon. En del ukjente biologiske risiko-elementer er også sannsynlig å kunne oppstå, og som en kanskje ikke helt vet hvordan man skal håndtere. Her er blant annet sammenhengen mellom vannkjemi og biologi helt sentral, og innebærer at dette må settes sentrum i forbindelse med design, bygging og drift av anlegget.

Driftskonsept spiller også en stor rolle for hvilken type smitte som kan forekomme, og vil alltid utgjøre en potensiell fare i systemet – uansett teknologi- og produksjonsstrategi. Dersom det tas inn settefisk fra eksterne leverandører for produksjon av postsmolt eller matfisk utgjør det en større risiko sammenlignet med tilfeller hvor en har integrert klekkeri. Ved etablering av eget klekkeri og innkjøp av desinfisert øyerogn, vil smitte mulighetene reduseres og kun sykdommer som kan smitte vertikalt vil kunne bringes inn i anlegget.

I et RAS-anlegg er det et stort mangfold av bakterier. For å oppnå gode miljøforhold er det viktig å ha riktig bakteriell sammensetning på de rette steder gjennom hele vannforsyningsystemet. Hovedmålsetningen er at gode bakteriene skal dominere og dermed gi lite spillerom for sykdomsfremkallende bakterier (Rurangwa og Verdegem, 2014) Dette er en svært viktig driftsfaktor i RAS-anlegg, og som innebærer at kompetanse knyttet til drift av biofilter blir svært viktig. Herunder også reetablering av bio-filter gitt nedetid og desinfisering av et anlegg.

I RAS-anlegg er bakteriesykdommene furunkulose (Danmark) og yersiniose rapportert som spesielt vanskelige. I RAS-anlegg for settefisk i Nord-Norge og Midt-Norge har det vært gjentatte utbrudd og høy dødelighet med sykdommen yersiniose (*Yersinia ruckeri*) (Hjeltnes et al., 2018). Her har gjentatt desinfisering og brakklegging anlegg vært utført, men det er eksempler på anlegg hvor problemet har vært tilbakevendende. Her har prosessen med å finne en klar årsakssammenheng vist seg å være svært utfordrende og Fiskehelse rapporten (Hjeltnes, et al., 2018), viser til et klart kunnskapshull vedrørende risikoreducerende tiltak for både furunkulose og yersiniose.

Ved innblanding av sjøvann i RAS-anlegg er det rapportert inn økt risiko for infeksjoner med bakterier som forårsaker hudinfeksjoner og sår. Ved produksjon av post-smolt er det også utfordringer med håndtering, sortering og utsett, som kan by på fiskevelferdsmessige utfordringer. RAS-teknologi gjør det mulig å sette ut fisk i sjø hele året, men utsett ved lave temperaturer kan føre til stress, sår og dødelighet den første tiden etter utsett. Til tross for dette rapporteres om en mere robust fisk fra RAS-anlegg, og som presterer svært godt i sjø. Omleggingen til RAS-teknologi og høy investeringsvilje i norsk settefiskproduksjon tyder på at næringen er fornøyd med hvordan fisken fra RAS-anlegg presterer på land og i sjø. Samtidig er det viktig at forskningen inn mot studier av sammenhengen mellom produksjonsintensitet, miljø og fiskevelferd styrkes. Dette for å sikre at RAS-anlegg kan driftes på en mer kunnskapsbasert og forsvarlig måte (Hjeltnes et al., 2018). Et slikt arbeid bør rettes mot både matfisk og settefisk (smolt og post-smolt).

Tidligere erfaringer (15-20 år) viser at de anlegg som da produserte post-smolt på sjøvann i landbaserte gjennomstrømningsanlegg (f.eks. ved Rubbestad på Senja og i Glomfjord), og hvor vannbehandlingsanlegg bestod av UV-filter og oksygenering, opplevde betydelige utfordringer knyttet til utsett av høst-smolt i anlegg på fallende sjøtemperatur. Anleggene med denne type produksjon fikk betydelige problemer med vintersår, som hovedsakelig skyldes vintersårbakterien *Moritella viscosa*. Det er gjennom prosjektet Norsmolt vist at en saltholdighet på 20 promille i smoltifiseringsperioden gir en halvering i vekst, økning i antall finneskader, redusert hud og slimlag, økt mottagelighet for vintersårbakterien *Moritella viscosa*, og

reduisert fiskevelferd (Toften et al. 2011). Selv om dette er å anse som "gamle" erfaringer, utgjør de likefullt en verdifull del av kunnskapsbasen.

Dette er en utfordring som igjen kan bli aktuell for landbaserte anlegg, særlig dersom det bygges landbaserte anlegg basert på samme type gjennomstrømmingsteknologi med oksygenering, uten oppvarming og annen vannbehandling for reduserte mulighet for inntak av uønskede bakterier eller virus. Denne driftsformen gav så store utfordringer med sykdom at aktørene avsluttet denne type produksjon av settefisk.

Nefrokalsinose er en patologisk tilstand som innebærer dannelse av store mineralkalsiumavleiringer i nyrevevet og relaterer seg til høye konsentrasjoner av oppløst CO<sub>2</sub>. Dette problemet er noe større i anlegg med innblandet sjøvann, da løseligheten for CO<sub>2</sub> øker ved økende salinitet. Det har også vist seg å være større ved mer intensiv produksjon (Hjeltnes et al., 2018).

Når det gjelder genetikk er laksen som produseres ved landbaserte anlegg per i dag primært avlet frem for å vokse i et merd-basert miljø, hvor fokus i avlsarbeidet har vært rettet mot utfordringene som f.eks. lus og sykdom. For landbasert oppdrett og lukkede anlegg i sjø er det derimot mer aktuelt å kunne disponere en fisk som har økt toleranseevne ovenfor f.eks. partikkelmengder i vann, samt høy(ere) CO<sub>2</sub>-nivåer enn hva dagens grenseverdier tilråder. Det er et betydelig potensial for å drive avl mot disse forholdene, og således et stort forskningsbehov (Referansegruppen).

**Risikoelement:**

- Nye produksjonsformer vil erfaringsmessig gi nye sykdomsutfordringer.
- Smittespredning ved inntak av settefisk i landbaserte matfiskanlegg.
- Inntak av smitte gjennom vanninntak.
- Dagens laks er avlet frem med tanke på tradisjonell påvekst i åpen merd, og ikke med tanke på f.eks. økt tåleevne mot redusert vannkvalitet.

**Risikoreducerende tiltak:**

- Inntak av rogn og egenproduksjon av smolt i landbaserte matfiskanlegg for å redusere risiko for inntak av smitte.
- Øke vannbehandlingen av inntaksvann med mekanisk- og membranfiltrering for å redusere inntak av bakterier, virus eller parasitter.
- Ved tilfeller av meldepliktig svinn og dødelighet i landbasert oppdrett bør årsaksforhold, produksjonsteknologi (RAS), saltholdighet og vannforbruk mm være endel av rapporteres inn sammen med tapt biomasse.
- Tillate tilstrekkelig tid for å modne biologisk filter ved ny oppstart etter sanering og desinfisering.
- Utrede genetikkprogram for avl av laks ved landbaserte anlegg, hvor økt toleranse mot CO<sub>2</sub> og partikkelmengde i vann er to av flere ønskelige egenskaper. En slik satsning antas også å kunne gi viktige bidrag med tanke på oppdrett ved lukkede anlegg i sjø.



## 9.6 Kvalitativ risikoanalyse

Risikoanalysen innledes med å identifisere potensielle risikofaktorer etterfulgt av en kvalitativ risikovurdering, der risikonivå, mulig(e) konsekvenser og reduserende tiltak identifiseres og fastsettes. Det er utarbeidet separate risikomatriser for henholdsvis RAS-anlegg og gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk. Det understrekes videre at de vurderinger som er gjort under utarbeidelsen av selve matrisene er basert på erfaringer fra eksisterende landanlegg for både settefisk og matfisk. Som poengtert tidligere i rapporten er denne erfaringen, særlig for matfisk, basert på få aktører med relativt kort erfaringshistorikk. Når f.eks. sannsynlighet/frekvens settes til høy, skal det ikke tolkes at noe ikke kan gjennomføres eller oppnås, men at risikoen for at hendelsen inntreffer er høy. Dette med utgangspunkt i tidligere års erfaringer.

Risiko er et uttrykk for en kombinasjon av – sannsynlighet for og konsekvens av – en uønsket hendelse (NS 5818), og helt overordnet skal en risikoanalyse svare på tre grunnleggende spørsmål:

1. Hva kan gå galt?
2. Hva er sannsynligheten for at de uønskede hendelsene inntreffer?
3. Hvilke konsekvenser kan de uønskede hendelsene medføre?

Basert på overnevnte blir det viktig å identifisere reduserende tiltak, og dermed legge et godt grunnlag for risikobasert styring av produksjonen.

Med utgangspunkt i de risikofaktorer som er nevnt i prosjektbeskrivelsen ble følgende faktorer utledet som mest aktuelle for å gjennomføre en mer kvalitativ risikoanalyse. Sistnevnte analyse danner også et viktig grunnlag for den økonomiske risikoanalysen.

- Redusert tilvekst
- Økt svinn/dødelighet
- Sykdom og parasitter
- Redusert kvalitet

Sannsynlighet/frekvens og konsekvensene av de uønskede hendelsene klassifiseres i høy (rødt), middels (gult) og lav (grønt) for utarbeidelse av risikomatriser for RAS-anlegg og gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk (Tabell 29 og Tabell 30).

**Tabell 29:** Risikomatrix for RAS-anlegg for landbasert produksjon av postsmolt og matfisk

Hva kan gå galt?	Sannsynlighet/ frekvens	Konsekvens	Risikoreduksjon
Redusert tilvekst for fisk over 1,5 kg - <b>matfisk</b>	Høy	Redusert produksjon, slaktevolum og lavere slaktevekt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redusere fisketetthet i kar.</li> <li>• Øke vannforbruk (økt spedevannsforsbruk).</li> <li>• Sikre optimal vannkvalitet og stabil sirkulasjon gjennom planlegging og design av anlegg. Avgjørende å sikre nødvendig kapasitet på system for vannbehandling.</li> <li>• Øke kapasitet i vannbehandlingssystem, f.eks. CO<sub>2</sub> og partikulært materiale.</li> <li>• Tillate tilstrekkelig tid for å modne biologisk filter ved oppstart og/eller sanering/ desinfisering.</li> </ul>
Svinn/ akutt dødelighet – <b>matfisk og post-smolt</b>	Middels	Redusert produksjon.  Økt andel "tapere" som destrueres.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redusere fisketetthet i kar.</li> <li>• Økt overvåking av aktuelle vannkvalitetsparameter.</li> <li>• Analysere RAS-enhet for stillestående vann og sedimentering.</li> <li>• Redusere antall håndteringar.</li> <li>• Øke sikkerhetsnivå på teknisk drift og biologiske prosedyrer.</li> <li>• Økt overføring av erfaringsbasert kompetanse på tvers av produsenter og RAS-anlegg.</li> <li>• Ved meldepliktig svinn og dødelighet bør årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet, vannforbruk avdekkes og rapporteres sammen med tapt biomasse.</li> </ul>
Sykdom, parasitter og bakterier – <b>matfisk og post-smolt</b>	Lav	Redusert produksjon.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analysere lokasjon og design av vanninntak.</li> <li>• Gjennomgå rutiner/ tiltak for desinfisering av vann.</li> <li>• Integrering av eget klekkeri og egenproduksjon av settefisk ved matfiskanlegget for redusert smitterisiko.</li> <li>• Øke vannbehandlingen av inntaksvann med mekanisk- og membranfiltrering for å redusere inntak av bakterier, virus eller parasitter.</li> <li>• Ved meldepliktig svinn og dødelighet bør årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet og vannforbruk rapporteres inn sammen med tapt biomasse.</li> </ul>
Redusert kvalitet – <b>matfisk</b>	Lav	Redusert andel superior fisk.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Øke tiden fisken går i "smaksfjerning".</li> <li>• Sikre optimal lysstyring og vanntemperatur for redusert sannsynlighet for kjønnsmodning.</li> </ul>

**Tabell 30:** Risikomatrixe for gjennomstrømningsanlegg med gjenbruk for landbasert produksjon av postsmolt og matfisk

Hva kan gå galt?	Sannsynlighet/ frekvens	Konsekvens	Risikoreduksjon
Redusert tilvekst for fisk over 1,5 kg - <b>matfisk</b>	Høy	Redusert produksjon, slaktevolum og lavere slaktevekt.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redusere fisketetthet i kar.</li> <li>• Øke vannforbruk.</li> <li>• Sikre optimal vannkvalitet og stabil sirkulasjon gjennom planlegging og design av anlegg.</li> <li>• Øke kapasitet i vannbehandlingssystem, f.eks. CO<sub>2</sub>.</li> </ul>
Svinn/ akutt dødelighet – <b>matfisk og post-smolt</b>	Lav	Redusert produksjon.  Økt andel "tapere" som destrueres.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redusere fisketetthet i kar.</li> <li>• Økt overvåking av aktuelle vannkvalitetsparameter.</li> <li>• Redusere antall håndteringar.</li> <li>• Øke sikkerhetsnivå på teknisk drift og biologiske prosedyrer.</li> <li>• Økt overføring av erfaringsbasert kompetanse på tvers av produsenter og gjennomstrømningsanlegg.</li> <li>• Ved meldepliktig svinn og dødelighet bør årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet, vannforbruk avdekkes og rapporteres sammen med tapt biomasse.</li> </ul>
Sykdom, parasitter og bakterier – <b>matfisk og post-smolt</b>	Middels	Redusert produksjon.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Øke vannbehandlingen av inntaksvann med mekanisk- og membranfiltrering for å redusere inntak av bakterier, virus eller parasitter.</li> <li>• Øke antall rensetrinn og barrierer for inntaksvann, både via design av system for vannrensing, samt sikre optimal lokasjon og design av vanninntak.</li> <li>• Integrering av eget klekkeri og egenproduksjon av settefisk.</li> <li>• Ved meldepliktig svinn og dødelighet bør årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet og vannforbruk rapporteres inn sammen med tapt biomasse.</li> </ul>
Redusert kvalitet – <b>matfisk</b>	Lav	Redusert andel superior fisk.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sikre optimal lysstyring og vanntemperatur for redusert sannsynlighet for kjønnsmodning.</li> </ul>

## 10 Konklusjon og punkter til videre arbeid

Følgende punkter oppsummerer hovedfunnene fra rapporten:

- Ved en total produksjon av 1,3 mill. tonn matfisk og en produksjonskapasitet på 10 000 tonn per år per anlegg, vil en overgang fra merdbasert til landbasert oppdrett ha følgende estimerte konsekvenser:
  - **RAS:** 130 anlegg, arealbehov på land - 11.700 mål, arealbehov i sjø - 4 238 km<sup>2</sup>, vannforbruk - 0,520 milliarder m<sup>3</sup>/år, energiforbruk - 7,8 TWh, slamproduksjon - 238 233 tonn/år (90% tørrstoff) og klimaspor - 5,1 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kg.
  - **Gjennomstrømming med gjenbruk:** 130 anlegg, arealbehov på land - 8 288 mål, arealbehov i sjø - 2 438 km<sup>2</sup>, vannforbruk - 33,7 milliarder m<sup>3</sup>/år, energiforbruk - 7,8 TWh, slamproduksjon - 238 233 tonn (90% tørrstoff) og klimaspor .
- Ved en total produksjon av settefisk på 340 mill. stk. per år med snittvekt på 0,5 kg i RAS-anlegg med årlig kapasitet på 3 000 tonn per år, vil det ha følgende estimerte konsekvenser:
  - 57 RAS-anlegg, arealbehov - 1 020 mål, arealbehov i sjø - 1 847 km<sup>2</sup>, vannforbruk - 68 millioner m<sup>3</sup>/år, energiforbruk - 0,5 TWh, slamproduksjon - 28 050 tonn/år (90% tørrstoff) og klimaavtrykk på 4,1 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kg settefisk solgt.
- Vedrørende tekniske og biologiske risikofaktorer fremheves vedvarende utfordringer knyttet til håndtering av H<sub>2</sub>S-problematikken, risiko for tidlig kjønnsmodning, samt realisering av planlagt vekstkurve for fisk over 1,5 kg.
- Det er store mangler knyttet til vitenskapelige dokumenterte data for produksjon av matfisk for atlantisk laks på land, samt at det driftsmessige erfaringsgrunnlaget foreløpig er spredt på få internasjonale produsenter med relativt kort historikk.

Arbeidet har også avdekket flere forhold der det per i dag mangler kunnskap og/eller vitenskapelig dokumentert data. Nevnte tiltak anses av prosjektgruppen som både viktig og nødvending for videre utviklinga av landbasert oppdrett av både settefisk (smolt og post-smolt) og matfisk. Tiltakene er satt opp punktvís og i en ikke-prioritert rekkefølge:

1. Fremskaffe oppdatert oversikt dagens settefiskproduksjon i Norge, antall landbaserte anlegg (matfisk og settefisk), men tilhørende produksjons-kapasitet og teknologi.
2. Ved design av anlegg bør kompetanse knyttet til Computational Fluid Dynamics (CFD) analyse heves og utnyttes i større grad, bl.a. for å sikre optimal vannkvalitet og stabil vannutskiftning, samt unngå "stillestående" vann.
3. Økt innsats knyttet til dokumentering og formidling av erfaringsbasert kunnskap på tvers av produsenter og leverandører, både i forhold til design av anlegg og ikke minst drift av RAS-anlegg.
4. Tekniske løsninger, protokoller og prosedyrer for å sikre optimal vannkvalitet, særlig sett i lys av at stor fisk (over 1,5 kg) ser ut til å være mer miljø-sensitiv enn liten fisk. Herunder også hvilke barrierer som må etableres for å minimere risiko for inntak av smittekilder via vannkilde (barrierer for rensing av vann).
5. Etablere verifiserte vannkvalitetsparameter for RAS, da både for liten fisk (under 1,5 kg), og for stor fisk (over 1,5 kg). Dette koblet mot krav for dimensjonering av system for vannrensing og barrierer for vanninntak. Dette vil bedre beslutningsgrunnlag for risikostyring av produksjon og økt sannsynlighet for oppnåelse av planlagt vekt.

6. Styrke innsatsen mot opprettelse av effektive transportløsninger for håndtering av slam, samt løsninger for videreføring.
7. Etablere nye krav for rapportering av meldepliktige tilfeller av svinn og dødelighet, slik at kjent årsaksforhold, produksjonsteknologi, saltholdighet, vannforbruk rapporteres inn sammen med andel tapt biomasse.
8. Utvikle nye tekniske løsninger for redusert energiforbruk ved RAS og gjennomstrømming med gjenbruk.
9. Behov for å videreutvikle fôr tilpasset landbasert oppdrett, både i forhold til ernæringsmessig kvalitet og teknisk kvalitet. Dagens fôr er i stor grad tilpasset merdbasert oppdrett.
10. Bruke avl og genetikk for å få frem en atlantisk laks rettet mot landbasert oppdrett, hvor bl.a. to viktige forskningsområder vil være å avle frem laks med økt toleranse mot partikkelmengder i vann og høyere CO<sub>2</sub>-toleranse. Her ligger det et betydelig forskningsbehov, som også vil ha stor verdi for produksjon av laks ved lukkede anlegg i sjø.
11. Økt innsats for identifisering av faktorer som bidrar til tidlig kjønnsmoden fisk, samt reduserende tiltak.

## 11 Takk til

SINTEF Ocean vil rette en særlig takk til prosjektets referansegruppe for verdifulle bidrag ved utarbeidelse av rapporten, både gjennom felles møter og bilaterale samtaler. Denne har bestått av:

- Trond Rosten (Marine Harvest)
- Bjørn Myrseth (Vitamar)
- Bjørn Finnøy (Artec Aqua AS)
- Eirik Welde (NordlaksSmolt AS)
- Harald Sveier (Lerøy)
- Bendik Fyhn Terjesen (Cermaq)
- Per Gunnar Kvenseth (Smolaks)
- Tor Eirik Homme (Grieg Seafood)
- Ole Gabriel Kverneland (AKVA Group), og
- Kjell Maroni (FHF).

I tillegg rettes en stor takk til øvrige aktører som prosjektgruppen har vært i kontakt med i intervjusammenheng, både innen industri og forvaltning. De innspill som har fremkommet har vært av stor betydning!

## 12 Referanser

Aspaas, S., Brøttem, M., Olafsen, T. (2014), *Teknologibehov innen landbasert Akvakultur*, Smart Water Cluster; Mulighetsstudie, SINTEF Fiskeri og Havbruk.

Aspaas, S., Hagemann, A., Rosten, T., (2016), *Identifisering av aktuelle løsninger for håndtering og anvendelse av avløps slam fra settefiskanlegg i Nordland*, SINTEF Fiskeri og havbruk.

Attramadal, K., (2018), *Fører kort for RASere*, foredrag TEKSET konferansen 2018, Trondheim.

Billund Akvakultur AS, (2018), *Møte om landbasert oppdrett av matfisk og settefisk – erfaringsutveksling og diskusjon*, Billund, Danmark, 13.03.2018.

Bjørndal, T. og Tusvik, A. (2017). *Economic Analyses of Land Based Salmon Farming*. Rapport NTNU Ålesund.

Blonk, "Agri-footprint database." PRÉ Consultants, <http://www.agri-footprint.com/>, 2014.

Buran Holan, A. AquaOptima Resirkulering av sjøvann, TEKSET 2018

Calabrese, S., Nilsen T.O., Kolarevic, J., Ebbeson, L.O.E., Pedrosa, C., Fivelstad, S. Hosfeld, C., Stefansson, S.O., (2017) *Stocking density limits for post-smolt Atlantic salmon (Salmo salar L.) with emphasis on production performance and welfare* Aquaculture 468 part 1 page 363-370

Davidson, J. May, T., Good, C. Waldrop, T., Kenny B., Fyhn Terjesen, B., Summerfelt, S. Production of market-size North American strain Atlantic salmon *Salmo salar* in a land-based recirculation aquaculture system using freshwater. *Aquacultural Engineering* 74 p 1-16.

DnB Markets, (2017), *DNB Markets ser 150.000 tonn landbasert lakseproduksjon i 2020*, artikkel i [www.ilaks.no](http://www.ilaks.no). (Hentet 20.03.2018: <https://ilaks.no/dnb-markets-ser-150-000-tonn-landbasert-lakseproduksjon-i-2020/>)

Ecoinvent, (2009) "The ecoinvent Centre: Ecoinvent Life Cycle Inventory database," [www.ecoinvent.org/home](http://www.ecoinvent.org/home), 2009.

EC and E. Commission, (2015), "European reference Life Cycle Database (ELCD)." <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/index.xhtml?stock=default>, 2015.

ENOVA SF, (2010), *Sluttrapport 06/175, Energinettverk FISK*. COWI.

Fiskeridirektoratet (2018a), *Om akvakultur – kartdata*, <https://www.fiskeridir.no/Kart/Om-kartdata/Om-kartdata-akvakultur>, (Hentet: 04.07.2018)

Fiskeridirektoratet (2018b), *Omsetning av fôr 1991-2017*, <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Statistikk-akvakultur/Akvakulturstatistikk-tidsserier/Diverse> (Hentet: 22.06.2018)

Fremtiden i våre hender, (2018), *Sjekk hvilken mat som er best for miljøet - Framtiden.no*. [Online]. Available: <https://www.framtiden.no/gronne-tips/mat/sjekk-hvilken-mat-som-er-best-for-miljoet.html>. (Hentet: 19-Jun-2018).

Good, C., Davidson, J., (2016) *A Review of Factors Influencing Maturation of Atlantic Salmon, Salmo salar, with Focus on Water Recirculation Aquaculture Systems Environments*, Journal of the World Aquaculture Society Vol. 47, No 5, oktober 2016

Havbruksstasjonen.no, *Fylkesrådet i Troms støtter RAS*, <http://www.havbruksstasjonen.no/fylkesraadet-i-troms-stoetter-ras.6091626-271534.html>. (Hentet: 22.06.2018)

Hjeltnes, B., Bæverfjord G., Erikson, U., Mortensen, S., Rosten T., Østergård, P., (2012), *Risk assessment in recirculating systems in salmonid hatcheries*, Vitenskapskomiteen for mattrygghet - VKM, ISBN: 978-82-8259-048-8.

Hjeltnes, B., Walde C, Bang Jensen B., Haukaas A (red) *Fiskehelse rapporten 2015*, Veterinærinstituttet 2016.

Hjeltnes B., Bang Jensen B., Bornø G., Haukaas A., (2018), Walde C. S. (red) *Fiskehelse rapporten 2017*, Veterinærinstituttet 2018.

Hognes, E. S., (2012) “LCA of Norwegian salmon production 2012 (A26401 ISBN 978-82-14-05770-6),” SINETF Fisheries and aquaculture, <http://www.sintef.no/Publikasjoner-SINTEF/AnsattesPublikasjoner/?empId=3001>, 2014.

Hognes, E. S., Winther, U., Ellingsen, H., Ziegler, F., Emanuelsson, A., Sund, V., *Carbon footprint and energy use of Norwegian fisheries and seafood products*, in 14th international congress of the international maritime association of the mediterranean (IMAM), 2011, vol. 2, pp. 1031–1036.

Holm, J.C., et. al., (2015), *Laks på land – En utredning om egne tillatelser til landbasert oppdrett av laks, ørret, regnbueørret med bruk av sjøvann*. Nærings- og fiskeridepartementet, 14. febr. 2015.

Holte, E.A, Sønvisen, S.A., Holmen, I.M. (2016), *Havteknologi - Potensialet for utvikling av tverrgående teknologier og teknologisk utstyr til bruk i marin, maritim og offshore sektorer*, Norges forskningsråd og Innovasjon Norge.

HNytt, (2018), *Unormalt store mengder» fisk døde - kjenner ikke årsaken*, <https://www.havis.no/nyheter/oppdrett/etne/unormalt-store-mengder-fisk-dode-kjenner-ikke-arsaken/s/5-62-592071> (Hentet 31.07.2018).

Intrafish, (2018), *Mange utfordringer for landbasert produsent*, <http://www.intrafish.no/nyheter/1468199/mange-utfordringer-for-landbasert-produsent> , Hentet 06.06.2018

Intrafish, (2017), *Mystisk massedød hos Langsand Laks*, <http://www.intrafish.no/nyheter/1300486/mystisk-massedod-hos-langsand-laks>, (Hentet, 04.07.2018).

iLaks, (2017a), *Over 700.000 smolt døde momentant ved Marine Harvest-anlegg*, <https://ilaks.no/over-700-000-smolt-dode-momentant-ved-marine-harvest-anlegg/>, Hentet 04.07.2018.

iLaks (2017b), *Atlantic Sapphire har funnet årsaken til massedød*, <https://ilaks.no/atlantic-sapphire-har-funnet-arsaken-til-massedod/>, (Hentet, 04.07.2018).

iLaks, (2018a), *Her er Norges ti største smoltanlegg*, <https://ilaks.no/her-er-norges-ti-storste-smoltanlegg/>, (Hentet, 04.07.2018)



iLaks, (2018b), *20.000 settefisk rømte fra Framnessmolt-anlegg i Nordland*, <https://ilaks.no/20-000-settefisk-romte-fra-framnessmolt-anlegg-i-nordland/>, (Hentet 31.07.2018).

iLaks, (2018c), *Ukjent mengde fisk rømte etter at et kar ved et smoltanlegg sprakk*, <https://ilaks.no/ukjent-mengde-fisk-romte-etter-at-et-kar-ved-smoltanlegg-sprakk/>, (Hentet 31.08.2018).

iLaks, (2018d), *Nå er det avgjort: Salmofarms starter bygging av landbasert oppdrettsanlegg til 500 mill. i Telemark*, <https://ilaks.no/na-er-det-avgjort-salmofarms-starter-bygging-av-landbasert-oppdrettsanlegg-til-500-mill-i-telemark/>, (Hentet 13.08.2018).

ISO, (2000), ISO, "NS-EN ISO 14042. Environmental management. Life cycle assessment".

ISO, (2006a), ISO, "ISO 14040 Environmental management - life cycle assessment - principles and framework. ISO 14040:2006(E)." International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland, 2006.

ISO (2006b), ISO, "ISO 14044 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. ISO 14044:2006(E)." International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland., 2006.

Jøstensen, N. (2016), *Hva er en taper? Skal vi destruere?*, TEKSET 2016, Trondheim

Kolarevic, J., Bæverfjord, G., Takle, H., Ytteborg, E., Reiten, B.K.M., Nergaard, S., Terjesen, B.F. (2012). *Effects of recirculation of water during the freshwater stage of Atlantic salmon*. Forskningsrådets konferanse HAVBRUK 2012. p 114. 16th-18th April 2012, Stavanger, Norway.

Kyst (2018a), *Marine Harvest åpner nytt anlegg og blir selvforsynte med smolt i Vest*, <https://www.kyst.no/article/marine-harvest-aapner-nytt-anlegg-og-blir-selvforsynte-med-smolt-i-vest/>. (Hentet 30.07.2018)

Kyst, (2018b), *Se hva som peker seg ut som fremtidens havbruksteknologi*, artikkel i [www.kyst.no](https://www.kyst.no), <https://www.kyst.no/article/se-hva-som-peker-seg-ut-som-fremtidens-havbruksteknologi/>. (Hentet 20.03.2018)

Kyst, (2017), *Fredrikstad Seafood flere måneder forsinket etter prosjekteringsfeil*, <https://www.kyst.no/article/fredrikstad-seafood-flere-maaneder-forsinket-etter-prosjekteringsfeil/>. (Hentet 30.07.2018)

Kyvik, K. (2016), *Kaldnes® RAS for 2000 tonn/år - stor settefisk*, Smoltproduksjon, 2016

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, p.p. 1–12.

Lovdata, (2007), Forskrift om begrensning av forurensning (forurensningsforskriften), Del 4. Avløp Kapittel 14. Krav til utslipp av kommunalt avløpsvann fra større tettbebyggelser, [https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL\\_4-4#%C2%A714-1](https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4-4#%C2%A714-1), (Hentet 04.07.2018).

- Lovdata, (2008), *Forskrift om etablering og utvidelse av akvakulturanlegg, zoobutikker m.m.*, <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-823>, (Hentet 31.07.2018)
- Lovdata (2014), *Forskrift om nærmere bestemmelser om tillatte vekter og dimensjoner for offentlig veg*, Kunngjort 21.01.2014, <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2014-01-15-28> (Hentet: 22.06.2018)
- Meld. St. 16, (2015), *Forutsigbar og miljømessig bærekraftig vekst i norsk lakse- og ørretoppdrett (2014-2015)*, Melding fra Stortinget, In: Nærings- og Fiskeridepartement, editor, Oslo.
- Meld. St. 7 (2015). *Langtidsplan for forskning og høyere utdanning 2015–2024*, In: Kunnskapsdepartementet, editor. Oslo.
- 'NCE Aquaculture (2018), *Arbeidsmøte om utfordringer knyttet til stam- og settefisk produksjon ved RAS anlegg*, 30. januar 2018, Bodø.
- Noble, C., Nilsson, J., Stien, L.H., Iversen, M.H., Kolarevic, J., Gismervik, K., (2017), *Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd*, FHF Prosjekt 901157.
- Norsk Fiskerinæring, (2018), *Vannvei mot vekst eller drepende bakevje?*, "Norks Fiskerinæring", nr. 5, 2018.
- Norsk Vann, <https://norsk vann.no/index.php/vann/ofte-stilte-sporsmal-om-vann/91-forbruk>, Hentet 04.07.2018.
- Norvik, O.C., (2018), *Settefiskproduksjon i Distrikts-Norge - pendlere og/eller lokalt ansatte*, TEKSET Trondheim 14. februar 2018
- NRK, (2016), 40.000 smålaks på rømmen på Senja, <https://www.nrk.no/troms/40.000-fisk-har-romt-fra-settefiskanlegg-1.12953142>, (Hentet 30.07.2018)
- NVE, 2017, *Energibruk i Fastlands-Norge – historisk utvikling og anslag på utvikling mot 2020*, [http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017\\_25.pdf](http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_25.pdf), (hentet 04.07.2018.)
- Nærings- og fiskeridepartementet. *Masterplan for marin forskning* In: Regjeringen.no, editor. Oslo2015.
- Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y., Skjermo, J., (2012), *Verdiskaping basert på produktive hav i 2050*, Rapport fra en arbeidsgruppe oppnevnt av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab (DKNVS) og Norges Tekniske Vitenskapsakademi (NTVA).
- Olsen, B.H., (2017), *Moderne RAS – bare rør? – erfaringer fra stort nybygg RAS på Senja*. Billund Aquaculture, TEKSET, 2017
- Referansegruppemøte 1, 2018, Møte med prosjektets Referansegruppe, møte nr 1, 24.01.2018, Skype.
- Regjeringen, 2016, *Nye regler for landbasert oppdrett*, <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/nye-regler-for-landbasert-oppdrett/id2502424/>, (Hentet 20.03.2018)
- Rosten, T., Ulgenes, Y., Henriksen, K., Terjesen, B.F., Biering, E., Winther, U., (2011), *Oppdrett av laks og ørret i lukkede anlegg – forprosjekt*, Utredning for Fiskeri og havbruksnærings forskningsfond (FHF), SINTEF Rapportnr. A21169, ISBN 978-82-14-05212-1.

Rurangwa, E., Verdegem, M.C.J. 2014, *Microorganisms in recirculating aquaculture systems and their management*, Reviews in Aquaculture 5 p.p. 1-14.

Samtaler med Referansegruppen og øvrig industri, (2018), *Intervju og telefonsamtaler*.

Skretting, 2017, *Nytt prosjekt gjenvinner slam fra landbasert oppdrettsanlegg til verdifull gjødsel*, <https://www.skretting.com/nb-NO/media/nyheter/nytt-prosjekt-gjenvinner-slam-fra-landbasert-oppdrettsanlegg-til-verdifull/1564889>, (Hentet 20.05.2018)

Statens Kartverk, (2017), Areal tall for Norges sjøområder, <https://kartverket.no/Kunnskap/Fakta-om-Norge/Sjoarealer/Sjoomrader/>, (Hentet 05.07.2018)

Statens vegvesen, 2018, Veglister for fylkes- og kommunale veger, <https://www.vegvesen.no/kjoretoy/yrkestransport/veglister-og-dispensasjoner/fylkes-og-kommunale-veger> (Hentet 21.06.2018)

Statistisk sentralbyrå, 2018a Energibruk i industrien, <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/indenergi>, Hentet 04.07.2018

Statistisk sentralbyrå, tabell 07326: Akvakultur. Salg av slaktet matfisk, etter fiskeslag (F) 1976 - 2017

Statistisk sentralbyrå, 2018b Tabell kommunal vannforsyning, [https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann\\_kostra](https://www.ssb.no/natur-og-miljo/statistikker/vann_kostra), hentet 04.07.2018

Summerfelt, S. (2016), *New emerging challenges and solutions in RAS for Salmonids*, smoltproduksjon.no, (Hentet: 01.08.2018)

Sæther, P.A., (2018), *Gir storsmoltproduksjon et RAS av utfordringer?*, TEKSET 2018, Trondheim.

Terjesen, B.F., (2017), *30 år med settefisk, 1986 til 2016 – hva nå?*, TEKSET 2017, Trondheim

Thoraresen, H., Farell, A.P. (2011) *The biological requirements for post-smolt Atlantic salmon in closed-containment systems*. Aquaculture 312, p.p. 1-14.

Toften, H., Damsgård, B., Handeland, S., Kristensen, T., Mikkelsen, H., Rosseland B.O., Salbu, B., Stefansson, S.O., Teien, H.-C., 2011 *Optimal smolt production and post smolt performance in the high north – Seawater intermixing, low temperatures and intensive rearing – Final report – Norwegian Research Council Project 184997/s40 (2008-2011)*. Nofima

van Oort, B. and Andrew, R. (2016), *Climate footprints of Norwegian Dairy and Meat – a synthesis*, 2016.

Winther, U., Hognes, E.S., Ziegler, F., Emanuelsson, A., Sund, V. and H. Ellingsen, *Project report: Carbon footprint and energy use of Norwegian seafood products*, <http://www.sintef.no/Publikasjonssok/Publikasjon/?pubid=SINTEF+A21457> ,” SINTEF Fisheries and aquaculture, Trondheim, Norway, 2009.

Ystmark, G.O., (2018), *Settefiskproduksjon før og nå – er vi på rett vei?*, Sjømat Norge, TEKSET, Trondheim, 2018.

Ziegler, F., Winther, U., Hognes, E.S., Emanuelsson, A., Sund, V. and Ellingsen, H., *The Carbon Footprint of Norwegian Seafood Products on the Global Seafood Market*, J. Ind. Ecol., p. no-no, 2012.

